

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ANÁLISE, PLANEJAMENTO E GESTÃO
AMBIENTAL**

**O CHAPADÃO DO DIAMANTE NA SERRA DA CANASTRA/MG,
BRASIL: caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a
partir de dados multifontes**

THALLITA ISABELA SILVA MARTINS NAZAR

UBERLÂNDIA/MG
2018

THALLITA ISABELA SILVA MARTINS NAZAR

O CHAPADÃO DO DIAMANTE NA SERRA DA CANASTRA/MG,
BRASIL: caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a
partir de dados multifontes

Tese de Doutorado apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de concentração: Análise, Planejamento e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Carlos Rodrigues

UBERLÂNDIA/MG
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

N335c Nazar, Thallita Isabela Silva Martins, 1988-
2018 O Chapadão do Diamante na Serra da Canastra/MG, Brasil :
caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a partir
de dados multifontes / Thallita Isabela Silva Martins Nazar. - 2018.
270 f. : il.

Orientador: Silvio Carlos Rodrigues.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Geografia.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.608>
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Parque Nacional da Serra da Canastra (MG)
- Relevo - Teses. 3. Parque Nacional da Serra da Canastra (MG) -
Geomorfologia - Teses. 4. Relevo terrestre - Teses. I. Rodrigues, Silvio
Carlos. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-
Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia

THALLITA ISABELA SILVA MARTINS NAZAR

“O CHAPADÃO DO DIAMANTE NA SERRA DA CANASTRA/MG, BRASIL: caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a partir de dados multifontes”.



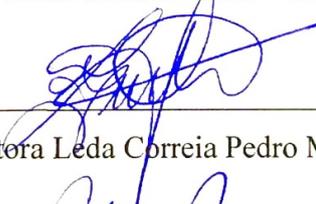
Professor Doutor Sílvio Carlos Rodrigues (Orientador) - UFU



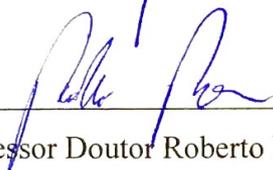
Professora Doutora Cristina Helena Ribeiro R. Augustin – UFMG



Prof. Doutor António Avelino Batista Vieira – Universidade do Minho - Portugal



Professora Doutora Leda Correia Pedro Miyazaki – UFU - Pontal



Professor Doutor Roberto Rosa – UFU

Data: 20 / 03 de 2018

Resultado: Aprovada com Louvor

DEDICATÓRIA

À minha linda mãe, Teresa, pelo exemplo de vida e amor incondicional.

Aos meus avós graciosos, Júlio e Maria, pela dedicação e amor pela família.

Ao meu companheiro de vida, esposo e amigo, Carlos Alberto, pelo apoio sempre.

AGRADECIMENTOS

Ter chegado até aqui foi, de fato, a tarefa mais desafiadora pela qual passei ao longo dos meus quase 30 anos. Mas é uma dádiva poder concluir esta etapa, após 12 anos de ingresso na academia e no mundo da Geografia Física, em especial a Geomorfologia. Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por permitir isto, por me capacitar e ser meu alicerce, mesmo quando quase desisti.

Pessoas especiais também foram estrelas em meu caminho. Uma delas, sempre ela, minha mãe Teresa, cujas palavras não alcançam o exato sentimento de gratidão que sinto, pois ela é meu maior motivo. Meu esposo e amigo, Carlos Alberto, que me incentiva e acredita, se enche de orgulho e me faz querer sempre ser melhor a cada dia, obrigada por fazer parte da minha vida! Agradeço a toda minha família, em especial ao meu padraсто José e ao meu pai Paulo e sua esposa Lorena; aos meus irmãos (Vinícius, Henrique, Paulo Gustavo, Leonardo, Dhara e Júlio) e aos meus avós Júlio e Maria, por todo o bem que me fazem!

Sou grata pelos amigos, que hoje são irmãos, Renato Emanuel e Giliander. Com vocês, o caminho foi mais suave, as sessões de café da tarde nas segundas-feiras foram reconfortantes. Amigos da geografia para a vida! Agradeço também à minha madrinha e companheira de profissão, Lilian Bento, por ser inspiração e amiga sempre. Aos colegas de laboratório, Vinícius Maruschi, Matheus Borges, Fabiana e Marina, pelas contribuições durante as análises laboratoriais e disposição em ajudar sempre, meu muito obrigada! A todos os outros colegas, agradeço por transformarem a equipe LAGES em uma das melhores da UFU! Reconheço que inúmeras pessoas contribuíram para a minha caminhada, direta ou indiretamente, dentro e fora da universidade, e mesmo aquelas não citadas aqui, saibam que sou grata por tudo.

Agradeço ao meu orientador e amigo, Professor Silvio Carlos, por esses 11 anos de caminhada. Obrigada pela paciência com essa aprendiz e por todo o conhecimento transferido. Se hoje cheguei a esta altura, o seu papel foi importantíssimo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, agradeço pelo apoio à pesquisa, por meio da concessão da bolsa de Doutorado (PAPG – GEOGRAFIA, 2014-2018) e pelo projeto CRA APQ-00231-16. Ao ICMBio, agradeço pela autorização para realizar a pesquisa no Parque Nacional da Serra da Canastra.

Agradeço também, à Professora Cristina Augustin pela disponibilidade em contribuir de diferentes formas para esta tese, desde a banca de qualificação, a ajuda com as análises de difratometria de raios X, e por se dispor a fazer parte da banca na defesa final.

Agradeço igualmente ao Professor António Vieira, Professora Leda Miyazaki e Professor Roberto Rosa, pela disposição em participar da banca e doar suas contribuições.

EPÍGRAFE

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

O Chapadão do Diamante (ChD) constitui a superfície de cimeira da Serra da Canastra, em sua porção oriental, situada na Região Sudoeste de Minas Gerais, Brasil. A área faz parte do Parque Nacional da Serra da Canastra, sendo estruturada por um pacote de quartzitos puros a micáceos intercalados a filitos, do Grupo Canastra Indeterminado, o qual condiciona uma paisagem distinta e com diferentes padrões de relevo. A dinâmica geomorfológica associada aos aspectos litoestruturais e aos materiais superficiais ou geocoberturas foi o principal enfoque da tese, uma vez que existe na literatura da área em questão, uma lacuna de conhecimento a este respeito. Assim, buscou-se realizar o levantamento cartográfico e a análise espacial do ChD, a partir de dados multifontes, com o intuito de interpretar o meio físico e a dinâmica e evolução geomorfológica. Portanto, foram aplicados métodos e técnicas diversos, em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com o uso de Modelo Digital de Terreno (MDT); em campo, com levantamentos e coletas de amostras de geocoberturas; e também em laboratório, com análises físicas e mineralógicas das amostras. Do ponto de vista do relevo, a partir de análises semi-automatizadas de parâmetros geomorfométricos, base litológica e observações *in situ*, foi possível afirmar que o ChD engloba relevos aplainados, associados aos topos; relevos dissecados, variando de suave a fortemente dissecados; cristas alongadas com afloramentos quartzíticos, e em suas bordas, relevo escarpado com faces livres. Esta configuração morfológica apresenta forte interdependência aos aspectos litoestruturais e às geocoberturas, as quais foram mapeadas a partir de imagens Google™, dados aerogamaespectrométricos e observações em campo. Os resultados deste levantamento indicaram uma variação das características dos materiais em função de aspectos topográficos; presença de radioelementos, como o Th e K; e descontinuidades estruturais. Adicionalmente, análises de estatísticas zonais, no enfoque da análise espacial, permitiram a avaliação dos dados das geocoberturas em relação às classes de relevo e parâmetros da superfície terrestre, tais como declividade e curvatura. Os testes estatísticos realizados demonstraram existir uma interdependência entre os aspectos citados, permitindo compreender o ChD como um conjunto paisagístico complexo em que há uma estreita relação entre os elementos litoestruturais, geomorfológicos e de geocoberturas. Por fim, foram ainda realizadas análises laboratoriais em função de três transectos amostrais, selecionados em ambientes distintos. Os resultados sinalizaram a presença de argilominerais e óxidos / hidróxidos de Fe e Al, decorrentes da profunda intemperização das rochas, com indicativos de que esses processos vêm atuando há bastante tempo em condições de clima tropical, mesmo levando em consideração a resistência das rochas quartzíticas. Em suma, depreende-se que a tese traz uma abordagem inédita sobre o Chapadão do Diamante, reconhecendo aspectos paisagísticos importantes, com a expectativa de que sirva de base para a continuidade das pesquisas na área.

Palavras-chave: Análise integrada do meio físico. Cartografia geomorfológica. Cartografia de geocoberturas.. Geomorfometria. Relevos quartzíticos.

ABSTRACT

The Chapadão do Diamante (ChD) is the summit area of Serra da Canastra, in its eastern portion, located in the Southwest Region of Minas Gerais, Brazil. The area is part of the Serra da Canastra National Park, and is structured by a packet of pure and micaceous quartzites with phyllites, from the Canastra Indeterminate Group, which conditions a distinct landscape with different relief patterns. The geomorphological dynamics associated with the lithostructural aspects and surface materials was the main focus of the thesis, complementing the knowledge gap in the literature in this regard. Thus, we attempted to carry out the cartographic survey and the spatial analysis of the ChD, based on multifonts data, in order to interpret the physical environment and geomorphological dynamics. Therefore, several methods and techniques were applied in Geographic Information Systems environment with the use of Digital Terrain Models (TDM); and also, in the field and laboratory, with collect of surface materials samples and physical and mineralogical analysis of samples. From the point of view of the relief, from semi-automated analyzes of geomorphometric parameters based on the lithological base and in situ observations, it was possible to affirm that the ChD includes flattened reliefs; dissected reliefs; elongated crests with quartzitic outcrops, and at its edges, escarpment relief with free faces. This morphological configuration presents strong interdependence to the lithostructural aspects and to the geo-covers, which were mapped from Google TM images, aerogamaespectrometric data and field observations. The results of this survey indicated a variation of the characteristics of the materials in function of topographic aspects; presence of radioelements such as Th and K; and structural discontinuities. In addition, analyzes of zonal statistics in the spatial analysis approach allowed the evaluation of the surface formations data in relation to the relief classes and land-surfaces parameters, such as slope and curvature. The statistical tests showed an interdependence between the mentioned aspects, allowing to understand the ChD as a complex landscape, where there is an important relationship between the lithostructural, geomorphological and surface elements. Finally, laboratory analyzes were performed according to three sample transects, selected in different environments. The results showed the presence of clay and oxides / hydroxides of Fe and Al, due to the deep weathering of the rocks, with indications that these processes have been operating for a long time in tropical climate conditions, even taking into account the resistance of quartzite rocks. In summary, this thesis presents an unprecedented approach to the Chapadão do Diamante, recognizing important landscape aspects, with the expectation that it will serve as a basis for the continuity of research in the area.

Keywords: Integrated physical environment analysis. Geomorphological cartography. Cartography of surface materials. Geomorphometry. Quartzite reliefs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA

2.1	Representação da extração de parâmetros da superfície terrestre (PSTs), considerado o foco operacional da geomorfometria	38
2.2	Estabilidade dos minerais frente à velocidade do intemperismo	47
2.3	Elementos intemperizados e a resposta gamaespectrométrica	64
3.1	Fluxograma estrutural da Tese	70
3.2	Articulação das Cartas Topográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro, sendo a área de estudo destacada em vermelho	73
3.3	Fluxograma explicativo da organização da base cartográfica	74
3.4	A) GPS Garmin GPSmap 62Sc. B) VANT Phantom 3 Standard. C) Campanha de Campo, out. 2016	76
3.5	Fluxograma da rotina metodológica para o mapeamento de classes de padrões de relevo (3ºTáxon)	89
3.6	Diagrama das relações entre os coeficientes e os nove valores de elevação para cada célula calculada	90
3.7	Camadas de dados utilizadas para a espacialização e digitalização manual das geocoberturas	93
3.8	Imagens de relevo sombreado do ChD	96
3.9	Disposição das amostras em pratos, para secagem ao ar livre no período de uma semana	101
3.10	Agitador elétrico de peneiras	102
3.11	Mesa agitadora com as amostras em dispersão	103
3.12	Procedimentos de lavagem (A) e separação da fração silte/argila (B) e fração areia (C)	104
3.13	Organização das provetas e cápsulas de silte e argila	105
3.14	Triângulo textural para interpretação da granulometria da TFSA	105
4.1	Compartimentação geotectônica simplificada do Brasil	109
4.2	Setores da Província Tocantins	110
4.3	Localização do Grupo Canastra na Faixa Brasília	111
4.4	Fluxograma representativo do Grupo Canastra	113
4.5	(A) Estrutura atribuída ao pacote de Quartzitos puros a micáceos (Grupo Canastra Indeterminado), que sustenta o ChD (B)	114
4.6	Coluna estratigráfica do domínio delimitado pela Zona de Cisalhamento da Canastra, definida por SILVA et al. (2012)	115
4.7	Afloramentos rochosos no ChD. Observação de ângulos de mergulho e dissolução. Altitude aprox.: 1391 m (Setor W)	117
4.8	Afloramentos rochosos no ChD. A) Dissolução. B) Blocos. C) Observação de linearidades. Altitude aprox.: 1400 m (Setor E)	118
4.9	Afloramentos rochosos no ChD, ângulo de mergulho preservado. Altitude aprox.: 1405 m (Setor SW)	119
4.10	Afloramentos rochosos no ChD, ocorrências de quedas d'água (Cachoeira Rasga Canga). A) Parte baixa. B) Parte alta.	119
4.11	Vegetação herbácea predominante em grande parte da área do Chapadão do Diamante	123
4.12	Campos rupestres predominantes em áreas com extensos afloramentos quartzíticos no Chapadão do Diamante	123
4.13	Formações de cerrado <i>strictu sensu</i> no Chapadão do Diamante	124
4.14	Matas galerias em fundos de vales no Chapadão do Diamante	124
5.1	Bloco-diagrama do ChD e entorno	129
5.2	Padrão em topos planos. A) Notar materiais avermelhados. B) Notar vegetação tipo cerrado	142
5.3	Padrão em topos planos. Notar vegetação campestre	142
5.4	Padrão em topos planos, imageamento por VANT	143

5.5	Relevo suavemente dissecado associado a colinas suaves, imageamento por VANT	144
5.6	Relevo suavemente dissecado associado a colinas suaves	144
5.7	Padrão em relevo dissecado com colinas onduladas	145
5.8	Padrão em relevo dissecado com colinas onduladas e algumas ocorrências de afloramentos rochosos	145
5.9	Padrão em Relevo fortemente dissecado associado a fundos de vales	146
5.10	Padrão em Relevo fortemente dissecado associado a fundos de vales, imageamento por VANT.	146
5.11	Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos, exemplo de vertente, imageamento por VANT	147
5.12	Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos, imageamento por VANT	148
5.13	Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos, área SW do ChD	148
5.14	Padrão em escarpas, mirante setor S	149
5.15	Padrão em escarpas, com queda d'água, setor N	149
5.16	Padrão em escarpas, Cachoeira Casca D'Anta, setor S	150
5.17	Padrão em Relevo fortemente dissecado associado a morros.	151
5.18	Padrão em Padrão em Relevo fortemente dissecado associado a morros visto da parte alta, entrada de São João Batista	151
6.1	Representação da sobreposição dos mapas de Padrões de relevo, Th, K e Ternário	160
6.2	Caracterização dos lineamentos no Chapadão do Diamante	165
6.3	Blocos rochosos cercados por material cascalho-arenoso	170
6.4	Perfil de material cascalho-arenoso, em área coluvial	171
6.5	Perfis de materiais cascalho-arenosos, sobre a rocha alterada, com presença de matéria orgânica na camada superficial	171
6.6	Camada superficial cascalho-arenosa	172
6.7	Relevos dissecados com camada cascalho-arenosa, setor NW do eixo central	172
6.8	Relevos fortemente dissecados com camada cascalho-arenosa, setor SE do eixo 3	173
6.9	Afloramentos rochosos em área de cristas quartzíticas, imageamento por VANT	174
6.10	Turfeira sobre a rocha, na área do leito do córrego	175
6.11	Destaque para a distinção dos campos de murunduns na paisagem. Imageamento por VANT	176
6.12	Indicação de camada subsuperficial laterítica	176
6.13	Murundum com presença biológica ativa	177
6.14	Escarpas Leste da Serra da Canastra, com depósitos de tálus no sopé	178
6.15	Material areno-argilo ferruginoso, setor W	179
6.16	Material areno-argilo ferruginoso, setor central a NW	179
6.17	Topo plano com material avermelhado, setor W. Imageamento por VANT	180
6.18	Camada superficial cascalhenta, com nódulos concrecionários	181
6.19	Perfis de alteração sobrepostos pela camada cascalhenta e concrecionária	181
6.20	Perfil de materiais cascalho-arenosos com camada orgânica	182
6.21	Panorama de materiais cascalho-arenosos com camada orgânica	182
6.22	Ponto amostral de materiais areno-argilosos indiferenciados, sobre camada laterítica	183
7.1	Transecto A e pontos amostrais	194
7.2	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Alta Vertente do Transecto A	196
7.3	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Média Vertente do Transecto A	197
7.4	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Baixa Vertente do Transecto A	199
7.5	Conjunto de gráficos e triângulo textural, resultantes da análise de granulometria por sedimentação para o Transecto A	200
7.6	Transecto B e pontos amostrais	202
7.7	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Alta Vertente do Transecto B	204
7.8	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Média Vertente do Transecto B (Pontos 4 e 5)	205
7.9	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Média Vertente do Transecto B. (Pontos 6 e 7)	206

7.10	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Baixa Vertente do Transecto B (Pontos 8 a 10)	207
7.11	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Baixa Vertente do Transecto B (Pontos 11 a 13)	208
7.12	Conjunto de gráficos e triângulo textural, resultantes da análise de granulometria por sedimentação para o Transecto B	209
7.13	Transecto C e pontos amostrais	211
7.14	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Alta Vertente do Transecto C	213
7.15	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Média Vertente do Transecto C	214
7.16	Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Baixa Vertente do Transecto C	215
7.17	Conjunto de gráficos e triângulo textural, resultantes da análise de granulometria por sedimentação para o Transecto C	216
7.18	Localização das amostras para análise de DRX	217
7.19	Painel ilustrativo do Transecto A.	227
7.20	Painel ilustrativo do Transecto B	228
7.21	Painel ilustrativo do Transecto C.	229

GRÁFICO

5.1	Distribuição das classes hipsométricas no ChD e entorno	130
5.2	Distribuição das classes de declividade no ChD e entorno	132
5.3	Distribuição das áreas de padrões de relevo	138
5.4	Distribuição das áreas de classes de curvatura vertical	152
5.5	Distribuição das áreas de classes de curvatura vertical	153
6.1	Distribuição das Classes de geocoberturas (Área %)	168
6.2	Distribuição das áreas ocupadas pelas geocoberturas em cada unidade de relevo	186
6.3	Diferenças de média e os desvios padrão de altitude para cada classe de geocoberturas	187
6.4	Diferenças de média e os desvios padrão de declives para cada classe de geocoberturas	188
6.5	Diferenças de média e os desvios padrão de curvatura vertical para cada classe de geocoberturas	189
7.1	Mineralogia da fração argila para a Amostra A4	219
7.2	Mineralogia da fração argila para a Amostra A13	220
7.3	Mineralogia da fração argila para a Amostra B01	221
7.4	Mineralogia da fração argila para a Amostra B03	221
7.5	Mineralogia da fração argila para a Amostra B17	222
7.6	Mineralogia da fração argila para a Amostra B31	223
7.7	Mineralogia da fração argila para a Amostra C02	224
7.8	Mineralogia da fração argila para a Amostra C16	225
7.9	Mineralogia da fração argila para a Amostra C27	225

MAPA

1.1	Localização da Área de Estudo	23
3.1	Localização dos pontos de controle e áreas amostrais	79
4.1	Unidades Litológicas do Chapadão do Diamante e Entorno	120
4.2	Principais Bacias Hidrográficas do Chapadão do Diamante	122
5.1	Hipsometria do ChD e entorno	128
5.2	Delimitação do Planalto do Diamante	129
5.3	Representação espacial da DT	131
5.4	Declividade do ChD e entorno	133
5.5	Representação espacial do ICR	135
5.6	Representação espacial da DD	136

5.7	Representação dos Padrões de Relevo do ChD e entorno	139
5.8	Representação da curvatura vertical	154
6.1	Mapa de concentrações de Th no ChD	161
6.2	Mapa de concentrações de K no ChD	162
6.3	Mapa Ternário (Th, K, U) do ChD	163
6.4	Materiais Superficiais no Chapadão do Diamante	169

QUADRO

2.1	Alguns parâmetros básicos da superfície terrestre	40
2.2	Características gerais dos principais argilominerais e óxidos / hidróxidos	52
3.1	Trabalhos de campo realizados	77
3.2	Relação estabelecida entre a hierarquização do Relevo (ROSS, 1992), o campo e os parâmetros de análise	81
3.3	Síntese das análises morfoestruturais e morfoesculturais	83
3.4	Parâmetros para classificação do relevo	84
3.5	Definições para aplicação do KDE	86
3.6	Significado dos índices de DD, ICR e DT	87
3.7	Classificação dos resultados do produto DDxICR	87
3.8	Expressão a ser utilizada na Calculadora de Campo	89
3.9	Classificação de curvatura vertical segundo Dos Anjos et al. (2011)	91
3.10	Amostras selecionadas para análise de DRX	106
3.11	Especificações técnicas – Difractometria de Raios X	106
6.1	Classes de geocoberturas e aspectos predominantes	167
7.1	Pontos amostrais do Transecto A	193
7.2	Pontos amostrais do Transecto B	203
7.3	Pontos amostrais do Transecto C.	212

TABELA

3.1	Denominações das frações granulométricas segundo seus diâmetros	99
3.2	Denominações das frações granulométricas segundo seus diâmetros para representação da curva granulométrica	100
6.1	Estatística Zonal aplicada para os valores de altitude em cada classe de geocoberturas	187
6.2	Estatística Zonal aplicada para os valores de declividade em cada classe de geocoberturas	188
6.3	Estatística Zonal aplicada para os valores de curvatura vertical em cada classe de geocoberturas	189

PERFIL

5.1	Secção A-B, área central do ChD	140
5.2	Secção C-D, área NE do ChD	140
5.3	Secção E-F, área SW do ChD	140
5.4	Secção G-H, área S do ChD	141
5.5	Secção I-J, área NW do ChD.	141

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ChD – Chapadão do Diamante

CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DRX – Difractometria de Raios X

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservao da Biodiversidade

IGC – Instituto de Geociências

IGU - União Geográfica Internacional

ITC – *International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences*

MDE – Modelo Digital de Elevao

MDT – Modelo Digital do Terreno

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PARNA – Parque Nacional

PSTS – Parâmetros da superfície terrestre

SIG – Sistemas de Informao Geográfica

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

VANT – Veículo aéreo não tripulado

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	15
1. APRESENTAÇÃO	16
1.1. Introdução	16
1.2. Objetivos	17
1.3. Justificativa	18
1.4. Hipótese.....	21
1.5. A Área de Estudo	21
CAPÍTULO II	24
2. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	25
2.1. Introdução	25
2.2. Breves considerações a respeito da história da geomorfologia	26
2.3. Estudo do relevo: uma abordagem teórica a partir da cartografia geomorfológica e análise geomorfométrica no século XXI.....	29
2.3.1. <i>Principais sistemas de mapeamento geomorfológico</i>	30
2.3.2. <i>Representação geomorfológica face às geotecnologias</i>	34
2.3.3. <i>Aplicações da geomorfometria no estudo geomorfológico</i>	37
2.3.4. <i>Aplicações de MDE/MDT em cartografia geomorfológica</i>	42
2.4. Materiais Superficiais ou Geocoberturas: aspectos teóricos e metodológicos	43
2.4.1. <i>Intemperismo e gênese</i>	46
2.4.2. <i>Mapeamento e espacialização</i>	54
2.4.3. <i>Dados aerogamaespectrométricos e o seu potencial para a discriminação de materiais superficiais ou geocoberturas</i>	60
CAPÍTULO III.....	65
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	66
3.1. Introdução	66
3.2. Lista de materiais	70
3.3. Montagem do banco de dados.....	72
3.3.1. <i>Etapa de gabinete</i>	72
3.3.2. <i>Etapa de campo</i>	75
3.4. Tratamento e Análise dos Dados.....	80
3.4.1. <i>Etapa de mapeamento do relevo</i>	80
3.4.2. <i>Etapa de mapeamento das geocoberturas</i>	92
3.4.3. <i>Etapa de mapeamento dos aspectos estruturais</i>	95
3.4.4. <i>Etapa de análise espacial e aplicação de estatística descritiva</i>	97
3.4.5. <i>Etapa de análises laboratoriais</i>	98
CAPÍTULO IV	107
4. CARACTERIZAÇÃO DO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA: síntese litoestrutural e aspectos naturais relevantes	108

4.1.	Introdução	108
4.2.	Aspectos Litoestruturais regionais	108
4.2.1.	<i>Faixa Brasília Meridional (FBM)</i>	110
4.2.2.	<i>Grupo Canastra</i>	112
4.3.	Aspectos climáticos, hidrográficos e vegetacionais do ChD.....	121
CAPÍTULO V		125
5.	RESULTADOS – ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA: uma abordagem a partir do mapeamento geomorfológico aliado a análise geomorfométrica	126
5.1.	Introdução	126
5.2.	Caracterização dos parâmetros morfométricos	127
5.3.	Mapa de Padrões de Relevô	137
5.4.	Mapa de Curvatura Vertical	152
CAPÍTULO VI.....		156
6.	RESULTADOS – ESPACIALIZAÇÃO DOS MATERIAIS SUPERFICIAIS OU GEOCOBERTURAS DO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA: análise integrada a partir de imagens do <i>Google Maps/Earth</i> , dados aerogamaespectrométricos e levantamentos de campo	157
6.1.	Introdução	157
6.2.	Caracterização aerogamaespectrométrica	158
6.3.	Caracterização estrutural	164
6.4.	Mapa de Geocoberturas.....	166
6.5.	Análise espacial por meio de estatística zonal descritiva.....	184
CAPÍTULO VII		191
7.	RESULTADOS – ANÁLISE DOS MATERIAIS SUPERFICIAIS OU GEOCOBERTURAS DE TRÊS VERTENTES NO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA: uma abordagem granulométrica e de difratometria de Raios X.....	192
7.1.	Introdução	192
7.2.	Caracterização granulométrica	193
7.3.	Caracterização da fração argila por difratometria de Raios X	217
CAPÍTULO VIII		230
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS: uma discussão inicial sobre os aspectos físicos integrados da superfície do Chapadão do Diamante, Serra da Canastra	231
REFERÊNCIAS		234
ANEXOS.....		249

CAPÍTULO I



1. APRESENTAÇÃO

1.1. Introdução

O Chapadão do Diamante (ChD), toponímia designada para caracterizar a área de topo da Serra da Canastra em sua porção oriental, é uma superfície peculiar constituída predominantemente por rochas quartzíticas. Trata-se de um monumento geomorfológico de grande exuberância quando associado às escarpas abruptas que o circundam, cujo conjunto define a Serra da Canastra. Esta forma de relevo faz parte de um outro grande complexo estrutural que também engloba a Serra da Babilônia e os vales associados, o qual determina a delimitação da Unidade de Conservação do Parque Nacional da Serra da Canastra (PARNA Canastra).

Do ponto de vista geomorfológico e paisagístico, a superfície do ChD torna-se de grande interesse devido à sua dinâmica observada, que evidencia na paisagem a ocorrência de superfícies aplainadas, vales encaixados com profundos depósitos aluviais, cristas quartzíticas com depósitos de tálus; além de marcas relacionadas à atividade estrutural (possível neotectônica), tais como lineamentos de feições e linhas de fraturas. Tais configurações mostram a importância do aprofundamento dos estudos acadêmicos, o que deve corroborar para o enriquecimento científico sobre a área, atualmente, carente de trabalhos voltados especificamente à análise geomorfológica e demais componentes do meio físico. Na literatura recente, observa-se uma lacuna de conhecimento detalhado ou semi-detalhado (escalas maiores que 1:100.000) a respeito da dinâmica superficial do ChD, o mesmo ocorre com a abordagem geológica.

De um lado, tal situação se confere em função de ser uma área protegida e desapropriada por decreto federal, e de outro, pela pouca importância que se atribuiu a essa superfície, enquanto dotada de elementos e processos geomorfológicos simples e complexos, os quais devem ser estudados e documentados, com a finalidade de contribuir para o papel educativo na instância de área protegida e na construção de conhecimento científico como contributo às futuras pesquisas em âmbito acadêmico.

Tendo em vista a importância da temática, uma vez que se trata de um assunto multidisciplinar, cujos resultados também podem contribuir em diferentes áreas do conhecimento, principalmente no que se refere ao campo ambiental e às decorrentes mudanças ambientais em diferentes escalas de tempo e espaço, propôs-se a realização desta pesquisa sobre os aspectos

geomorfológicos e do meio físico no ChD na região da Serra da Canastra. O estudo integrado de tais aspectos inclui o substrato geológico-estrutural, responsável por condicionar o modelado; os padrões de relevo, resultantes da interação entre os aspectos endógenos e exógenos; e as geocoberturas ou materiais superficiais, os quais constituem o manto de alteração superficial que recobre o relevo terrestre. Assim, parte-se do pressuposto de que tais elementos são interdependentes entre si, e o seu entendimento permite uma análise geomorfológica mais aprofundada da área de estudo.

O papel das geotecnologias torna-se imprescindível nesta pesquisa, e desta forma, como eixo metodológico para a definição de um estudo geomorfológico moderno, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem lançar mão de diversos produtos e ferramentas específicos que delineiam a proposta da tese. A abordagem destes elementos em conjunto com a pesquisa teórica e experimental, de observação, com análises laboratoriais e dados comparativos, ofertam a capacidade de sistematização de aspectos geomorfológicos importantes sobre a referida área de estudo. Nos próximos tópicos serão apresentados os objetivos, justificativa e hipótese inicial lançada a partir das observações empíricas já realizadas.

1.2. Objetivos

Objetivo geral

O objetivo principal da tese se baseia no entendimento e interpretação da paisagem e da dinâmica e evolução geomorfológica do Chapadão do Diamante, na Serra da Canastra, tendo em vista a análise integrada do meio físico, a partir da espacialização dos aspectos litoestruturais, formas de relevo e materiais superficiais (geocoberturas) associados.

Objetivos específicos

- Efetuar a caracterização física do ChD, com a elaboração de mapas temáticos a partir de dados primários e secundários: mapa de unidades litológicas, mapa de unidades de relevo e mapa de geocoberturas, para sintetizar as suas informações naturais.

- Realizar a análise geomorfométrica a partir da utilização de um Modelo Digital de Terreno (MDT) em Sistema de Informação Geográfica (SIG), para servir como base ao entendimento geomorfológico da área.
- Compreender a paisagem por meio da análise espacial da área, associando os elementos derivados do MDT com as unidades de relevo e geocoberturas, para melhor compreender a paisagem.
- Caracterizar as geocoberturas para subsidiar a análise da dinâmica e evolução da área de estudo a partir de procedimentos laboratoriais, com o intuito de ampliar as informações sobre o ChD.

1.3. Justificativa

Para a compreensão da evolução do relevo no ChD é necessário que antes se identifique as suas características geomorfológicas, a distribuição espacial dos fenômenos e a sua correlação, para servir como base para trabalhos futuros e mais verticalizados. Analisar a morfologia da área é um processo essencial que auxilia no entendimento da disposição espacial das formas de relevo, fator extremamente importante na avaliação da paisagem (RODRIGUES, 1998). Os aspectos geomorfométricos, especificamente, são constituintes do campo de quantificação do relevo, cujo significado, atualmente, favorece o desenvolvimento da ciência geomorfológica, que busca diminuir o grau de abstração em suas análises, o que torna os resultados mais significativos. Entretanto, a análise geomorfométrica por si só, pode se tornar empobrecida quando faltam elementos e procedimentos metodológicos próprios do estudo geomorfológico clássico, o qual conjuga a análise qualitativa, levantamentos de campo, observações de processos e feições *in situ*, fatores que são extremamente dependentes do aporte teórico e conhecimento empírico do pesquisador.

Nesse sentido, a razão de ser da Geomorfologia constitui-se por um movimento complexo e dinâmico, sendo possível observar, desde meados do Século XX, uma tendência de ruptura de um paradigma metodológico, na tentativa de ultrapassar a barreira da dualidade entre a escola alemã e a escola anglo-americana. Abreu (1983) foi coerente em suas palavras, sinalizando a convergência de uma teoria geral da geomorfologia, a partir das duas principais correntes epistemológicas, apesar das diferenças ainda serem bastante nítidas e significativas. O autor afirma que

[...] a teoria geomorfológica, em um sentido moderno originou-se a partir de duas fontes principais, que embora apresentando interferência uma sobre a outra, evoluem frequentemente de maneira paralela, convergindo apenas nos últimos trinta anos para a busca de um quadro de referências mais global. O não reconhecimento deste fato cria sérias dificuldades ao estabelecimento de uma epistemologia da geomorfologia atual (p. 52).

A Geomorfologia é uma ciência que possui bases teóricas consolidadas, quando diz respeito à metodologia científica, mas que permite a associação de métodos e técnicas diferenciadas para o seu avanço. Acredita-se que a convergência de um método quantitativo e qualitativo se faz necessária (ABREU, 2003), e a característica de objeto norteador e síntese da pesquisa, ao mesmo tempo, encaixa-se na cartografia geomorfológica (TRICART, 1965; ROSS, 2007). A representação do relevo é de grande importância à medida em que a análise espacial dos fatos geomórficos indica a gênese da paisagem, interdependências de processos e correlações entre a forma, o substrato, o clima e o material superficial (ROSS, 1992), mesmo que todos esses aspectos não sejam representados em um único mapa, mas em uma série de mapas correlacionáveis.

A cartografia geomorfológica e análise do relevo têm passado por uma série de inovações, desde o início da década de 1990 do século XX, e no século XXI parece atingir um grande progresso, decorrente do desenvolvimento de plataformas computacionais, que permitem a realização de análises espaciais simples e complexas. Inúmeros são os autores que apoiam suas pesquisas em mapeamentos e classificações digitais do relevo, com destaque à análise geomorfométrica, realizados em ambiente SIG, no intuito de otimizar os trabalhos e elevar a qualidade das informações, tais como Carneiro e Souza (2003); Vozenílek (2003); Schmidt e Hewitt (2004); Gustavsson (2006); Reuter, Wendroth, Kersebaum (2006); Santos et al. (2006); Iwahashi e Pike (2007); Evans, Hengl and Gorsevski (2009); Grecu (2009); MacMillan e Shary (2009); Hengl e Evans (2009); Pavlopoulos, Evelpidou e Vassilopoulos (2009); Silva e Rodrigues (2009; 2010); Augustin, Fonseca e Rocha (2011); Evans (2012); Martins (2013); Camiz e Poscolieri (2015); Martins e Rodrigues (2016).

Destaca-se, portanto, o estudo morfológico pautado na identificação dos parâmetros geomorfométricos do terreno, sendo a altitude, declive, curvatura e aspecto, os principais atributos topográficos utilizados. Nesse sentido, o Modelo Digital de Elevação ou de Terreno (MDE/MDT) fornece subsídios importantes para esse tipo de estudo, pois, a partir do seu processamento, é possível obter uma descrição quantitativa do relevo (MACMILLAN, SHARY, 2009; CAMIZ, POSCOLIERI, 2015).

Além disso, deve-se buscar compreender as características da superfície do ChD enquanto parte de um conjunto de relevos serranos, os quais apresentam forte controle estrutural quando observados regional e localmente, com notável presença de falhas, lineamentos, rede de drenagem com padrões controlados e outros indicadores estruturais. Adicionalmente, no caso mais específico, realizar o levantamento de materiais superficiais associados a eventos recentes, tais como materiais alóctones e autóctones, entre eles, os colúvios, as turfeiras e os depósitos aluviais, que permitem identificar a dinâmica quaternária e também os processos atuais.

No que tange aos materiais superficiais ou geocoberturas, estes são os testemunhos de processos geomorfológicos ocorridos e que ainda ocorrem na superfície terrestre, capazes de oferecer indícios da evolução e dinâmica do relevo (CAMPY; MACAIRE, 1989; QUEIROZ NETO, 2001). Trabalhar tais aspectos no ChD é relevante por trazer à tona o papel dos agentes do intemperismo sobre as rochas quartzíticas, evidenciando a relação clima-rocha-relevo, bem como induzindo ao entendimento da área enquanto um sistema geomorfológico, composto pelas formas, pelos processos e pela relação entre ambos, o qual é articulado pelos sistemas antecedentes climático, geológico, biogeográfico e antrópico (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Tendo em vista a realização de pré-trabalhos de campo para reconhecimento e observações *in situ* da área, as discussões iniciais pautaram-se na ideia de que o ChD é formado por uma superfície com expressivo gradiente topográfico, indicando uma dependência ao substrato e, por conseguinte, aos processos geomórficos atuantes, onde, existe estreita relação litologia-relevo-material superficial. Outras observações deram indícios de intensa atividade biológica de escala micro e macrofaunística, bem como de distribuição de microrelevos e formações vegetacionais com limites bem demarcados.

Sob esse ponto de vista, procura-se discutir, em um primeiro momento, as relações existentes entre os aspectos litoestruturais, as formas de relevo e os materiais superficiais que as recobrem, na ânsia de responder se é possível estabelecer uma correlação entre tais aspectos a partir da análise espacial realizada por meio de um SIG, com a utilização de um MDT e algoritmos semi-automatizados. Trata-se de um desafio que compreende a capacidade de congregação de habilidades teóricas, levantamentos de campo e utilização de técnicas de geoprocessamento e análises laboratoriais.

Portanto, entende-se que a análise espacial e integrada dos elementos físicos do Chapadão do Diamante, como relevo, rochas e materiais superficiais, deve permitir uma melhor compreensão da paisagem, considerando que tais elementos exercem, na área de estudo, uma relação de interdependência.

1.4. Hipótese

Há uma relação de interdependência entre o substrato geológico-estrutural e a distribuição espacial das formas de relevo e geocoberturas no Chapadão do Diamante.

1.5. A Área de Estudo

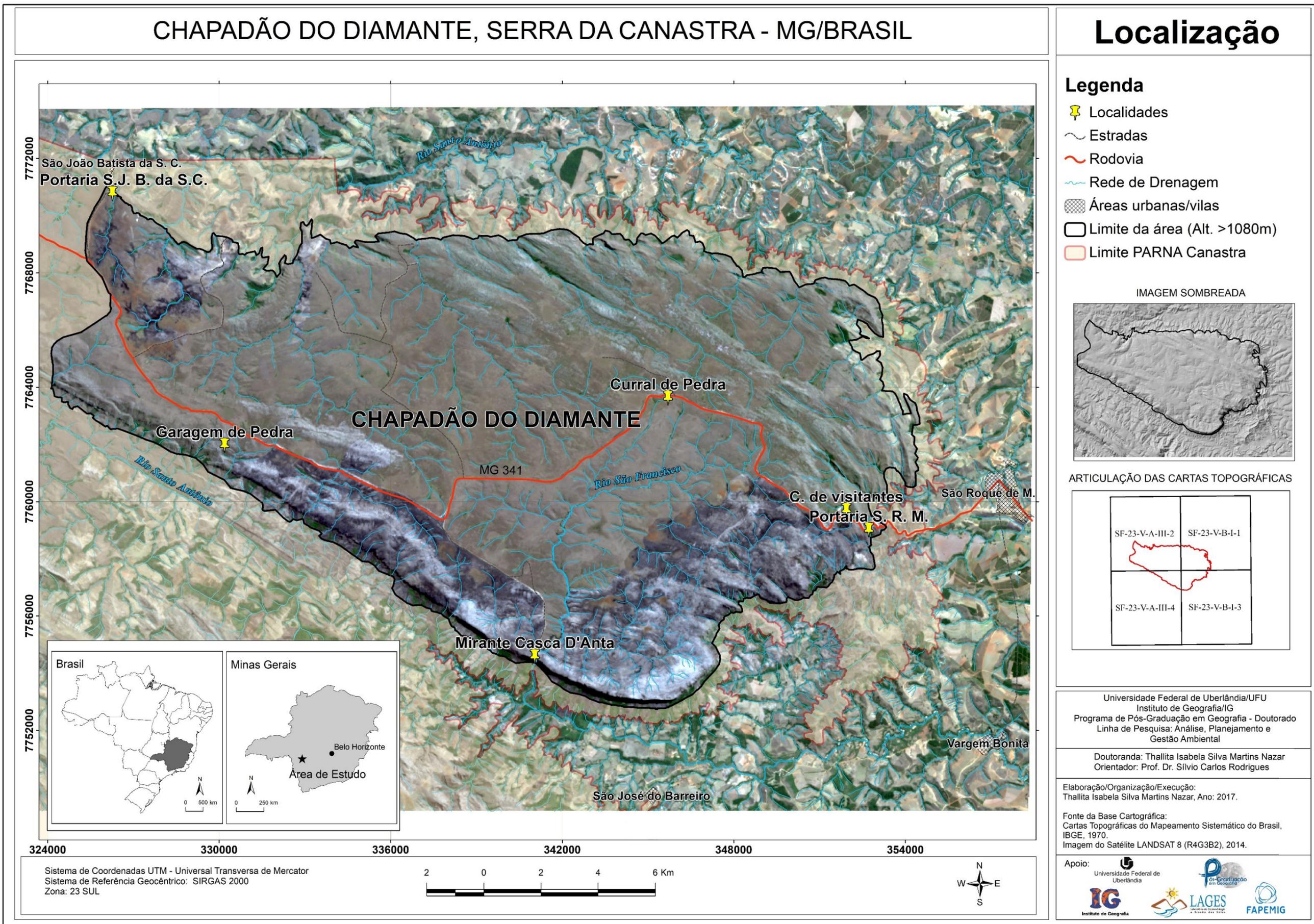
O Chapadão do Diamante está localizado no município de São Roque de Minas, cerca de 320 km de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, e aproximadamente 300 km de Uberlândia, no Triângulo Mineiro. A sua delimitação foi feita a partir da cota altimétrica de 1080 m, em função desta ser o limite de altitude a partir do qual se iniciam as escarpas que circundam a área, perfazendo um total de 333 km². O Mapa 1.1. mostra as localidades, cidades e vilas do entorno, bem como as vias de acesso.

Conforme classificação de Ab'Sáber (2003), a Serra da Canastra faz parte da área de transição do Domínio das Áreas Mamelonares Tropical-atlânticas Florestadas para o Domínio Morfoclimático dos Chapadões Tropicais Interiores com Cerrados e Florestas-galeria. Sob a classificação de Ross (2006), a região integra o compartimento de relevo dos Planaltos e Serras de Goiás-Minas, inserida no contexto da Faixa Brasília. Saadi (1991), em sua proposta de compartimentação morfoestrutural para a Porção Meridional do Cráton do São Francisco e a Bacia do Alto São Francisco, considera a Serra da Canastra situada no compartimento dos Planaltos Marginais Elevados.

Na perspectiva morfotectônica, de acordo com este último autor, a região integra o Planalto da Serra da Canastra, que constitui um apêndice do Planalto do Alto Paranaíba. Estas estruturas, outrora, se juntavam através de um grande planalto na direção NNW, tendo sido soerguidas em pelo menos 400 m de altura (idade máxima do Plioceno). Foram, posteriormente, separadas por uma faixa de cisalhamento N50W, que rebaixou a área delimitada localmente pelos rios Samburá e Mutuca (associado ao período Quaternário). Encontram-se fraturadas em várias direções tectônicas (períodos Terciário e/ou Quaternário). O topo aplainado da Serra da Canastra é correlacionado por Saadi (1991) à Superfície Sul-Americana, considerando que após a sedimentação Cretácea, desenvolveu-se uma extensa superfície de erosão (Paleógena).

Segundo o mapa de compartimentos do relevo apresentado pelo MMA/IBAMA (2005), a Serra da Canastra compreende o Compartimento das Chapadas, que pode ser subdividido em Chapadão do Zagaia a oeste e Chapadão do Diamante a leste, constituídos por feições do tipo aplainadas, com vertentes suaves e cristas rochosas. Para Souza e Rodrigues (2014), a área situa-se no compartimento morfoestrutural da Faixa Canastra, compreendida pela Unidade Morfoescultural de Superfície Cimeira, correspondente ao topo da Serra da Canastra. Este conjunto, associado à Serra da Babilônia, está sob demarcação territorial referente à unidade de conservação de proteção integral do Parque Nacional da Serra da Canastra (PARNA Canastra), criado em 1972 (MMA/IBAMA, 2005). Anteriormente a esta data, a região era ocupada predominantemente por atividades voltadas à pecuária extensiva, sendo que hoje, aproximadamente 40% da área encontra-se desapropriada e controlada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), enquanto o restante, apesar de pertencer ao parque, ainda é ocupada com atividades agropecuárias de uso restrito.

Mapa 1.1: Localização da Área de Estudo



CAPÍTULO II



2. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

2.1. Introdução

Conceitualmente, a geomorfologia é a ciência que se ocupa do estudo do relevo terrestre, cujo objeto de interesse é claramente definido e apresenta um significativo e diversificado conteúdo a ser analisado e compreendido (CHRISTOFOLETTI, 1980; PENTEADO, 1983; BECKINSALE; CHORLEY, 1991; MARQUES, 2013). Faz parte da ampla gama de disciplinas que se enquadram no título geral de ciências da terra, que inclui a geologia e a geografia, constituindo-se como uma ciência integradora ao que reflete o estudo dos processos formadores e modeladores do relevo, a partir da abordagem das características que o compõem, tais como, as litológicas, as tectônicas, as climáticas, as hidrológicas e as que envolvem as coberturas superficiais ou materiais superficiais inconsolidados (SILVA; RODRIGUES, 2009; MARTINS, 2013).

Neste sentido, o interesse geomorfológico tem a necessidade de compreensão da origem e funcionamento das paisagens, cujo aporte se revela no modelado das formas de relevo e sua relação com as demais componentes da natureza. De acordo com Griffiths, Smith e Paron (2011), a ênfase geomorfológica no estudo das paisagens significa que, em comum com o resto das ciências da terra, sempre houve a necessidade de compilar dados espaciais e, em seguida, apresentar esses dados em forma de plano, tais como mapas, destacando-se o papel da cartografia geomorfológica.

Acredita-se que para uma compreensão abrangente da paisagem, como complemento do estudo geomorfológico, deve-se destacar a análise e espacialização dos materiais superficiais ou geocoberturas. Estes elementos são essenciais em uma abordagem ampla da geomorfologia, pois constituem, de modo geral, a resposta do substrato ao clima existente associado à dinâmica morfoestrutural (SAADI, 1991; RODRIGUES, 1998). Tal entendimento parte do pressuposto de que a relação entre os materiais superficiais e o relevo, conforme coloca Espindola (2010), é de caráter indissociável na gênese e explicação das paisagens.

Gerrard (1993) afirma que a adoção de uma abordagem integrada que envolve a informação dos materiais superficiais ou solos juntamente aos conceitos geomorfológicos, pode contribuir no entendimento da paisagem e suas transformações, ou seja, da forma como as mudanças acontecem e dos fatores que as controlam. Sob a perspectiva de Espindola (2010, p. 68), “solos

e relevo agem solidariamente, o tempo todo, na modificação das paisagens terrestres, cujo passado no mundo intertropical é difícil de ser resgatado sem envolver uma grande dose de subjetividade”.

Ainda a esse respeito, Gerrard (1993) considera que a maioria dos sistemas geomorfológicos são extremamente complexos, pois refletem as inter-relações entre as variáveis como clima, geologia, solos, vegetação e morfologia; característica que impossibilita a elaboração de sínteses realmente precisas da evolução da paisagem, uma vez que algumas formas de relevo refletem o efeito da evolução em longos períodos de tempo, enquanto outras, estão sendo erodidas e modeladas a partir da dinâmica atual.

Objetiva-se alcançar no presente capítulo, uma síntese das técnicas de análise geomorfológica nas últimas décadas (que se considerou mais relevantes para esta pesquisa), especialmente em relação ao desenvolvimento da cartografia geomorfológica e dos estudos geomorfométricos do relevo; bem como os aspectos que permeiam o estudo dos materiais superficiais e técnicas para análises laboratoriais e sua espacialização. Em tal perspectiva, intenta-se ao levantamento de uma base teórico-metodológica para nortear a execução da tese de doutorado, abordando como tais elementos contribuem para o entendimento dos processos que atuam na evolução do modelado paisagístico.

Em observância à característica teórica deste capítulo, os procedimentos metodológicos incluem o levantamento bibliográfico de artigos, dissertações, teses e capítulos de livros pertinentes ao tema; a partir da leitura e realização de fichamentos. Salienta-se que, apesar das limitações e a grande quantidade de artigos e trabalhos publicados, aliados à velocidade da informação na sociedade atual, procurou-se elaborar um ensaio teórico que aproxime e conduza a um direcionamento das pesquisas geomorfológicas atuais.

2.2. Breves considerações a respeito da história da geomorfologia

As discussões acerca do desenvolvimento e edificação da teoria geomorfológica são bastante consolidadas, aliás, constituem tema de grande relevância, já tratado por inúmeros pesquisadores brasileiros, entre os quais destacam-se Abreu (2003), cuja publicação original data de 1983; Christofolletti (1973, 1980); Vitte (2008, 2010); Casseti (2005); Salgado, Biazini e Hennig (2008); e Oliveira e Salgado (2013).

De acordo com Christofolletti (1980) e Gama e Dimuccio (2013), os estudos que envolvem a explicação do relevo terrestre iniciaram-se, de forma não muito precisa, a partir dos Séculos XVI e XVII com algumas observações isoladas, destacando-se nomes como Leonardo da Vinci (1452-1519) e Bernard Palissy (1510-1589). Entretanto, foi a partir do Século XVIII que surgiram considerações em maior número e importância, podendo ser encontradas teorias que desencadearam a evolução da história moderna da geomorfologia, de base europeia, que surgiram, principalmente, na Grã-Bretanha e Alemanha.

Alguns nomes são considerados os fundadores da geomorfologia moderna, entre eles, cita-se o escocês James Hutton (1726-1797), um dos primeiros a exprimir com clareza a evolução das formas da superfície da Terra, cujas ideias foram disseminadas a partir de publicações de seus críticos e amigos, tais como Charles Lyell (1797-1875), com a teoria do atualismo empenhada pela obra *Principles of Geology* de 1830; e John Playfair (1748-1819), com a obra *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth* em 1802. As teorias que passaram a se incorporar no referido período histórico foram responsáveis pelo início da consolidação da ciência do estudo da paisagem ou Geomorfologia, que alçou inúmeros representantes na defesa do viés fluvialista (CHRISTOFOLETTI, 1980; BLOMM, 1972; GAMA; DIMUCCIO, 2013).

De outro lado, Abreu (2003), Christofolletti (1980) e Gama e Dimuccio (2013) assinalam que, na mesma época, se desenvolvia a escola de Geografia Alemã, que recebeu grande influência de acadêmicos que possuíam uma formação científica no campo da Geologia, tais como Ferdinand Von Richtofen (1833-1905), cujo ensino da Geografia e dos seus alunos se centrou no estudo da morfologia terrestre, e Albrecht Penck (1858-1945), que partiu da abordagem genética das formas do relevo com a publicação de *Morphologie der Erdoberfläche* (1894).

Tendo em vista esse período e os nomes de destaque citados, conforme aponta Abreu (2003), afirma-se que a teoria geomorfológica se originou e evoluiu a partir do entroncamento de duas concepções teóricas principais, que apesar de apresentarem interferência uma sobre a outra, se desenvolvem de maneira paralela, e que, a partir de meados do século XX, têm convergido no intuito de aprimorar o conhecimento em um sentido mais global. Apesar disso, as diferenças entre as linhagens são nítidas e significativas, as quais definem o campo de interesse da teoria e do método de pesquisa em geomorfologia, sendo denominadas como: a corrente anglo-americana, embasada pelos pressupostos davisianos; e a corrente alemã, que após Richtofen e A. Penck, teve como precursores Walther Penck e Siegfried Passarge.

Abreu (2003) afirma que no que se refere à evolução dessas duas linhas conceituais, a anglo-americana, evidenciada pela aproximação do Reino Unido e França com os Estados Unidos,

sofreu na primeira metade do século XX os impactos das “revoluções científicas”, com vistas à mudanças e definição de um novo paradigma; ao passo que a linhagem alemã, que também incorporou as publicações dos russos e poloneses, mostrou uma evolução mais contínua, no sentido de enriquecimento do seu paradigma, construindo uma complexidade metodológica e operacional, além de conservar o mesmo núcleo comum desde a sua origem.

Beckinsale e Chorley (1991) e Gama e Dimuccio (2013) reiteram que o pós-segunda guerra, foi o marco para um movimento renovador da geomorfologia anglo-americana, devido às fortes críticas à teoria davisiana, proferidas especialmente por geomorfólogos alemães, houve uma reavaliação da teoria em uma perspectiva da adequação dos métodos, a partir da adoção de termos e análises defendidas pelos alemães. Passaram a introduzir em seus estudos a importância de elementos climáticos e processuais, a relação entre processos e formas, e a visão sistêmica em geomorfologia.

Na visão de Abreu (1983), apesar dessa confluência, o resultado do desenvolvimento diferenciado das duas concepções leva à constatação de que pelo lado anglo-americano, observam-se teorias e métodos de análises quantitativas como instrumentos de pesquisa; enquanto o lado germânico favorece um sistema de classificação conceitual do relevo expresso em suas divisões formais, valorizando o método da cartografia geomorfológica, bem como a abordagem de uma disciplina que conjuga o conteúdo formal da geomorfologia em um sistema de análise ambiental, que integra o homem e se torna instrumento de articulação teórica com a ciência geográfica.

No Brasil, do ponto de vista da epistemologia da geomorfologia brasileira, Vitte (2010) enumera como um marco teórico e metodológico, a publicação do clássico trabalho de Ab’Sáber (1969) intitulado: “Um Conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas sobre o Quaternário”, que exerce influência nas pesquisas geomorfológicas até os dias atuais. Tal trabalho evidencia a posição do autor como quem incorpora e desenvolve as proposições da linhagem epistemológica germânica no Brasil. A proposta de Ab’Sáber (1969) estabelece como ponto de partida dos estudos em geomorfologia a compartimentação da pesquisa em três níveis de abordagem: o nível da compartimentação topográfica, nível da estrutura superficial das paisagens e, por último, o nível da fisiologia da paisagem.

Além disso, como filiado da linhagem soviético-alemã no país, também se destaca Jurandir Ross, cujos trabalhos são referenciais metodológicos nos estudos das formas de relevo e na cartografia geomorfológica, uma vez que o autor aperfeiçoou uma metodologia a partir de sua

experiência no projeto RADAM BRASIL, que culminou em uma nova forma de classificação do relevo brasileiro (VITTE, 2010; MARTINS, 2013).

2.3. Estudo do relevo: uma abordagem teórica a partir da cartografia geomorfológica e análise geomorfométrica no século XXI

Para Evans (2012), quando se trabalha atualmente com mapeamento do relevo, a tendência é não apenas a descrição e espacialização das formas com base em informações interpretativas e empíricas, mas além destas, procura-se extrair informações quantitativas da superfície terrestre, hoje possível com a utilização de modelos digitais do terreno (MDT) ou modelos digitais de elevação (MDE). Neste sentido, de acordo com Hugget (2007), o estudo das formas do relevo passa por duas abordagens principais que incluem a descrição (inventário de campo e mapeamento morfológico) e a representação matemática (geomorfometria).

Este último autor também enfatiza a importância dos trabalhos de campo como a única maneira de apreciar plenamente as formas de relevo, e que, apesar das técnicas de observação parecerem antiquadas atualmente, muito pode ser apreendido a partir das descrições de campo, esboços, leituras de mapas e elaboração de mapeamentos. Otto e Smith (2013) afirmam que as observações de campo são a maneira mais direta de apreciar o caráter de uma paisagem permitindo uma base para a avaliação do terreno e análise geomorfológica, e apesar do mapeamento de campo ser subjetivo por natureza e afetado pelas habilidades do pesquisador, ele permite que se familiarize com a paisagem. Ainda na visão de Otto e Smith (2013), este é um aspecto crucial na investigação exploratória do relevo, por meio da observação direta das morfologias de superfície e também subsuperficiais, pois permitem o desenvolvimento de um “modelo mental” que será incorporado à posterior interpretação e análise. A importância dos trabalhos de campo é indicada por diversos outros autores, tais como Ross (1992); Rodrigues (1998); Gustavsson (2005); Augustin, Fonseca e Rocha (2011), Evans (2012) e Martins e Rodrigues (2016), sendo uma etapa essencial da pesquisa geomorfológica.

Por conseguinte, a geomorfometria é abordada como uma componente considerável na análise do terreno e na modelagem de superfície, sendo base para a cartografia geomorfológica moderna (HUGGET, 2007). De acordo com MacMillan e Shary (2009), a Geomorfometria parte do significado original da geometria, como uma ciência dedicada à análise quantitativa diretamente relacionada à superfície da Terra. Já foi considerada como uma sub-disciplina de

Geomorfologia, mas atualmente, é muitas vezes elevada à categoria de disciplina independente por suas próprias características.

Diante do exposto, antes de abordar as técnicas atuais de mapeamento, é necessário sintetizar alguns dos principais sistemas de cartografia geomorfológica que são decorrentes de processos primordiais da pesquisa do relevo, ao longo da história da Geomorfologia. Procura-se, de maneira objetiva, citar estes sistemas, conduzindo uma leitura mais dinâmica, visto que os originais podem ser consultados e há vasta bibliografia de revisão disponível para o seu aprofundamento, inclusive com suas aplicações.

2.3.1. Principais sistemas de mapeamento geomorfológico

De acordo com Gustavsson (2005), as últimas décadas precedentes ao ano de 2000 caracterizaram-se por levantamentos e mapeamentos geomorfológicos diferenciados por duas abordagens principais. A primeira refere-se à abordagem analítica, que considera informações como a gênese, morfografia, morfometria e cronologia; e a segunda abordagem é a sintética, a qual se baseia em dados analíticos combinados com parâmetros como solo, vegetação e hidrologia. Além destas duas, o autor cita mais uma terceira abordagem, que a chama de pragmática, a qual representa informações específicas relativas a determinado assunto de interesse do pesquisador, sendo um dos seus segmentos mais populares referente ao conceito de riscos naturais (*geohazards*), cujos mapas concentram-se apenas nos recursos e processos responsáveis pelos perigos ao meio ambiente.

Gustavsson (2005) e Ross (2007) afirmam que, embora as metodologias e representações de dados espaciais possuam um passado longínquo, a representação dos aspectos geomorfológicos em mapas não atingiu uma padronização, apesar de diferentes tentativas ocorridas em países europeus e até mesmo no Brasil. Observa-se inúmeros trabalhos voltados à espacialização dos compartimentos de relevo e paisagens, que não alcançam um consenso de padronização das metodologias no geral e, aliado a isso, a grande quantidade de novos dados, informações e ferramentas tecnológicas contribuem para a ascensão de inúmeras propostas de técnicas de mapeamento em diferentes campos. Entretanto, de acordo com Pavlopoulos, Evelpidou e Vassilopoulos (2009), mesmo com todos esses avanços tecnológicos à disposição, o mapeamento do relevo ainda se inicia com a identificação das unidades fundamentais que

compõem a paisagem. O estabelecimento da natureza e do caráter de tais unidades é indispensável para o sucesso de qualquer pesquisa geomorfológica.

O cerne da cartografia geomorfológica necessita estar amparado em um sistema cujo reconhecimento seja pautado nos aspectos essenciais do estudo da geomorfologia, seguindo critérios básicos de representação do relevo. Gustavsson (2005) aponta o papel da União Geográfica Internacional (*International Geographical Union - IGU*), que criou em 1956, no Rio de Janeiro, a Subcomissão de Mapeamento Geomorfológico com esta finalidade: a de definir parâmetros para um método de mapeamento geomorfológico, com o desenvolvimento e adoção de um sistema uniforme de cartografia do relevo.

Conforme Rodrigues (1988), Gustavsson (2005) e Ross (2007), a IGU recomenda que a cartografia geomorfológica deve seguir a representação de quatro níveis de abordagem. Os aspectos a serem apresentados passam pelas informações sobre as formas, a gênese, a idade e as propensões atuais de evolução do relevo e, portanto, decorrem da análise da morfologia, com a morfometria (altimetria, dimensões, desníveis, extensões) e a morfografia (formas do perfil, convexidades, concavidades, retineidades, rupturas, topos, fundos de vale); da morfogênese (degradação ou agradação, e até mesmo neotectônica), da morfocronologia (idade relativa das formas ou datação absoluta) e, por fim, da morfodinâmica (comportamento atual dos processos).

Em síntese, de acordo com Pavlopoulos, Evelpidou e Vassilopoulos (2009), a Subcomissão de Mapeamento Geomorfológico apresentou no ano de 1962 algumas diretrizes para a preparação do mapa geomorfológico, a saber:

- a) O trabalho de campo como uma necessidade básica, a utilização de fotografias aéreas como uma ferramenta recomendada.
- b) Nos mapeamentos nas escalas entre 1:10.000 e 1:100.000, o relevo e suas peculiaridades podem ser representados.
- c) Mapeamento de todos os aspectos do relevo, tais como a morfografia, morfometria, morfogênese e morfocronologia; abordando o passado, o presente e o desenvolvimento futuro do relevo.
- d) A utilização de cores e símbolos conjuntamente para a representação do relevo.
- e) O estabelecimento de uma ordem cronológica para o desenvolvimento das formas.
- f) A inclusão de dados litológicos.
- g) O arranjo da legenda de modo a representar uma ordem genético-cronológica.

- h) O reconhecimento de que os mapas geomorfológicos de detalhe constituem ferramentas importantes e indispensáveis para o desenvolvimento da ciência geomorfológica.

Gustavsson (2005) afirma que após a publicação das diretrizes gerais da IGU, surgiram diversos sistemas de mapeamento geomorfológico, que se tornaram mais comparáveis, uma vez que o conteúdo é aproximadamente o mesmo, mas que possuem grandes diferenças na forma como a informação é apresentada. Dentre os sistemas mais conhecidos, pode-se citar:

- a) **Sistema ITC** – *International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences* (1968) – Verstappen; Van Zuidam (1968): é apropriado para várias escalas; baseado em unidades geomorfológicas que podem ser facilmente distintas em fotografias aéreas; parte-se de um método analítico, tendo como base a análise da morfometria, morfografia, morfogênese e morfocronologia, bem como dá-se atenção à litologia e processos (SALOMÉ; VAN DORSSER, 1982);
- b) **Sistema Francês** – Tricart (1965): estabelece oito ordens de grandeza, com ênfase ao critério escalar, deixando a desejar no que se refere à gênese das formas. É apresentada uma proposta que classifica os fatos geomorfológicos conforme escalas espaço-temporais, ou seja, faz-se uma associação das diversas unidades de relevo da Terra e as diferentes unidades espaço-temporais. Neste sistema, utiliza-se a abordagem de informações morfogenéticas e geológicas, bem como o modelo dos elementos do relevo (RODRIGUES, 1998; FLORENZANO, 2008).
- c) **Sistema IGU** – *International Geographical Union – Unified Key* (1958); Demek (1972): a própria IGU completou o sistema de mapeamento geomorfológico de detalhe internacional. Neste sistema é utilizado o modelo das formas, com ênfase na morfologia e morfogênese, com destaque às características das vertentes (GUSTAVSSON, 2005; FLORENZANO, 2008).

Demek (1967) considera que a grande maioria dos geomorfólogos possui a opinião de que um mapa geomorfológico geral deve ser composto pelas feições morfológicas, compostas pela morfografia (qualitativa) e morfometria (quantitativa); e pela gênese e idade. Porém, este autor acredita que existem opiniões divergentes no que se refere à maneira de melhor representar cada um dos requisitos acima mencionados, o que é possível constatar a partir da diversidade de métodos já anteriormente citados. Neste sentido, decorre de tais diferenças de representação

os principais problemas da cartografia do relevo, o da classificação e sistematização dos fatos geomorfológicos.

Neste sentido, Demek (1967) propõe a sistematização do relevo em três unidades taxonômicas principais:

a) **Superfície geneticamente homogênea:** a menor unidade taxonômica do relevo, que deve ser o resultado de um determinado tipo de processo geomorfológico ou de um conjunto de processos que atuam simultaneamente. Trata-se da unidade menor de representação, ou seja, o elemento da forma de relevo, representado, por exemplo, pela vertente côncava ou convexa de uma colina ou morro. Tal unidade taxonômica é derivada a partir de três tipos de processos: os endógenos, os exógenos e os antrópicos.

b) **Formas do relevo:** compostas pelas superfícies geneticamente homogêneas, que são as formas em si, como a colina, o morro, o terraço de acumulação de um rio, entre outros. Tais formas aparecem devido aos mesmos processos, entretanto, correspondem a estágios de desenvolvimento mais longos.

c) **Tipos do relevo:** constituídos pelas formas de relevo, que são o conjunto de formas que se distinguem sobre determinada superfície, com limites relativamente delimitados, dentro de um mesmo padrão altimétrico, mesma gênese, em dependência da mesma morfoestrutura e conjunto de agentes morfogenéticos, ou seja, compartilham de uma história de desenvolvimento equivalente.

Quando se trata de Brasil, existem várias contribuições para a cartografia geomorfológica, o que indica também a existência de diferentes metodologias e abordagens para o mapeamento do relevo. Pode-se destacar, entre os trabalhos brasileiros, o Projeto RADAMBRASIL, cujo objetivo foi o de mapear de forma integrada os recursos naturais renováveis e não renováveis do Brasil, com a utilização de imagens de radar e de outros sensores (RADAMBRASIL, 1983); e os pressupostos de Jurandy Ross (1992, 2007), baseado na premissa de que o relevo é produto de forças que interagem conjuntamente, tal como são as forças endógenas e exógenas, em concordância com as orientações de Penck a respeito dos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura e também a partir do próprio Projeto RADAMBRASIL.

Ross (1992) propôs a hierarquização do relevo em seis unidades taxonômicas, que considera fundamentalmente o aspecto fisionômico das diferentes formas e tamanhos de relevo, baseado na gênese e na idade dessas formas, tendo em vista o significado morfogenético e as influências estruturais e esculturais no modelado.

Além disso, pode-se apontar o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, órgão que elaborou o mapa geomorfológico de São Paulo a partir de uma metodologia direcionada à abordagem do conceito de sistemas de relevo. A classificação leva em consideração a separação do relevo em conjuntos homogêneos, passando pela subdivisão em províncias, zonas e subzonas (PONÇANO et al., 1979).

Todos os sistemas citados foram elaborados em uma época em que não se imaginava as perspectivas de evolução computacional, mas os mesmos podem ser trabalhados em ambiente digital, com aproveitamento significativo das geotecnologias.

2.3.2. *Representação geomorfológica face às geotecnologias*

A cartografia geomorfológica tem sido, atualmente, amparada pela modelagem digital do relevo, associada, em especial, aos Modelos Digitais de Elevação ou do Terreno e à análise geomorfométrica, o que elevou a qualidade e eficiência do mapeamento dos fatos e fenômenos geomorfológicos. Neste contexto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) contribuem para a dinamização de tal processo, pois permitem a realização de análises espaciais complexas e, conforme Rosa e Brito (1996), oferecem possibilidades de integração de dados obtidos por sensores remotos com diversos outros tipos de informações (laboratoriais, mapeamentos, levantamentos de campo, etc.), permitindo a sua aplicação nos mais variados campos das ciências da natureza. O papel dos SIGs e dos produtos digitais da superfície terrestre se caracterizam como ferramentas que visam contribuir com a análise geomorfológica, a qual, deve aliar sempre a realização de pesquisas de campo, levantamentos e anotações *in situ*, tanto pré quanto pós-mapeamento.

As revoluções tecnológicas atuais têm demonstrado grande avanço nas pesquisas pelo mundo, em especial onde há disponibilidade de ferramentas de alta qualidade e resolução, ao contrário do que se observa no Brasil, onde as ferramentas tecnológicas disponíveis carecem de maior acurácia e precisão. Pavlopoulos, Evelpidou e Vassilopoulos (2009) citam que os scanners a laser, imagens de satélite, fotografias aéreas, fotografias digitais e metodologias de mapeamento digital são capazes de fornecer alta precisão e resolução espacial que permitem aos geomorfólogos modernos produzirem mapas geomorfológicos detalhados, tanto em formato impresso como digital. Os produtos dessas ferramentas fornecem modelos de superfície do mundo real que são geoespacialmente e geometricamente precisos, permitindo

aos geocientistas trabalharem com imagens detalhadas da superfície dentro dos laboratórios, onde os elementos podem ser visualizados, analisados e interpretados.

De acordo com Smith (2011), vários conjuntos de dados são disponibilizados gratuitamente ao redor do mundo, sendo que, no Brasil, é possível encontrar imagens de satélites e dados resultantes de interferometria por Radar (*Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*) de um arco segundo (30 metros de resolução), sendo essa a base digital em 3D de melhor resolução distribuída gratuitamente para o país. Em muitos casos, há trabalhos realizados, como observado em Valeriano (2003); Lopes e Santos (2009); Gaboardi (2009); Magalhães (2013); Arruda, Demattê e Chagas (2013); nos quais aproveita-se a base planialtimétrica brasileira (parceria entre o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e Exército brasileiro, décadas de 1970 e 1980), ao digitalizar os elementos das cartas topográficas que fornecerão bases para o estudo do relevo, tais como, as curvas de nível, a rede de drenagem e os pontos cotados; por oferecem níveis de detalhamento em escalas de até 1:10.000, bem como servirem como base para a construção de Modelos Digitais do Terreno hidrologicamente consistidos (MDT-HC).

Muitos autores defendem a necessidade de substituição das técnicas tradicionais de mapeamento geomorfológico, frente aos avanços das geotecnologias atuais (PIKE; EVANS; HENGL, 2009; HENGL; EVANS 2009; MACMILLAN; SHARY, 2009; HENGL; MACMILLAN, 2009; EVANS, 2012; GRIFFITHS; SMITH; PARON, 2011). O advento das geotecnologias é, para Griffiths, Smith e Paron (2011), um dos motores do ressurgimento do mapeamento geomorfológico a partir da disponibilidade de novas fontes de dados, com a realização de novas técnicas e agilidade no mapeamento, cuja organização passou a acontecer no âmbito de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O incremento de novas fontes de dados espaciais digitais ampliou o acesso (digital) à vastas regiões da superfície da Terra (e, de fato, outros planetas) para estudos que, de outro modo, teriam sido onerosos ou impossíveis de alcançar. A organização de dados espaciais em uma estrutura de dados digitais contribuiu para a qualidade dos mapeamentos, pois a capacidade de utilização de uma sequência de “camadas” para organizar dados de entrada e produzir camadas de conteúdo temático, cartografado, é de grande importância.

Um dos grandes destaques está nos Modelos Digitais de Terreno (MDT) ou Modelos Digitais de Elevação (MDE), que representam a superfície terrestre em três dimensões e permitem a visualização, análise e interpretação do terreno em laboratórios, facilitando as pesquisas no sentido de que, muitas vezes, o acesso a todos os pontos de determinada região, para fins de

mapeamento, pode ser difícil, pouco econômico e muitas vezes impraticável. Entretanto, apesar disso, considera-se que, para o mapeamento geomorfológico, o pesquisador deve buscar o reconhecimento geral de campo e relatar observações *in situ*, dentro das possibilidades, além de contar com dados digitais e processamento digital das informações.

Conforme Smith (2011) a disponibilidade de dados digitais de sensoriamento remoto permite duas abordagens para o mapeamento geomorfológico. Em primeiro lugar, tem-se o mapeamento manual, que se baseia nos conhecimentos e na experiência do intérprete para identificar e delinear as formas de interesse, semelhante ao que foi usado para interpretar fotografias aéreas analógicas manuais. Esse é um processo subjetivo, que utiliza técnicas visuais complexas para desenvolver relações entre as características na imagem exibida e as formas de relevo. As técnicas de interpretação incluem a avaliação da forma, tamanho, tom, textura, sombra, padrão, localização e associação. A segunda abordagem utiliza técnicas automatizadas ou semi-automatizadas para identificar características de interesse, as quais incluem uma gama de ferramentas, técnicas consistentes e parte do conhecimento específico do pesquisador.

A respeito das técnicas automatizadas e semi-automatizadas, Seijmonsbergen, Hengl e Anders (2011) apresentam a aplicação de um MDE para a extração de feições geomorfológicas. Nesse trabalho discutem os tipos de abordagens para análise automatizada, que incluem: a) método que imita o mapeamento de um intérprete manual de uma maneira automatizada e reproduzível para uma classe de feição; b) método que propõe estatísticas robustas e limites métricos para isolar as características individuais; c) método que utiliza algoritmos que enquadram uma paisagem para uma classe de feição a partir de parâmetros invariantes ou de multi-escala; e por fim, d) método que utiliza simultaneamente múltiplos Parâmetros da Superfície Terrestre (PSTs) para categorizar áreas dentro de uma paisagem em classes com propriedades distintas que referem-se a um determinado tipo de feição.

A base dos PSTs são os MDEs, que podem ser derivados de muitas fontes e possuem a capacidade de criar informações geomorfológicas. Esses parâmetros serão apresentados nos próximos tópicos com maiores detalhes, dentro da abordagem da geomorfometria, dada a sua importância no cenário de mapeamento e representação geomorfológica atual.

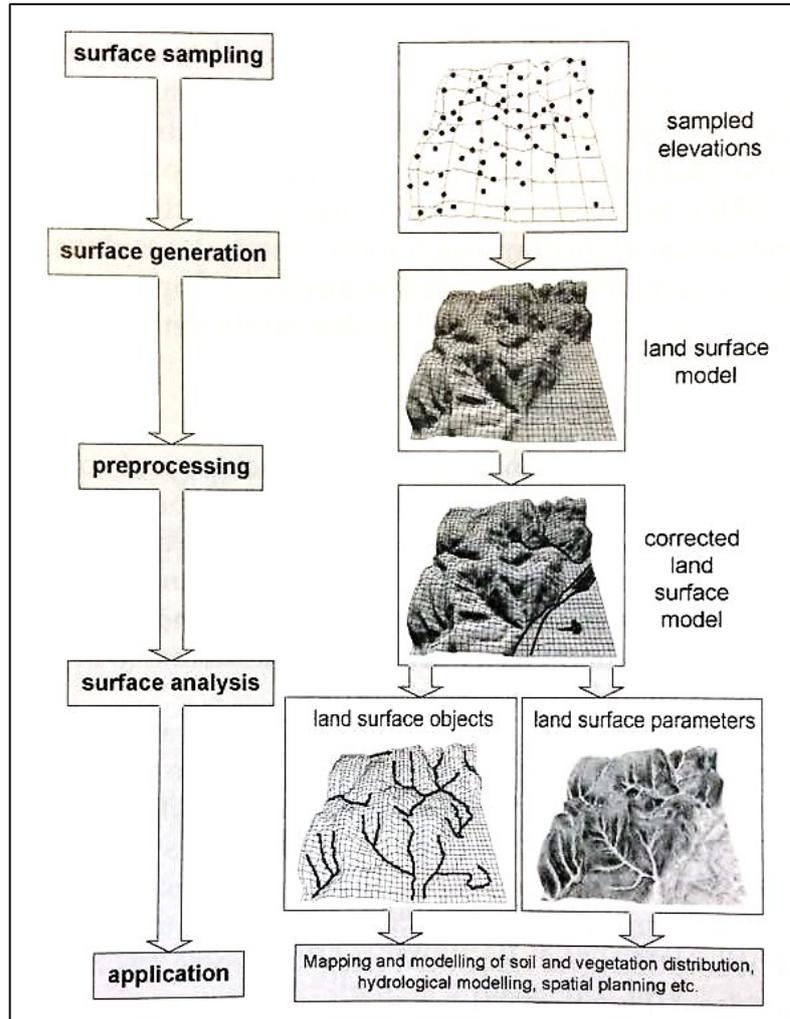
2.3.3. Aplicações da geomorfometria no estudo geomorfológico

Nos últimos anos, a abordagem geomorfométrica é a que se destaca na maioria dos trabalhos em geomorfologia, apesar de Evans (1972, 1980) já ter introduzido o estudo geomorfométrico das formas de relevo nas décadas de 1970 e 1980, discutindo e implementando técnicas de mapeamento geomorfológico a partir de então. Em vários trabalhos, tal autor considera a importância da análise geomorfométrica na representação da superfície terrestre, juntamente com outros pesquisadores que enveredaram por esse campo de pesquisa (EVANS, 2012; EVANS; HENGL; GORSEVSKI, 2009; EVANS; MINAR, 2011; HENGL, REUTER, 2009; PAVLOPOULOS; EVELPIDOU; VASSILOPOULOS, 2009; SMITH; PARON; GRIFFITHS, 2011; GUSTAVSSON, 2005).

Evans (2012) relaciona o mapeamento geomorfológico à geomorfometria no sentido de que ambos possuem uma dependência comum na definição e delimitação de padrões de formas de relevo e formas elementares de relevo. Este contexto engloba o que o autor considera como geomorfometria geral e geomorfometria específica. A geomorfometria geral engloba o estudo da *land surface form* (forma da superfície terrestre), que é contínua e cobre todo o globo, além de outros planetas, luas e asteroides. Trata-se de um campo contínuo, que pode ser estudado através dos padrões e associados às escalas de semi-detalhe ou pequenas. Já a geomorfometria específica aborda as *landforms* (formas de relevo), que são segmentos limitados de uma superfície terrestre e podem ser descontínuos ou individualizados, ou seja, não precisam cobrir toda a superfície (por exemplo, um morro, uma colina, uma montanha, etc.). Nesse caso, a análise engloba características geométricas e topológicas dessas formas de relevo em uma escala bastante detalhada (EVANS, 2012).

A Geomorfometria se encarrega de observar os PSTs, uma vez que consiste em uma ciência dedicada à análise quantitativa da superfície terrestre ou, em outras palavras, trata-se da ciência da quantificação topográfica, cujo foco operacional está na extração de PSTs e objetos a partir de um MDE, sendo este a entrada primária da análise geomorfométrica (Figura 2.1) (PIKE; EVANS; HENGL, 2009).

Figura 2.1: Representação da extração de parâmetros da superfície terrestre (PSTs), considerado o foco operacional da geomorfometria.



Fonte: PIKE; EVANS; HENGL, 2009.

Um MDE é apenas um dos diferentes modelos matemáticos da superfície terrestre, e isto pode causar alguma confusão na literatura em relação à qual modelo utilizar, ou o que cada um representa. Assim, é válido citar os principais tipos de modelos existentes:

- a) Modelo Numérico do Terreno (MNT): é um modelo matemático da superfície que pode representar, além da altimetria, as grandezas geoquímicas e propriedades dos solos, ou outras informações que variam continuamente no espaço (CÂMARA, MEDEIROS, 1998).
- b) Modelo Digital do Terreno (MDT): uma representação digital do terreno da superfície terrestre, relacionada ao relevo e composta de dados (pontos de altitudes) e algoritmos que podem interpolar alturas de pontos intermediários (JEDLIČKA, 2009).

- c) Modelo Digital de Elevação (MDE): consiste em um modelo que representa a altitude da superfície terrestre acima do nível médio do mar (PIKE; EVANS; HENGL, 2009; JEDLIČKA, 2009).
- d) Modelo Digital de Superfície (MDS): é um modelo construído a partir da aplicação de algoritmos de extração automática sobre imagens fotogramétricas ou dados obtidos pela tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*), apresentando como resultado as faces superiores do terreno e todos os objetos nele contidos, como vegetação ou recursos artificiais (JEDLIČKA, 2009).

Para a análise geomorfológica, portanto, os modelos mais indicados são o MDT e o MDE, sobre os quais, podem ser extraídos os PSTs. Estes últimos são agrupados de acordo com diferentes critérios em três principais conjuntos, a saber (PIKE; EVANS; HENGL, 2009):

- i. Objetos e parâmetros morfométricos básicos: descrevem a morfologia local da superfície terrestre (por exemplo, gradiente de inclinação, aspecto e curvatura).
- ii. Objetos e parâmetros hidrológicos ou de acumulação de fluxo: refletem o movimento potencial do material sobre a superfície terrestre (por exemplo, índices de erosão ou movimento de massa).
- iii. Objetos e parâmetros específicos ao clima e meteorologia: esse conjunto é muitas vezes calculado ajustando os dados climáticos ou meteorológicos à influência do relevo.

Olaya (2009) retrata especificamente os parâmetros morfométricos básicos da superfície terrestre, os quais são diretamente relacionados à cartografia geomorfológica. A primeira análise a ser extraída de um MDE está relacionada às suas propriedades geométricas ou topológicas, e essas informações podem ser também utilizadas em inúmeros campos práticos diferentes, como da hidrologia à ciência florestal e da geologia à biologia. É necessário compreender a distribuição dos PSTs em dois grupos de análise, os parâmetros locais e os parâmetros regionais. Alguns desses parâmetros podem ser observados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1: Alguns parâmetros básicos da superfície terrestre.

LSP	Type	What does it describe?
Slope	Local	Flow rate
Aspect	Local	Flow-line direction
Tangential curvature	Local	1st accumulation mechanism
Profile curvature	Local	2nd accumulation mechanism
Catchment area	Regional	Flow magnitude
Hypsometry	Regional	Distribution of height values
Catchment height/slope	Regional	Flow characteristics
Insolation	Regional/local	Intensity of direct solar irradiation
Visual exposure	Regional	Extent of visible area
Roughness	Local	Terrain complexity

Fonte: OLAYA, 2009.

a) Parâmetros locais da superfície terrestre

Os PSTs locais podem ser divididos em dois grupos principais: parâmetros geométricos e parâmetros estatísticos. Os parâmetros geométricos são aqueles baseados numa análise das propriedades geométricas da superfície terrestre, o que inclui a inclinação e aspecto, bem como as curvaturas e outros valores derivados (BISHOP; MINASNY, 2006; OLAYA, 2009). A superfície terrestre em si deve ser entendida em um sentido matemático e, como tal, pode ser analisada usando todos os conceitos de geometria diferencial. Hengl e Evans (2009) reiteram o papel da geodésia e o modelo de representação da Terra pelo geóide, considerada como a única superfície de nível de referência verdadeiramente global para o cálculo da diferença entre a altura acima do nível do mar.

Olaya (2009) afirma que os parâmetros são extraídos a partir da aplicação de funções matemáticas que descrevem a morfometria localmente, sendo, portanto, ferramentas básicas da análise geomorfométrica. Além disso, destaca que existem vários modelos matemáticos disponíveis para a extração dos PSTs, mas que apresentam o mesmo princípio matemático de derivação das fórmulas, por exemplo, o método de Evans, em que o mesmo raciocínio pode ser aplicado às equações formuladas por Zevenbergen-Thorn, Pennock, ou para o método desenvolvido por Shary.

Ainda de acordo com Olaya (2009) e Bishop e Minasny (2006), as primeiras propriedades morfométricas de um terreno que podem ser estudadas são as resultantes das primeiras derivadas parciais da superfície. Um conceito básico no cálculo vetorial que implica nas

primeiras derivadas parciais é o gradiente, que é representado segundo as elevações contidas no MDE, como um campo de vetor que aponta na direção da variação máxima. As duas principais propriedades geométricas que podem ser derivadas do gradiente são seu comprimento e sua direção. Quando esses conceitos são aplicados à geomorfometria, constituem dois dos parâmetros mais importantes da superfície terrestre: a inclinação (declive) e o aspecto.

Ainda, segundo tais autores, o gradiente de inclinação reflete a taxa máxima de variação dos valores de elevação, que indica o ângulo entre o plano horizontal e um tangente à superfície. Pode ser expresso em radianos ou graus, mas é usual refletir seus valores usando a expressão:

$$(2.1) \quad \text{SLOPE}(\%) = \tan(\text{SLOPE}) \cdot 100$$

Quanto ao aspecto, o seu valor depende de qual direção é tomada como a origem (por exemplo, a direção na qual o aspecto é igual a 0). Em geral, esse parâmetro é medido em graus, no sentido horário do norte, variando de 0 a 360 °.

O segundo passo para a análise geomorfométrica, conforme Olaya (2009), consiste na aplicação de funções de derivadas secundárias da superfície. Essas, por sua vez, estão relacionadas com as características de concavidade e convexidade da superfície, sendo descritas através do parâmetro de curvatura. O parâmetro de curvatura pode ser entendido de duas maneiras: a curvatura do perfil (ou vertical) e a curvatura tangencial (ou horizontal), que podem ser usadas para distinguir formas (localmente) convexas e côncavas. A curvatura tangencial côncava indica convergência e a convexa indica divergência das linhas de fluxo. Já a curvatura do perfil convexo indica aceleração do fluxo e o côncavo indica deposição.

No que se refere aos parâmetros estatísticos, Olaya (2009) afirma que os mesmos foram criados especificamente para a análise de MDE, que são aplicados em arquivos *raster*. Os parâmetros geomorfométricos estatísticos mais comuns são: intervalo, desvio padrão, curtose, rugosidade do terreno, anisotropia e dimensão fractal.

b) Parâmetros regionais da superfície terrestre

Nos PSTs regionais, as medidas morfométricas regionais estão relacionadas principalmente com as propriedades hidrológicas do terreno. Os parâmetros mais comuns são: área de captação, comprimento do caminho de fluxo, comprimento da encosta e proximidade de córregos e

cumeeiras locais. Em um MDE as células não são isoladas uma da outra, e comparando a atuação dos fluxos com os respectivos pixels em um *raster*, é possível identificar que a gravidade faz com que estes se desloquem através das células, atravessando-as e estabelecendo uma relação topológica (OLAYA, 2009).

2.3.4. Aplicações de MDE/MDT em cartografia geomorfológica

Para Evans, Hengl e Gorsevski (2009), as principais aplicações dos MDEs no campo da geomorfologia, no início do século XXI, podem ser agrupadas de forma simplificada em:

- **Interpretação visual do MDE:** reconhecimento e delineamento manual de características geomorfológicas.
- **Reconhecimento automatizado e quantificação de propriedades geomorfológicas:** extração e uso de parâmetros morfométricos da superfície terrestre (PSTs) (aspecto, declive, curvaturas) para análise geomorfológica e detecção de estruturas.
- **Extração automatizada de estruturas hidrológicas e denudacionais:** extração de redes de drenagem, linhas de vale / cume, reconhecimento de drenagem.
- **Extração automatizada de formas de relevo:** extração de padrões de formas de relevo e elementos de relevo usando algoritmos semi-automatizados ou totalmente automatizados.

No que se refere à extração de padrões de formas de relevo repetitivos, referente ao campo da geomorfometria geral, e que abarca escalas pequenas e de semi-detalhe, MacMillan e Shary (2009) afirmam que a classificação automatizada de tipos de padrões de relevo atua em um nível maior de abstração do que a classificação de elementos de relevo. Geralmente, envolve o delineamento e classificação de regiões ou áreas conceituadas ao nível de colinas, planícies ou vales que se caracterizam pela repetição de padrões de variação cíclica em tamanho, escala, morfologia e contexto dentro de uma área definida.

Além disso, tais autores enfatizam que praticamente todos os procedimentos para desenvolver e aplicar classificações automatizadas (e também manuais) podem ser considerados como envolvendo atividades semelhantes. Traçaram cinco etapas de procedimentos para classificar as formas de relevo:

- Estabelecimento dos objetos espaciais de classificação.

- Especificação e computação das variáveis de entrada.
- Extração ou criação das regras de classificação.
- Aplicação das regras de classificação.
- Avaliação e julgamento da acurácia (precisão).

De acordo com Macmillan e Shary (2009), todos os métodos de predição automática de classes de entidades espaciais geomórficas baseiam-se na identificação e desenvolvimento de regras para estabelecer relações de predição entre as variáveis de entrada, ou estatísticas de variáveis de entrada e classes de saída desejadas. Uma etapa chave em qualquer abordagem para a classificação automatizada é, portanto, identificar e criar, ou obter, uma coleção de variáveis de entrada em formato digital. As regras para classificar padrões de terreno só podem ser criadas depois de terem sido especificados o tamanho, a escala e a natureza dos objetos de interesse do relevo, e após terem sido identificadas e calculadas as derivadas da superfície ou as variáveis de entrada necessárias para efetuar uma classificação.

Por fim, têm sido realizados esforços para desenvolver regras de classificação do relevo, entre as quais pode-se citar as abordagens não supervisionadas, supervisionadas e baseadas no conhecimento (heurísticas), que têm sido aplicadas para extrair e classificar automaticamente entidades de terrenos definidas subjetivamente. Assim, basicamente, a extração dos tipos de formas e elementos de terreno a partir de MDEs consiste em: a) preparação da legenda, b) preparação dos PSTs (entradas); c) criação das regras; d) extração das formas e padrões; e) avaliação da precisão do mapeamento (MACMILLAN; SHARY, 2009).

No Brasil, autores como Carneiro e Souza (2003); Santos et al. (2006); Silva e Rodrigues (2009; 2010); Augustin, Fonseca e Rocha (2011); Martins (2013); Dantas (2013) pela CPRM; Martins e Rodrigues (2016), apresentam resultados de mapeamentos geomorfológicos com base nos métodos digitais e semi-automatizados, a partir da utilização de dados altimétricos derivados de MDE ou MDT, bem como do uso de plataformas de SIGs, corroborando para o desenvolvimento das pesquisas neste âmbito.

2.4. Materiais Superficiais ou Geocoberturas: aspectos teóricos e metodológicos

A camada superficial da Terra, que compreende o contato entre a litosfera e a troposfera, pode receber algumas diferentes denominações em virtude do enfoque e objetivos de estudo de cada

pesquisador ou área do conhecimento. Sendo objeto de interesse das denominadas Ciências da Terra ou Geociências, tais como Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Edafologia; e também das Engenharias, principalmente a Civil e Agrônômica; é abordada tanto sob o viés acadêmico quanto socioeconômico.

Dentre os conceitos que denominam essa camada superficial, está o de “solo”, cujo significado é amplo e utilizado por grande parte das ciências que se interessam por ela, sobremaneira, em estudos pedológicos, edafológicos, de engenharia, e em parte das pesquisas geomorfológicas, por exemplo em Tricart (1977); Brady (1983); Caputo (1988); Daniels e Hammer (1992); Dobos e Hengl (2009); Lepsch (2010); Guerra e Cunha (2013); Resende et al., (2014). Há também a denominação de “materiais superficiais” ou “formações superficiais” cujos registros se encontram especialmente em estudos de cunho geológico e geomorfológico, podendo-se citar Trescases (1973); Carvalho e Rotta (1974); Campy e Macaire (1989); Le Bret et al. (1993); Rodrigues (1998); Champagnac (2005); Soller et al. (2009); Simões et al. (2014); Simões et al. (2016); Guerra e Paisani (2013). Atualmente, depara-se na literatura com o termo “geocoberturas”, com alguns trabalhos científicos realizados na região da Serra do Espinhaço e Norte de Minas Gerais, com ênfase na Geomorfologia e evolução da paisagem, realizados por Amorim, Augustin e Messias (2014) e Neves et al. (2015); e também o termo “regolito”, abordado por Scott e Pain (2009).

De acordo com Suguio (2010), independentemente das denominações adotadas para os materiais componentes da superfície terrestre, pode-se afirmar que resultam de processos pedogenéticos, refletindo condições paleoclimáticas e comportamentos de uma neotectônica regional relativamente calma. Morhange (2009) ressalta que, na visão dos geomorfólogos, as formações superficiais em conjunto com os processos de erosão, compreendem o elemento essencial da geomorfologia dinâmica.

De acordo com Trescases (1973), a expressão “formações superficiais” aplica-se aos materiais oriundos de rochas sãs, susceptíveis à ação de processos geodinâmicos, sendo que em regiões quentes, o processo essencial é a meteorização, cujo perfil de alteração torna-se um registro das condições climáticas e morfológicas prevalentes em épocas sucessivas de sua elaboração. Para Carvalho e Rotta (1974), as rochas recebem incessantemente a ação dos processos intempéricos, químicos e físicos, que desencadeiam a sua alteração, transformação e remanejamento, dando origem a formações secundárias, que caracterizam as formações superficiais.

Champagnac (2005) considera que as formações superficiais são assimiladas aos solos no sentido pedológico do termo, mas o seu conceito ainda é uma noção relativamente vaga na literatura disponível, possibilitando várias aplicações em virtude do intuito da pesquisa. A autora afirma que representam formações continentais inconsolidadas ou móveis, ou secundariamente consolidadas. Quando é resultado de alterações químicas ou bioquímicas, a composição dos materiais pode ser muito diferente da rocha original, e se corresponde ao produto da desintegração mecânica das rochas pré-existentes, a composição mineralógica e química será a mesma da rocha-mãe.

A importância dos estudos acerca das formações superficiais, principalmente na análise geomorfológica, conforme Bigarella, Mousinho e Silva (1965), se reflete na capacidade desses materiais de apresentar indícios a respeito da gênese, evolução e comportamento do relevo terrestre. Tais estudos concentram-se, sobretudo, no entendimento do Quaternário, período no qual as oscilações climáticas cíclicas foram fatores controladores da evolução da paisagem.

Diante do apresentado, para o presente trabalho, julga-se adequado a utilização do termo “geocoberturas” ou “materiais superficiais”, em função das perspectivas da pesquisa geomorfológica em acordo com os objetivos propostos na tese, uma vez que “formações superficiais” pode se referir à categoria de classificação geológica ou litoestratigráfica, e levar a interpretações inadequadas. Assim, busca-se definir um conceito sobre as geocoberturas, que melhor se adeque à pesquisa aqui realizada, tendo como base os conceitos de Campy e Macaire (1989) e Scott e Pain (2009).

Campy e Macaire (1989) consideraram as formações superficiais como uma camada superficial ou subsuperficial, de espessura variável sobre a rocha sã, móvel ou fracamente consolidada, composta tanto por materiais física e quimicamente alterados *in situ* ou resultantes de transporte e deposição. Já Scott e Pain (2009) referem-se ao termo “regolito”, como sendo o manto que recobre o relevo de toda a superfície terrestre, sendo originário *in situ* ou transportado a partir dos materiais intemperizados das rochas. Tais definições sintetizam o significado das geocoberturas, enquanto resultantes da dinâmica geomorfológica.

Assim, entende-se que as geocoberturas são todos os materiais que constituem o manto de alteração superficial que recobre o relevo da Terra, originados por processos físicos ou químicos, *in situ* ou por transporte e deposição, incluindo os materiais inconsolidados e móveis, bem como os consolidados, por exemplo, os afloramentos rochosos, já expostos aos processos de intemperismo.

2.4.1. *Intemperismo e gênese*

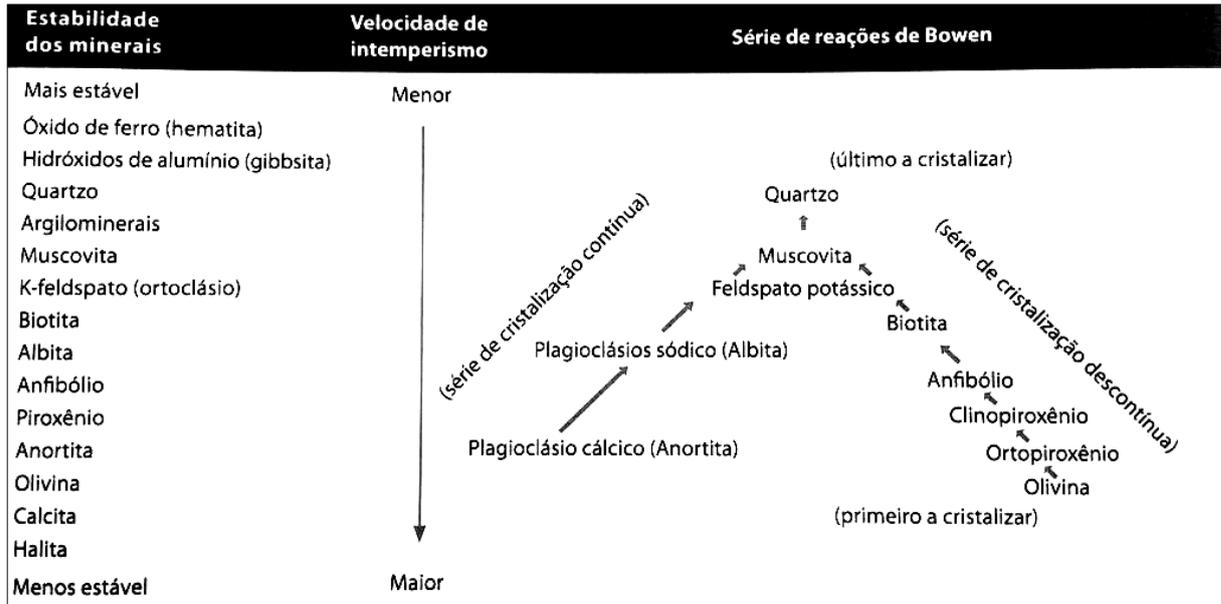
De acordo com Suguio (1980), o intemperismo promove a alteração das rochas próximas à superfície, transformando-as em produtos compatíveis com novas condições físico-químicas, diferentes das que deram origem à tais rochas. Christofolletti (1980) considera que o intemperismo é um dos processos morfogenéticos responsáveis pela esculturação das formas de relevo, que resulta na produção dos detritos que serão erodidos e movimentados ao longo das vertentes. Para Penteado (1983, p. 65), o intemperismo corresponde às “reações de rochas e minerais com os constituintes da água e do ar”, o qual participa dos processos tanto de demolição do material quanto de formação. Cotton (1952) já tratava o conceito de intemperismo como sendo o trabalho de ruptura das rochas e sua putrefação, decorrentes de agentes climáticos e principalmente, a água, podendo ser dividido em duas partes principais, desagregação mecânica e alteração química.

Conforme esclarecem Toledo, Oliveira e Melfi (2009), a formação dos materiais superficiais ou geocoberturas dependem dos fatores controladores do intemperismo, e as características do ambiente em que ocorre influenciam de maneira direta sobre as reações de alteração, no que se refere “à sua natureza, velocidade e intensidade” (p. 221). Os principais fatores controladores do intemperismo são: o **material parental**, cuja alteração intempérica depende do grau de susceptibilidade à alteração dos minerais originais constituintes, além da textura e estrutura da rocha; o **clima**, através de variações da pluviosidade e temperatura, regula a natureza e velocidade das alterações físico-químicas; a **topografia**, responsável por regular a infiltração e drenagem da água, bem como sua velocidade de escoamento superficial; a **biosfera**, que interfere na qualidade da água que participa da meteorização, por meio da disponibilização de CO₂ alterando o seu pH, e também pelos ácidos orgânicos produzidos pela microfauna; e por fim, o **tempo**, dependente das características dos demais fatores de controle intempérico (COTTON, 1952; BRADY, 1974; PENTEADO, 1983; LUCAS; CHAWEL, 1992; HUGGET, 2007; TOLEDO; OLIVEIRA; MELFI, 2009; CARNEIRO, 2012).

No que se refere à resistência dos materiais parentais, esta pode variar conforme a sua composição mineralógica e química, bem como por sua textura e gênese (BRADY, 1974; TOLEDO; OLIVEIRA; MELFI, 2009; RESENDE et al., 2014). Os minerais constituintes, conforme aponta Toledo, Oliveira e Melfi (2009), variam em função da susceptibilidade à

alteração que possuem, pois uns são mais estáveis que outros. Esta comparação pode ser observada na Figura 2.2, em que é representada a Série de Goldich, que reflete a ordem de estabilidade dos minerais mais comuns em relação à atuação do intemperismo, bem como a Série de reações de Bowen, que associa a ordem de cristalização dos minerais, fator que influencia diretamente em suas durezas.

Figura 2.2: Estabilidade dos minerais frente à velocidade do intemperismo.



Fonte: Toledo, Oliveira e Melfi (2009).

Já a variável topográfica é um fator que reflete significativamente na origem dos materiais superficiais, sendo destacada por diversos autores como sendo um elemento chave na sua interpretação. Florinsky (2012) enfatiza que a topografia influencia aspectos microclimáticos e meteorológicos, os quais afetam diretamente os regimes hídricos e de temperatura que incidem sobre a camada superficial terrestre (solos, materiais superficiais ou geocoberturas), bem como os movimentos sub-superficiais da água, responsável pelos processos químicos de alteração dos minerais. Assim como Florinsky (2012), autores como Moore et al. (1993); Scull et al. (2003), McBratney; Mendonça Santos e Minasny (2003), Dobos e Hengl (2009) e Hengl e Macmillan (2009), entre outros, reiteram o papel da topografia, que atua direta ou indiretamente, sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em um processo natural da paisagem. No item 2.4.4, as características do relevo representadas em MDEs, serão apontadas como fator importante no mapeamento preditivo da variabilidade espacial do solo.

Em relação à gênese dos materiais superficiais, Champagnac (2005) relata que estas podem ser **autóctones**, quando formadas *in situ*, permanecendo sobre a rocha originária; **subautóctones** ou **coluviais**, quando estão em trânsito em uma vertente, sob a atuação da gravidade, escoamento difuso ou solifluxão; e por fim, podem ser **alóctones**, resultantes de movimentação, dispersão, remobilização e retrabalhamento por meio de agentes dinâmicos de transporte fluvial, geleira e vento.

Suguio (2010) argumenta que, quanto à origem, a mais comum caracteriza-se pelas formações colúvio-eluviais, considerando que os coluviais sobressaem aos eluviais, embora a distinção entre ambos seja relativamente difícil, por isto, se refere a tal nomenclatura conjunta. Segundo o mesmo autor, os materiais colúvio-eluviais são distribuídos pelas superfícies de cimeira e de vertentes em regiões de planalto, tanto sobre rochas cristalinas (ígneas ou metamórficas) quanto em rochas sedimentares, alcançando espessuras de até 10 metros de profundidade em geral, mas que não são capazes de formar bacias sedimentares.

Na visão de Suguio (2010), os materiais ou depósitos eluviais genuínos correspondem àqueles originados *in situ* (autóctones), os quais constituem comumente as coberturas residuais compostas, por exemplo, as formadas por óxidos e hidróxidos de ferro, hidróxidos de alumínio e óxidos de manganês; que recobrem extensas áreas com características de aplainamento dispostas em diferentes níveis topográficos, cujas idades dessas superfícies podem ser pré-quadernárias e até mesmo paleogênicas. No que diz respeito aos materiais alóctones, cita-se os depósitos aluviais, os quais, são representados por sedimentos de canais fluviais, localizados ao longo das planícies fluviais e vertentes dos rios, sendo também pouco espessos. Exceções ocorrem nos casos de subsidência tectônica como no Pantanal Mato-grossense, em que os depósitos aluviais chegam a formar pacotes de algumas centenas de metros, caracterizando bacias sedimentares ativas. As idades dos sedimentos aluviais são certamente neogênicas, sendo apenas as porções superiores de idade quadernária.

Hugget (2007) afirma que o intemperismo, ao atuar sobre as rochas, resulta na produção de materiais sólidos, coloidais e solúveis. Essa diversidade de materiais se diferencia em tamanho e comportamento: a) os **sólidos** variam entre os blocos rochosos, pedregulhos, areias, silte e argila; correspondendo aos vários tamanhos granulométricos provenientes da desintegração e decomposição das rochas, esta última que resulta em novos materiais, como as argilas secundárias, construídas a partir do processo de neoformação; b) os **coloidais** correspondem a partículas de substâncias orgânicas e minerais que variam em tamanho de 1 a 100 nm (nanômetros), normalmente existem em um estado altamente disperso, mas podem adotar uma

forma semi-sólida; alguns exemplos de coloides comuns produzidos pelo intemperismo químico são óxidos e hidróxidos de silício, alumínio e ferro; c) os **solutos**, por sua vez, constituem partículas menores que 1 nm de diâmetro, são altamente dispersas e existem em solução molecular.

Nas áreas intertropicais, os processos intempéricos, via de regra, ocorrem em velocidade superior a qualquer outra região terrestre. O papel do clima é preponderante em diferentes aspectos, contudo, as características geológico-estruturais e topográficas constituem elementos diferenciadores da intensidade da meteorização e da dinâmica dos materiais superficiais. Assim, em consonância com Porto (2000), o intemperismo associa os processos endógenos (relacionados à composição química das rochas) e os processos exógenos (ligados às condições climáticas e geomorfológicas), sendo que os processos físicos são subordinados à alteração química em regiões tropicais, sendo as rochas fragmentadas quando são expostas, ou em condições de profundidade por alívio de pressão, em planos de fraqueza originários do protólito ou não.

Segundo Porto (2000); Hugget (2007); Brady (1983); Penteado (1983); Resende et al. (2014); e Blume et al. (2016), as alterações químicas respondem pelos principais processos característicos de áreas tropicais e equatoriais, em virtude da maior umidade presente, suficiente para acelerar a decomposição química. Brady (1983) sustenta que as modificações ocorridas no regolito incluem a redução contínua das partículas, com a liberação de solutos que se tornam sujeitos a carreamento pela lixiviação. São dois grupos principais de minerais resultantes da síntese intempérica: a) as argilas silicatadas e, b) produtos finais muito resistentes, inclusive óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio. Estes últimos tendem a predominar nas regiões tropicais úmidas, devido ao fato de que os minerais menos resistentes cederam ao intemperismo intenso tão comum nestas áreas. Mesmo o quartzo, que é o mais resistente de todos os minerais granulados comuns, tende a desaparecer sob tais condições, com o decorrer do tempo.

Em uma primeira definição, conforme esclarece Suguio (1980), as argilas são consideradas como sendo todas as partículas com granulação muito fina dentro da análise granulométrica de sedimentos e materiais superficiais. Segundo a Embrapa (2012), a fração argila corresponde aos diâmetros menores que 0,002 mm, compondo o grupo dos materiais sólidos resultantes do intemperismo. A segunda definição, apontada por Suguio (1980), se refere às argilas com base em sua composição química, as quais compreendem os silicatos de alumínio hidratados, e constituem os grupos da caulinita, montmorillonita, illita, clorita e vermiculita. Os minerais de argila são os produtos finais do intemperismo, assim como os óxidos e hidróxidos de Fe e Al.

Brady (1983) e Blume (2016) caracterizam as argilas silicatadas, que provém, principalmente, dos produtos de intemperização de silicatos primários, como os minerais feldspatos, micas (muscovita e biotita, principalmente), anfibólios e piroxênios; bem como as argilas constituídas de outros coloides minerais, como os óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio; os coloides orgânicos, como os ácidos fúlvicos e húmicos, além dos coloides de sais ácidos. Portanto,

A argila de qualquer solo específico é, via de regra, composta de uma mistura de diversos minerais coloidais. Em determinado solo, a mistura pode variar de um horizonte para outro. Tal ocorre, porque o tipo de argila resultante vai depender das influências climáticas e condições de perfil, como também da natureza do material originário. A situação pode complicar-se ainda mais, pela presença no próprio material originário, de argilas que foram formadas num regime climático anterior ou mesmo, totalmente diferente (BRADY, 1983, p. 95)

Adicionalmente, cabe ressaltar, a organização mineralógica das argilas silicatadas, tendo em vista a existência de diferentes estágios de intemperismo de tais minerais. Blume et al. (2016) reiteram que os minerais de argila são estruturalmente semelhantes aos filossilicatos (micas primárias), e compreendem uma organização em camadas que pode ser: de duas camadas ou 1:1, três camadas ou 2: 1 e quatro camadas ou 2: 1: 1. Segundo Brady (1983) e Blume et al. (2016), micas hidratadas são resultantes de processos moderados de intemperismo, enquanto as vermiculitas e montmorillonitas resultam de processos de intensidade intermediária. E a clorita, caulinita e os óxi-hidróxidos de Fe e de Al são produzidos pela atuação intensa dos agentes meteóricos. Neste sentido, têm-se as características gerais de alguns argilominerais e óxidos/hidróxidos sintetizadas no Quadro 2.2.

Em síntese, pode-se elencar os principais pontos que caracterizam a composição mineralógica dos materiais superficiais em regiões tropicais, onde predomina a sazonalidade climática, responsável pelos processos de monossilicização ou caulinitização, de acordo com Brady (1983); Lucas e Chawel (1992); e Blume (2016):

- i. Nos solos bem drenados das regiões tropicais úmidas e semi-úmidas, há tendência para o domínio dos óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio (goethita, hematita e gibbsita).
- ii. A relação goethita/hematita pode ser observada em função da saturação de água no ambiente, sendo que, com aumento da saturação, diminui a ocorrência de hematitas. Ao mesmo tempo, em uma topossequência, os materiais do topo (superiores) são mais secos e avermelhados, e os materiais mais baixos e úmidos são amarelos. A hematita não é formada ou não é estável na camada húmica dos ambientes.

- iii. A caulinita é, por definição, o argilomineral silicatado dominante nos materiais superficiais tropicais, sendo também encontrada em conjunto com as argilas óxido-hidratadas.
- iv. A caulinita é formada pela decomposição de silicatos em ambiente moderado a fortemente ácido, estando sujeita à decomposição para formar óxidos de alumínio e sílica solúvel.

Quadro 2.2: Características gerais dos principais argilominerais e óxidos / hidróxidos.

<i>Estágio intemperismo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Principais Argilominerais / Óxidos e hidróxidos</i>	<i>Características gerais</i>
Moderado	2:1 não-expansíveis (dois tetraedros de Si e um octaedro de Al)	Illita	Faz parte do grupo das micas hidratadas, sendo formada por meio do desgaste físico e químico das micas. As illitas se formam por recristalização e incorporação química de potássio entre as camadas, portanto, em ambientes com maiores concentrações de K.
Intermediário	2:1 expansíveis (dois tetraedros de Si e um octaedro de Al)	Montmorillonita (Esmectita), Vermiculita.	Ocorrem nos materiais não muito intemperizados. As esmectitas são formadas em ambientes neutros a ligeiramente alcalinos e com altas concentrações de Si e Mg. No caso da montmorillonita, esta é bastante expansiva e instável na presença de água. As vermiculitas são formadas por hidratação e, geralmente, se originam de biotitas e cloritas.
Avançado	2:1:1	Clorita	As cloritas secundárias são semelhantes às cloritas "primárias" das rochas, sendo basicamente silicatos de magnésio com presença de ferro e alumínio. São inexpandíveis e só ocorrem naturalmente em ambientes ácidos, porque estes liberam Al suficiente para sua formação.
Avançado	1:1 (um tetraedro de sílica e um octaedro de alumínio.)	Caulinita	Como silicato praticamente puro de Al, esta constitui-se como sendo o argilomineral mais comum de duas camadas nas regiões tropicais. As caulinitas são formadas em ambientes na faixa ácida com concentrações moderadas de Si. Possuem estrutura rígida e são relativamente estáveis na presença de água.
Super avançado	Óxidos e hidróxidos de Fe e de Al	Gibbsita, Goethita, Hematita.	São resultantes do estágio mais adiantado de intemperismo. A gibbsita é formada em ambientes com condições muito baixas de Si, sendo resultado da perda de Si progressiva de minerais de argila. É, de longe, o óxido de alumínio mais comum encontrado. A goethita e hematita são, também, os óxidos de Fe mais comuns. São pouco solúveis, sendo que a goethita, devido à sua elevada estabilidade, é encontrado nos materiais superficiais de todas as regiões climáticas e, na ausência de hematita, dá ao solo a cor típica de cor amarela a oxidada. A hematita está intimamente associada com a goethita em solos tropicais e subtropicais, dando-lhes a cor vermelha. Ambas refletem as condições pedogênicas de várias maneiras.

Fonte: BRADY (1983); PENTEADO (1983); CAPUTO (1988); CASTRO, VENDRAME E PINESE (2014), WILSON (1999); BLUME et al. (2016).

Outro ponto de suma relevância para os ambientes tropicais, refere-se à dinâmica dos materiais solúveis, por exemplo, o ferro e o alumínio. Hugget (2007) e Suguio (2010), consideram que os materiais solúveis formam diferentes tipos de concreções, responsáveis pelo desenvolvimento de formas de relevo, por serem resistentes às intempéries, formando superfícies de coberturas residuais compostas. Também chamadas de duricrusts, segundo Camêlo (2017), como terminologia genérica sem distinção genética, são resultantes do enriquecimento desencadeado pela dissolução e precipitação mineral ao longo de sucessivos ciclos de umidade e seca, através das oscilações dos níveis do lençol freático. Tais materiais ocorrem como nódulos ou crostas duras, ou simplesmente como camadas rígidas. Os principais tipos, conforme Hugget (2007), são formados por ferricretes (óxidos e hidróxidos de ferro); alcretes (hidróxidos de alumínio); manganesicretes (óxidos de manganês); silcretes (rico em sílica, mais de 95%); calcretes (rico em carbonato de cálcio); gypcretes (rico em gesso).

Hugget (2007) afirma ainda que os depósitos de ferricrete e alcrete estão associados a perfis de degradação profunda, que ocorrem, sobremaneira, em ambientes tropicais úmidos a sub-úmidos. Lucas e Chawel (1992) argumentam que o clima sazonal tropical é responsável por contrastes no regime de umidade do solo e, devido a flutuações do lençol freático, as frentes pedogenéticas, na parte superior do saprolito, encontram-se em um ambiente que está alternadamente saturado e insaturado. Esta dinâmica conduz à alternância de condições de redução para oxidação, permitindo a redução e migração de ferro para formar zonas enriquecidas e empobrecidas. A perda de ferro provoca desestabilização e eluviação de partículas de argila da zona empobrecida, ocasionando o enriquecimento relativo da camada como um todo em componentes ferruginosos, os quais podem ser na forma de nódulos ou acumulações maciças, como as couraças. Tais processos podem resultar na formação de grandes acumulações de óxidos de Fe na forma de lateritas.

Augustin, Lopes e Silva (2013) relatam a problemática do termo laterita, identificando os diferentes significados e conceitos elaborados ao longo dos anos, e afirmam que, ainda hoje, existem divergências para a sua aplicação. Segundo a recomendação dos autores, julga-se pertinente adotar o termo laterita enquanto

[...] formações ricas em ferro e alumínio, formadas pela atuação de intensos processos de intemperismo químicos e físicos, em resposta às novas condições de temperatura (T) e pressão (P), diferentes daquelas da formação original da rocha. Esta definição inclui, portanto, aquelas formações resultantes da acumulação relativa do ferro (Fe_2O_3) e/ou alumínio (Al_2O_3), com a conseqüente perda de sílica (SiO_2) e de bases (Ca, Mg, K, Na), e das resultantes da acumulação absoluta, ou seja, pelo

aporte de óxidos de ferro (Fe_2O_3) e/ou alumínio (Al_2O_3), de lateritas primárias e secundárias (p. 254).

A justificativa para o uso de tal definição advém, segundo Augustin, Lopes e Silva (2013), a partir da dificuldade de estabelecer a gênese de tais feições, em função de sua formação *in situ* (autóctone), por meio da rocha mãe, ou alóctone, em função do enriquecimento por transporte lateral de Fe e Al. Além disso, os autores relatam algumas concordâncias na literatura a respeito das formações lateríticas: a de que os elementos Al_2O_3 (alumínio) e Fe_2O_3 (ferro) são a base para definir a laterita, já que são comuns a todas as feições deste tipo; bem como a respeito de sua capacidade de endurecimento, que não é um fator preponderante ou critério único para a sua definição.

2.4.2. Mapeamento e espacialização

De acordo com Martins, Santos e Rebelo (2014), o estudo e a cartografia das formações superficiais são de grande importância, seja pelo viés do conhecimento geomorfológico ou pela aplicação no ordenamento territorial. Trescases (1973) defende esta cartografia, considerando-a como uma ferramenta que permite uma melhor compreensão da evolução geomorfológica, ao demonstrar a estreita correlação entre o modelado e as formações superficiais. Este autor propôs uma classificação dos materiais de superfície, com base em suas características físicas e posições no relevo, assim, determinou as seguintes classes:

- i. **Formações de alteração:** as quais são formadas *in situ*, consideradas como materiais residuais de grande espessura, associadas a um relevo mais plano, com declives fracos a muito fracos. São frequentemente associadas a planaltos, cumes convexos e, em geral, com superfícies inclinadas, onde a ação da alteração pode ser exercida por um longo período de tempo.
- ii. **Formações concrecionárias:** resultam da concreção de sesquióxidos de ferro e, às vezes, alumínio. O endurecimento é muitas vezes devido à cimentação por hidróxidos de ferro de vários detritos (cascalho ferruginoso, quartzo, fragmentos de rocha ou couraças mais antigas). Quando a camada sobreposta é erodida, a resistência da couraça à erosão pode resultar em inversões de relevo.
- iii. **Formações de vertentes:** constituem-se por materiais retrabalhados nas vertentes, associados a coluvionamento. São resultantes da remodelação das formações superficiais que cortam as superfícies altas, alimentando um coluvionamento importante

nas encostas mais inclinadas. Estes materiais são muito próximos, quimicamente e mineralogicamente, aos horizontes superiores dos perfis de alteração.

- iv. **Formações de piemonte (depósitos):** estas são análogas aos depósitos de sopé de encosta ou depósito de tálus. São colúvios alimentados, principalmente, pelos materiais móveis dos perfis de alteração das superfícies altas, aos quais são adicionados os produtos resultantes da erosão das encostas (materiais mais ou menos alterados, blocos de rocha ou couraças).
- v. **Formações aluviais:** podem ser originárias de sedimentos fluviais, lacustres ou marinhos.

Lebret et al. (1993) postularam algumas diretrizes para o mapeamento das formações superficiais em função do mapa geológico da França, na escala de 1:50.000. Na ocasião, estabeleceram questões relativas à cor, legenda e notações, estas últimas, devendo conter informações a respeito da gênese, idade e outros dados em função do material parental. Levantaram uma lista bastante extensa das classes de formações superficiais, dentre as quais, pode-se destacar: depósitos artificiais (antrópicos); alteritas (formados *in situ*); formações superficiais consolidadas (endurecidas por precipitação e/ou processos químicos); depósitos de vertentes; colúvios; depósitos glaciais e/ou fluvio-glaciais; cones de dejeção; depósitos fluviais / lacustres; entre outros.

Para Pfaltzgraff e Ferreira (2005), a respeito da cartografia das formações superficiais, sendo estas, resultado de processos geológico-geomorfológicos, não é necessário a especificação da espessura das unidades, mas, principalmente, a sua distribuição geográfica significativa. Estes autores afirmam que a sua origem está ligada aos processos de intemperismo superficiais, deposição e diagênese incipiente, que remontam idades terciárias e quaternárias, podendo ser classificadas em quatro tipos principais:

- i. **Residuais:** materiais formados *in situ*, depósitos de origem química (travertinos), lateritas e silicificações.
- ii. **Transportadas:** sedimentos fluviais; aluviões; terraços fluviais; depósitos de várzea; leques aluviais; sedimentos lacustrinos; sedimentos litorâneos; sedimentos eólicos; colúvios; depósitos de tálus (detritos mais grossos).
- iii. **Orgânicas:** turfeiras; recifes (corais e algas).
- iv. **Antropogênicas:** sambaquis; aterros; lixões; pilhas de rejeitos.

Além disso, Pfaltzgraff e Ferreira (2005) propuseram algumas definições importantes para a elaboração da cartografia e espacialização das formações superficiais, afirmando ser útil o

conhecimento e uma visão ampla sobre o espaço físico natural e as influências antrópicas sobre o mesmo. Desta maneira, citam alguns conhecimentos básicos necessários, tais como, aspectos geológicos; processos geomorfológicos (como a morfogênese); geomorfologia estrutural; controle tectônico da evolução do relevo (neotectônica); métodos de determinação de campo de tensões; hidrologia; e, geotecnia. Ademais, considera importante o papel das geotecnologias, como as ferramentas de sensoriamento remoto (imagens de satélite de alta resolução e radar); bem como elenca os principais pontos que devem ser representados em um mapa de formações superficiais, a saber (p. 3):

- i. as unidades residuais e transportadas.
- ii. informações sobre a origem do material (química, orgânica ou antrópica).
- iii. substrato aflorante com indicação do tipo litológico.
- iv. elementos de neotectônica (se existir).
- v. feições erosivas com significado regional (por exemplo: campo de voçorocas, falésias).
- vi. cronologia relativa (quando possível).
- vii. recursos minerais.
- viii. feições do modelado relevantes (bordas de chapada; escarpas; leques aluviais, cristas, taludes artificiais etc.).
- ix. Características físicas dos materiais.

Atualmente, as técnicas de mapeamento e espacialização de variáveis ambientais têm se desenvolvido em função do grande aparato geotecnológico disponível e em constante melhoramento. A revisão teórica a esse respeito mostrou que a espacialização da camada superficial da Terra, na era digital, considera, preponderantemente, a terminologia “solos”, o que não impede a sua abordagem para os objetivos desta tese, que adota os termos “materiais superficiais ou geocoberturas”, pelos motivos já mencionados anteriormente.

De acordo com Dobos e Hengl (2009), vive-se em uma era de mapas de solo digitais, que não são mais considerados mapas de solos, pois dentro das exigências do mundo, que buscam respostas para determinadas questões, como produtividade, resistência a impactos humanos, entre outros; o solo se torna apenas mais uma das inúmeras fontes importantes que precisam ser consideradas. Assim, julgam que o mapa resultante não é mais um mapa de solo puro (na perspectiva do mapeamento tradicional), mas torna-se uma representação complexa do meio ambiente. Destaca-se, neste sentido, a modelagem digital do terreno, já caracterizada em item anterior, na qual, vários autores indicam o papel dos MDEs ou MDTs para a análise da distribuição espacial dos solos / materiais superficiais (MOORE et al., 1993; BISHOP, MCBRATNEY, 2001; SCULL et al., 2003; MCBRATNEY; MENDONÇA SANTOS; MINASNY, 2003; BISHOP; MINASNY, 2006; LAGACHERIE; MCBRATNEY, 2007;

DOBOS; HENGL; 2009; HENGL; MACMILLAN, 2009; HENGL, 2009; GRUNWALD, 2010; ARRUDA; DEMATTÊ; CHAGAS, 2013).

Scull et al. (2003) esclarecem sobre o mapeamento preditivo do solo (*Predictive Soil Mapping – PSM*), o qual pode ser definido como a aplicação de um modelo numérico ou estatístico da relação entre as variáveis ambientais e as propriedades do solo, associado a uma base de dados geográficos. O desenvolvimento do PSM é potencializado a partir dos avanços na ciência da informação geográfica, da modelagem digital do terreno, do sensoriamento remoto, entre outros. Dobos e Hengl (2009) afirmam que a maior parte das análises de dados do solo ocorre em ambiente digital, citando o papel do SIG, seja para digitalizar os mapas pré-existentes de solos tradicionais, para convertê-los em polígonos baseados em vetores; ou derivar novas fontes de dados utilizando os modelos de previsão espacial do solo com base em pontos, sendo a tendência atual voltada para análise de amostras de pontos (coletadas em campo) e parâmetros analíticos. Nesses modelos, utilizam-se estruturas em grade (*raster*) para realizar as análises pretendidas, para melhor representar a natureza contínua do solo.

Os autores supra citados apresentam ainda um levantamento a respeito de técnicas tradicionais e digitais de mapeamentos de solos, as quais podem ser utilizadas para a abordagem de materiais superficiais ou geocoberturas. O mapeamento tradicional e o digital partem do mesmo pressuposto de que são necessários dados de entrada primários (referentes ao solo no campo) e também de covariáveis que caracterizam o ambiente de formação dos solos. A diferença crucial entre as duas formas de mapeamento está na maneira como a informação sobre o solo é derivada, sendo o modelo tradicional pautado em modelos subjetivos em função do julgamento do investigador do solo (análise qualitativa), enquanto o mapeamento digital depende de tecnologia e softwares específicos, com a aplicação de modelos estatísticos e quantitativos.

Grunwald (2010) discute a respeito do mapeamento digital dos solos (MDS), o qual envolve pesquisas e aplicações operacionais com o intuito de inferir sobre os padrões de solos em várias escalas espaciais e temporais. Nesta perspectiva, as diversas aplicações do estudo dos parâmetros dos solos são voltadas, com frequência, para a modelagem, previsão ou estimativa de certos processos ambientais (por exemplo, riscos ambientais, questões agrícolas, estimativa de estoque de carbono ou modelagem sobre o aquecimento global), bem como para além da sumarização das características dos solos, a espacialização da sua diversidade e variabilidade (DOBOS; HENGL, 2009; GRUNWALD, 2010).

Vários autores, como os já citados Moore et al. (1993); Scull et al. (2003); McBratney; Mendonça Santos e Minasny (2003); Dobos e Hengl (2009); Hengl e Macmillan (2009) e

Florinsky (2012), consideram a topografia um dos fatores chave para a formação dos materiais superficiais, premissa que já tem sido utilizada e comprovada desde os primórdios da ciência do solo, a partir dos estudos de catena e topossequências. Portanto, a análise da topografia terrestre leva à interpretação de muitos processos naturais de interesse para os seres humanos, inclusive, no desenvolvimento e funcionamento dos solos/materiais superficiais a nível local ou paisagístico.

Scull et al. (2003) afirmam que o desenvolvimento e configuração da camada superficial ocorrem, muitas vezes, em resposta ao movimento da água superficial e em subsuperfície na paisagem, que é controlada pelo relevo local. Dobos e Hengl (2009) reiteram que a natureza côncava ou convexa define a rede de drenagem e o transporte lateral de elementos químicos e partículas físicas, sendo que todos esses processos são resultantes da integração dos diferentes fatores de formação dos solos. A topografia interfere no macro-clima, direcionando regimes de precipitação e temperatura. A geologia e geomorfologia também estão diretamente relacionadas ao fator topográfico. Assim, os efeitos diretos e indiretos da topografia na formação dos materiais superficiais a tornam o fator mais reconhecido com o maior valor preditivo.

Neste sentido, Scull et al. (2003) consideram que a modelagem digital do terreno, que trata explícita e quantitativamente o caráter e forma da topografia, cuja distribuição espacial dos atributos caracteriza o fluxo da água local, pode capturar a variabilidade espacial dos atributos da camada superficial. De acordo com Moore et al. (1993), ao aplicarem um estudo de levantamento de solos em uma área onde o material parental apresentava-se relativamente uniforme, descreveram que uma grande proporção da variação local do solo (na perspectiva de uma vertente) pode ser atribuída às mudanças na forma de relevo. Assim, reiterando o papel do movimento da água no desenvolvimento dos solos/materiais superficiais, através e sobre a paisagem.

Para McBratney; Mendonça Santos e Minasny (2003), o reconhecimento das interações entre os fatores formadores do solo é potencialmente importante para o seu estudo em detalhe. Ao realizarem ampla revisão bibliográfica a respeito de técnicas e ensaios para caracterizar e espacializar as características dos solos, tais autores deixaram algumas premissas básicas, dentre as quais, destaca-se:

- i. As relações quantitativas, geralmente, foram mais facilmente identificadas entre a topografia e o solo, mas há evidências de relações quantitativas com os outros quatro fatores que formam ou que alteram o solo.
- ii. Em geral, as relações não podem ser consideradas como lineares.

- iii. O solo pode ser predito espacialmente a partir da posição geográfica com o uso de uma variedade de técnicas.
- iv. O solo pode ser predito por si próprio, outros atributos do solo e atributos ambientais em locais vizinhos.

Considerando, por outro lado, outras técnicas de espacialização dos atributos e variabilidade espacial dos materiais superficiais, cabe ressaltar aqui, alguns trabalhos voltados para aplicações de métodos convencionais de fotointerpretação, que podem, também, contribuir para a caracterização paisagística de determinado ambiente, quando associados à análise digital do terreno e embasados no entendimento da relação solo-paisagem, conforme colocam Hengl e Rossiter (2003).

Neste sentido, tais autores descrevem um método de aprimoramento de fotointerpretação (por estereoscopia) e delineamento manual das formas do terreno, como base para o mapeamento de solos, em que demonstram o delineamento de áreas amostrais em uma dada região, empregando essas amostras para treinamento de um classificador em um SIG, no intuito de extrapolar o mapeamento dos solos com a técnica supervisionada, processo análogo à tradicional classificação de uso da terra em imagens de satélite. Entretanto, foram utilizados os parâmetros do terreno extraídos de um MDE, como declividade, curvatura vertical e horizontal, entre outros, para realizar tal processamento. Deste modo, chegaram à conclusão de que a classificação supervisionada é um complemento à fotointerpretação, porém, o conhecimento e a experiência do pesquisador no que se refere à área de estudo e a inter-relação entre os componentes da paisagem, é crucial para o sucesso do mapeamento, o que induz a uma associação de métodos manuais e semi-automatizados (HENGL; ROSSITER, 2003).

Diniz, Oliveira e Augustin (2004, 2005) contribuem no sentido de aplicação de metodologia de fotointerpretação em fotografias aéreas com estereoscópio, tendo como base as formas, textura e tons de cinza, bem como associando às informações de mapas topográficos e geológicos. Estes autores asseveram a importância da correlação das classes interpretadas com os trabalhos de campo, e sua análise sob o ponto de vista da relação com os demais aspectos da paisagem, como o relevo e os processos atuantes.

Sob outra perspectiva, Simões et al. (2016) apresentaram um estudo de distribuição espacial de materiais superficiais, geneticamente associados a rochas siliciclásticas na Serra do Espinhaço, no qual realizaram o mapeamento das formações através de imagens orbitais de boa resolução espacial, buscando associar a sua ocorrência com os aspectos da estrutura geológica, por meio de um mapa estrutural, bem como com a descrição detalhada dos aspectos do relevo. Com este

intuito, identificaram um padrão linear e outro zonal, concluindo a forte relação dos aspectos litoestruturais que condicionam os materiais superficiais na área, sendo o padrão linear controlado por feições estruturais diversas, como falhas, alinhamentos, sinclinais e anticlinais, enquanto o padrão zonal é comandado por diferenças entre os tipos de rochas, que implicam em distintos graus de resistência aos agentes intempéricos.

O uso de imagens orbitais de alta resolução pode ser exemplificado a partir do emprego dos aplicativos *Google Maps/Earth*, uma solução de baixo ou nenhum custo, que possui grande potencial no auxílio a pesquisas da superfície terrestre. Outro produto com alto potencial para a análise da camada superficial da Terra, corresponde aos dados do levantamento aerogamaespectrométrico, que vêm sendo utilizados tanto nos estudos geológicos, quanto na pesquisa geomorfológica e dos solos / materiais superficiais.

2.4.3. Dados aerogamaespectrométricos e o seu potencial para a discriminação de materiais superficiais ou geocoberturas

Segundo Wilford, Bierwirth e Craig (1997), a superfície terrestre emite raios gama que se referem à mineralogia primária, à geoquímica da rocha e aos materiais secundários intemperizados. O intemperismo modifica a distribuição e a concentração de radioelementos presentes no material parental, e, conforme Hardy (2004), as suas proporções relativas são refletidas nos solos / materiais superficiais. Assim, o entendimento da resposta desses radioelementos oferece informações sobre os processos geomórficos e propriedades dos materiais superficiais/regolito, tais como, a sua mineralogia, textura, química e tipo de intemperismo. Tais circunstâncias têm potencial para contribuir com pesquisas em diferentes âmbitos, desde a exploração mineral até a caracterização e entendimento dos materiais superficiais.

Os radioelementos são constituídos pelas concentrações dos radionuclídeos Potássio (K), Tório (eTh) e Urânio (eU), os quais, de acordo com Wilford (2002) e Wilford e Minty (2006), são medidos pelo levantamento aerogamaespectrométrico (ou radiométrico), a 30 cm da superfície; a partir dos isótopos ^{40}K , para estimar a abundância de potássio; e as séries de decaimento ^{232}Th e ^{238}U , para o tório e urânio, respectivamente; sendo estes os principais emissores de raios gama usados em levantamentos geofísicos aéreos. Para Wilford e Minty (2005), os raios gama emitidos a partir da superfície terrestre referem-se principalmente à mineralogia e à

geoquímica da rocha e materiais intemperizados (por exemplo, solos, saprolitos, sedimentos aluviais e coluviais), e as imagens gamaespectrométricas podem, portanto, ser consideradas como um mapa geoquímico de superfície que mostra a distribuição dos radionuclídeos nas rochas, nos regolitos e nos solos.

Diversos outros autores contribuem com aplicações dos levantamentos gamaespectrométricos, indicando a sua aplicabilidade no estudo de regolitos e materiais superficiais, em casos de sucesso em diferentes pesquisas, por exemplo, Hardy (2004); Wilford; Murphy e Summerell (2007); Marchuk e Ostendorf (2009); Herrmann et al. (2010); Zachi, Silva e Rolim (2010); Petersen et al. (2012); Triantafilis; Gibbs e Earl (2012); Barbosa et al. (2013); Martelet et al. (2013); Arhin et al. (2015); Herrera (2016); Metelka et al. (2017); Werban et al. (2017).

Hardy (2004), em Central Queensland na Austrália, aplicou uma metodologia teste que vislumbrou a utilidade dos dados aerogamaespectrométricos para mapear os solos da região. Foi desenvolvido um modelo conceitual de litografia radiométrica em que relacionava a outro modelo pedogeomorfológico-litológico, no intuito de previsão das propriedades dos solos na área teste para posterior aplicação em outras áreas. Os resultados mostraram que os dados radiométricos foram úteis na identificação das características dos solos, sendo que as observações gerais de Hardy (2004), sugerem que o conjunto de dados de potássio (K) é útil na delimitação de depósitos aluviais recentes e rochas ígneas ácidas. Já o tório (Th) também foi útil no mapeamento de áreas coluviais altamente intemperizadas, depósitos terciários e depósitos ígneos básicos.

Wilford; Murphy e Summerell (2007), para a região central de New South Wales na Austrália, combinaram uma técnica de delineamento digital objetiva a partir de informações do regolito, em relação ao grau de intemperismo e profundidade, a partir da análise conjunta de dados radiométricos e um mapa de relevo derivado de um MDE. Posteriormente, para prever a distribuição dos tipos de solos, associaram os componentes do terreno e informações sobre o grau de intemperismo com um mapa de solo-paisagem pré-existente. Sobre o comportamento dos radioelementos, estes autores asseveram que, em geral, as concentrações decrescentes de K e o aumento de Th são observados em áreas altamente intemperizadas, o que reflete, a degradação dos minerais primários da rocha e a perda e reorganização correspondentes de K e Th. O potássio é, em grande parte, perdido em solução como minerais de K, como K-micas e K-fesldspato nas argilas. O tório, ao contrário, acumula-se no perfil de intemperismo devido à sua tendência a ser incorporado pelos óxidos de Fe e argilas, estando associados a minerais resistentes, como o zircão. Neste sentido, as análises realizadas utilizando informações do

relevo local, as proporções de Th / K, contagem total e K, foram úteis para explicar a distribuição relativa do grau e profundidade de intemperismo na área de estudo.

Herrmann et al. (2010) enfatizam o papel de alternativas acessíveis para o mapeamento dos materiais da superfície terrestre, tendo em vista o caráter dispendioso deste tipo de atividade, quando a área de estudo é ampla, com relevo movimentado, vegetação densa e carente de infraestrutura. Neste sentido, discutem a relevância da utilização de dados gamaespectrométricos, aerotransportados ou ao nível do solo, que permitem a caracterização e identificação de diferentes materiais, em escalas variadas e com relativa rapidez. Especialmente, tais autores assinalam que a relação K / Th se mostra bastante útil, enquanto o comportamento do urânio não é bem compreendido.

Zachi, Silva e Rolim (2010), ao estudarem as formações ferríferas da Serra de Itapanhoacanga em Minas Gerais, aplicaram a análise de imagens orbitais e geofísicas, em que estas últimas, referem-se aos dados de contagem total e dos canais individuais de K, eTh e eU; além do mapa ternário, obtido a partir da combinação destes três canais, o qual permite a análise da proporção e predominância de cada elemento. Segundo Simões et al. (2015, p. 21), o mapa ternário representa “a proporção de qual elemento radioativo está presente nas rochas”, assim, em função da representação do modelo, em RGB, “os tons avermelhados indicam potássio, esverdeados tório e arroxeados urânio. Os tons escuros representam baixos valores de todos os elementos na rocha.” Neste contexto, Zachi, Silva e Rolim (2010) identificaram forte relação na análise do ternário e dos canais K, eTh e eU na separação das unidades ferríferas da região, bem como na identificação de superfícies lateríticas, e salientam que o uso conjunto ou a combinação destas informações às imagens orbitais de sensoriamento remoto, fornece um produto de grande potencial para este tipo de análise.

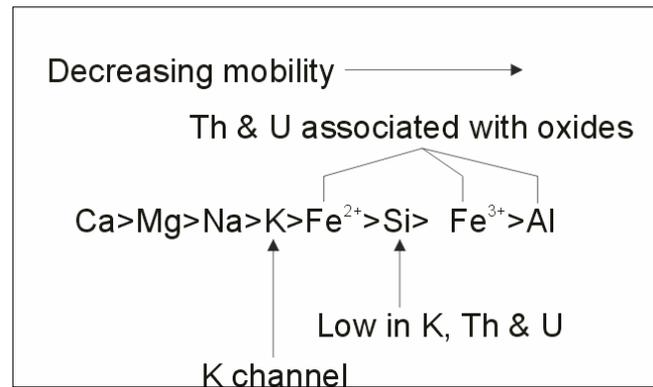
Nesta perspectiva, Wilford, Bierwirth e Craig (1997) defendem que as imagens gamaespectrométricas são aprimoradas quando combinadas com bandas Landsat TM e modelos digitais de elevação (MDE). Wilford (2002), ao citar algumas aplicações, acredita que as imagens radiométricas podem ser facilmente integradas e manipuladas com outros conjuntos de dados, a partir do uso de SIGs e sistemas de processamento de imagem. A combinação destas com imagens orbitais e MDE é particularmente útil para melhorar a interpretação, ao incluir atributos de terreno e informações de localização. Os MDEs podem ser combinados com dados gamaespectrométricos por meio de imagens de relevo sombreadas ou em perspectiva 3D, permitindo compreender as relações geomórficas e separar as respostas de raios gama da rocha e do regolito. Da mesma forma, técnicas de classificação supervisionadas e não supervisionadas

podem ser usadas para agrupar respostas de radioelementos em grupos espectrais similares, como base para separar unidades litológicas principais.

A respeito do comportamento dos radioelementos, cujos raios gama emanam a 30 cm da superfície, Wilford (2002) e Wilford e Minty (2005), ponderam as seguintes colocações, que podem ser observadas no esquema da Figura 2.3:

- i. A partir da perspectiva do regolito, o K, Th e U se comportam de forma bastante diferente um do outro durante o intemperismo e a pedogênese.
- ii. Como regra geral, a concentração de K diminui com o aumento da ação intempérica. Isto se dá devido ao K ser altamente solúvel na maioria dos ambientes de intemperismo, sendo rapidamente lixiviado do perfil. Uma exceção ocorre quando o K é incorporado em argilas potássicas, como a illita, e pode ser encontrado em quantidades menores, quando absorvido em argilas como a montmorillonita e a caulinita. A perda de K no solo pode ser usada como um substituto para mapear o grau de intemperismo e lixiviação da superfície.
- iii. Ao contrário, U e Th estão associados a minerais resistentes e quando são liberados durante o intemperismo, são facilmente absorvidos em minerais de argila, óxidos (Fe e Al) e matéria orgânica em solos. Portanto, a concentração de U e Th tende a permanecer o mesmo ou é preferencialmente aumentada em materiais intemperizados, pois outros minerais mais solúveis são perdidos em solução.
- iv. As imagens de gamaespectrometria podem ser usadas para separar áreas de alta atividade geomórfica com regolitos rasos, daquelas de superfícies estáveis que são menos ativas e que possuem regolitos mais profundos e com maior resistência. Assim, as respostas de raios gama em uma paisagem ativamente erosiva é susceptível de refletir a mineralogia e a geoquímica da rocha, enquanto que as formas de relevo mais estáveis, provavelmente refletirão materiais de solo / regolito.

Figura 2.3: Elementos intemperizados e a resposta gamaespectrométrica.



Fonte: Wilford, et al., 1997.

Metelka et al. (2017) estudaram uma área no oeste de Burkina Faso, país da África Ocidental, onde mapearam com sucesso a ocorrência de concreções ferruginosas ricas em hematita e goethita, superfícies erosivas representadas por afloramentos rochosos, sedimentos aluviais e pedimentos; a partir da utilização de um método que integrou dados multivariados, tais como, imagens orbitais, modelo digital de elevação (MDE) e dados de gamaespectrometria aerotransportados. Nesta pesquisa, os autores relatam que as crostas lateríticas tendem a acumular Th e U; o que as torna facilmente separáveis; em especial, na imagem eTh / K , bem como nos canais individuais.

Outro exemplo bem sucedido de mapeamento de materiais ferruginosos pode ser encontrado em Herrera (2016). Esta autora refletiu sobre tais aspectos, na identificação de crostas lateríticas, em uma área no norte de Rondônia, região amazônica brasileira, a partir da utilização de dados altimétricos, geomorfológicos e gamaespectrométricos. O método aplicado consistiu na utilização de um SIG (ArcGIS); por meio do qual, foram realizadas sobreposições dos mapas topográfico às imagens gamaespectrométricas, com vistas à identificação das altimetrias relacionadas à ocorrência de crostas lateríticas, associadas com a pesquisa e levantamento de campo e análise booleana. Os seus resultados demonstraram a associação entre crostas lateríticas e feições de topo plano (platôs), e as análises da gamaespectrometria mostrou-se válida na delimitação de áreas não associadas aos topos planos, sendo que, segundo Herrera (2016, p. 66), “a avaliação da razão eTh/K e dos canais individuais do K, eTh e eU permitiu delimitar os intervalos gamaespectrométricos associados às crostas lateríticas”.

CAPÍTULO III



3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Introdução

Ao detalhar a estruturação da tese de doutorado, cabe cuidar para que se diferencie a metodologia da pesquisa e os métodos e/ou técnicas de pesquisa. Kothari (1990) esclarece que os métodos de pesquisa podem ser entendidos como todos os métodos ou técnicas que são utilizados para a condução do trabalho, sendo, portanto, os processos responsáveis para realizar as operações da investigação científica. Já a metodologia da pesquisa pressupõe um significado mais amplo, pois engloba muitas dimensões, inclusive os métodos e técnicas, constituindo-se como uma maneira de resolver sistematicamente o problema da pesquisa.

A esse respeito, Tartuce (2013, p. 03) afirma que:

[...] a Metodologia Científica trata de método e ciência. Método é o caminho em direção a um objetivo; metodologia, o estudo do método. [...] Dessa maneira, metodologia é igual a um conjunto de procedimentos a serem utilizados pelo indivíduo na obtenção do conhecimento. É a aplicação do método, por intermédio de processos e técnicas, que garantem a legitimidade do saber obtido.

Segundo Kothari (1990), a metodologia implica ao pesquisador conhecer e entender os pressupostos subjacentes aos vários métodos/técnicas, os critérios pelos quais podem decidir que certas técnicas e procedimentos serão aplicáveis a certos problemas e outros não. Assim, ao tratar de metodologia da pesquisa, considera-se a lógica por trás dos métodos que são utilizados no contexto de um estudo.

Com base em Ab'Sáber (1969); Christofolletti (1973); Penteado (1983); Ross (1992, 2007); Rodrigues (1998); Caseti (2005), Hugget (2007) Augustin, Fonseca e Rocha (2011); Florenzano (2008); Evans (2012); Gustavsson (2005, 2006); Martins (2013), entre diversos outros autores, pode-se afirmar que no caso da Geomorfologia, a metodologia da pesquisa é complexa, principalmente, por estar relacionada a uma ciência por si só complexa e dinâmica. Os pressupostos por trás da investigação geomorfológica devem ser muito bem entendidos para que a escolha dos métodos e técnicas a serem aplicados alcancem os objetivos e contribuam para a resolução da problemática apontada.

Deste modo, a abordagem geomorfológica deve passar pela integração de diversos métodos para se tornar efetiva e com maior qualidade. Um exemplo é a realização dos estudos com base

tanto em aspectos quantitativos quanto qualitativos, pois a utilização destes dois métodos conjuntamente permite a obtenção de maiores informações, ao contrário do que se fossem utilizados isoladamente. A pesquisa em geomorfologia passa pela observação, descrição, análise e explicação, processos básicos em qualquer trabalho científico, constituindo-se a partir da abordagem teórica do problema, observações em campo, experimentos (em campo ou laboratório), método empírico quantitativo (estudos morfométricos), método de correlação geomorfológica e interpretação paleogeográfica, e por fim, métodos gráficos e cartográficos (CASSETI, 2005; ROSS, 1992, 2007).

É necessária uma abordagem sistemática para a análise dos dados em geomorfologia, tendo em vista o reconhecimento de uma estratégia geomorfológica moderna. Ao estudar o relevo terrestre, faz-se necessário atentar para a sistematização em três níveis de integração da análise geomorfológica proposta por Ab'Sáber (1969). Este autor elaborou uma importante contribuição metodológica, ao sistematizar em três níveis a abordagem da geomorfologia. O primeiro nível corresponde à *compartimentação topográfica*, que diz respeito ao estudo e descrição das formas do relevo terrestre (análise horizontal); o segundo nível refere-se à obtenção de informações sobre a *estrutura superficial* das paisagens, correspondentes a todos os compartimentos morfológicos observados, que proporcionam o entendimento da cronogeomorfologia, por meio dos processos paleoclimáticos e morfoclimáticos quaternários da área em estudo (análise vertical); e por último, o nível da *fisiologia da paisagem*, que tem por objetivo o entendimento dos processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais, ocasião na qual se insere o homem como agente que se apropria do meio e modifica as relações processuais entre a morfodinâmica e a resposta do substrato. Tal autor permitiu em sua proposta deixar um campo aberto para que cada pesquisador que nela se espelhasse, pudesse direcionar seus estudos conforme as próprias perspectivas.

Sendo assim, esta pesquisa, dentre as abordagens propostas por Ab'Sáber, apresenta uma sequência de análises que se encaixa nos três níveis, pois, no que se refere à compartimentação topográfica, busca o estudo a respeito das formas do relevo do ChD em diferentes níveis topográficos, cujo aspecto deve ser levantado a partir da cartografia geomorfológica, responsável pela representação e classificação das formas. Em relação ao estudo da estrutura superficial, busca as análises verticais em diferentes compartimentos de relevo identificados, por meio da realização de coleta de materiais superficiais em transectos de vertentes e análises laboratoriais de caráter granulométrico e difratometria de raios X; e por fim, no nível da fisiologia da paisagem, procura compreender as relações de funcionamento e os processos

recorrentes na área, por meio de análises espaciais e reconhecimento de processos morfodinâmicos atuantes.

É importante ressaltar, na análise do relevo, que os processos morfogenéticos referem-se tanto àqueles responsáveis pela esculturação das formas da superfície terrestre, compreendendo a atuação dos agentes exógenos sobre as vertentes, quanto àqueles responsáveis pela estruturação do relevo, que correspondem aos processos endógenos, marcados pela ação tectônica do passado e também pela neotectônica (TRICART, 1965; PENTEADO, 1983; SAADI, 1991; ROSS, 1992; RODRIGUES, 1998; FLORENZANO, 2008).

O estudo dos elementos exógenos demonstra a importância do clima no condicionamento de elaboração das formas de relevo, estando implícitas duas diretrizes básicas: a primeira, ao indicar que diferentes processos morfogenéticos podem produzir modelados distintos; e a segunda, referente ao fato de que as características do relevo devem refletir, de certa maneira, as condições climáticas sob as quais foi esculturado o modelado (CHRISTOFOLETTI, 1980). De outro lado, há que se destacar o papel da estrutura como elemento diferenciador e condicionante dos resultados gerados a partir da atuação dos processos climáticos (AUGUSTIN; FONSECA; ROCHA, 2011; MARTINS, 2013).

Encaixa-se, nestas circunstâncias, a análise do papel das rochas quartzíticas na manutenção prolongada da estrutura da Serra da Canastra, bem como nas formas de relevo truncadas no ChD; além da possível influência da neotectônica, uma vez que a área de estudo se encontra no domínio da Faixa de Dobramentos Brasília, cuja herança dos processos longínquos ocorridos resultou em notável presença de lineamentos, fraturas e diáclases, que refletem em descontinuidades nos padrões de relevo. A área de estudo indica uma preponderância do papel da litologia e estrutura geológica sobre os aspectos climáticos tropicais na qual se insere, onde o jogo de forças do intemperismo perde para a resistência do material parental subjacente. Todavia, é possível observar ao longo da superfície as variações no manto de alteração, que prevalece incipiente na maior parte da área, porém com descontinuidades que integram a ocorrência de materiais detrítico ferruginosos, o grau mais avançado de meteorização das rochas. A partir desta visão, pressupõe-se que os métodos e técnicas utilizados, possam contribuir com a melhor caracterização e entendimento da área de estudo.

A cartografia geomorfológica tem o papel de sintetizar tais aspectos e conta com uma gama de ferramentas e técnicas de mapeamento avançadas para isso. A geomorfometria ocupa uma posição primordial para a otimização desta etapa, pois conduz a realização do trabalho para a esfera da quantificação do relevo. Entretanto, para uma abordagem com maior nível de

aprofundamento, ao se propor o estudo dos materiais superficiais que se ajustam à inter-relação rocha-relevo-materiais superficiais, será abordada também a geomorfologia enquanto ciência sistêmica, composta pelas formas de relevo, processos e pela relação existente entre os mesmos.

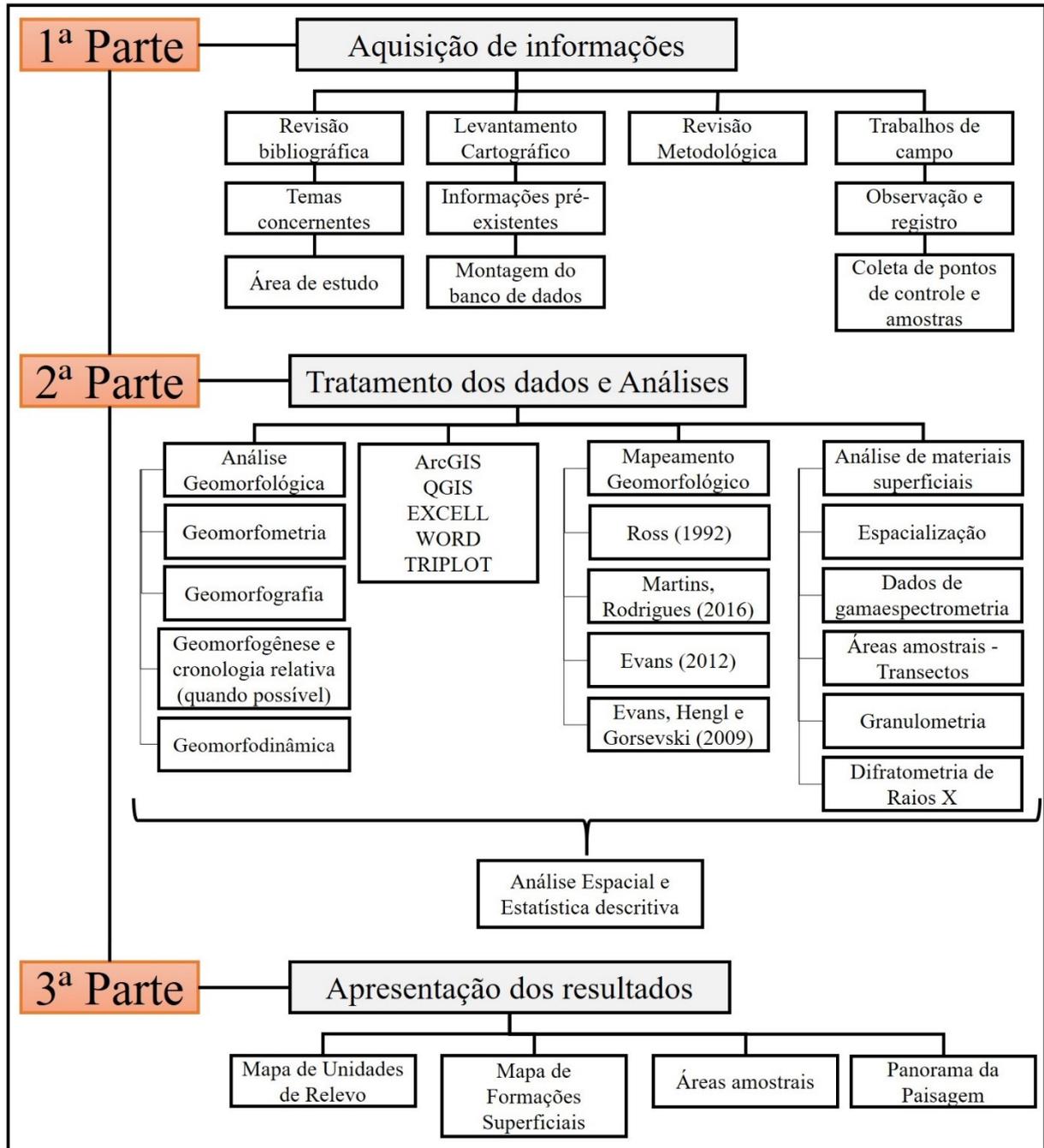
Para entender o relevo é necessário buscar a compreensão do seu funcionamento enquanto resultado de um conjunto de interações, que dizem respeito ao clima, à geologia, à biogeografia e ao ser humano. No caso do ChD, enquanto área protegida desde a década de 1970, os aspectos antrópicos serão, por ora, colocados como fator em desvantagem dentro do sistema atuante na área, a não ser pela abordagem da atividade turística que de certa forma, traz diferentes tipos de impactos, o que não é interesse de estudo nesta pesquisa.

Basicamente, pode-se dividir a pesquisa realizada em três grupos de atividades principais:

- a) o primeiro grupo, referente aos métodos de aquisição de dados, que engloba: a **etapa de gabinete**, com o levantamento bibliográfico (revisão teórica e metodológica) e levantamento cartográfico; e a **etapa de campo**, a partir da realização de múltiplos trabalhos de campo, partindo da análise macro para a micro, com a coleta de pontos de controle e amostras de geocoberturas em áreas amostrais;
- b) o segundo grupo, que se refere ao tratamento e análise dos dados, englobando: a **etapa de mapeamento e análise espacial**, com processamento das informações espaciais da geologia, relevo e geocoberturas, a partir de métodos morfométricos, cartográficos e geoestatísticos; e a **etapa de laboratório**, que inclui as análises granulométricas e difratometria de raios X;
- c) o terceiro grupo, por fim, que se remete à apresentação dos resultados, a partir da análise dos seus significados, representação em mapas, quadros, tabelas, gráficos, com discussões e considerações.

Esta estrutura geral da tese pode ser verificada com maior clareza no fluxograma a seguir (Figura 3.1), sendo que todos os métodos e técnicas serão apresentados com maiores detalhes logo adiante.

Figura 3.1: Fluxograma estrutural da Tese.



3.2. Lista de materiais

a) Equipamentos:

- Notebook HP Intel ® Core™ i5-4200U CPU @ 1.60 GHz 2.30 GHz.

- Aparelho GPS Garmin GPSmap 62Sc.
- Aparelho Phantom 3 Standard (Veículo aéreo não tripulado – VANT).
- Smartphone.

b) Aplicativos:

- Sistema Operacional Windows 10 Home Single Language.
- Microsoft Office Home and Student 2016.
- Suíte de aplicativos ArcINFO ESRI (ArcGIS 10.2 – Licença Advanced).
- Aplicativo Quantum GIS versão 2.18 (QGIS).
- Complemento OpenLayers – *Google Maps/Google Earth*.
- Aplicativo Triplot versão 4.1.2.
- Aplicativo Rockware Rockworks 17.

c) Ferramentas de laboratório e campo:

- Balança com precisão de duas casas decimais.
- Almofariz e mão de grau.
- Jogo de peneiras (3,35; 2,0; 1,7; 0,85, 0,6; 0,425; 0,3; 0,212; 0,15; 0,106; 0,075; 0,053).
- Agitador de peneiras.
- Trado holandês.
- Pá.
- Baldes.
- Facas.
- Balança eletrônica Helmac-HM-500 UM.
- Balança digital analítica AND HR-200.
- Estufa para secagem e esterilização DELEO Temperatura 50°C-250°C.
- Mesa Agitadora orbital TE-141- Tecnal.
- Peneiras granulométricas redondas ViaTest.
- Macropipetador para pipetas, regulável de 0,1 a 1000 ml.

- Vidrarias.

d) Fontes de dados:

- Cartas Topográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1970) – Arquivos vetoriais e *raster*.
- Arquivo vetorial da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo - Folha SF-23 (Serviço Geológico do Brasil -CPRM, 2003).
- Arquivo vetorial da Geologia de Minas Gerais (Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – CODEMIG, 2014).
- Arquivo vetorial da Geologia da Folha Vargem Bonita (CODEMIG, 2015).
- Imagens do *Google Maps/Earth*.
- Imagens de dados do levantamento aerogamaespectrométrico de Minas Gerais (CODEMIG, 2005-2006)
- Imagens de VANT (Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos, UFU, 2017).

3.3. Montagem do banco de dados

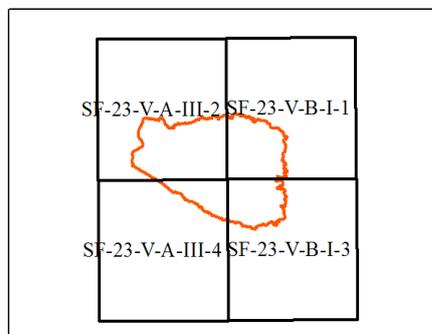
3.3.1. Etapa de gabinete

A fase de gabinete incluiu o levantamento bibliográfico acerca dos assuntos pertinentes à pesquisa e também à área de estudo. A fundamentação teórica e metodológica pautou-se na revisão de artigos de periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros, teses e dissertações. Buscou-se a leitura dos temas mais relevantes, incluindo no corpo da tese os aspectos que se julgou necessários para embasar o trabalho, por exemplo, os pressupostos da cartografia geomorfológica e da geomorfometria; aspectos dos materiais superficiais ou geocoberturas e sua análise e espacialização; e, por fim, a aplicação da análise espacial e estatística descritiva, com o intuito de identificar correlações e entender fenômenos a partir de alguns parâmetros estatísticos dos dados.

Nesta etapa, realizou-se também o levantamento cartográfico, por meio da organização e compilação de dados espaciais pré-existentes, importantes para a representação da área de estudo e para a análise dos aspectos geomorfológicos de interesse. A priori, foi feita a escolha da plataforma SIG a ser utilizada, sendo o conjunto de aplicativos da ESRI, denominado ArcGIS na versão 10.2. Todas as etapas de montagem do banco de dados cartográficos e as diversas análises foram realizadas por meio dessa plataforma, devido à qualidade de interface amigável, capacidade alta de armazenamento de dados, possibilidades de aplicações cartográficas e ferramentas de análise em 3D avançadas. Para algumas funções de vetorização e utilização de mapa base, foi utilizado o aplicativo Quantum GIS, que integra imagens disponibilizadas pelo *Google Maps/Earth*, com alta resolução.

A base cartográfica foi constituída por meio das Cartas Topográficas do Mapeamento Sistemático do Brasil - IBGE (1970), sendo que a área é englobada por quatro cartas na escala de 1:50.000, a saber: São Roque de Minas (SF-23-V-B-I-1); Serra da Canastra (SF-23-V-A-III-2); Vargem Bonita (SF-23-V-B-I-3); e Serra da Guarita (SF-23-V-A-III-4), articuladas conforme a Figura 3.2.

Figura 3.2: Articulação das Cartas Topográficas do Mapeamento Sistemático Brasileiro, sendo a área de estudo destacada em vermelho.

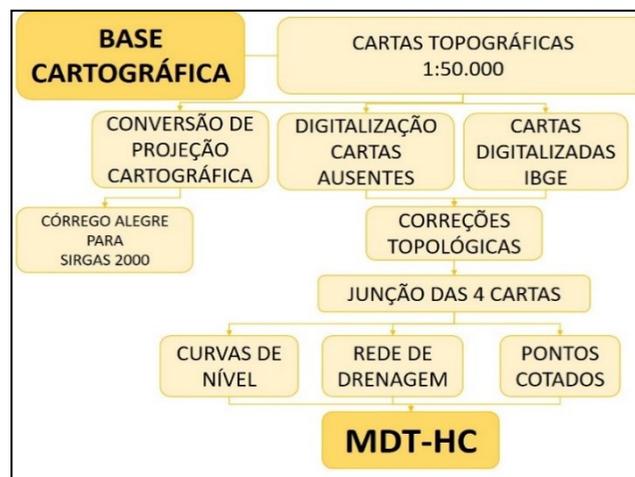


Para o processo de organização do banco de dados, se fez necessário realizar a conversão do sistema de coordenadas das cartas topográficas, passando do Datum Córrego Alegre (em desuso) para o Sistema Geodésico de Referência oficial do Brasil, o SIRGAS 2000 (vigente desde 2012). Dentre as cartas supracitadas, apenas a Vargem Bonita e Serra da Guarita foram disponibilizadas em meio vetorial, enquanto a São Roque de Minas e Serra da Canastra passaram pelo processo de vetorização manual e semi-automática, com o auxílio das ferramentas *Editor* e *ArcScan* do aplicativo *ArcMap*. Posteriormente, foram aplicadas correções topológicas em todas as cartas, através da ferramenta *Topology*, para corrigir possíveis erros na

geometria dos vetores, os quais se configuram em rede hidrográfica, curvas de nível e pontos cotados.

Após as correções, procedeu-se à junção das camadas (layers) para a finalização da base cartográfica: a) Curvas de nível; b) Pontos cotados e c) Rede de drenagem. O processo de interpolação dessas camadas permite a criação de um Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistido (MDT-HC), o qual fornece, com maior propriedade, as características topográficas e morfométricas da área em questão (MAGALHÃES, 2015). O método interpolador é o *Topo to Raster* do conjunto de ferramentas de Análise Espacial do ArcGIS (Figura 3.3).

Figura 3.3: Fluxograma explicativo da organização da base cartográfica.



Em relação aos mapas temáticos pré-existentes da área, apenas o Mapa Geológico foi encontrado, disponibilizado livremente online, em três versões: a) Carta Geológica da Folha SF-23 – escala 1:1.000.000 – CPRM (2003); b) Mapa Geológico de Minas Gerais – escala 1:100.000 – CODEMIG (2014); e c) Mapa Geológico da Folha Vargem Bonita – escala 1:100.000 – CODEMIG (2015), esta última, que cobre parcialmente o ChD. Ainda são inexistentes mapeamentos em escalas de maior detalhe para a região e, devido ao mapa na escala 1:100.000 não cobrir a área completa, optou-se por juntar os mapas da CODEMIG (b, c) para representá-la. Isto se deve, também, ao fato de a área não conter variações significativas na litologia, fato descrito na literatura e de relativa facilidade de observação *in situ*.

Com relação às imagens de satélite, optou-se por trabalhar com aquelas disponibilizadas gratuitamente pelo *Google™*, por meio do complemento *OpenLayers* para o aplicativo QGIS, que permite o acesso à plataforma *Google Maps/Google Earth*, possibilitando a interação de

ferramentas de vetorização avançadas com imagens de alta resolução espacial, como as da *Airbus da Digital Globe*. Esta associação permite o mapeamento e interpretação de imagens com grande vantagem, sendo observados os devidos cuidados e regras cartográficas gerais, por exemplo, em relação à escala e projeção cartográfica.

Por fim, para complementar o aporte de dados, foram disponibilizados pela CODEMIG, por meio de um ofício de solicitação do Instituto de Geografia (UFU), os arquivos do Levantamento Aerogeofísico do Estado de Minas Gerais, realizado nos anos de 2005 e 2006, na escala de 1:100.000, que cobre toda a área de interesse da pesquisa. Os arquivos compreendem o formato GRID da Geosoft, programa específico para análise geofísica, tendo sido necessário converter as imagens para TIF, um formato *raster* passível de leitura e interpretação através do ArcGIS, bem como realizar a conversão do sistema de coordenadas para SIRGAS 2000. As imagens disponibilizadas englobam informações a respeito de dados magnetométricos e gamaespectrométricos, sendo apenas estes últimos utilizados para as análises específicas desta pesquisa. Estas informações são melhor detalhadas no item referente ao mapeamento das geocoberturas, sendo uma ferramenta de grande utilidade para tal.

3.3.2. *Etapa de campo*

A etapa de campo correspondeu a um conjunto de visitas à campo, que serviram para alimentar o banco de dados ao longo da execução da tese. Os trabalhos foram essenciais para a investigação empírica, com a marcação de pontos de controle (GPS) e registro fotográfico, a partir da utilização de câmaras fotográficas comuns (incluindo aparelho *smartphone*) e imageamento por veículo aéreo não tripulado – VANT (Phantom 3), que contribuíram para o reconhecimento e observação da paisagem, formas do relevo, fenômenos geomorfológicos e materiais superficiais, bem como a coleta de materiais em pontos de áreas amostrais (FIGURA 3.4). Foi elaborada e utilizada uma ficha de campo para tomar notas e identificar os pontos amostrais registrados, e também utilizada uma caderneta de campo.

Figura 3.4: A) GPS Garmin GPSmap 62Sc. B) VANT Phantom 3 Standard. C) Campanha de Campo, out. 2016.



Fonte: A) GARMIN, 2017 (<https://buy.garmin.com/pt-BR/BR/p/89556>); B) DJI, 2017 (<https://www.dji.com/phantom-3-standard>); C) Autoria: NAZAR, 2016.

As atividades de campo constituem-se como de múltiplas etapas, pela extensão da área e aplicações realizadas, por exemplo, em um trabalho de mapeamento, sendo necessária a realização de saídas a campo prévias, durante e posteriores à execução do processamento dos dados da pesquisa. Foram efetuados, em média, duas campanhas de campo ao ChD e entorno por ano, durante o período 2014-2017, conforme se observa no Quadro 3.1:

Quadro 3.1: Trabalhos de campo realizados.

Período	Objetivos
Abril/2014	Reconhecimento da área (setor Leste), registro fotográfico, observações, registro de pontos GPS.
Fevereiro/2015	Reconhecimento da área (setor Oeste), registro fotográfico, observações, registro de pontos GPS.
Junho/2015	Reconhecimento da área (setor N e S), registro fotográfico, observações, registro de pontos GPS.
Fevereiro/2016	Registro fotográfico, observações, registro de pontos GPS, coleta de materiais inconsolidados nas áreas amostrais 1 e 2.
Outubro/2016	Registro fotográfico, observações, registro de pontos GPS, coleta de materiais inconsolidados na área amostral 3.
Janeiro/2017	Registro fotográfico por sobrevoo de VANT, validação de mapeamento.
Agosto/2017	Validação de mapeamento.

O Mapa 3.1 mostra a distribuição dos pontos de controle na área, os quais correspondem aos locais de acesso facilitado pela estrada principal ou caminhos secundários. Em virtude da dimensão do ChD, o sobrevoo com VANT, as imagens de satélite de alta resolução, os dados aerogamaespectrométricos e a base cartográfica do IBGE contribuíram para o reconhecimento geral, e foram ferramentas importantes para os resultados alcançados. Além dos pontos de controle espalhados aleatoriamente, foram selecionadas três áreas amostrais para a realização de coletas de materiais superficiais, baseadas em transectos ao longo do eixo interflúvio-fundo de vale, em três tipos principais de vertentes. A escolha dos transectos pautou-se em critérios empíricos, a priori, mas estão de acordo com diferentes classes de relevo mapeadas. O intuito de tal escolha foi estabelecer as relações entre o relevo e as geocoberturas, conforme os principais padrões de paisagem observados inicialmente:

- Primeiro padrão observado, onde o relevo caracteriza-se por formas mais íngremes, geralmente associados às áreas de afloramentos quartzíticos, cujos materiais superficiais são de pequena espessura, ora com presença de cascalhos, ora com material mais fino. Presença de vegetação do tipo campo rupestre (TRANSECTO A).
- Segundo padrão verificado, no qual o relevo torna-se suave ondulado, com raros afloramentos, e as geocoberturas variam de espessura, com presença de concreções ferruginosas nos topos, predominando frações cascalho-arenosas; e ocorrência de campos de murunduns em diversas posições topográficas, preferencialmente em trechos retilíneos e côncavos; e nos fundos dos vales podem ser observados materiais finos a grosseiros na cor acinzentada escura, associada à lenta decomposição da matéria

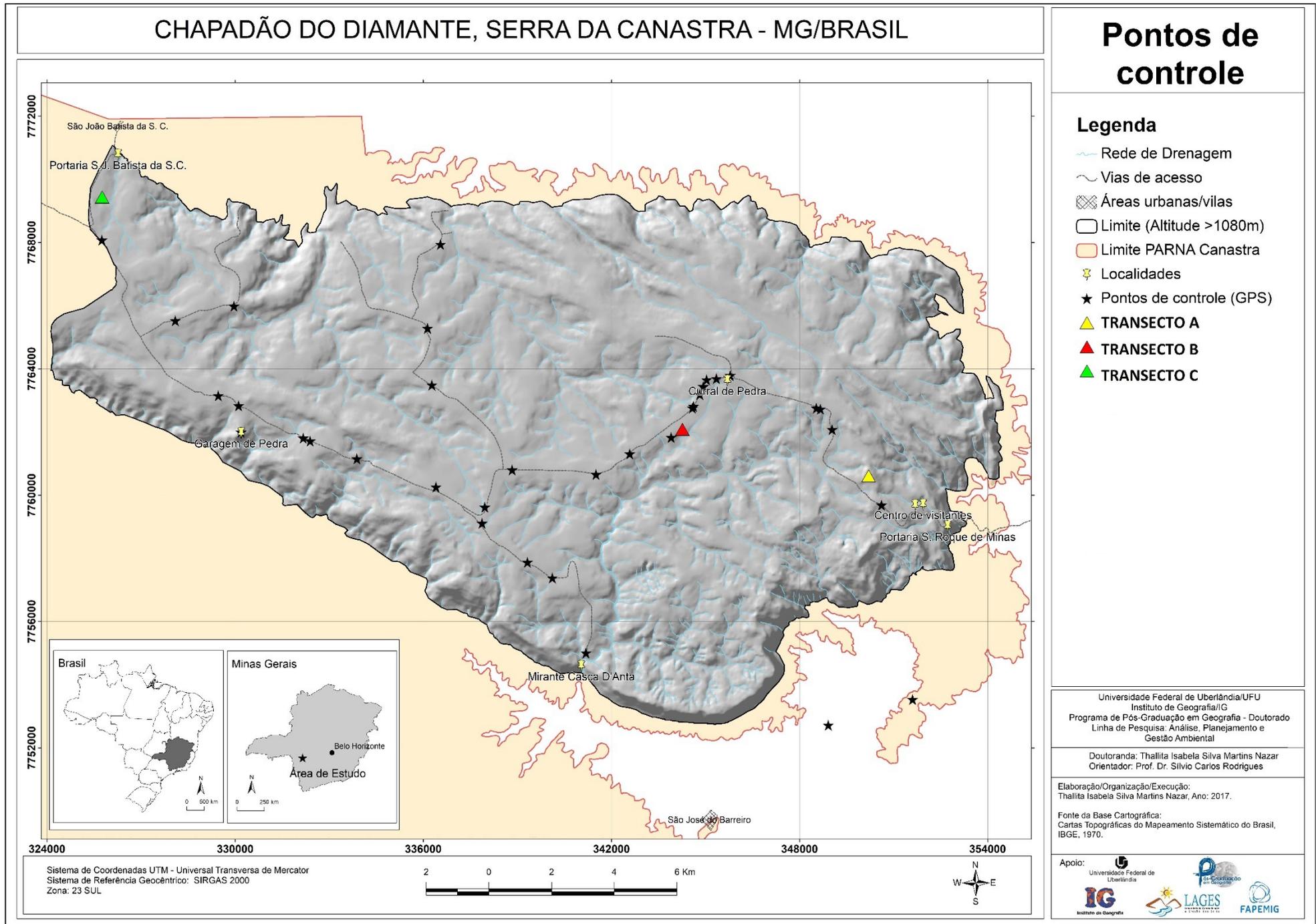
orgânica, que permanece por mais tempo no ambiente. Presença de vegetação do tipo campo limpo a sujo (TRANSECTO B).

- Terceiro padrão observado, em que o relevo se apresenta plano a suave ondulado, com ocorrência de materiais espessos na cor avermelhada e com presença de concreções ferruginosas, em área mais afastada dos afloramentos quartzíticos. Os campos de murunduns também se fazem presentes e fundo de vales com materiais orgânicos. Presença de vegetação do tipo campo limpo, campo sujo a cerrado stricto sensu (TRANSECTO C).

Além destes três principais padrões selecionados, a paisagem do ChD ainda apresenta outros conjuntos, que a tornam de uma complexidade distinta, que será demonstrada nas discussões dos resultados da pesquisa. É importante ressaltar, conforme salienta Messias-Martins et al. (2013), que na análise geomorfológica a abordagem vai além da interpretação pedológica das coberturas terrestres, sendo, portanto, viabilizado a substituição dos termos “solo” e “horizontes” por materiais superficiais e camadas, respectivamente.

Neste sentido, os transectos foram georreferenciados a partir da tomada dos pontos de controle por GPS, tendo sido plotados sobre o MDT, com o intuito de gerar o perfil topográfico de cada um deles. Os pontos para coleta de amostras e descrições dos perfis e camadas dos materiais foram selecionados conforme a divisão em alta, média e baixa vertente, bem como as mudanças gradativas de gradiente, coloração, espessura e tipo de material subjacente. Executou-se tradagens com trado holandês e, quando se julgou necessário, foram abertas pequenas trincheiras para averiguação das características. As amostras foram dispostas em saquinhos plásticos, devidamente marcadas e acondicionadas em caixa organizadora.

Mapa 3.1: Localização dos pontos de controle e áreas amostrais.



3.4. Tratamento e Análise dos Dados

3.4.1. Etapa de mapeamento do relevo

Pavlopoulos, Evelpidou e Vassilopoulos (2009) retratam o mapeamento geomorfológico no Século XXI diante dos avanços tecnológicos disponíveis, citando, por exemplo, a utilização de algoritmos pré-definidos. Reiteram que a maioria dos pesquisadores classifica as formas de relevo com base na separação em unidades geneticamente homogêneas, produzidas por fatores de construção (agradiação) e destruição (degradação). Neste sentido, as formas de relevo podem ser consideradas como geneticamente homogêneas em função de processos atuais e passados, sendo que cada tipo de forma é resultante de determinado tipo litológico, processos geomorfológicos, atuação do clima e o tempo.

Entretanto, os objetos (formas) na superfície terrestre têm sido definidos por muito tempo subjetivamente, com tentativas cada vez maiores de melhorar a consistência dos dados, seguidas por tentativas (de sucesso variável) de defini-las automaticamente a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE) (EVANS; MINAR, 2011). No caso deste trabalho, conforme já especificado, utiliza-se um MDT-HC, que consiste na representação da superfície terrestre a partir de valores altimétricos extraídos de cartas topográficas, com base nas curvas no nível do terreno e rede hidrográfica.

Ressalta-se que a base teórico-metodológica do mapeamento do relevo para esta pesquisa se apoia nos pressupostos de Ross (1992), que determina a hierarquização das formas da superfície terrestre, a qual pode ser classificada em diferentes táxons (1º ao 6º táxon), conforme as suas dimensões e características. Em contrapartida, as técnicas de mapeamento digital por meio de um SIG, são baseadas na utilização de um mapa geológico base e em parâmetros extraídos do MDT-HC, os quais devem ilustrar a hierarquização das formas de relevo a partir da aplicação de algoritmos semi-automatizados.

Dentro da perspectiva de hierarquia das formas de relevo, pode-se relacionar ao que Evans (2012) afirma sobre a aplicação da geomorfometria específica e geral na cartografia geomorfológica. O autor entende que são necessárias, tanto na geomorfometria quanto no mapeamento do relevo, abordagens gerais e específicas (isto é, de campo contínuo e de objeto), pois as mesmas são complementares, assim, é preciso utilizar ambos os conceitos para enriquecer mapas geomorfológicos múltiplos com numerosos mapas geomorfométricos, inter-

relacionando-os em um ambiente SIG. Isto se deve ao fato de que a geomorfologia dedicou bastante esforço à classificação de diferentes padrões de superfícies terrestres (formas gerais de relevo) e ao reconhecimento de características específicas (formas elementares de relevo), bem como às correlações entre os atributos superficiais. Pode se relacionar tais aspectos, conforme especificado no Quadro 3.2, que servirá de base para o mapeamento do relevo do ChD:

Quadro 3.2: Relação estabelecida entre a hierarquização do Relevo (ROSS, 1992), o campo e os parâmetros de análise.

Hierarquia (ROSS, 1992)	Nomenclatura	Características	Campo de análise	Parâmetro de análise
1º Táxon	Unidades Morfoestruturais	É a maior forma de relevo, sua idade e história genética são mais antigas que as Unidades Morfoesculturais esculpidas em seu interior. Exemplos: Bacia Sedimentar do Paraná, Cráton do São Francisco.	Análise Morfoestrutural	Litologia
2º Táxon	Unidades Morfoesculturais	São de dimensões inferiores às das Unidades Morfoestruturais, e com idade bem menor. Exemplos: Planalto Paranaense, Depressão Periférica paulista.	Análise Morfoescultural – atributos morfográficos	Altitude / Gênese
3º Táxon	Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes	Estas retratam um determinado aspecto fisionômico decorrente das influências dos processos erosivos mais recentes e posteriores àqueles que esculpiram os planaltos e depressões. Exemplos: Padrão em morros, Padrão em colinas.	Análise Morfoescultural - Geomorfometria Geral	Declividade / Densidade de Drenagem / Rugosidade / Altimetria / Perfis Topográficos
4º Táxon	Tipos de formas de relevo	Referem-se a cada uma das formas de relevo encontradas nas Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes. Exemplo: Em um Padrão em morros, cada morro que faz parte desse padrão possui características que o diferencia dos demais.	Geomorfometria Específica	Perfis Topográficos
5º Táxon	Tipos de Vertentes	Representa os tipos de vertentes contidas em cada forma de relevo, sendo assim, de gênese e idade mais jovens. Exemplos: vertentes côncavas, convexas, aguçadas, etc.	Geomorfometria Específica	Curvatura horizontal / Curvatura vertical
6º Táxon	Formas e processos atuais	Refere-se às formas de relevo bem menores e muito mais recentes, que surgem ao longo das vertentes por processos geomórficos e até mesmo por ação antrópica. Exemplos: sulcos, ravinas, voçorocas.	Não se aplica	Pontual

Nesta perspectiva, dividiu-se as tarefas de mapeamento geomorfológico em duas partes principais: a **análise morfoestrutural**, regida pelas características litoestruturais, que são os aspectos controladores do relevo; e a **análise morfoescultural**, baseada nos aspectos morfográficos e morfométricos, este último cujos parâmetros são determinados a partir do MDT-HC com subsídio da geomorfometria geral e específica. Tais parâmetros remetem aos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, abordados por Ross (1992; 2007) e que possuem

origem nas concepções teórico-metodológicas construídas a partir da proposta de Walter Penck. Na década de 1920, Penck determinou a base para as pesquisas e análises geomorfológicas, na qual a sua natureza e princípio devem ser apoiados em três elementos-chave, a saber: os processos exógenos, os processos endógenos e os processos que resultam da interação entre os dois anteriores, chamados de feições atuais do relevo (ROSS, 2007).

Ainda a esse respeito, cabe reiterar que a topografia da superfície terrestre fornece informações importantes para estudos geomórficos, porque reflete a interação entre processos tectônicos (antigos e/ou atuais) e processos erosivos climáticos, portanto, a avaliação baseada em processos geomorfológicos, estabelece o fato de que as formas de relevo não são caóticas, mas estruturadas por processos geológicos e geomórficos que ocorreram/ocorrem ao longo do tempo (COBLENTZ; PABIAN; PRASAD, 2014).

De acordo com Evans, Hengl e Gorsevski (2009), a primeira opção para delinear formas de relevo seria confiar no conhecimento empírico do pesquisador. No mapeamento tradicional das formas de relevo, tenta-se reconstruir os principais processos geomorfológicos, reconhecer o material geológico e os principais elementos estruturais de uma paisagem para depois delinearlos com o uso da fotointerpretação estereoscópica e do levantamento de campo. Entretanto, os parâmetros da superfície terrestre (PSTs), fornecidos pelo MDT-HC, podem ser usados para produzir um mapa mais objetivo do que o delineado manualmente. É possível, ainda, basear o processamento em um conceito mental (identificação prévia da legenda do mapa, com o conhecimento empírico), contudo, os parâmetros de paisagem ajudam a classificar a área de forma objetiva, utilizando um algoritmo semi-automatizado.

Diante do exposto, a partir das premissas apontadas por Ross (1992), Evans, Hengl e Gorsevski (2009), Evans (2012), bem como com a adaptação da metodologia de Martins (2013) e com o apoio das aplicações de Sampaio e Augustin (2014) e Weiss (2001); realizou-se as seguintes etapas de processamento da análise geomorfológica do ChD (Quadro 3.3):

- i. *Trabalhos de campo pré, durante e pós-análises*: montagem do mapa mental, validação e verificação do mapeamento.
- ii. *Análise morfoestrutural (1º táxon)*: referente à definição do tipo crustal; à estrutura que sustenta o relevo; cujas informações são fornecidas pelo mapa geológico, condizente com os domínios de bacias sedimentares, crátons e faixas orogênicas ou móveis.

- iii. *Análise morfoescultural (2º e 3º Táxons)*: referente à determinação das unidades geneticamente homogêneas, oriundas dos aspectos climáticos que atuaram/atua sobre a estrutura, o que resulta em determinado tipo de modelado.

Quadro 3.3: Síntese das análises morfoestruturais e morfoesculturais.

Classificação	Descrição	Produtos Resultantes
1º Táxon – Unidade Morfoestrutural	<ul style="list-style-type: none"> • Unidade baseada no componente litoestrutural. 	<ul style="list-style-type: none"> • Base para o Mapa de Padrões de Relevo.
2º Táxon - Unidade Morfoescultural	<ul style="list-style-type: none"> • Litotipos específicos; gênese, altimetria (MDT-HC). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de Padrões de Relevo. • Perfis Topográficos.
3º Táxon - Unidades Morfológicas (Padrões)	<ul style="list-style-type: none"> • Grau de dissecação do relevo (ICR) (MDT-HC). • Densidade de drenagem (MDT-HC). • Topografia (MDT-HC). • Padrões em colinas, morros, topos planos, etc. 	

Cabe ressaltar que a delimitação da área para o mapeamento das unidades de relevo, extrapolou o limite das altitudes superiores a 1080 m, prevendo a totalidade do ChD mais a área do entorno, sendo delimitada a norte pelo rio Santo Antônio (Bacia do São Francisco); a sul, pelo também rio Santo Antônio (Bacia do Rio Grande / Paraná), no sentido oeste, e pelo rio São Francisco, que após a queda da Casca D'anta, segue o seu curso a leste para contornar mais a frente no sentido norte; a oeste pelos interflúvios que dividem as nascentes do rio Araguari e rio Santo Antônio; e, por fim, a leste, pela delimitação do próprio PARNA da Serra da Canastra. Tal configuração contribuiu para uma melhor abordagem e destaque do ChD no relevo local.

a) Execução da classificação do 1º e 2º Táxons

O 1º Táxon foi determinado a partir da análise da conjuntura litoestrutural da região em que a área está inserida, conforme especificado no item ii anteriormente.

O 2º Táxon foi analisado conforme a variação de tipos litológicos existentes em determinada área de estudo, levando em consideração as respostas topográficas fornecidas pela atuação dos processos exógenos, o que caracteriza a gênese e a posição altimétrica do compartimento de relevo. Neste sentido, a classificação consistiu em planaltos, planícies, depressões, serras; bem como relevos de dissecação, agradação ou estrutural.

b) Execução das análises do 3º Táxon

A análise do 3º Táxon que corresponde à classificação em Unidades Morfológicas ou Padrões de Formas Semelhantes, pautou-se na avaliação geomorfométrica de três parâmetros, tendo em vista o proposto por Ross (1992), que leva em consideração a gênese dos padrões de formas, a distância interfluvial e o grau de aprofundamento dos vales. Neste sentido, o mapeamento do relevo realizado faz uma adaptação da metodologia, para ambiente SIG, abordando as aplicações de Sampaio e Augustin (2014) e Weiss (2001), refletindo os seguintes aspectos (Quadro 3.4):

Quadro 3.4: Parâmetros para classificação do relevo.

DENSIDADE DE DRENAGEM (distância interfluvial)
X
ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA RUGOSIDADE (aprofundamento dos vales)
+
DENSIDADE TOPOGRÁFICA (diferença altimétrica)

- i. Densidade de Drenagem (DD), que representa a distância interfluvial de modo inversamente proporcional, sendo que quanto maior a densidade de drenagem, menor será a distância interfluvial. A DD é considerada, de acordo com Christofolletti (1980), uma das variáveis mais importantes para as análises morfométricas por representar o grau de dissecação topográfica, em paisagens elaboradas pela atuação fluvial; além de expressar a quantidade disponível de canais para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas.
- ii. Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), modelo apresentado por Sampaio e Augustin (2014), que reflete a distribuição espacial (densidade) da declividade do terreno, podendo representar os graus de aprofundamento dos vales em três dimensões, eliminando o efeito bidimensional da análise por perfis topográficos. Os graus de declividade estão diretamente relacionados aos aspectos de dissecação do relevo, em que as concentrações de classes maiores ou menores de declividades definem os ICRs de muito baixos a muito altos, de modo proporcional.

- iii. Densidade Topográfica (DT), adaptada de Weiss (2001), que determina a variação espacial da diferença altimétrica, cuja análise da superfície contínua reflete a existência de diferentes compartimentos de relevo a partir dos valores das cotas topográficas, além disso, a topografia pode indicar, a partir dos diferentes níveis altimétricos, variações de formas, substrato e materiais superficiais. Esta variável deve ser levada em consideração pois permite uma maior aproximação da realidade do relevo de determinada área, sendo o fator delimitador entre padrões de formas, por exemplo, padrões em morros e/ou colinas.

Os resultados de densidade foram gerados pelo Estimador de Densidade por Kernel (KDE, *Kernel Density* do conjunto de ferramentas de Análise Espacial), um método estatístico de estimação não-paramétrico de curvas de densidades, cujas observações são ponderadas pela distância em relação a um valor central, ou seja, a partir do núcleo; sendo considerado uma alternativa para análise geográfica do comportamento de padrões (MEDEIROS, 2016). A equação (1) a seguir representa a expressão do método de *Kernel* (WANDERLEY, 2013):

$$(1) \quad \hat{f}(x_t) = \frac{1}{Nh} \sum K(x_t, x_i)$$

Onde, N representa o número de amostras, h é o parâmetro de suavização do *Kernel* e K representa a função *Kernel* escolhida para interpolação.

Neste sentido, ao aplicar o KDE, a partir da ferramenta *Kernel Density* (Aplicativo ArcMAP), devem ser ajustados alguns parâmetros para a saída dos dados com as seguintes definições (Quadro 3.5):

Quadro 3.5: Definições para aplicação do KDE.

Elementos de entrada	<i>Rede de Drenagem</i>	<i>Declividade</i>	<i>Topografia</i>
Formato de arquivo	Vetorial (linhas)	Vetorial (pontos)	Vetorial (pontos)
Área Base	1 km ² (HORTON, 1945)	1 km ² (HORTON, 1945)	1 km ² (HORTON, 1945)
Raio	564 m	564 m	564 m
Célula de saída	20 m (resolução MDT-HC)	20 m (resolução MDT-HC)	20 m (resolução MDT-HC)
Unidade de Área	m ² .	m ² .	m ² .
Método de classificação	Quantil	Quantil	manual
Arquivo de saída	DD (Densidade de Drenagem)	ICR (Índice de Concentração da Rugosidade)	DT (Densidade Topográfica)

Após a aplicação do KDE foi necessário reclassificar os valores em uma escala numérica simples, de 1 a 5, por meio da ferramenta *Raster Reclassify* (ArcMAP), as quais devem representar os índices em **(1) muito baixo, (2)baixo, (3) médio, (4) alto e (5) muito alto**, respectivamente. O Quadro 3.6 demonstra o significado dos índices.

A próxima etapa consistiu na aplicação da ferramenta de Calculadora de *Raster* da seção de *Álgebra de Mapas*, também pertencente ao conjunto de ferramentas de Análise Espacial. Utilizou-se como arquivos de entrada a DD, que reflete a distância interfluvial, e o ICR, que representa a rugosidade do terreno (análogo à definição de Ross), com a aplicação do cálculo por produto. O resultado é um arquivo *raster* com classes que variam entre os múltiplos de 1 a 5. Este arquivo, juntamente ao *raster* de DT, deve ser convertido para o formato vetorial (shapefile), o que permite a aplicação da ferramenta *Union*, de sobreposição (Overlay). Os arquivos vetoriais do produto DDxICR mais o DT foram sobrepostos, criando um novo arquivo DD_ICR_DT. Nesta concepção, a topografia foi o elemento diferenciador e limitador das unidades de relevo mapeadas, uma vez que a altitude das feições interferiu em sua classificação, por exemplo, uma área com índice 1, que consiste em muito baixa densidade de drenagem e ausência de declive, dependendo da sua posição no relevo, que é fornecida pelo arquivo DT, pode ser classificada como “topos planos” ou planícies”.

Quadro 3.6: Significado dos índices de DD, ICR e DT.

Parâmetro	Índices	Nome	Equivalência	Classificação de relevo
DD	1	Muito baixa	Muito alta DI*.	Relevos planos ou ausentes de drenagem.
	2	Baixa	Alta DI.	Relevos suavemente ondulados.
	3	Média	Média DI.	Relevos suavemente ondulados a ondulados.
	4	Alta	Baixa DI.	Relevos ondulados a fortemente ondulados.
	5	Muito Alta	Muito baixa DI.	Relevos fortemente ondulados.
ICR	1	Muito baixo	Muito baixa rugosidade.	Relevos planos ou ausentes de drenagem.
	2	Baixo	Baixa rugosidade.	Relevos suavemente ondulados.
	3	Médio	Média rugosidade.	Relevos suavemente ondulados a ondulados.
	4	Alto	Alta rugosidade.	Relevos ondulados a fortemente ondulados.
	5	Muito Alto	Muito Alta rugosidade.	Relevos fortemente ondulados.
DT	1	Muito baixa	-	Relevos em altitudes muito baixas**.
	2	Baixa	-	relevos em altitudes baixas**.
	3	Média	-	Relevos em altitudes médias**.
	4	Alta	-	Relevos em altitudes altas**.
	5	Muito Alta	-	Relevos em altitudes muito altas**.

DI(*): Distância interfluvial. (**): Altitude em relação à totalidade da área de estudo

Neste momento foi necessário tomar como base o mapa mental elaborado sobre a área de estudo, sendo essa uma etapa básica, subsidiada pelos trabalhos de campo prévios, o que permitiu o reconhecimento antecipado dos principais padrões de relevo presentes, aperfeiçoando a classificação com o auxílio do MDT-HC. Portanto, criou-se uma chave para classificação do relevo no ChD, com base nos valores numéricos e conhecimento de campo, conforme o Quadro 3.7.

Quadro 3.7: Classificação dos resultados do produto DDxICR.

Índices (DDxICR)	Nomenclatura	DD	ICR	TOPO
1	Topos planos.	1	1	4
2,3,4	Colinas Suaves.	1,2,3	1,2,3	3
6, 8, 9, 12	Colinas onduladas.	2,3,4	2,3,4	3
10, 15, 16	Colinas Fortemente Onduladas.	2,4,5	2,4, 5	3
20, 25	Morros.	4, 5	4,5	1,2
20, 25	Morros com afloramentos quartzíticos.	4, 5	4,5	5
5	Escarpas, Picos, Fundos de vales.	1,5	1,5	3

Entretanto, a chave de interpretação necessitou de alguns ajustes manuais, tornando a técnica semi-automatizada, uma vez que os testes realizados de forma puramente automática não forneceram resultados definitivos e satisfatórios. Ainda houve a necessidade de classificação manual complementar dos elementos e padrões de relevo, tendo em vista que a análise geomorfológica pressupõe uma diversidade de abordagens, tanto empírica quanto quantitativa, que deve ser realizada por profissional da área. Neste sentido, cabe ressaltar que o ChD, cujos limites são delineados, em grande parte, por escarpas com aproximadamente 300 m de desnível, apresenta situação peculiar de relevo com certa raridade de ocorrência na natureza, o que contribui para uma dificuldade de classificação da ferramenta utilizada. Assim, como a classificação automática não inclui a situação real das escarpas, ocorreram algumas divergências que precisaram ser corrigidas manualmente. Esta situação é peculiar à área de estudo desta pesquisa, cabendo a cada pesquisador compreender e distinguir a realidade de sua própria área de interesse, na aplicação da metodologia.

Seguem os pontos a serem ajustados após a etapa de criação da chave de interpretação:

- i. Índices de $DD \times ICR$ iguais a 5, resultantes do produto entre $DD(1) \times ICR(5) =$ escarpas ou $DD(5) \times ICR(1) =$ fundos de vale. Assim, como na lógica da Álgebra de Mapas aplicada, a ordem dos elementos não altera o produto, essa divergência nos índices de 5 foram tomadas e corrigidas manualmente.
- ii. A ferramenta utilizada para acelerar o processo foi a Calculadora de Campo (*Field Calculator*), na qual foram observados o multiplicando e multiplicador a fim de inserir um novo índice para diferenciá-los.

A etapa manual, considerada nesta proposta, teve o auxílio da ferramenta de Calculadora de Campo, aplicável em arquivos vetoriais, dentro da tabela de atributos. A ferramenta possui a capacidade de classificar automaticamente todas as classes pré-determinadas por meio da aplicação de uma expressão lógica com *VBScript* (*Visual basic Script*, ArcGIS 10.2). Para isto, é necessário criar uma nova coluna na tabela de atributos do arquivo `DD_ICR_DT`, com o nome de “Padrões_formas”. A expressão deve ser editada a cada classe de relevo determinada para atualizar o campo de nomenclatura dos padrões de todos os polígonos referentes, conforme a seguinte rotina (Quadro 3.8):

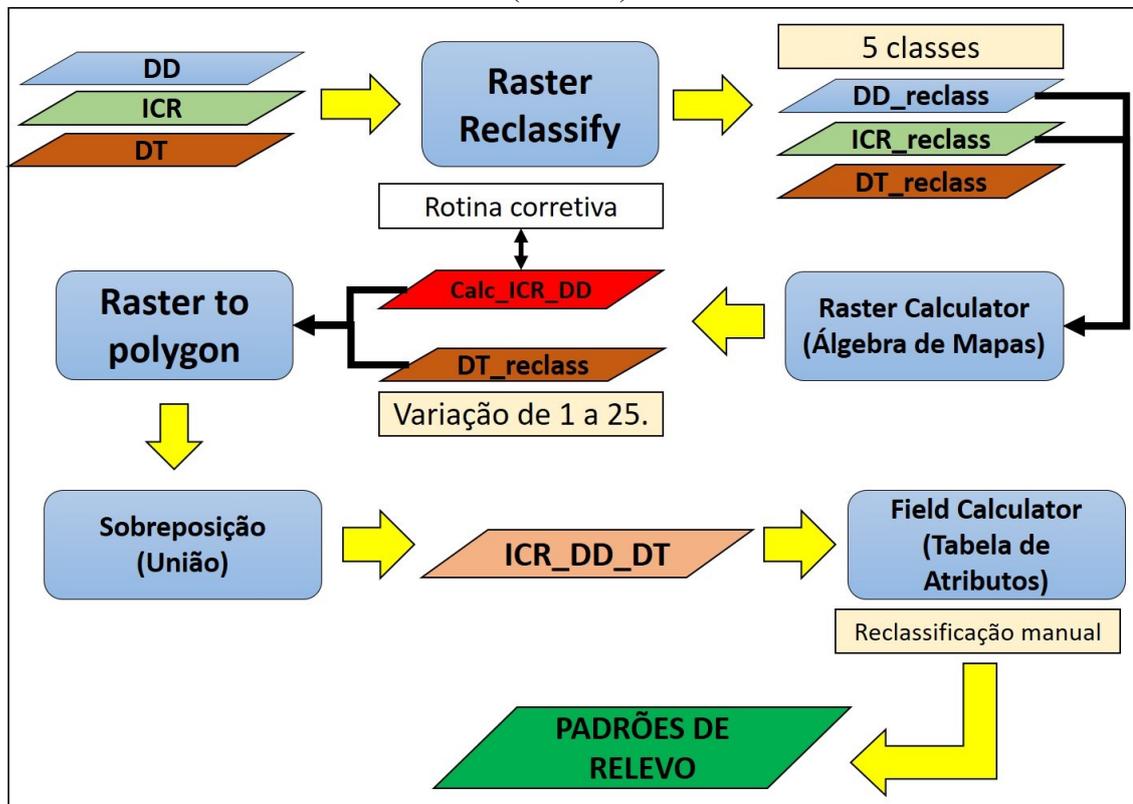
Quadro 3.8: Expressão a ser utilizada na Calculadora de Campo.

1. Para inserir uma expressão lógica na Calculadora de Campo, seleciona-se a opção **Show Codeblock** e insere-se o comando abaixo:

```
if [gridcode] = "1" then
[Padrões_formas] = "Topos planos"
end if
```

2. Na caixa abaixo da expressão, digita-se o campo que será atualizado e seleciona-se o botão **OK**. Apenas os registros digitados na expressão lógica serão atualizados, dentro da coluna criada.

Além disso, foram traçados diversos perfis topográficos no intuito de verificar as classes de relevo geradas, o que contribuiu para a melhor caracterização dos compartimentos. O fluxograma apresentado na Figura 3.5, sintetiza a metodologia e etapas descritas.

Figura 3.5: Fluxograma da rotina metodológica para o mapeamento de classes de padrões de relevo (3ºTáxon).

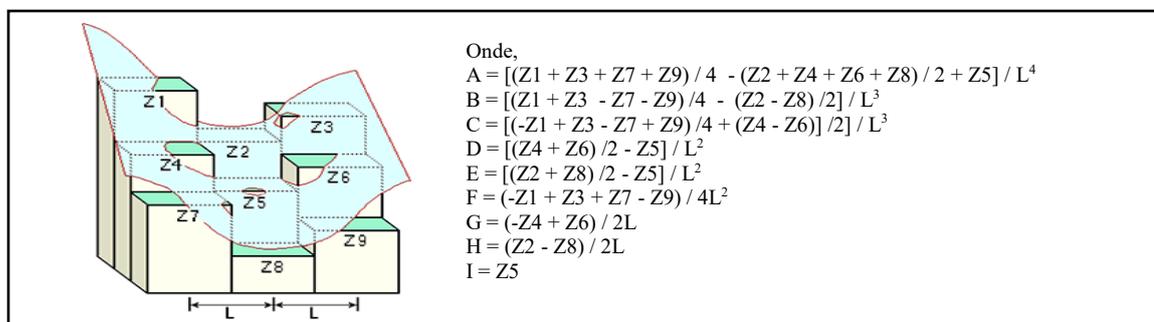
c) Execução das análises de curvatura vertical

Em relação aos tipos de vertentes, foram avaliados os aspectos de curvatura vertical por meio da adaptação da metodologia proposta por Valeriano (2003) e Dos Anjos, et. al. (2011), representado em mapa específico nos resultados.

Os estudos de compartimentação da topografia apontam a curvatura vertical das vertentes como uma das variáveis de alto poder de identificação de unidades homogêneas do relevo, referindo-se ao caráter convexo/côncavo do terreno, quando analisado em perfil. Do ponto de vista teórico, as vertentes retilíneas têm valor de curvatura nulo; as vertentes côncavas possuem valores positivos e as vertentes convexas, valores negativos. Todavia, é raro que as vertentes retilíneas apresentem a curvatura rigorosamente nula, sendo passível, em tal situação, aplicar uma faixa de tolerância (VALERIANO, 2003).

A análise da curvatura das vertentes do ChD, pautou-se na utilização da ferramenta Curvatura do *Spatyal Analyst* – Superfície, a partir do MDT-HC. A ferramenta Curvatura, de acordo com a ESRI (2011), calcula o valor da segunda derivada da superfície de entrada (*Raster* – MDT-HC) em uma base célula a célula. Para cada célula, um polinômio de quarta ordem, conforme a seguinte equação: $Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$, é ajustado a uma superfície composta de uma janela de 3x3. Os coeficientes a, b, c, e assim por diante, são calculados a partir desta superfície. As relações entre os coeficientes e os nove valores de elevação para cada célula calculada, é mostrado no diagrama seguinte (Figura 3.6):

Figura 3.6: Diagrama das relações entre os coeficientes e os nove valores de elevação para cada célula calculada.



Fonte: ESRI, 2011.

Do ponto de vista da aplicação, a saída da ferramenta Curvatura, que é a segunda derivada da superfície - por exemplo, a inclinação da inclinação; pode ser usada para descrever as características físicas de uma determinada área, em um esforço para compreender os processos de erosão e escoamento superficial, uma vez que a inclinação afeta a taxa de movimento na direção descendente e o aspecto da vertente define a direção do fluxo. A curvatura do perfil é capaz de afetar a aceleração e desaceleração dos fluxos e, portanto, pode influenciar a erosão e a deposição (ESRI, 2011).

Diante do exposto, a curvatura vertical foi classificada, conforme a proposta de Dos Anjos et al. (2011), que estipularam uma escala de análise dos tipos de vertentes, as quais passaram a ser classificadas não apenas como côncava, convexa e retilínea, mas em cinco classes distintas, conforme se observa no Quadro 3.9:

Quadro 3.9: Classificação de curvatura vertical segundo Dos Anjos et al. (2011).

TIPO	DESCRIÇÃO
Convexa	Área de certeza na qual os valores de curvatura são negativos.
Convexa-retilínea	Área de incerteza na qual os valores são negativos e próximos de zero, mas não se encontram certamente na faixa considerada retilínea.
Retilínea	Área na qual os valores estão certamente contidos na faixa considerada retilínea.
Retilínea-côncava	Área de incerteza na qual os valores são positivos e próximos de zero, mas não se encontram certamente na faixa considerada retilínea.
Côncava	Área de certeza na qual os valores de curvatura são positivos.

3.4.2. Etapa de mapeamento das geocoberturas

Para a espacialização das diferentes unidades de geocoberturas, visando analisar a inter-relação com os padrões de relevo e aspectos litoestruturais, que possivelmente influenciam na distribuição e desenvolvimento das mesmas, buscou-se a aplicação de técnicas de mapeamento com base na análise cartográfica associada aos levantamentos de campo, fotointerpretação de imagens, dados aerogamaespectrométricos e coleta de pontos de controle.

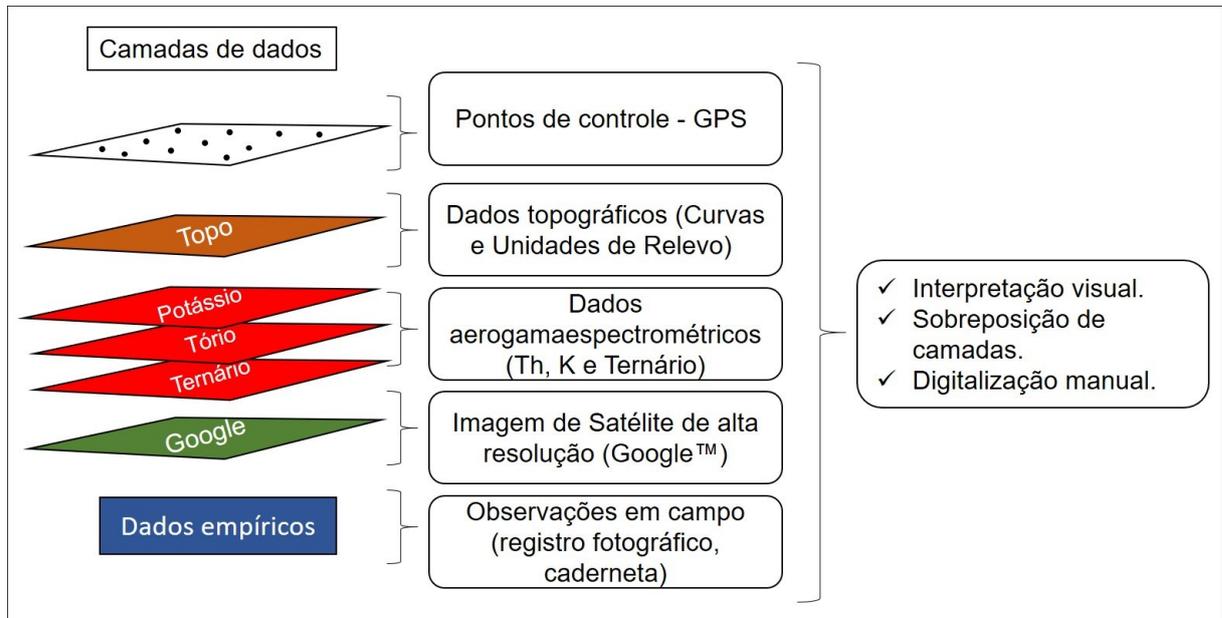
Cabe ressaltar aqui, conforme já descrito na revisão de literatura, que o conceito de geocoberturas indica que estas englobam todos os materiais que constituem o manto de alteração superficial que recobre o relevo da Terra, originados por processos físicos ou químicos, *in situ* ou por transporte e deposição, incluindo os materiais inconsolidados e móveis, bem como os consolidados, por exemplo, os afloramentos rochosos, já expostos aos processos de intemperismo. A proposta principal para o levantamento das geocoberturas foi contribuir para a análise geomorfológica de que todos os elementos superficiais interferem e respondem de diferentes maneiras em relação à dinâmica e evolução do relevo.

Foi realizada a caracterização das geocoberturas, para subsidiar o melhor entendimento a respeito da gênese dos materiais, bem como a relação materiais superficiais-paisagem, tendo como enfoque principal o papel do relevo (topografia) e dos aspectos litoestruturais na distribuição espacial dos diferentes tipos de geocoberturas. Acredita-se que este tipo de abordagem se faz necessário no ChD, tendo em vista suas especificidades geológico-geomorfológicas grandemente influenciadas pela existência de um pacote de rochas quartzíticas com intercalações de filitos, que implicam em variações perceptíveis na distribuição das coberturas superficiais, por vezes, com perfis e manto de intemperismo pouco desenvolvidos.

Embora muitos autores indiquem os mapeamentos digitais semi-automatizados para estudo dos solos ou materiais superficiais, como Scull et al. (2003); Bishop; Minasny (2006); Dobos; Hengl (2009); Hengl; Macmillan (2009), e outros, optou-se pelo mapeamento manual das classes de geocoberturas do ChD por diferentes motivos, entre eles, a ausência de imagens de satélites de alta resolução com as bandas do espectro eletromagnético disponíveis, o que não é o caso das imagens do *Google Maps/Earth*, que disponibiliza apenas a visualização das imagens em plataformas próprias; impossibilitando assim, uma classificação semi-automatizada ou totalmente automatizada. Além disso, imagens desse tipo possuem um alto valor de comercialização, o que dificulta o seu acesso.

Desta forma, o método escolhido para o mapeamento das geocoberturas foi a interpretação visual das classes, a partir das imagens de alta resolução do *Google Maps/Earth*, com digitalização manual por meio do aplicativo QGIS, respaldado nos métodos de interpretação visual e digitalização manual utilizados por Vink (1968); Hengl e Rossiter (2003); Diniz, Oliveira e Augustin (2004; 2005); Simões et al. (2016); Jacobson et al. (2015). Aliado a isto, utilizou-se também as imagens de dados aerogamespectrométricos, cujos testes, embasamento teórico e comparações em campo mostraram sua grande capacidade na identificação qualitativa de materiais superficiais, especialmente relacionados às geocoberturas detrítico-ferruginosas. Como complemento à interpretação, utilizou-se também os dados topográficos disponíveis, de acordo com o apresentado na Figura 3.7.

Figura 3.7: Camadas de dados utilizadas para a espacialização e digitalização manual das geocoberturas.



Pondera-se que esta seja uma solução alternativa para a espacialização das geocoberturas, cujo resultado deve passar pela verificação de campo (trabalho de campo pós-mapeamento) e também, pela análise espacial para subsidiar a correlação com os parâmetros da superfície terrestre (PSTs), fornecidos pelo MDT. A análise geoestatística permitiu a associação e complementação do método manual com parâmetros topográficos extraídos automaticamente, indicando a inter-relação relevo-geocoberturas, cuja dependência entre estes fatores é demonstrada por Scull et al. (2003); McBratney; Mendonça Santos e Minasny (2003); Bishop e Minasny (2006); Dobos e Hengl (2009), Hengl e Macmillan (2009), Florinsky (2012), entre outros.

Portanto, os parâmetros utilizados para a classificação e reconhecimento das classes de geocoberturas, foram aplicados tendo em vista não apenas aqueles originados pela atividade pedogenética, mas qualquer tipo de material sobreposto à superfície, alterados por processos físicos ou químicos *in situ*, ou resultantes de transporte e deposição, conforme a denominação de Campy e Macaire (1989). A nomenclatura utilizada buscou contemplar aspectos observáveis da granulometria (avaliada em campo), bem como após a sobreposição das unidades previamente classificadas às informações de curvaturas, foi possível inferir a gênese predominante.

i. Chave de interpretação – Imagens *Google Maps/Earth*

Criou-se uma chave de interpretação para as Imagens *Google Maps/Earth*, com base em aspectos da rugosidade, sombreamento, coloração e textura.

ii. Parâmetros de análise qualitativa dos dados aerogamaespectrométricos

Pautou-se na análise qualitativa dos dados aerogamaespectrométricos, referentes aos elementos Tório (Th) e Potássio (K), bem como ao mapa Ternário.

Neste sentido, os parâmetros qualitativos foram:

- A concentração de K diminui com o aumento da meteorização intempérica. Isto se dá devido ao K ser altamente solúvel na maioria dos ambientes de intemperismo, sendo rapidamente lixiviado do perfil (WILFORD, 2002; WILFORD E MINTY, 2005).
- Quantidades elevadas de Th indicam presença de concreções lateríticas (SIMÕES et al., 2015). Segundo Herrera (2016), as áreas lateríticas tendem a ter baixas concentrações de K e altas de Th e U, sendo as taxas deste último, comumente, menores que a do Th.
- U e Th estão associados a minerais resistentes e quando são liberados durante o intemperismo, são facilmente absorvidos em minerais de argila, óxidos (Fe e Al) e matéria orgânica (WILFORD, 2002; WILFORD E MINTY, 2005).
- Baixas quantidades dos elementos radioativos indicam predominância de quartzitos, já que estes têm caracteristicamente baixos teores de tais elementos em sua composição (SIMÕES et al., 2015).

- Baixos teores de K também indicam presença do mineral quartzo (SIMÕES et al., 2015).
- Coberturas coluvionares apresentam valores baixos a médios acerca do percentual de K (SIMÕES et al., 2015).

iii. Parâmetros de análise qualitativa dos dados topográficos

Realizou-se a sobreposição das camadas de dados aerogamaespectrométricos ao relevo sombreado, gerado a partir do MDT-HC, às curvas de nível e às classes de relevo previamente identificadas.

iv. Parâmetros de observação em campo

As observações em campo se pautaram na coleta de pontos de controle com GPS, fotografias e descrição da posição topográfica, características visíveis dos materiais e conjuntura paisagística.

3.4.3. Etapa de mapeamento dos aspectos estruturais

Os aspectos estruturais, entendidos aqui como resultantes de uma neotectônica Quaternária, conforme indica Saadi (1991), que imprimiram na paisagem do ChD lineamentos que fornecem indícios de controle estrutural. Estes foram analisados a partir da elaboração de um mapa de lineamentos para sobreposição às classes de geocoberturas previamente identificadas. Levou-se em consideração, além disso, o fato do ChD se assentar sobre um material parental relativamente uniforme, formado por quartzitos puros a micáceos e intercalações de filitos.

O mapa de lineamentos baseou-se nos métodos propostos por Corrêa e Fonsêca (2010), Oliveira et al. (2009) e Hiruma e Roccomini (1999); aplicado por Martins (2013), na região do Alto São Francisco, na borda limitante à Faixa Brasília. De tal modo, os procedimentos consideraram:

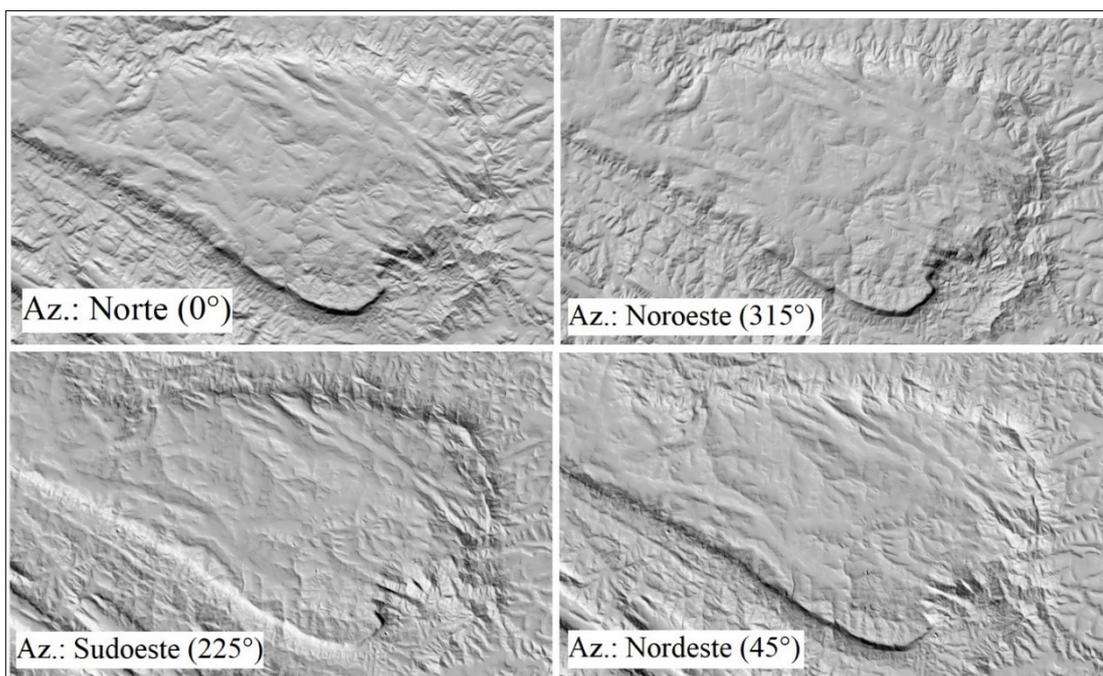
- Como lineamentos, as tipologias lineares da topografia, observáveis nas imagens aéreas ou de satélite, podendo representar alterações e rupturas estruturais (CORRÊA; FONSÊCA, 2010).
- Sua análise deve ser realizada com base na extração de informações a partir de um MDE / MDT, tendo sido, portanto, necessário confeccionar vários produtos derivados, conforme os seguintes tópicos, realizados a partir do aplicativo ArcMAP (ArcGIS):

a) **Imagens de sombreamento de relevo:** com iluminações de azimutes em oito direções (N, S, E, W, NE, SE, NW, SW), a partir das quais selecionou-se as imagens que forneceram os melhores resultados. Para o ChD os melhores azimutes, que valorizaram os lineamentos, foram o N, NW, NE e SW (FIGURA 3.8). O valor padrão utilizado para a altitude do Sol em relação ao horizonte foi medido em graus e equivalente a 45°.

b) **Extração de lineamentos:** os lineamentos foram traçados conforme cristas alinhadas, fundos de vale e tonalidades de acordo com interpretação visual dos mapas de sombreamento, com vetorização manual, sendo que, para a análise dos lineamentos incluíram-se apenas aqueles maiores que 1000 m, devido à escala de mapeamento. A rede de drenagem vetorial foi sobreposta às imagens, para auxiliar no delineamento.

c) **Extração de azimutes dos lineamentos, que indicam as direções preferenciais; classificação e análise estatística:** foi criado o diagramas de rosetas, que indicam as direções preferenciais dos lineamentos; a partir do aplicativo Rockworks 17.

Figura 3.8: Imagens de relevo sombreado do ChD.



3.4.4. Etapa de análise espacial e aplicação de estatística descritiva

A análise espacial, de acordo com Câmara et al. (2004), enfatiza a mensuração de propriedades e relacionamentos acerca da localização espacial do fenômeno estudado, o qual pode ser chamado de fenômeno geográfico. Assim, o entendimento da relação espacial entre os dados é capaz de fornecer maior compreensão dos processos e fenômenos que ocorrem na superfície terrestre.

Na concepção de Albrecht (2017), a descrição dos dados deve ser feita a partir da utilização da estatística, o que permite a validação da pesquisa e conduz a tomada de decisão, sendo a estatística inferencial a mais utilizada tradicionalmente. Entretanto, as estatísticas inferenciais nem sempre funcionam bem com os dados geográficos, e quando este é o caso, as estatísticas descritivas são melhor aplicadas. Os principais motivos pelos quais a estatística inferencial não se transfere para os dados geográficos são: em primeiro lugar, estas supõem que o pesquisador deseja estimar as características de uma população a partir de uma amostra, no entanto, com dados geográficos, geralmente tem-se toda a população para trabalhar, o que conduz à aplicação de estatísticas descritivas ao invés de estatísticas inferenciais. Em segundo lugar, as estatísticas inferenciais não incluem ferramentas para representar dados geográficos.

Neste sentido, a ferramenta de Análise Espacial do ArcGIS (Spatial Analyst), segundo Albrecht (2017), fornece um conjunto de funções estatísticas, importantes para a análise descritiva de dados geográficos, que pode ser aplicada para comparar diferenças entre classes e descrever tendências nos dados da pesquisa, através de parâmetros como valor médio, valor mais alto ou quantos diferentes tipos de valores existem dentro de um conjunto de dados (que pode ser um *raster* ou camada vetorial), além, do valor mínimo e desvio padrão. As funções estatísticas descritivas são divididas em três grupos básicos (estatísticas de células, estatísticas de vizinhança e estatísticas de área), sendo que cada grupo utiliza os mesmos métodos estatísticos, sendo descritos como:

- Estatísticas das células: permitem comparar dois ou mais conjuntos de dados *raster* em célula por célula, sendo útil ao comparar dados de séries temporais, como alterações anuais no uso da terra.
- Estatísticas de Vizinhança: consideram os valores das células dentro de uma determinada vizinhança ao redor da célula de processamento.

- Estatísticas zonais: consideram os valores das células com base em grupos de células semelhantes, ou zonas, em outro conjunto de dados. As estatísticas zonais são exibidas como tabelas, sendo que as zonas são compostas por regiões. Uma região é um grupo de células conectadas em uma zona. Uma zona que consiste em um único grupo de células conectadas possui apenas uma região.

Diante do exposto, a etapa de análise espacial e aplicação de geoestatística descritiva consistiu na análise dos dados de geocoberturas em relação às unidades de padrões de relevo e aspectos topográficos, a partir do MDT-HC, e seus derivados como a declividade e a curvatura. Estes relacionamentos foram selecionados tendo em vista a aplicação de testes, através das ferramentas Estatística Zonal como Tabela e Histograma Zonal, do conjunto de Análise Espacial do ArcMAP, com intuito de:

- a) Calcular a média e o desvio padrão (erro padrão) para cada classe de geocoberturas.
- b) Elaborar gráficos de colunas com indicação do erro padrão, bem como das relações espaciais entre as geocoberturas e as unidades de relevo.

3.4.5. *Etapa de análises laboratoriais*

As análises laboratoriais buscaram atender os objetivos da tese e acabam por desviar dos padrões de análises apresentados em variadas pesquisas de materiais superficiais, os quais abrangem os aspectos físicos, químicos e mineralógicos, em conjunto. Ao intuito desta pesquisa, julgou-se importante tratar de forma objetiva os materiais do ChD, tendo em vista a sua distribuição e características peculiares, o que levou à abordagem apenas de alguns atributos físicos e mineralógicos das geocoberturas, uma vez que o levantamento dos atributos químicos se tornou desnecessário, já que a avaliação da fertilidade dos materiais foge à análise geomorfológica aqui realizada. Entretanto a análise geoquímica da mineralogia pode ser respaldada pelos dados aerogamespectrométricos, já descritos anteriormente.

Neste contexto, para as análises físicas das geocoberturas do ChD, adota-se os ensaios de peneiramento e sedimentação para as amostras recolhidas a partir dos três transectos já descritos, uma vez que a curva de distribuição granulométrica indica as características físicas dos materiais superficiais, e oferece indícios do comportamento da vertente. Tais

procedimentos foram realizados no Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos – LAGES, na Universidade Federal de Uberlândia.

No que se refere às análises mineralógicas para a identificação dos minerais coloidais presentes na argila dos materiais, estas pautaram-se na realização da difratometria de Raios X, pelo Laboratório de Raios X do Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC), do Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Considera-se de grande importância o levantamento mineralógico das argilas no ChD, pois este contribuirá para o melhor entendimento do ambiente de formação dos diferentes materiais, bem como dar indícios do grau de intemperismo na área.

Portanto, as análises realizadas serão descritas, com maior detalhamento, nos itens seguintes.

a) Procedimentos para análise granulométrica por peneiramento.

Os procedimentos de análise granulométrica por peneiramento foram realizados com base no método adotado pelo Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos (LAGES-UFU). Primeiramente, foi necessário atentar para a classificação das frações granulométricas, sendo que, de acordo com a Embrapa (2012), tais frações dos solos ou materiais superficiais podem ser classificadas conforme seus diâmetros, a saber (TABELA 3.1):

Tabela 3.1: Denominações das frações granulométricas segundo seus diâmetros*.

Diâmetro* (mm)	Denominação
>200	Matacão
200 – 20	Calhau
20 – 2,0	Cascalho
2,0 – 0,21	Areia Grossa
0,21- 0,05	Areia Fina
0,05 – 0,002	Silte
<0,002	Argila

*Por diâmetro de partícula entende-se aqui o tamanho nominal de abertura correspondente à dimensão da peneira imediatamente superior pela qual a partícula passou, sendo retida na peneira imediatamente abaixo.

Fonte: EMBRAPA, 2012.

Para a obtenção da curva granulométrica foi necessário detalhar os intervalos, com a diminuição da distância entre os valores e o aumento das classes de tamanhos. Neste sentido, elaborou-se

a seguinte tabela com a representação dos materiais retidos e as respectivas malhas das peneiras (TABELA 3.2):

Tabela 3.2. Denominações das frações granulométricas segundo seus diâmetros para representação da curva granulométrica.

Diâmetro (mm)	Denominação do material retido
3,35	Cascalho
2,00	Cascalho
1,70	Areia grossa
0,850	Areia Grossa
0,600	Areia grossa
0,425	Areia média
0,300	Areia média
0,212	Areia média
0,150	Areia fina
0,106	Areia fina
0,073	Areia fina
0,053	Areia fina
< 0,053	Silte/Argila

- Preparação das amostras
 - i. Em campo: a) para análise de vertentes: coleta e armazenamento das amostras por meio de tradagens ou abertura de trincheiras ao longo do eixo interflúvio/fundo de vale, sendo que as amostras se referem à diferenciação de camadas em um mesmo perfil. O acondicionamento foi feito em saquinhos plásticos, marcados com códigos, e colocados em caixa organizadora.
 - ii. Em laboratório: disposição de cada amostra em um prato plástico com a devida identificação, onde devem permanecer por uma semana em processo de secagem ao ar livre. Após este período, realizou-se o destorroamento das amostras por meio da utilização de almofariz e mão de grau, cuidando para que os grãos maiores não sejam fragmentados (FIGURA 3.9).
 - iii. Separação da amostra testemunha. Esse procedimento é realizado a partir da pesagem de toda a amostra e a sua divisão em duas partes iguais. O peso final da amostra a ser trabalhada não deve ser inferior a 100 g, com exceção dos casos em que não haja amostra suficiente, quando recomenda-se utilizar a amostra inicial total. A amostra testemunha deve ser acondicionada em saquinho plástico identificado e a amostra a ser trabalhada em um recipiente identificado.

Figura 3.9: Disposição das amostras em pratos, para secagem ao ar livre no período de uma semana.



Autoria: NAZAR, 2016.

- Procedimento Experimental
 - i. Preparação para peneiramento: o peso inicial da amostra a ser trabalhada foi anotado e a mesma foi colocada no jogo de peneiras em agitador elétrico (FIGURA 3.10).
 - ii. Matéria Orgânica (MO): a) para os materiais maiores que 0,053 mm (areias, cascalhos) ricos em matéria orgânica, procedeu-se à análise pelo método de Perda de Massa por Ignição (PMI), entretanto, os testes realizados não foram bem sucedidos, pela impossibilidade de medir a temperatura do equipamento disponível, tendo sido, portanto, descartada a análise da MO das amostras. b) em frações menores que 0,053 mm, a presença de quantidade considerável de matéria orgânica deverá ser reportada nos resultados, pois, segundo a EMBRAPA (2012, p.2), ainda não é possível “determinar o valor absoluto da matéria orgânica antes da análise e não se recomenda a sua eliminação por oxidação química, em virtude dos problemas operacionais e da possibilidade de destruição de parte da fração argila durante o processo”.
 - iii. Tempo para peneiramento: mínimo de 15 minutos e máximo de 30 minutos.

- iv. Frequência de vibração: 3500 vpm.
- v. Após peneiramento: os materiais retidos em cada peneira foram pesados e lançados na planilha, e, por fim, cada porção de fração granulométrica foi acondicionada em saquinho plástico identificado.

Figura 3.10: Agitador elétrico de peneiras.



Autoria: NAZAR, 2016.

Com os dados organizados, os resultados serão apresentados graficamente a partir da curva granulométrica da amostra, assinalando no eixo das abcissas, em escala logarítmica, os diâmetros das frações e no eixo das ordenadas, em escala aritmética, os percentuais das frações passantes (menores do que os diâmetros considerados), ou seja, a percentagem dos materiais que passam nas malhas (ABNT, 1984).

b) Procedimentos para análise granulométrica por sedimentação

Os procedimentos para análise granulométrica por sedimentação, ou método da pipeta, foram aplicados para a fração $< 2,00$ mm de diâmetro, correspondente à terra fina seca ao ar (TFSA) (vide Tabela 3.2 de Denominações das frações granulométricas segundo seus diâmetros). O método utilizado é o adotado pelo Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos (LAGES-UFU), adaptado da Embrapa (1997).

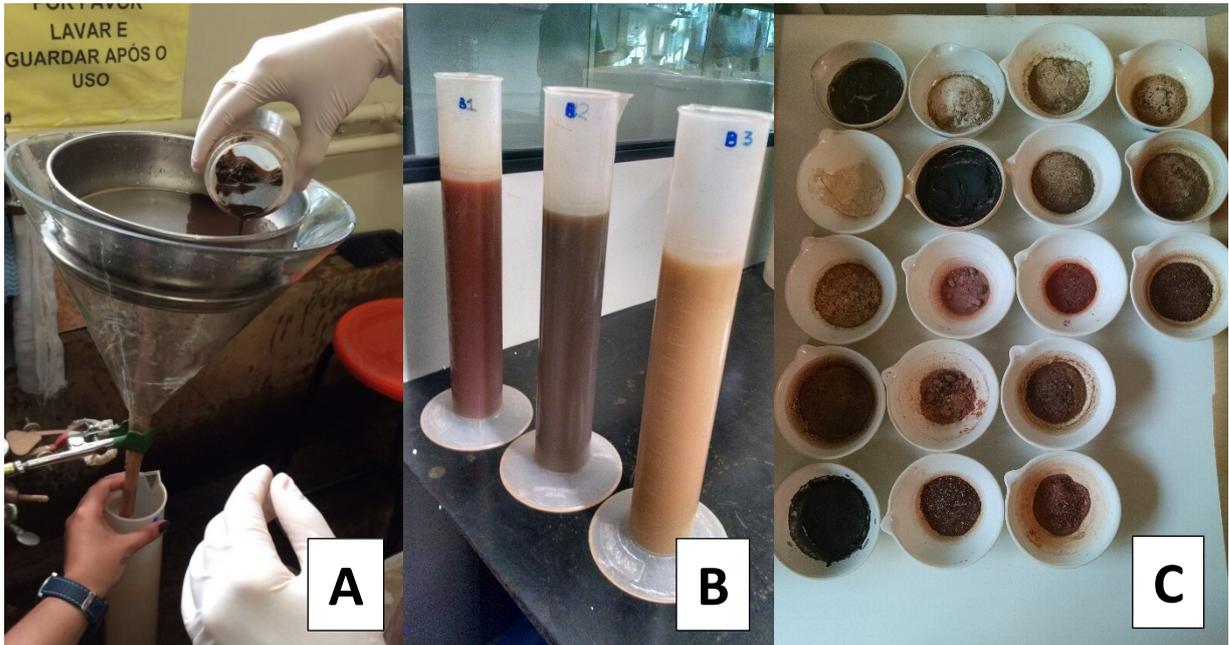
- Preparação das amostras
 - i. Foram separadas 20 g de amostras (secas ao ar e homogeneizadas), para as quais utilizou-se a solução NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico, e levadas em frascos à agitação mecânica em mesa agitadora por 15 horas a aproximadamente 15.000 rpm (FIGURA 3.11).
 - ii. Após isto, as amostras foram lavadas com água destilada, passando pela peneira de 0,053 mm, sendo os materiais passantes (H₂O mais material) armazenados em provetas de 1 litro, e os materiais retidos transpostos em cápsulas de secagem, devidamente marcadas (FIGURA 3.12).
 - iii. As cápsulas para armazenar argila e silte passaram pela secagem na estufa, a 110° C por 2 h (pré-secagem), para posterior procedimento de pipetagem.

Figura 3.11: Mesa agitadora com as amostras em dispersão.



Autoria: NAZAR, T.I.S.M. (2016).

Figura 3.12: Procedimentos de lavagem (A) e separação da fração silte/argila (B) e fração areia (C).



Autoria: A) Silva, 2016. B e C) Nazar, 2016.

- Procedimento experimental
 - i. Preparação para pipetagem: as provetas e as respectivas cápsulas foram posicionadas para permitir o melhor desempenho do procedimento (FIGURA 3.13).
 - ii. Coleta de amostra para análise de silte: com o agitador manual procedeu-se à agitação por 1 minuto do conteúdo da proveta; em seguida, deixou-se em descanso por 3 minutos, e após este prazo, submergiu-se a pipeta a 10 cm na proveta, coletando 25 ml do conteúdo a ser transferido para cápsula marcada como “silte”. Apesar da coleta de silte realizada, foram aplicados ao final, a proporção desta fração por diferença.
 - iii. Coleta de amostra para análise de argila: após 4 horas, sem agitação manual, procedeu-se à pipetagem conforme o procedimento anterior.
 - iv. As cápsulas de argila e silte foram acondicionadas em estufa, juntamente às capsulas de areia, a 110° C por uma noite.
 - v. As cápsulas passaram por processo de pesagem em balança de precisão, sendo a cápsula de areia fracionada em areia fina e grossa, pela peneira 0,212 mm, cujos valores foram lançados em planilha.

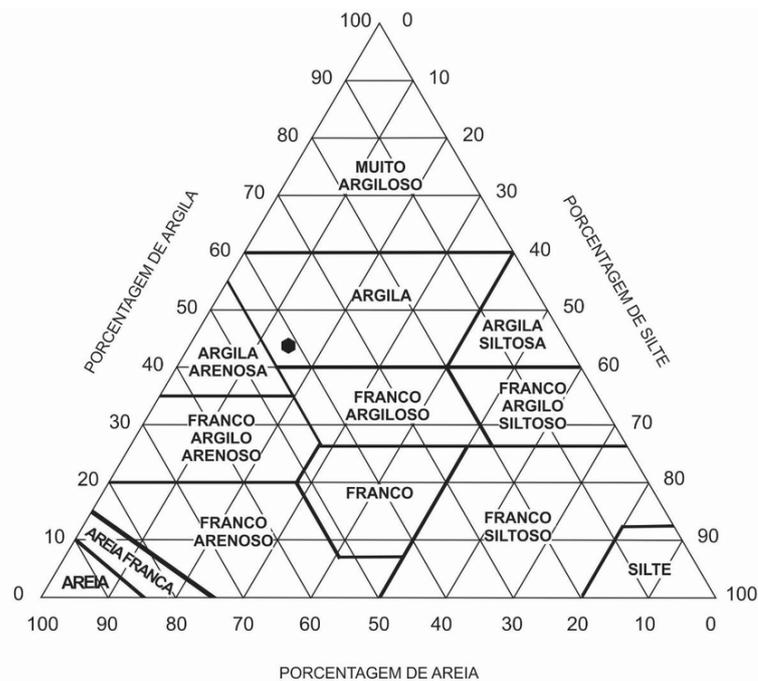
Figura 3.13: Organização das provetas e cápsulas de silte e argila.



Autoria: NAZAR, 2016.

Os resultados do procedimento de sedimentação foram interpretados a partir do triângulo textural (FIGURA 3.14), por meio do aplicativo Triplot, o qual demonstra a distribuição das classes granulométricas, permitindo a sua classificação em treze classes, em função da variação arenosa, siltosa e argilosa, conforme Lemos e Santos (1996).

Figura 3.14: Triângulo textural para interpretação da granulometria da TFSA.



Fonte: LEMOS & SANTOS (1996).

c) Procedimentos para análise de Difractometria de Raios X

Foram selecionadas nove amostras para a realização da análise de Difractometria de Raios X (DRX), a partir dos três transectos realizados, pelos seguintes critérios de escolha: diferentes posições na vertente (alta, média e baixa vertente), e variação relevante da fração argila dos materiais (QUADRO 3.10).

Quadro 3.10: Amostras selecionadas para análise de DRX.

Transecto	AMOSTRAS		
	Alta vertente	Média vertente	Baixa Vertente
A	A04 (Prof. >12cm)		A13 (Prof. 24-29 cm)
B	B01 (Prof. <18 cm)	B03 (Prof. 26-54 cm)	B17 (Prof. 9-17cm)
C	C02 (Prof. 80-100 cm)		C16 (Prof. 20-80 cm)

As amostras foram enviadas ao Laboratório de Raios X do CPMTC-UFMG, onde as mesmas foram preparadas pelos técnicos responsáveis, conforme a Metodologia Difractométrica de Argilominerais, desenvolvida no centro de Pesquisa da Petrobrás. As especificações técnicas do procedimento estão descritas no Quadro 3.11 a seguir, segundo o Laboratório de Raios X:

Quadro 3.11: Especificações técnicas – Difractometria de Raios X.

Measurement Conditions	
Dataset Name	-
File name	-
Sample Identification	-
Comment	Configuration= Flat Sample Stage, Owner=User-1, Creation date=4/26/2006 12:03:52 PM Goniometer= PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage= PW3071/xx Bracket Diffractometer system= XPERT-PRO Measurement program= Geral até 90, Owner= User-1, Creation date= 1/21/2009 3:15:37 PM
Measurement Date / Time	7/17/2017 8:54:20 AM
Operator	Kacia Monteiro
Raw Data Origin	XRD measurement
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	2.0100
End Position [°2Th.]	31.9900
Step Size [°2Th.]	0.0200
Scan Step Time [s]	0.8000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.9570
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	0.3800
Measurement Temperature [°C]	25.00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	45 mA, 40 kV
Diffractometer Type	0000000011011436

Fonte: Laboratório de Raios X, CPMTC-UFMG, 2017.

CAPÍTULO IV



4. CARACTERIZAÇÃO DO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA: síntese litoestrutural e aspectos naturais relevantes

4.1. Introdução

O presente capítulo tem como objetivo realizar a caracterização física do Chapadão do Diamante (ChD), com enfoque, principalmente, nos aspectos litoestruturais, os quais são a base para as análises geomorfológicas da área, além de trazer uma síntese dos aspectos climáticos, hidrográficos e vegetacionais, os quais constituem fatores naturais relevantes na composição paisagística.

4.2. Aspectos Litoestruturais regionais

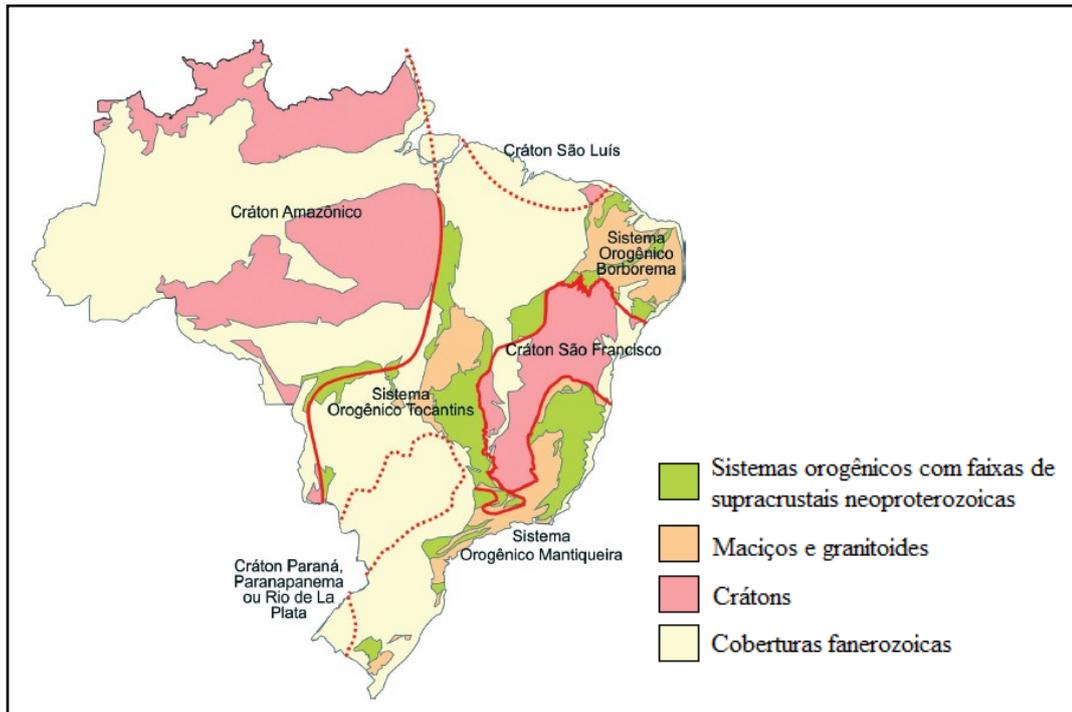
Para a compreensão dos aspectos litoestruturais do ChD, há que se desdobrar pelo entendimento do arcabouço geológico regional, responsável pela estruturação da Serra da Canastra, situada na porção meridional da Faixa Brasília. O ChD corresponde à superfície de cimeira dessa Serra e responde pela relação entre os aspectos geológicos e climáticos, que produz formas de relevo com características específicas capazes de demonstrar os processos que ocorreram e ocorrem nessa área.

Em primeiro lugar, cabe remeter ao contexto geotectônico da Faixa Brasília, a qual faz parte do Sistema Orogênico Neoproterozoico da Província Tocantins, situado entre os crátons Amazônico, do São Francisco e um terceiro continente (Paranapanema), coberto pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná; cujo desenvolvimento se deve a um contexto de eventos colisionais para a formação do supercontinente Gondwana. Esses episódios sucessivos iniciaram-se a partir de ca. 900-800 Ma, com a fragmentação do Supercontinente Rodínia, e perduraram até ca. 520 Ma, no Cambriano, sendo tal conjunto de processos denominado, na América do Sul, como Ciclo Brasileiro. Durante esse grande evento, as faixas orogênicas neoproterozoicas sofreram a maior parte da convergência litosférica decorrente dos processos colisionais, o que caracteriza a intensa deformação, metamorfismo e magmatismo presentes, além do retrabalhamento de antigos fragmentos continentais de dimensões menores, chamados

de maciços. (VALERIANO et al., 2004; PIMENTEL; JOST; FUCK, 2004; HASUI, 2012; SIMÕES, 2015).

A Figura 4.1 ilustra, de modo simplificado, a compartimentação geotectônica no Ciclo Brasileiro do território brasileiro, com a distinção entre as faixas orogênicas e crátons:

Figura 4.1: Compartimentação geotectônica simplificada do Brasil.



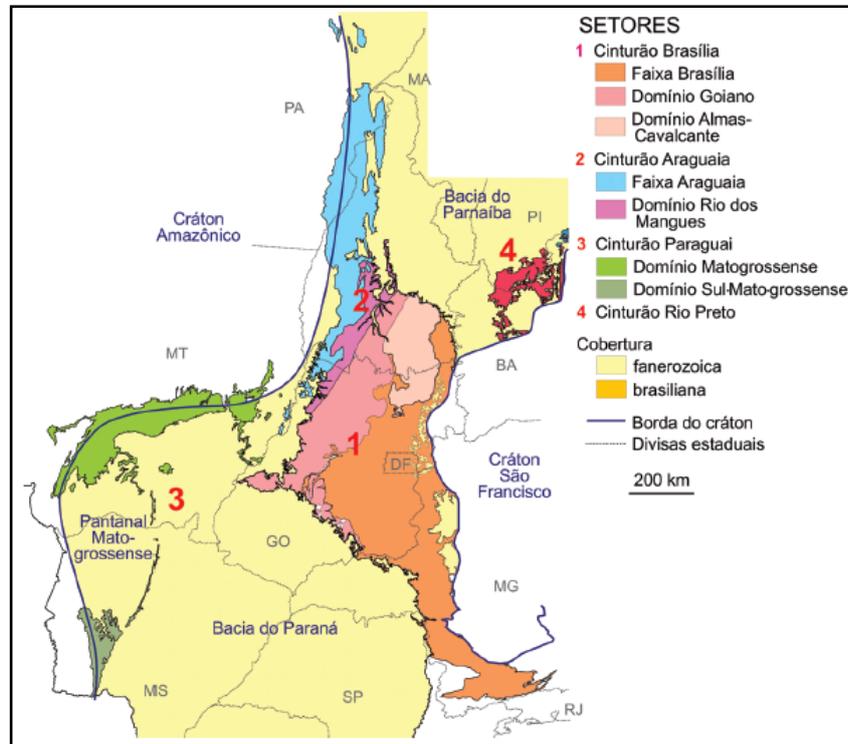
Fonte: HASUI, 2012.

De acordo com Hasui (2012), a Província Tocantins (ou Sistema Orogrênico Tocantins) é dividida em três cinturões orogênicos: os cinturões Paraguaia e Araguaia, adjacentes ao cráton Amazônico, e o cinturão Brasília, situado à borda oeste do cráton São Franciscano (FIGURA 4.2). No que se refere ao cinturão Brasília, esse engloba a Faixa Brasília e os domínios Goiano e Almas-Cavalcante, além de alguns pequenos núcleos de rochas mais antigas associadas. Do ponto de vista conceitual, Valeriano et al. (2004, p. 577) remetem ao Cinturão Brasília como Faixa Brasília, que engloba “dois ramos de orientação distinta e estilos metamórfico-deformacionais contrastantes: a Faixa Brasília Setentrional (FBS), de orientação NE, e a Faixa Brasília Meridional (FBM), de orientação NW”, incluindo como áreas adjacentes o Maciço Goiano e o Arco Magmático de Goiás (que são classificados como pertencentes ao Domínio Goiano, citado por Hasui).

Neste sentido, será abordada a nomenclatura de Faixa Brasília Meridional (FBM) para a caracterização da área de estudo, por ser o termo mais utilizado, dentre os trabalhos apreciados

para o estudo da área de pesquisa (SIMÕES, 1995; VALERIANO et al., 2004; SILVA et al., 2012; UHLEIN et al., 2012; SIMÕES et al., 2015), apesar de ambas as definições corresponderem basicamente ao mesmo conjunto tectônico dentro da Província Tocantins.

Figura 4.2: Setores da Província Tocantins.



Fonte: HASUI, 2012.

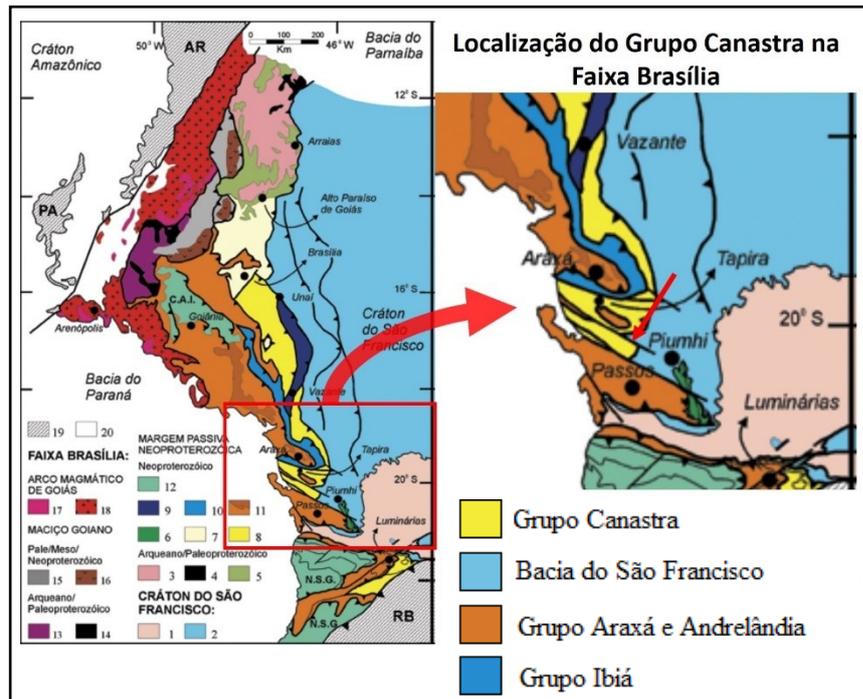
4.2.1. Faixa Brasília Meridional (FBM)

A Faixa Brasília é um complexo de terrenos e escamas de empurrão que convergiram no sentido leste defronte ao cráton do São Francisco, cobrindo partes dos Estados de Tocantins, Goiás e Minas Gerais, e apresenta uma evolução intrincada e, acredita-se, diacrônica. A porção meridional (FBM) resulta da interação entre os Crátons do São Francisco e Paranapanema (coberto pela Bacia do Paraná), enquanto a porção setentrional (FBS), refere-se à interação entre os Crátons do São Francisco e Amazônico (VALERIANO et al. 2004; UHLEIN et al., 2012).

Neste sentido, a FBM, engloba a faixa de relevos serranos da Serra da Canastra, situada na região oeste do estado de Minas Gerais. As litologias que caracterizam essa área são representadas pelo Grupo Canastra, que compreende a lasca tectônica inferior da Sinforma de

Araxá, uma dobra regional cujo eixo cai de modo suave para WNW, com flancos de direção WNW e mergulhos para NNE e SSW; formando um conjunto de três lascas tectônicas separadas por falhas de empurrão, cada uma referente aos grupos Araxá, Ibiá e Canastra (VALERIANO et al., 2004) (FIGURA 4.3).

Figura 4.3: Localização do Grupo Canastra na Faixa Brasília.



Fonte: Valeriano et al. (2004).

Do ponto de vista morfotectônico, cabe levantar as proposições de Saadi (1991, p. 173-174), que formula uma síntese para a interpretação morfológica regional, a saber:

- O conjunto Serra da Canastra – Alto Paranaíba representa um único planalto, atribuído ao ciclo de aplainamento Sul-Americano, posteriormente levantado de no mínimo 400 m na borda SE e basculado em direção NW a NNW.
- O Planalto do Alto Paranaíba é fraturado por várias direções tectônicas, o que resultou em uma fragmentação em vários pequenos blocos. O mesmo aconteceu com a Serra da Canastra, a qual foi partida em três blocos de direção N70W. Não existindo dados precisos sobre a idade dessa fragmentação, pode ser ela tanto contemporânea, quanto posterior ao soerguimento.
- A tectônica posterior ao soerguimento é claramente demonstrada pelos efeitos do “Corredor Rúptil N50W” no local onde ele atravessa o planalto: subdivide o mesmo em dois blocos, interrompe os lineamentos N70W e apaga as suas marcas morfológicas, gera uma série de escarpas N50W, controla os principais cursos d’água (ribeirão Santa Tereza, rio Samburá, rio Ajudas, rio Mutuca, etc.).
- Tudo concorda para que se considere o soerguimento dessa região como contemporâneo ao da Cordilheira do Espinhaço, portanto de idade máxima

pliocênica. Isso faz atribuir os mais recentes deslocamentos do “Corredor Rúptil N50W ao período quaternário.

- Os basculamentos para NW dos blocos do planalto e da área deprimida adjacente são também compatíveis com a tectônica compressiva proposta para a Serra do Cipó.
- É preciso lembrar que Bacellar (1978) e Sgarbi (1989) forneceram as provas de uma tectônica compressiva pós-cretácea (portanto terciária e/ou quaternária) onde as falhas reversas apresentam vergência E.
- Surge, no caso dessa região, uma superposição de efeitos morfotectônicos devidos às ocorrências simultâneas de três tipos de feições tectônicas de importância regional: “Soerguimento do Alto Paranaíba”; Corredor Rúptil N50W; Falhas reversas com direção NNE e vergência E.

4.2.2. *Grupo Canastra*

O Grupo Canastra compreende sedimentos de plataforma continental depositados, em margem passiva, referente à borda ocidental do Cráton do São Francisco, entre ca. 900-1.000 Ma, na era Neoproterozoica (SIMÕES, 2015), sendo reconhecido como um conjunto de rochas metamórficas de baixo grau (SILVA et al., 2012). Há teorias que consideram o Grupo Canastra como resultado de um ambiente marinho raso de plataforma, com baixo grau de metamorfismo e afetado por zonas de empurrão, levando-o ao contato com as unidades Vazante, Paranoá e Bambuí. Os processos que desencadearam a existência desse raso oceano são respaldados por reconstruções paleogeográficas anteriores à formação de Gondwana, que trazem a ideia da existência de um domínio oceânico que separava a Amazônia e São Francisco – Congo, com evidências geológicas presentes em rochas ofiolíticas na Faixa Paraguai e Brasília, e pelo Arco Magmático de Goiás (VALERIANO et al., 2004; HASUI, 2012).

Assim, com o fim do Ciclo Transamazônico, no Mesoproterozico, tendo sido formada uma massa continental, a mesma se sujeitou a distensão, gerando riftes e formação de uma margem passiva na borda oeste do Cráton São Francisco, a qual tornou-se palco de sedimentação a partir da segunda metade do Mesoproterozoico e início do Neoproterozoico, quando se iniciou o processo de acumulação de pacotes sedimentares (Paranoá, Canastra e Vazante), que viriam a ser termotectonizados no Evento Brasileiro (ca. 900-800 Ma a 520 Ma) (HASUI, 2012).

Diante do exposto, tendo sido esclarecida a conjuntura geotectônica geral da formação do Grupo Canastra, busca-se compreender as características litológicas dessa unidade, tendo em vista a sua ocorrência no contexto da Serra da Canastra. Simões (1995); Simões et al. (2015) e

Silva et al. (2012) trabalharam localmente na região, fornecendo bases importantes para esse entendimento.

No que se refere à litoestratigrafia do Grupo Canastra na região, Simões et al. (2015), ao estudar a área que engloba a Folha Vargem Bonita (Escala 1:100.000), consideram a presença de escamas tectônicas de sequências metapsamopelíticas, diferenciando três conjuntos independentes, a saber (Figura 4.4).:

- a) O primeiro, na parte norte, onde ocorre a escama tectônica representada pelo Subgrupo Chapada dos Pilões e Subgrupo Paracatu (Unidades formais do Grupo Canastra), esta última sobreposta pela escama atribuída ao Subgrupo Paracatu Indiviso.
- b) Na parte central, acontece a escama constituída pelo Grupo Canastra Indeterminado, formado por duas unidades litoestratigráficas, a inferior constituída por um pacote de filitos bandados intercalado por quartzitos (metarenito), e a superior, composta pelo pacote de quartzitos puros a micáceos com raras intercalações de muscovita filito. Essas unidades sustentam a Serra da Canastra, onde está assentado o ChD (Figura 4.5).
- c) E por fim, o conjunto sul que inclui cinco unidades que se alternam sendo três com predomínio de filitos e dois com predomínio de quartzitos.

Figura 4.4: Fluxograma representativo do Grupo Canastra, segundo Simões et al. (2015).

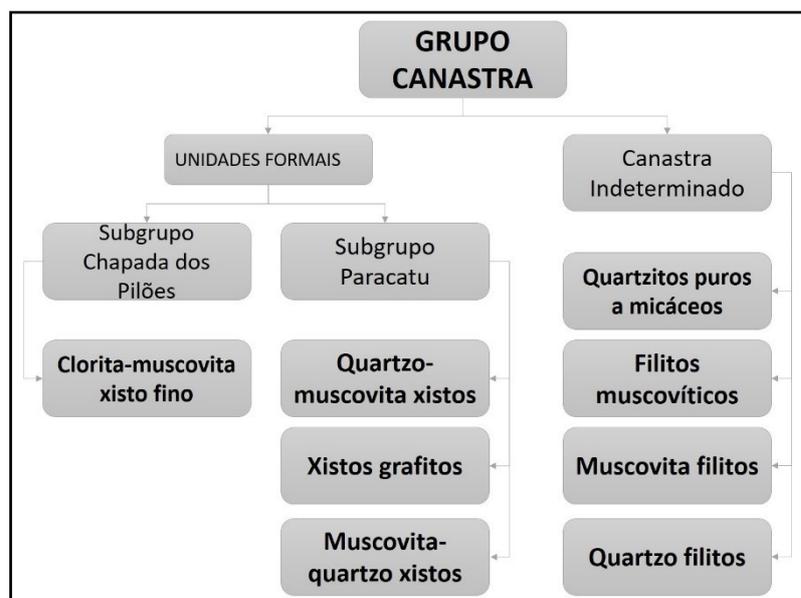
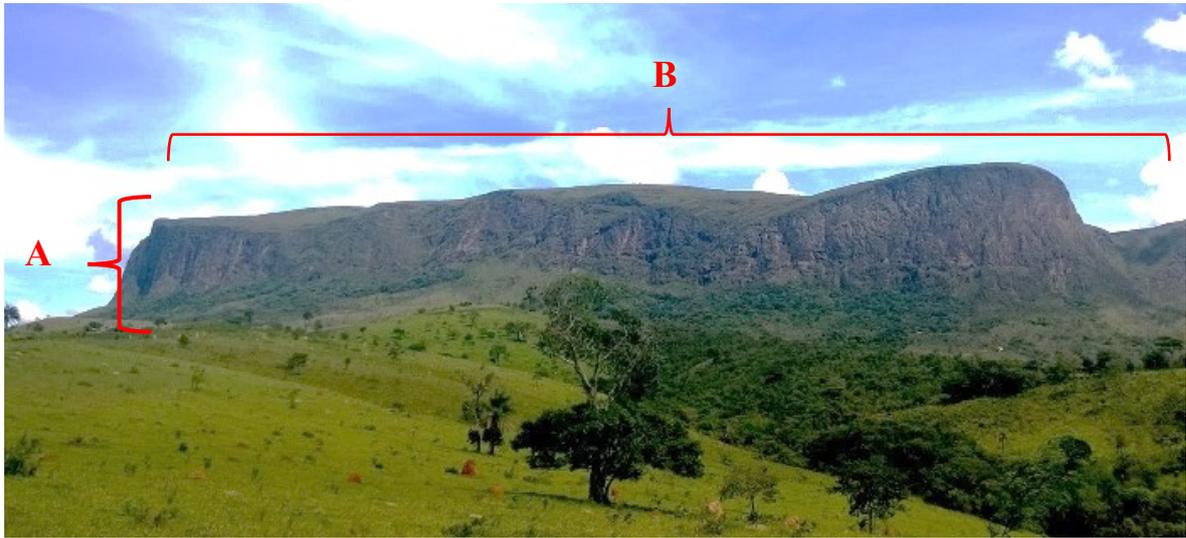


Figura 4.5: (A) Estrutura atribuída ao pacote de Quartzitos puros a micáceos (Grupo Canastra Indeterminado), que sustenta o ChD (B).



Autoria: NAZAR, fev. 2015.

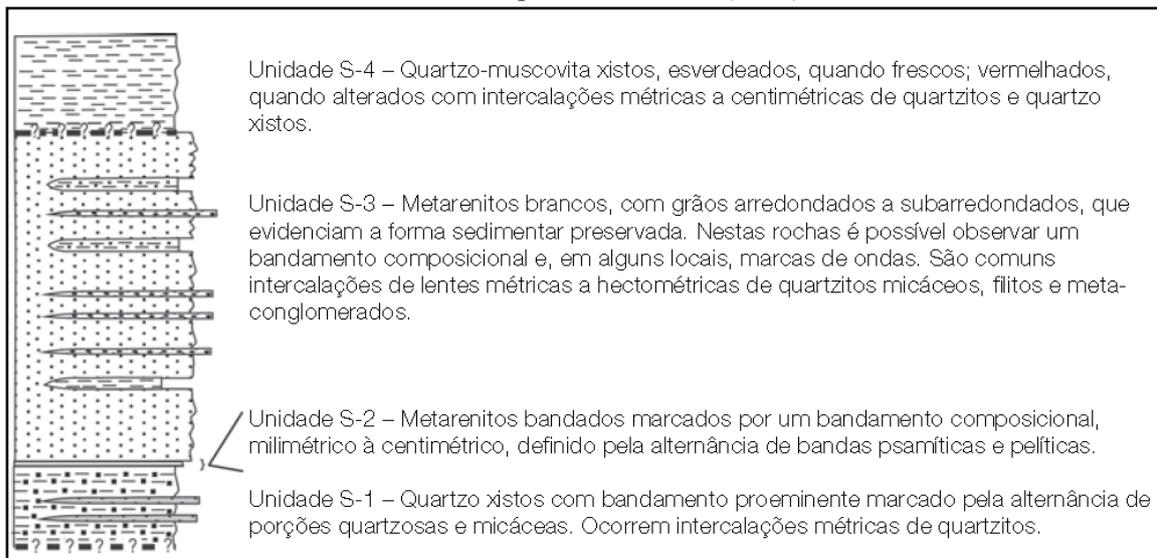
Outros trabalhos, como o de Simões (1995) e Silva et al. (2012), embasam a litoestratigrafia supracitada, sendo que o primeiro revela o Grupo Canastra como sendo formado por quartzitos e quartzitos micáceos, apresentando feição característica de preservação dos contornos sedimentares dos grãos de quartzo, situação que indica que os quartzitos são originários de arenitos e os quartzitos micáceos, de siltitos. Referente à posição desses tipos litológicos, os quartzitos puros ocupam a parte superior e os quartzitos micáceos predominam na porção inferior. Interpreta-se que pela presença de estratificação cruzada, boa seleção e grau de maturidade dos quartzitos, tais litologias podem estar relacionadas a ambientes de sedimentação plataformar, marinha rasas ou depósitos fluviais.

Silva et al. (2012) realizaram o mapeamento do Grupo Canastra na sua área tipo, nas proximidades de Tapira, MG, o que contribuiu para o entendimento da porção norte da Serra da Canastra, onde os autores atribuíram como sendo parte da Zona de Cisalhamento da Canastra. Nas proximidades da vila de São João Batista da Serra da Canastra, foram reconhecidas rochas correspondentes à base da sucessão estratigráfica do domínio delimitado pela Zona de Cisalhamento da Canastra, esclarecendo alguns pontos a respeito da litoestratigrafia local.

Foram quatro unidades litológicas identificadas por Silva et al. (2012), sendo, da base para o topo, caracterizadas da seguinte maneira: a) Unidade S-1, predominantemente composta por quartzo xistos, tais rochas são compactas, brancas, homogêneas, têm granulação fina e são pouco micáceas; b) Unidade S-2, metarenito bandado, ocorre como uma fina camada alongada

no sentido WNW; c) Unidade S-3, metarenito, de coloração branca, se destaca pelo fato de ser resistente ao intemperismo, formando paredões e escarpas, são comuns intercalações de lentes métricas a hectométricas de quartzito micáceo, metaconglomerado e filito; e d) Unidade S-4, quartzo-muscovita xistos, que possuem coloração esverdeada quando frescos e passam a avermelhada quando alterados. O esquema apresentado na Figura 4.6 a seguir ilustra a litoestratigrafia:

Figura 4.6: Coluna estratigráfica do domínio delimitado pela Zona de Cisalhamento da Canastra, definida por SILVA et al. (2012)



Fonte: SILVA et al. (2012).

Diante do exposto, salienta-se sobre a tentativa de caracterizar os aspectos litológicos da Serra da Canastra, sendo possível afirmar que ainda é necessária uma sistematização para a correlação regional e local das áreas de ocorrência do Grupo Canastra, conforme colocam Silva et al. (2012). Estes autores também atestam que a área por eles estudada (Região de Tapira), “por ser da definição original e contemplar uma ampla diversidade de unidades litoestratigráficas atribuídas ao Grupo Canastra, pode, e deve ser utilizada como base para a definição formal das formações do Grupo Canastra.” (p. 97).

Para esta pesquisa, julga-se pertinente o levantamento realizado e cabe compreender que o ChD é estruturado pela Unidade de Quartzitos, possivelmente com mais de 1000 m de espessura, segundo Simões et al. (2015); podendo associar à Unidade dos Metarenitos brancos de Silva et al. (2012). Entretanto, no que se refere ao mapa de unidades litológicas, cujo problema foi relatado na seção de procedimentos metodológicos, está disponível apenas a versão da CODEMIG (2014) em escala 1:1.000.000, e a versão de Simões et al. (2015), que também foi elaborada com o apoio da CODEMIG, na escala 1:100.000, representando apenas cerca de

metade da área do ChD. Neste sentido, para fins de espacialização das unidades, optou-se pela junção dessas duas bases, com a correção das nomenclaturas divergentes, já que para o ChD propriamente dito, não houve variação do tipo litológico presente. Além disso, a base de Simões et al. (2015) fornece informações importantes que, na análise da conjuntura do ChD, pode ser comparada com a situação adjacente, ao complementar com outras pesquisas realizadas na região.

Considerando a abordagem de Simões et al. (2015), a Unidade de Quartzitos (classificada com a sigla *NP1ciq1*), que sustenta o ChD possui as seguintes características:

- a) É constituída essencialmente por quartzitos com raras ocorrências de filito.
- b) Variam de puro a micáceo, com predomínio dos tipos pouco micáceos e puro.
- c) A faixa de granulação predominante é de areia média a grossa, porém localmente ocorre areia fina.
- d) Os grãos são bem selecionados, arredondados a subarredondados.
- e) Apresentam-se em camadas marcadas pela variação do tamanho dos grãos sedimentares de quartzo e pela variação na proporção entre quartzo e mica.
- f) As camadas apresentam espessuras decimétricas a métricas, podendo ser maciças ou laminadas.
- g) Os quartzitos são brancos, assumindo coloração amarela quando alterados.
- h) A mica presente é muscovita e como acessórios predominam turmalina e zircão e mais raramente opacos.
- i) Algumas camadas, pouco frequentes, apresentam cristaloclastos de feldspato.
- j) Correspondem a metarenitos depositados, provavelmente em plataforma rasa, proximal.
- k) Em geral, a principal estrutura que se observa nessas rochas é uma clivagem ardosiana, de direção WNW e mergulhos subverticais para SSW, denominada de foliação principal (Sn). (SIMÕES et al., 2015, p. 41-42)

No entanto, como tais definições foram alçadas tendo em vista a parte leste do ChD, ainda perduram dúvidas no que diz respeito à litoestratigrafia de toda a área que compreende o ChD, delimitada para esta pesquisa. Isso se deve, em parte, pela variação na distribuição das coberturas superficiais, que podem ser observadas, no sentido SE-NW, com o aumento das aparições de materiais ferruginosos, que não são abordados nas bases litológicas utilizadas, bem como em relação ao aprofundamento do manto de alteração, mudanças de coloração das fases de alteração do amarelo para o avermelhado. Estas condições são melhor discutidas no Capítulo VI, no qual se realiza uma análise das geocoberturas em relação aos aspectos litoestruturais da área.

As imagens (Figuras 4.7; 4.8; 4.9; 4.10) demonstram os afloramentos rochosos presentes abundantemente nas áreas mais elevadas e também nos fundos dos vales, podendo ocorrer de forma esparsa em várias áreas de toda a superfície do ChD. São características marcantes dos afloramentos a linearidade e preservação do ângulo de mergulho da formação rochosa da Serra da Canastra. Também são perceptíveis planos de fratura e microformas desencadeadas pela

dissolução da sílica, remontando a um processo cárstico não-tradicional, que ocorre em rochas não-carbonáticas, como é o caso dos quartzitos e outras rochas ricas em sílica (MARQUES NETO, 2008; AVELAR et al., 2006; UAGODA; COELHO-NETO; AVELAR; 2008).

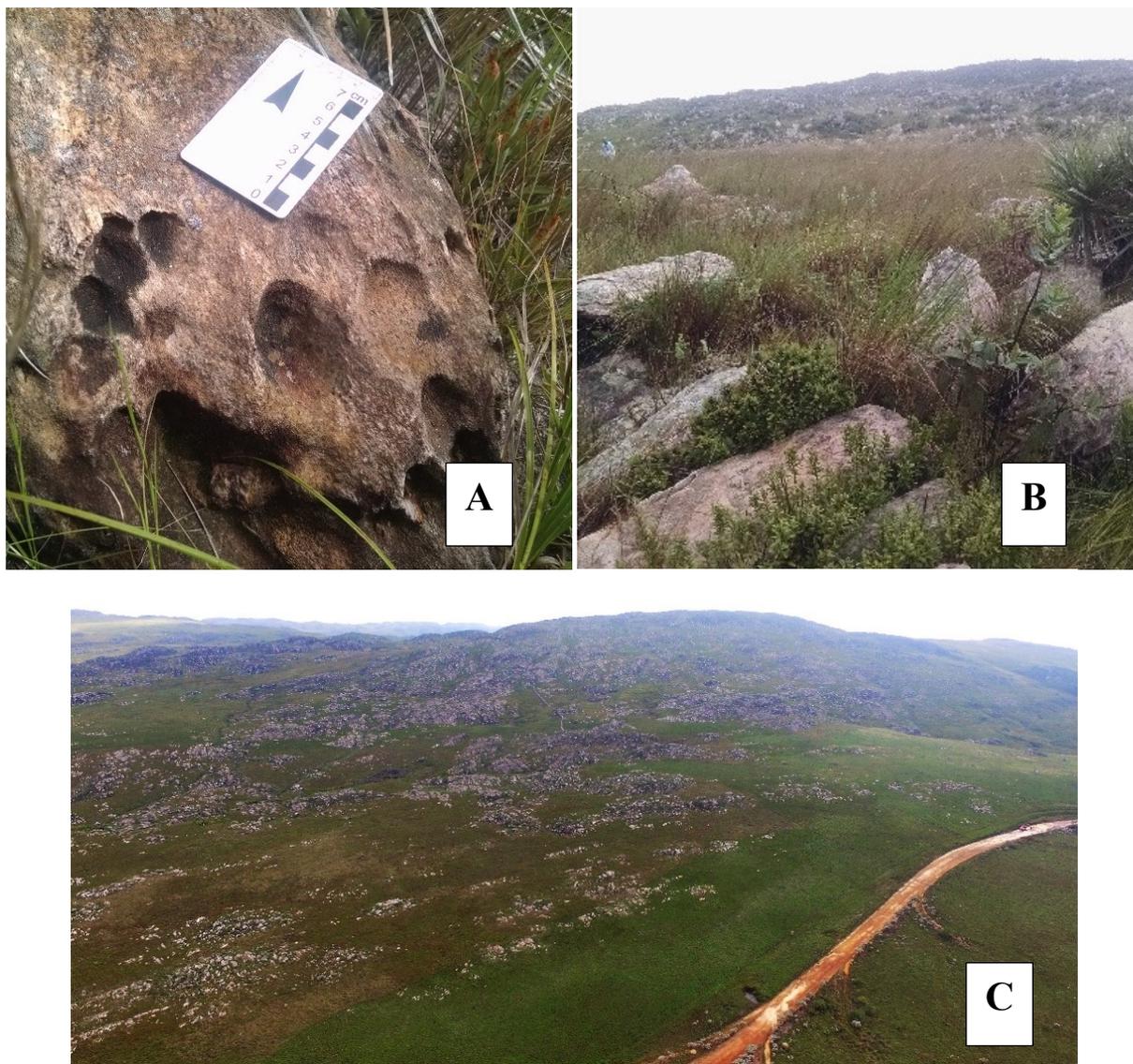
Logo em seguida, o mapa de unidades litológicas será apresentado (MAPA 4.1), referente à área do Chapadão do Diamante e entorno, no qual são representados o Grupo Canastra e as litologias do entorno, englobadas pelo Grupo Bambuí, que fazem parte da Bacia Sedimentar do São Francisco.

Figura 4.7: Afloramentos rochosos no ChD. Observação de ângulos de mergulho e dissolução. Altitude aprox.: 1391 m (Setor W)



Autoria: NAZAR, fev. 2015.

Figura 4.8: Afloramentos rochosos no ChD. A) Dissolução. B) Blocos. C) Observação de linearidades. Altitude aprox.: 1400 m (Setor E).



Autoria: NAZAR, fev. 2016 (A, B), jan. 2017, imageamento por VANT (C).

Figura 4.9: Afloramentos rochosos no ChD, ângulo de mergulho preservado. Altitude aprox.: 1405 m (Setor SW)



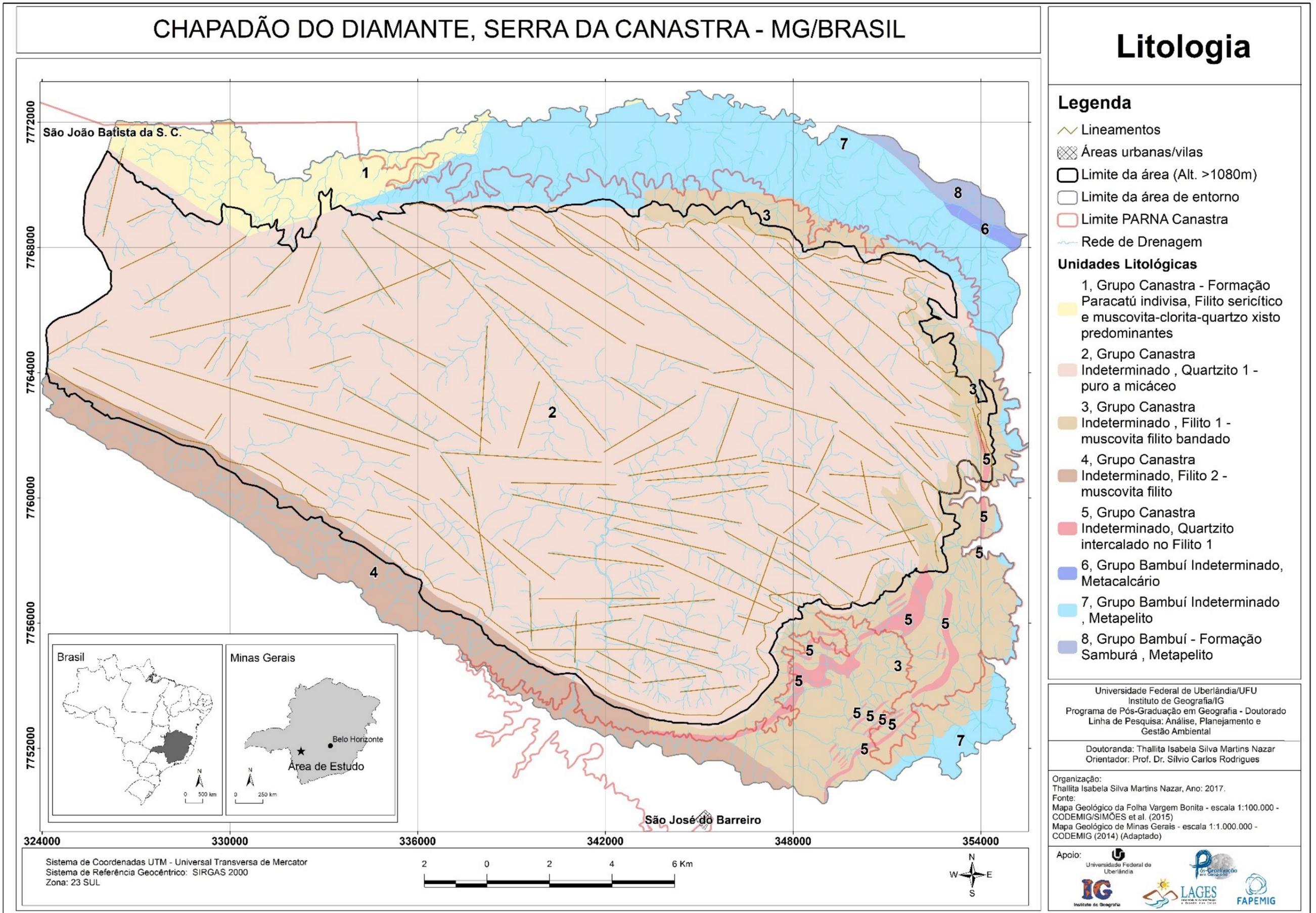
Autoria: NAZAR, out. 2016.

Figura 4.10: Afloramentos rochosos no ChD, ocorrências de quedas d'água (Cachoeira Rasga Canga).
A) Parte baixa. B) Parte alta.



Autoria: NAZAR, out. 2016. Altitude aprox.: 1205 m (Setor NW – Cachoeira Rasga Canga).

Mapa 4.1: Unidades Litológicas do Chapadão do Diamante e Entorno.



4.3. Aspectos climáticos, hidrográficos e vegetacionais do ChD

O ChD destaca-se por abranger nascentes de duas grandes bacias, como as do Rio São Francisco (incluindo a nascente histórica) e do Rio Paraná, e constitui-se como uma larga cabeceira de drenagem de notório peso no cenário hidrológico regional (MAPA 4.2). De acordo com MMA/IBAMA (2005), a área faz parte de uma complexa zona de recarga regional, determinada pelas áreas de altitudes elevadas na região da Serra da Canastra, onde os aspectos litológicos exercem forte influência no comportamento dos fluxos da água, tanto em superfície, quanto em subsuperfície. Tais condições são observáveis em relação às características das coberturas superficiais do ChD, que apresentam ao longo das vertentes uma variação da umidade, a qual, se intensifica na época das chuvas, chegando a formar pontos de exutório das águas meteóricas.

Além disso, a área situa-se em região de clima Tropical típico, com duas estações bem definidas; sendo a úmida caracterizada pelo excedente hídrico no trimestre de dezembro a fevereiro; e a seca que ocorre mais acentuada entre junho e agosto, sendo estes também os meses mais frios. A pluviosidade varia entre os 1000 e 1500 mm e a temperatura média fica entre os 18° C no mês mais frio e os 22° C no mês mais quente (NOVAIS, 2011). Cabe ressaltar o papel do relevo enquanto condicionante orográfico, que diferencia as temperaturas e sensações térmicas no alto da Serra da Canastra, favorecendo e influenciando os aspectos vegetacionais do ChD, haja vista as altitudes que variam de 1080 m a quase 1500 m.

A esse respeito, por pertencer à área de transição do Domínio dos Mares de Morros florestados para o Domínio Morfoclimático dos Chapadões tropicais interiores, ressalta-se que o ChD apresenta predominantemente as características do Domínio Morfoclimático do Cerrado, com variações fitofisionômicas desde campos limpos, sujos e rupestres a formações de cerrado *strictu sensu* e matas de galeria (MMA/IBAMA, 2005). A vegetação herbácea e menos arbustiva predomina em grande parte da área (FIGURA 4.11), provavelmente em função das pequenas espessuras dos materiais superficiais e das temperaturas menos elevadas devido às altitudes ali presentes. Ao mesmo tempo, os campos rupestres (FIGURA 4.12) são destaques sobre os extensos relevos com afloramentos quartzíticos, as formações de cerrado *strictu sensu* (FIGURA 4.13) ocorrem associadas a padrões de coberturas superficiais mais profundas e desenvolvidas, e as matas de galerias (FIGURA 4.14) em fundos de vales, próximas às formações anteriores.

Mapa 4.2: Principais Bacias Hidrográficas do Chapadão do Diamante.

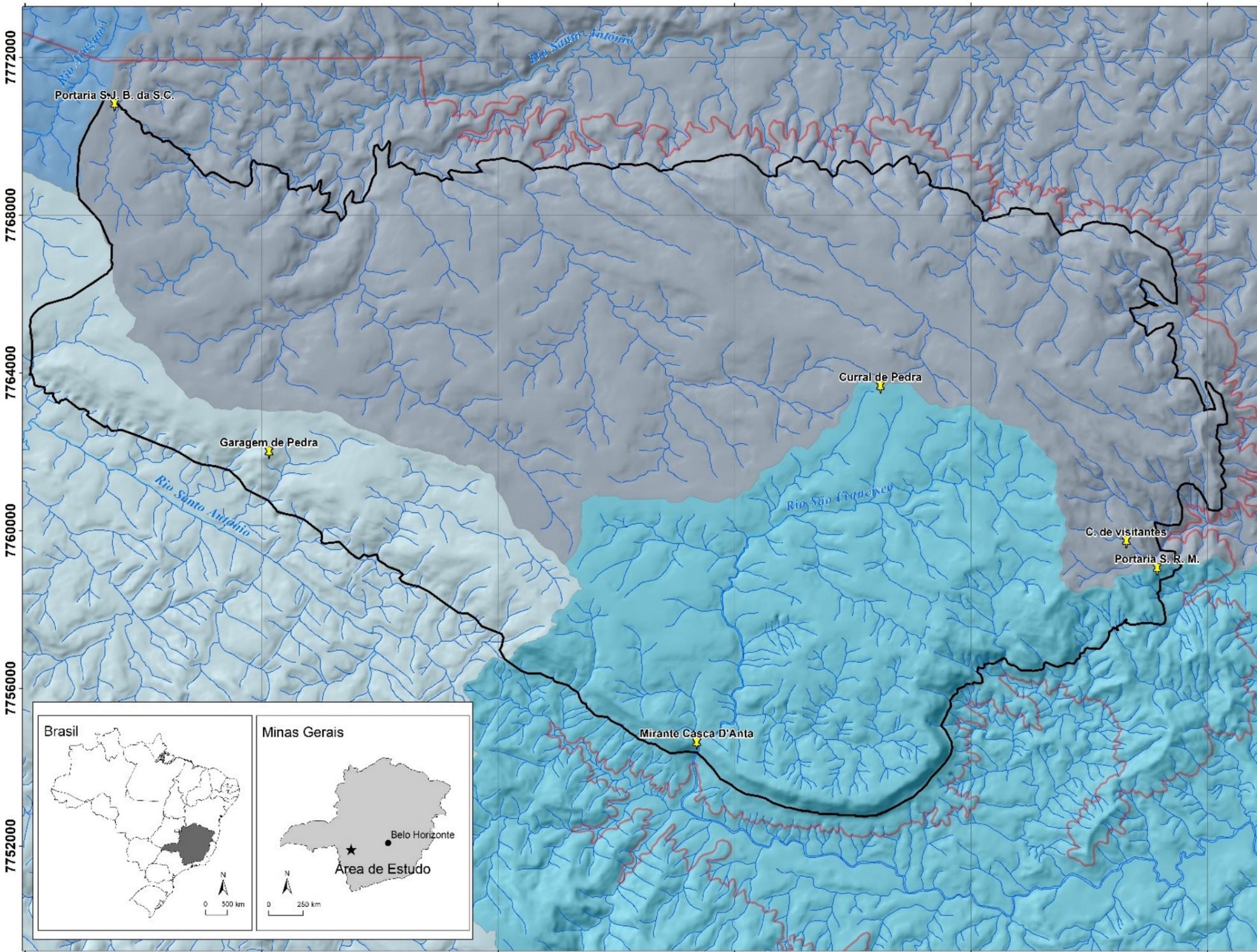
CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA - MG/BRASIL

Hidrografia

Legenda

- 📍 Localidades
- ▭ Limite da área (Alt. >1080m)
- ▭ Limite PARNA Canastra
- ~ Rede de Drenagem
- Bacias Hidrográficas**
- Rio Araguari (BHP)
- Rio Grande (BHP)
- Rio São Francisco (BHSF)
- Rio Santo Antônio (BHSF)

BHP: Bacia Hidrográfica do Rio Paraná
 BHSF: Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco



Sistema de Coordenadas UTM - Universal Transversa de Mercator
 Sistema de Referência Geocêntrico: SIRGAS 2000
 Zona: 23 SUL

Universidade Federal de Uberlândia/UFU
 Instituto de Geografia/IG
 Programa de Pós-Graduação em Geografia - Doutorado
 Linha de Pesquisa: Análise, Planejamento e
 Gestão Ambiental

Doutoranda: Thallita Isabela Silva Martins Nazar
 Orientador: Prof. Dr. Sílvio Carlos Rodrigues

Elaboração/Organização/Execução:
 Thallita Isabela Silva Martins Nazar, Ano: 2017.

Fonte da Base Cartográfica:
 Cartas Topográficas do Mapeamento Sistemático do Brasil,
 IBGE, 1970.



Figura 4.11: Vegetação herbácea predominante em grande parte da área do Chapadão do Diamante.



Autoria: NAZAR, 2015.

Figura 4.12: Campos rupestres predominantes em áreas com extensos afloramentos quartzíticos no Chapadão do Diamante.



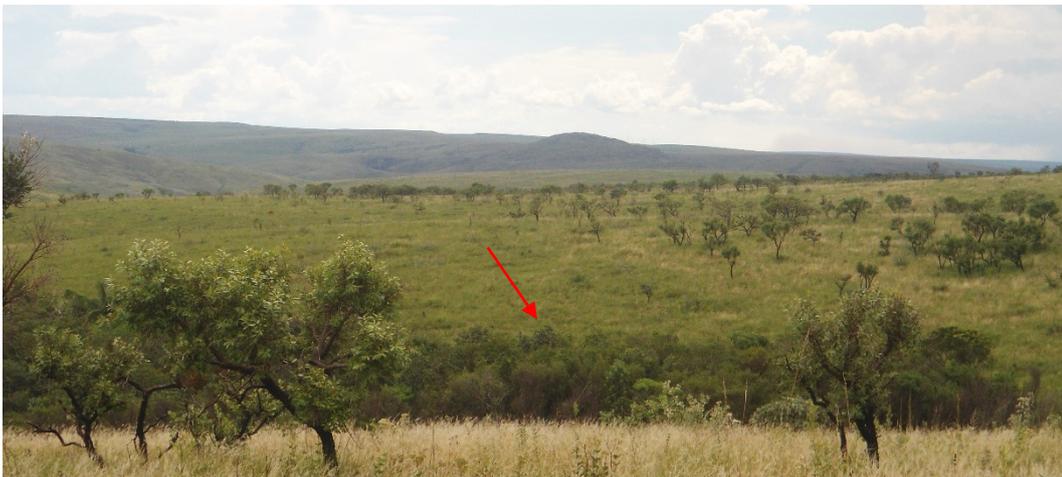
Autoria: NAZAR, 2014.

Figura 4.13: Formações de cerrado *strictu sensu* no Chapadão do Diamante.



Autoria: NAZAR, 2015.

Figura 4.14: Matas galerias em fundos de vales no Chapadão do Diamante.



Autoria: NAZAR, 2015.

Em suma, as condições dos aspectos físicos do ChD constituem um complexo paisagístico, cuja melhor compreensão será alcançada a partir dos próximos capítulos, que conduzirão as caracterizações e discussões a respeito das feições do relevo e das geocoberturas. Cabe, portanto, ressaltar aqui, que os elementos litológicos e estruturais, bem como o clima e as suas variações locais são responsáveis pela dinâmica atual e evolutiva da área.

CAPÍTULO V



5. RESULTADOS – ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA: uma abordagem a partir do mapeamento geomorfológico aliado a análise geomorfométrica

5.1. Introdução

A caracterização e o entendimento dos aspectos geomorfológicos do ChD passam pela compreensão da morfoestrutura e dos aspectos morfoesculturais que se destacam na configuração geral da área. Do ponto de vista estrutural, o ChD possui como base o arcabouço que sustenta a Serra da Canastra, derivada dos processos que formaram a Faixa Brasília Meridional e o Grupo Canastra, ao longo de milhares de anos, constituindo assim o 1º Táxon da classificação de Ross (1992), referente à Unidade Morfoestrutural. As rochas quartzíticas, conforme descritas na seção anterior, são mais resistentes ao intemperismo, e mesmo em regiões tropicais, cuja atuação de um clima mais úmido incrementa os processos de dissecação do relevo, a intensidade desses processos acontece mais lentamente.

Neste sentido, ao tratar dos padrões de relevo do ChD, observa-se estreita relação entre o substrato rochoso e a topografia, juntamente com os materiais superficiais que respondem a essa interação. A análise geomorfométrica, diretamente relacionada aos aspectos topográficos, fornece subsídios para essa associação, quando considera o reconhecimento prévio em campo das feições físicas, atuando de forma quantitativa para minimizar os efeitos da abstração de um mapeamento geomorfológico tradicional. A metodologia aplicada resultou no mapa de padrões de relevo do ChD e entorno, ao seguir a lógica de análise das densidades de drenagem, declividade e altimetria, associada aos aspectos observados em campo, por exemplo, os afloramentos rochosos; a partir da execução de rotinas semi-automatizadas e manuais, conforme são descritos nos itens seguintes.

5.2. Caracterização dos parâmetros morfométricos

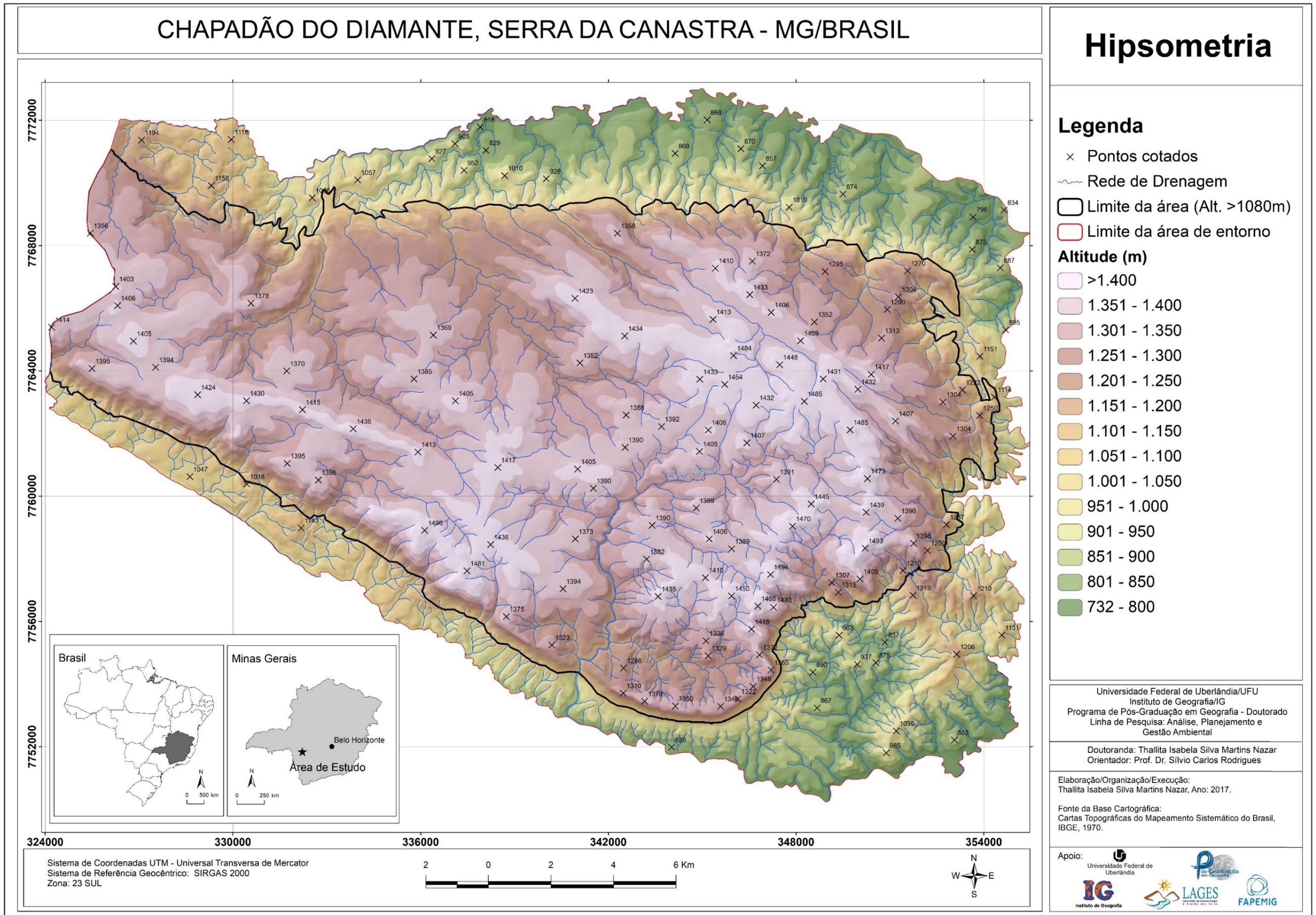
Em primeiro lugar, delimitou-se o limite altimétrico que constitui o ChD e as escarpas adjacentes, comportadas pelos quartzitos puros a micáceos do Grupo Canastra, correspondendo ao 2º Táxon (Unidade Morfoescultural), circundado pelas áreas rebaixadas denominadas de área de entorno. A variação da altitude compreende o intervalo de 760 m no entorno, a 1496 m na área de topo, totalizando uma amplitude de 736 m, sendo que, somente em área de escarpas, pode chegar a 350 metros de desnível a uma distância percorrida de 1km. As classes hipsométricas podem ser observadas no Mapa 5.1, com os pontos cotados demonstrando os picos e áreas mais elevadas.

Tendo em vista a ruptura de declive nitidamente observada, selecionou-se os seguintes intervalos: acima de 1080 m, para definir o Planalto do Diamante (Chapadão do Diamante); e abaixo de 1080 m, para a área rebaixada, conforme se nota no Mapa 5.2. Para complementar a visualização do relevo no local, apresenta-se o modelo tridimensional em forma de blocodiagrama (FIGURA 5.1), a partir do qual verifica-se os diferentes níveis topográficos, com destaque para o Planalto (Chapadão do Diamante), as escarpas, a área rebaixada do entorno e a superfície residual entalhada referente à Serra da Babilônia.

A nomenclatura do Planalto do Diamante, ora denominado Chapadão do Diamante, em conformidade com a cultura regional, por se pronunciar como uma vasta área horizontal, termo genericamente atribuído (IBAMA, 2005), é colocada devido ao fato de ser formado não apenas por áreas de topo planas, mas também por vertentes inclinadas e cristas alongadas, quando se observa localmente. No entanto, prevalece a nomenclatura já batizada e conhecida nacionalmente, sendo que aqui, apenas em termos científicos, se classifica como planalto, tendo em vista o significado dos termos no dicionário geológico-geomorfológico (GUERRA, GUERRA, 2008):

- i. Chapada/Chapadão: “planalto sedimentar típico”/“conjunto de chapadas”. (p. 135)
- ii. Planalto: “uma superfície levemente ondulada, constituída de rochas cuja estrutura, é no seu conjunto, horizontal ou levemente sub-horizontal. [...] termo usado para definir uma superfície elevada mais ou menos plana delimitada por escarpas íngremes onde os processos de degradação superam os de agradação”, podendo se referir a terrenos sedimentares, de dobramentos ou cratônicos. (p. 489)

Mapa 5.1: Hipsometria do ChD e entorno.



Mapa 5.2: Delimitação do Planalto do Diamante.

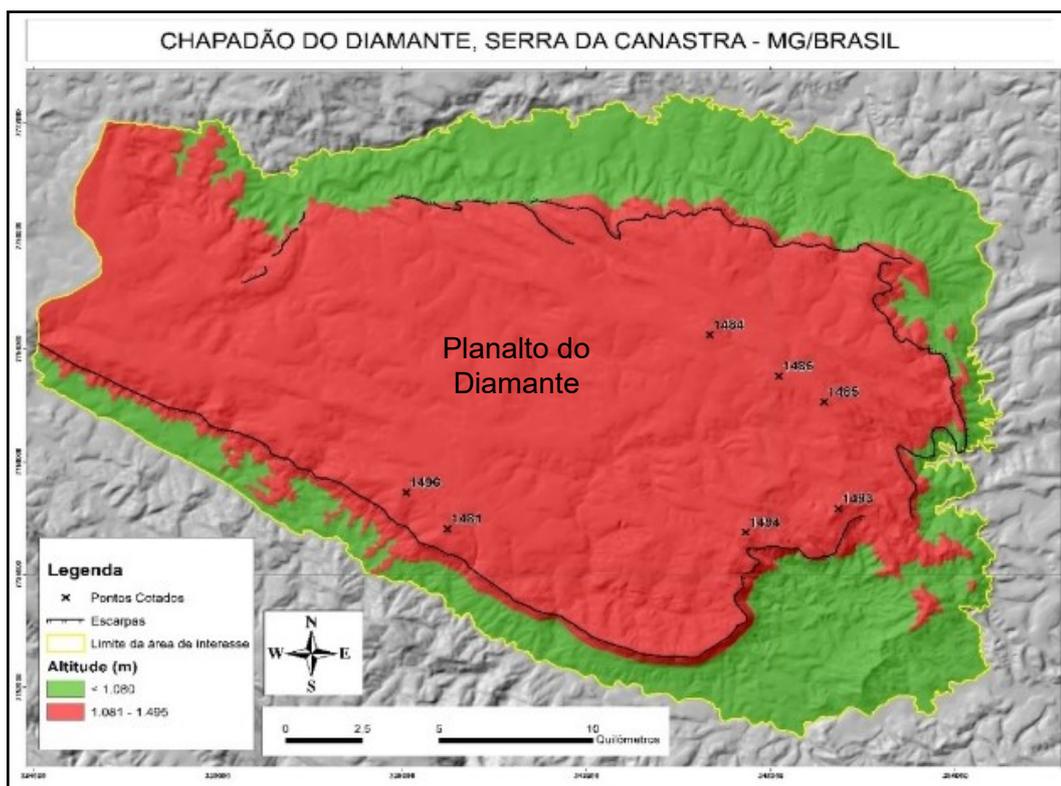
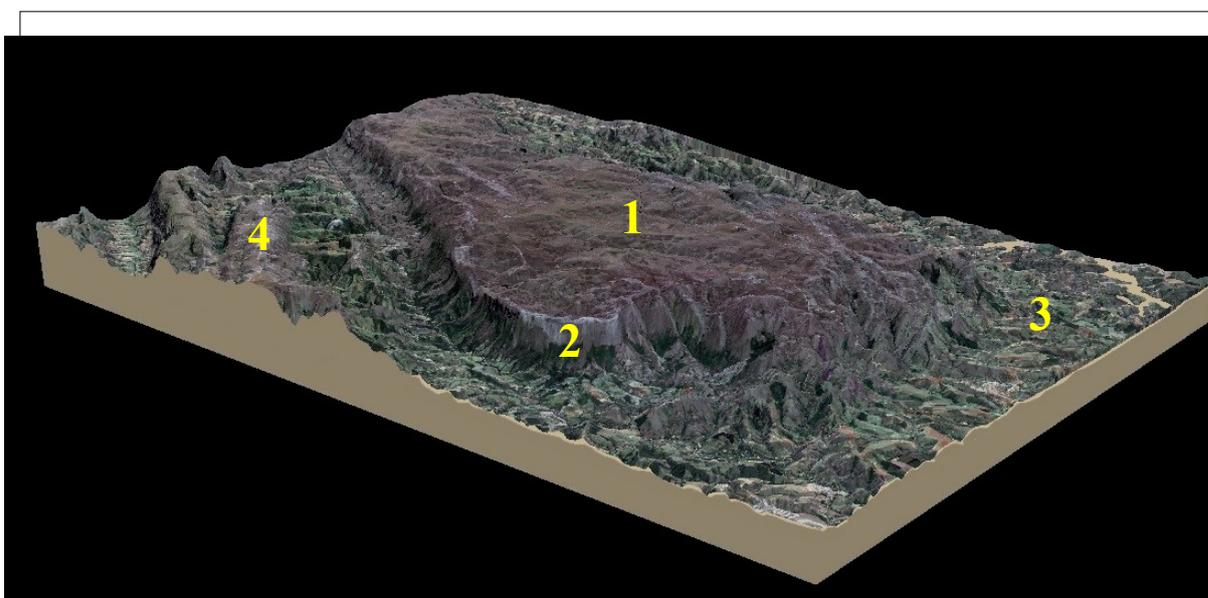


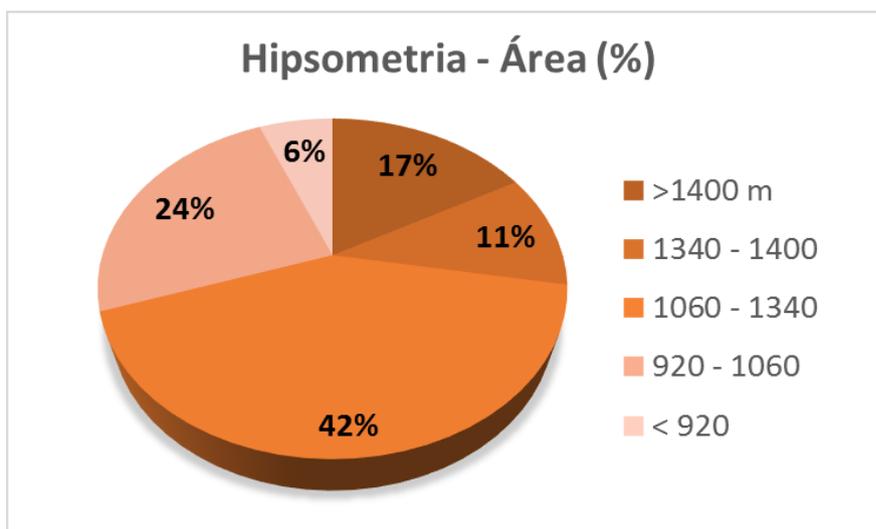
Figura 5.1: Bloco-diagrama do ChD e entorno.



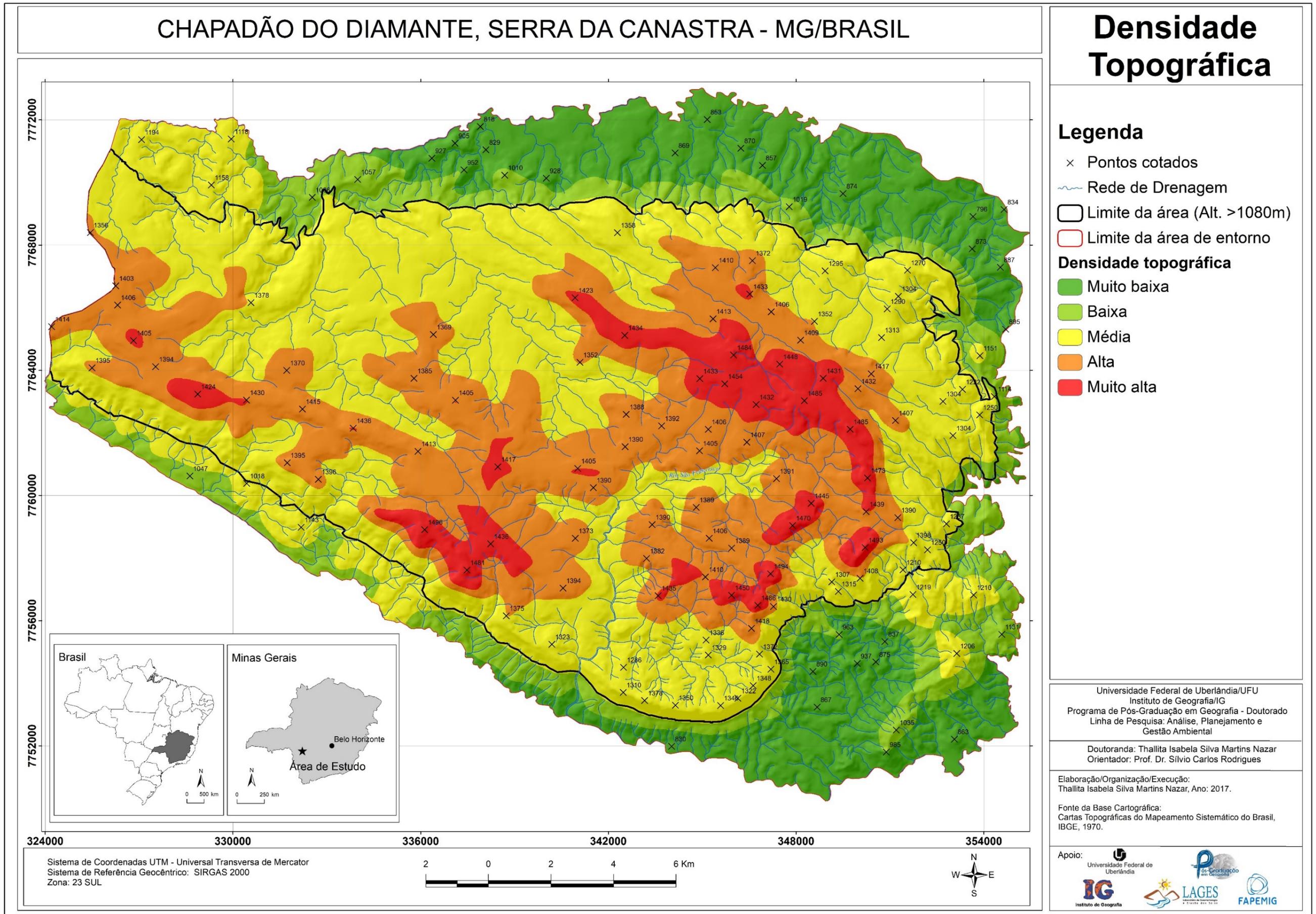
4 – Superfície residual entalhada (Serra da Babilônia)

A análise da densidade topográfica (MAPA 5.3), que determina a variação espacial da diferença altimétrica, indica que na área mapeada, a qual engloba o ChD e entorno, cerca de 42% corresponde a altimetria que varia de 1060 a 1340 m (média densidade), enquanto 11% equivale ao intervalo entre 1340 a 1400 m (alta densidade) e aproximadamente 17% da área é ocupada por altitudes maiores que 1400 m (muito alta densidade), sendo que tais valores correspondem ao ChD propriamente dito e suas escarpas. O restante da área, referente ao entorno, constitui 24% na classe de 920 a 1060 m (baixa densidade) e apenas 6% com altitudes menores que 920 m (muito baixa densidade), esta última que caracteriza o vale do Rio São Francisco, em sua margem direita, pós queda da Cachoeira Casca D'Anta. O ponto mais elevado da área corresponde a 1496 m (Gráfico 5.1).

Gráfico 5.1: Distribuição das classes hipsométricas no ChD e entorno.

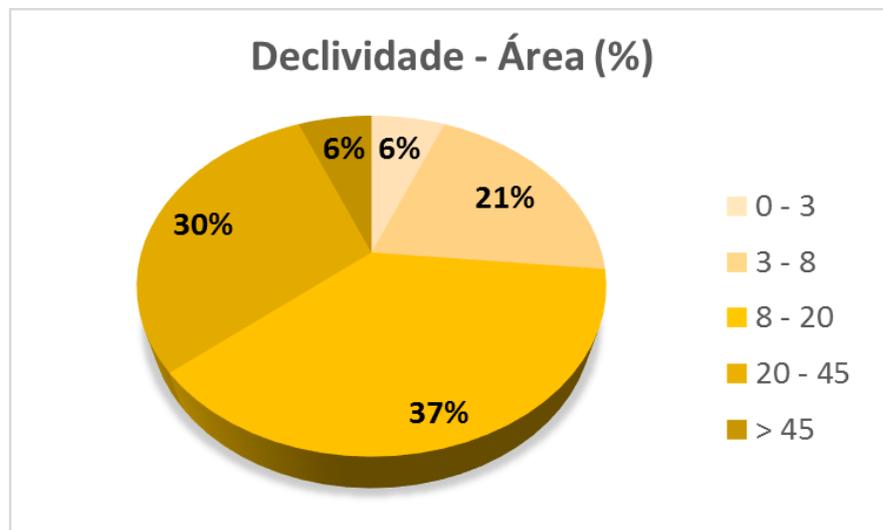


Mapa 5.3: Representação espacial da DT.



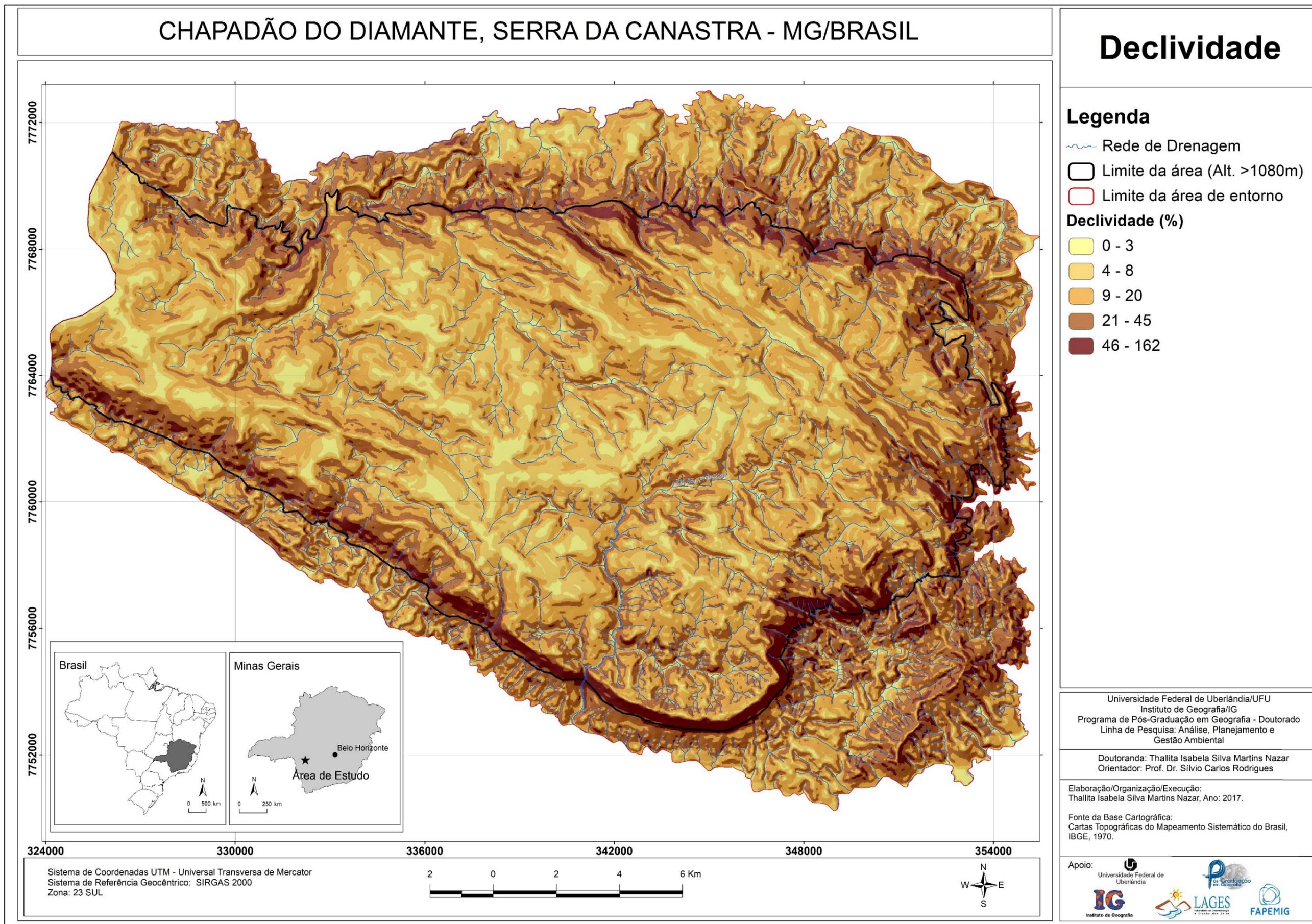
No que se refere à distribuição da declividade, a mesma possui variação entre 0 a 162%, sendo que os maiores gradientes representam as áreas de escarpas. Foram classificados 5 intervalos de declives, os quais melhor representaram o relevo dentre vários testes realizados, demonstrando que as áreas planas (0-3%), ocupam cerca de 6% do total; enquanto as áreas correspondentes às declividades suaves (3-8%), refletem em torno de 21%; e as que representam declives médios a fortes, como 8 a 20% e 20 a 45%, preenchem respectivamente, 37% e 30% da superfície; e, por fim, o intervalo de declives mais acentuados (>45%), tomam aproximadamente 6% do espaço (Gráfico 5.2).

Gráfico 5.2: Distribuição das classes de declividade no ChD e entorno.



O Mapa 5.4, a seguir, representa a espacialização das classes de declive analisadas, sendo possível observar que a superfície do ChD apresenta maior ocorrência de gradientes suaves a médios, ao contrário da área do entorno, onde as características do relevo demonstram maior movimentação e conseqüentemente, gradientes topográficos mais elevados. Nota-se, nitidamente, a delimitação das áreas escarpadas, com forte ruptura de declive, em consonância com o observado no mapa hipsométrico, a respeito do elevado desnível de altitude.

Mapa 5.4: Declividade do ChD e entorno.



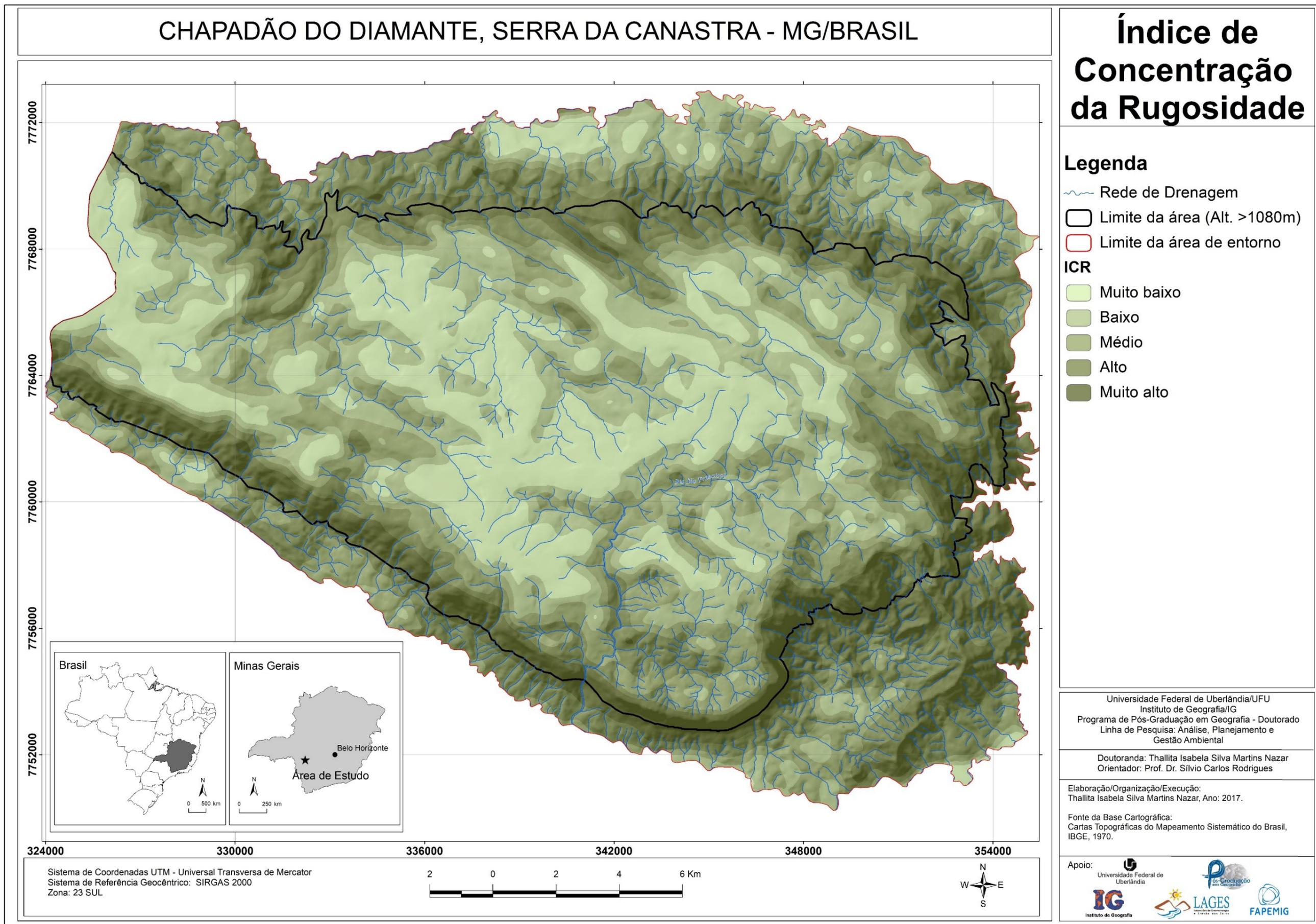
O parâmetro da densidade da declividade, abordada aqui como o ICR de Sampaio e Augustin (2014), reflete os aspectos da dissecação do relevo, cujas classes delimitam padrões importantes para a análise geomorfológica, sendo que, quanto maiores os índices encontrados, maiores são os declives e a rugosidade do terreno. Neste sentido, o Mapa 5.5 mostra que, sobre o ChD, ocorrem as menores classes de ICR, refletindo a baixa rugosidade do terreno, enquanto as escarpas refletem o maior índice, juntamente com as áreas do entorno.

Em relação à densidade de drenagem (DD), esse parâmetro também representa os graus de dissecação topográfica, contribuindo para a delimitação das classes de padrões de relevo em referência às distâncias interfluviais, sendo que quanto maiores, menores são os índices de DD, o que indica a presença de superfícies planas e suaves. Essa variável é apresentada no Mapa 5.6, sendo possível observar uma variação dos menores índices na superfície do ChD, ao contrário do que ocorre no entorno, o que permite uma clara diferenciação das áreas de topo e as demais, onde aparecem as vertentes com graus de dissecação mais elevados.

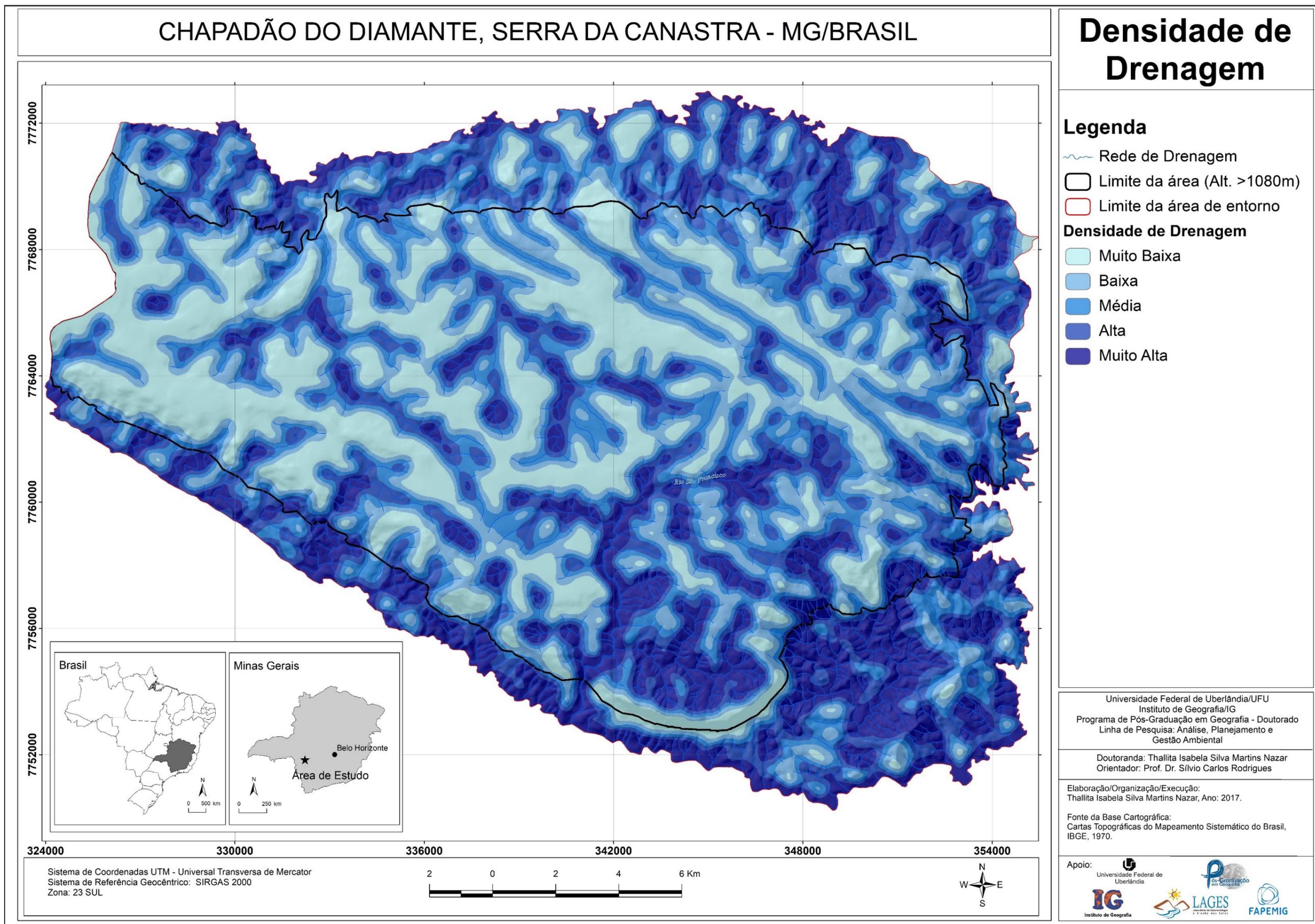
As variáveis de ICR e DD foram classificadas pelo método de quantil, seguindo a recomendação de Sampaio e Augustin (2014), o qual é determinado pelo próprio aplicativo do ArcGIS, sendo capaz de distinguir o enquadramento das classes em tamanhos de áreas semelhantes, motivo pelo qual não se faz necessária a apresentação de gráficos areais. Contudo, a classificação por quantil mostrou-se eficiente ao caracterizar os padrões de relevo no ChD, ao se comparar com outros métodos classificatórios.

Diante do exposto, por aqui, finaliza-se a fase de elaboração dos mapas dos parâmetros morfométricos, os quais embasaram o mapa de unidades de padrões de relevo, tema a ser descrito no próximo item.

Mapa 5.5: Representação espacial do ICR.



Mapa 5.6: Representação espacial da DD.

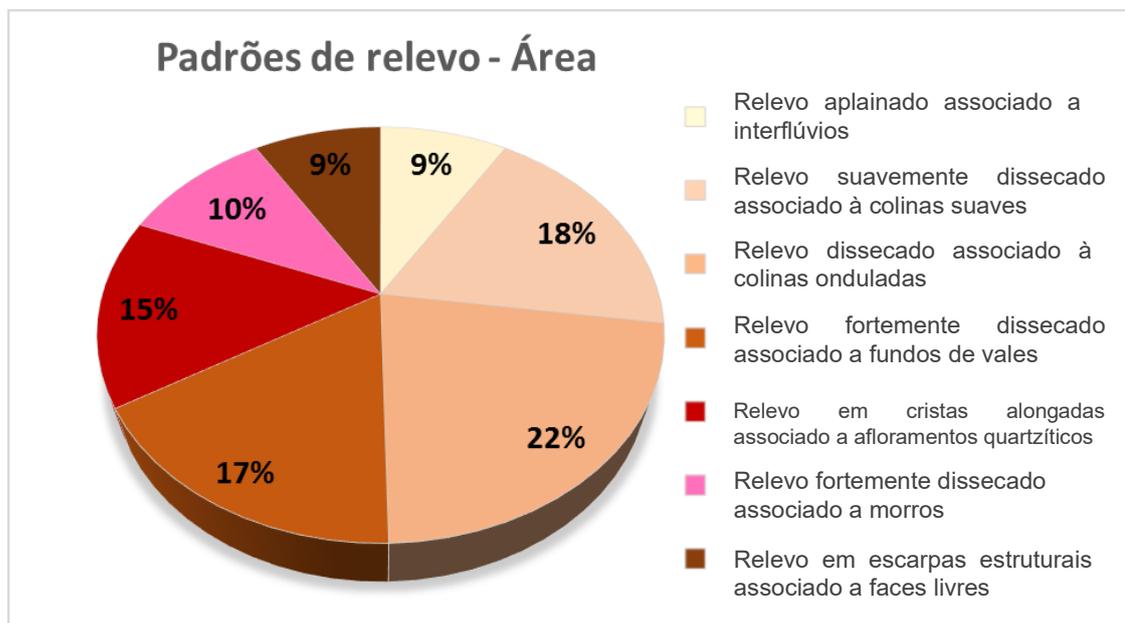


5.3. Mapa de Padrões de Relevo

Os padrões de relevo ou unidades morfológicas correspondem ao 3º Táxon da classificação de Ross (1992) e dentro da metodologia aplicada, os resultados revelaram que os padrões que ocorrem no ChD e entorno podem ser distribuídos em Relevo aplainado associado a interflúvios; Relevo suavemente dissecado associado à colinas suaves; Relevo dissecado associado à colinas onduladas; Relevo fortemente dissecado associado a fundos de vales; Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos; Relevo em escarpas estruturais associado a faces livres; Relevo fortemente dissecado associado a morros, estes últimos que ocorrem sobremaneira nas áreas adjacentes ao ChD. Além dos padrões de formas, foram traçados os limites das escarpas e as cristas referentes ao lineamento do relevo em algumas áreas, como no padrão em cristas alongadas quartzíticas. Este último é assim denominado devido à grande quantidade de afloramentos observados e às altas cotas altimétricas onde ocorrem, entretanto, é possível encontrar afloramentos em todas as classes mapeadas, distribuídos de forma esparsa ou pontual.

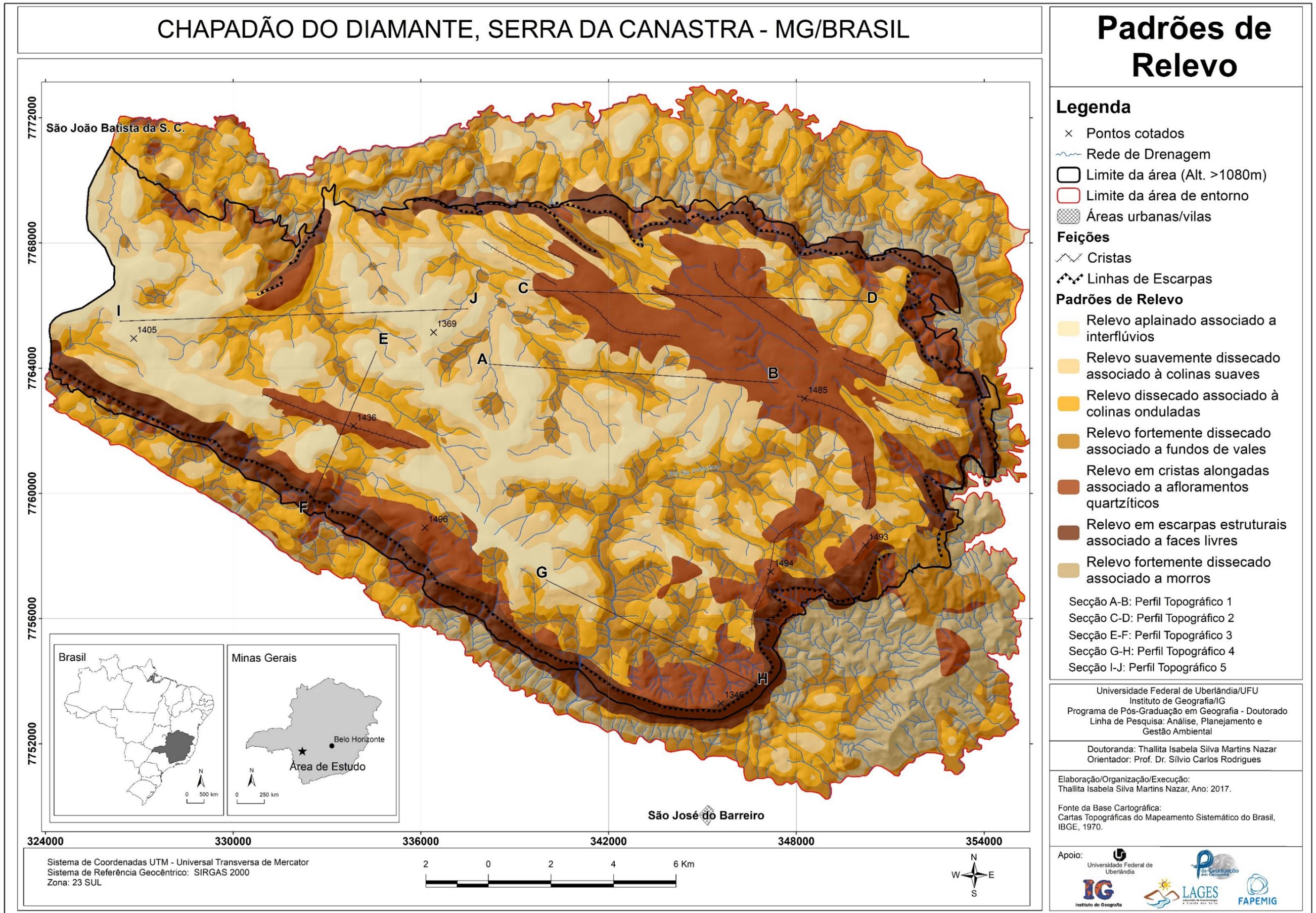
Do ponto de vista da distribuição areal dessas classes de relevo, cerca de 9% é destinada ao Relevo aplainado associado a interflúvios, 18% referem-se ao Relevo suavemente dissecado associado à colinas suaves, 22% ao Relevo dissecado associado à colinas onduladas e 17% ao Relevo fortemente dissecado associado a fundos de vales; enquanto que o Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos ocupam 15% da área e o Relevo em escarpas estruturais percebem 9%, e por fim, as áreas de Relevo fortemente dissecado associado a morros atingem 10% do total. O Gráfico 5.3 representa essa distribuição, sendo válido destacar que cerca da metade da área é composta por relevos mais suaves (49%) e o restante (51%) equivale a um relevo mais movimentado.

Gráfico 5.3: Distribuição das áreas de padrões de relevo.



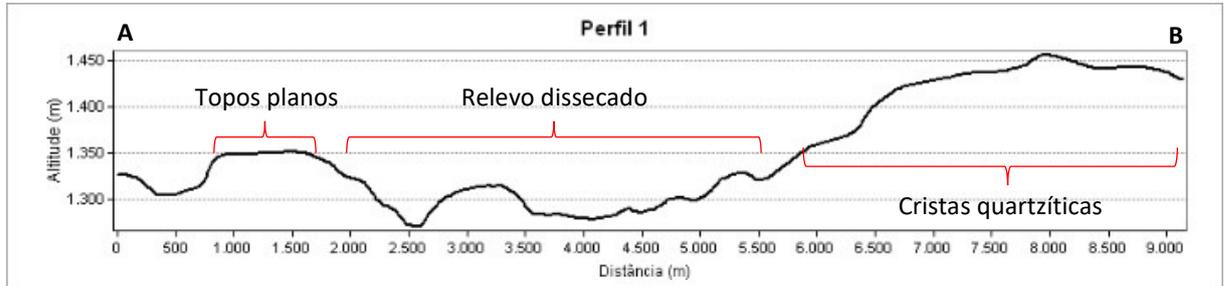
Foram traçados diversos perfis topográficos no intuito de verificar as classes de relevo geradas, sendo escolhidos cinco perfis que representam os diferentes compartimentos, que podem ser verificados no mapa de Padrões de Relevo (Mapa 5.7).

Mapa 5.7: Representação dos Padrões de Relevo do ChD e entorno.



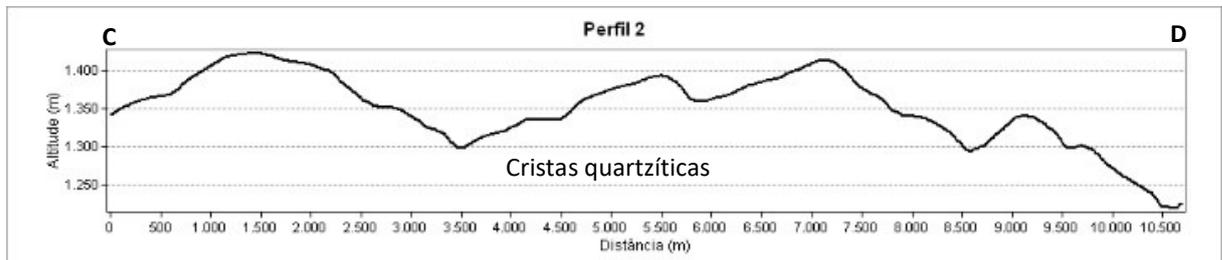
Como se observa no Perfil 5.1, ocorrem os topos planos, próximos da cota de 1350 m, adjacentes a eles, aparecem as áreas de relevo dissecado, limitando-se com o padrão em cristas quartzíticas, em cotas topográficas mais elevadas, alcançando até 1450 m.

Perfil 5.1: Secção A-B, área central do ChD.



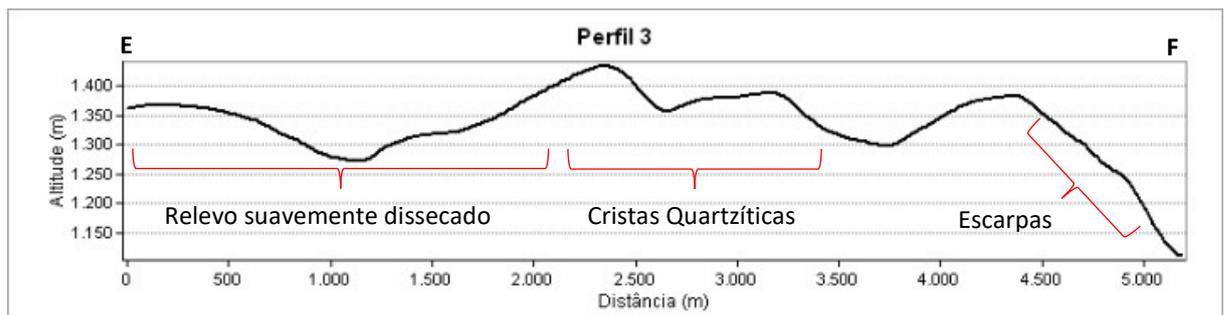
O Perfil 5.2 corresponde à representação do padrão em cristas alongadas quartzíticas que ocorrem, de maneira significativa, na parte NE do ChD. Nota-se a presença de lineamentos, declives acentuados, e as altitudes variam acima de 1300 m.

Perfil 2: Secção C-D, área NE do ChD.



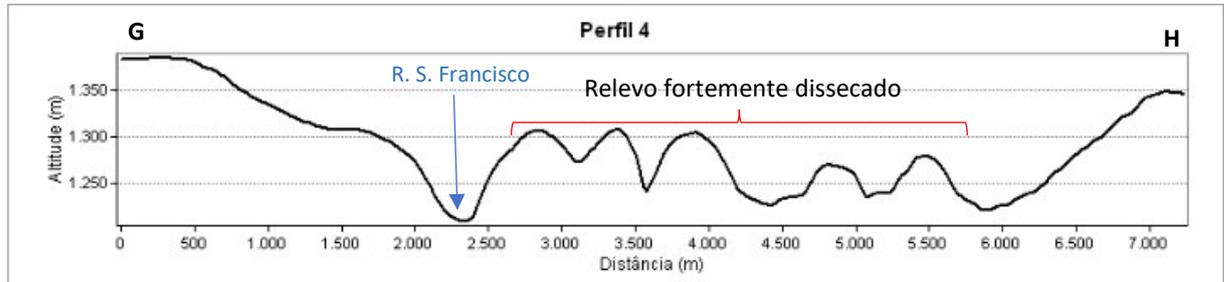
Já o Perfil 5.3, representativo de uma área na parte SW do ChD, ilustra a ocorrência de relevo suavemente dissecado, seguido de cristas quartzíticas, e por fim, as escarpas voltadas ao sentido sul.

Perfil 5.3: Secção E-F, área SW do ChD.



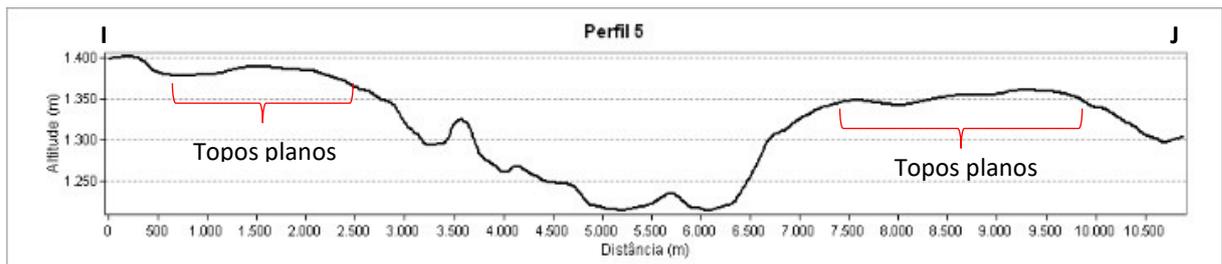
Em relação ao Perfil 5.4, referente à área próxima ao Rio São Francisco, pouco antes da queda na cachoeira Casca D'Anta, revela o padrão de formas em relevo fortemente dissecado, com vales bastante encaixados.

Perfil 5.4: Secção G-H, área S do ChD.



Finalmente, o Perfil 5.5 mostra a presença dos topos planos na região NW do ChD, os quais ocorrem nas altitudes acima de 1350 m.

Perfil 5.5: Secção I-J, área NW do ChD.



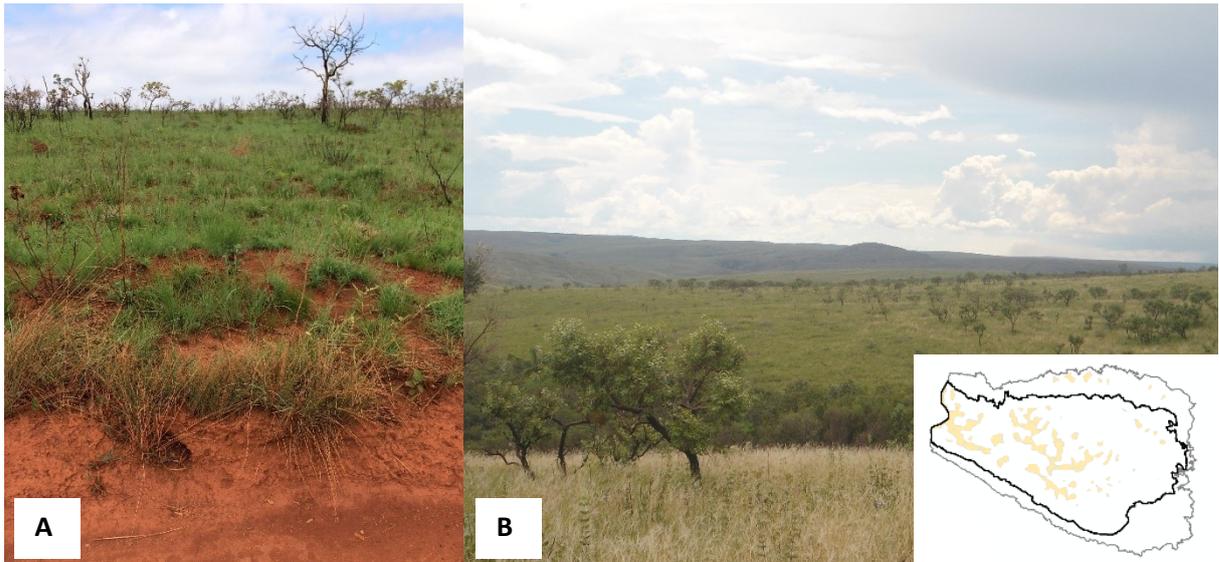
Diante do exposto, as classes de padrões de relevo representadas são descritas, tendo em vista as suas principais características, em função dos parâmetros morfométricos aplicados.

a) Relevo aplainado associado a interflúvios

As formas de relevo caracterizadas como aplainadas associadas a interflúvios, ocorrem, predominantemente na parte central do ChD, direcionando-se em SE-NW. Nas áreas mais próximas ao vale do rio São Francisco, esses topos apresentam materiais superficiais incipientes, às vezes formados por cascalhos e concreções ferruginosas, com colorações variando do cinza ao amarelo e vermelho, a vegetação se mantém rasteira, com raros arbustos. À medida em que se afastam no sentido do rio Santo Antônio, a NW, percebe-se uma mudança significativa no padrão de materiais que recobrem os topos, quando estes se tornam mais

profundos e de coloração avermelhada intensa, a cobertura vegetal também se modifica, aparecendo em alguns setores formações do tipo cerrado. Observa-se um rebaixamento do relevo no sentido SE-NW. Além disso, os topos planos podem ocorrer ocasionalmente em outras áreas espalhadas pelo ChD. As imagens seguintes ilustram a paisagem dominada pelos padrões em topos planos (FIGURAS 5.2, 5.3, 5.4).

Figura 5.2: Padrão em topos planos. A) Notar materiais avermelhados. B) Notar vegetação tipo cerrado.



Autoria: NAZAR, out. 2016 (A), fev. 2015 (B).

Figura 5.3: Padrão em topos planos. Notar vegetação campestre.



Autoria: NAZAR, out. 2016

Figura 5.4: Padrão em topos planos, imageamento por VANT.



Autoria: NAZAR, jan. 2017. Coord. do ponto de visada: 20°13'42,712; 46°29'33, 578. Alt.: 1481 m.

b) Relevo suavemente dissecado associado a colinas suaves

As formas suavemente dissecadas aparecem na classificação do relevo do ChD enquanto áreas adjacentes aos topos planos, caracterizando uma transição de relevo suave em direção aos fundos dos vales, com acréscimo gradativo dos gradientes topográficos. Ocorrem, praticamente, em todas as bordas dos topos planos, mormente na região central e NW do Chapadão. Podem ser observadas nas imagens a seguir (FIGURAS 5.5, 5.6):

Figura 5.5: Relevo suavemente dissecado associado a colinas suaves, imageamento por VANT.



Autoria: NAZAR, jan. 2017. Coord. do ponto de visada: 20°15'4,6754; 46°33'39,5213. Alt.: 1400 m.

Figura 5.6: Relevo suavemente dissecado associado a colinas suaves.



Autoria: NAZAR, fev. 2015.

c) Relevo dissecado associado a colinas onduladas

Os padrões dissecados, associados a colinas onduladas, diferenciam-se das anteriores pela diminuição das distâncias interfluviais e consequente aumento das classes de declividade, ocorrendo em locais com médias densidades de drenagem. Podem ser consideradas como áreas adjacentes às colinas suaves e até mesmo aos morros quartzíticos, conforme se observa nas próximas imagens (FIGURAS 5.7, 5.8).

Figura 5.7: Padrão em relevo dissecado com colinas onduladas.



Autoria: NAZAR, fev. 2015.

Figura 5.8: Padrão em relevo dissecado com colinas onduladas e algumas ocorrências de afloramentos rochosos.



Autoria: NAZAR, fev. 2015.

d) Relevo fortemente dissecado associado a fundos de vales

A área de ocorrência dos padrões fortemente dissecados associados a fundos de vales, se destaca no vale do rio São Francisco, especialmente a montante da queda da cachoeira Casca D'Anta, sendo a área mais representativa dessas feições no ChD. Estão associadas à ocorrência de alta densidade de drenagem, declives bastante acentuados e vales encaixados, sobrepostos por materiais inconsolidados de pequena profundidade e vegetação rasteira, com eventuais afloramentos de quartzitos; conforme se verifica nas imagens a frente (FIGURAS 5.9, 5.10):

Figura 5.9: Padrão em Relevo fortemente dissecado associado a fundos de vales.



Autoria: NAZAR, abr. 2014.

Figura 5.10: Padrão em Relevo fortemente dissecado associado a fundos de vales, imageamento por VANT.



Autoria: NAZAR, jan. 2017. Coord. do ponto de visada: 20°17'11,694; 46°31'4,086. Alt.: 1300 m.

e) Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos

A classe de relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos refere-se às áreas do ChD que se destacam pelas maiores cotas altimétricas e, principalmente, pelas feições rochosas peculiares, com grande quantidade de afloramentos de quartzitos, que desenvolvem uma camada superficial incipiente e cobertura vegetal composta por campos rupestres. Nessas áreas a tendência da declividade varia de baixa nos topos das cristas, a alta nas vertentes mais íngremes; a densidade de drenagem não é elevada, mas possui características estruturais marcantes, com lineamentos e grandes massas rochosas aflorantes, sendo estas as características principais para delinear este padrão de relevo na área. As imagens na sequência ilustram tais definições (FIGURAS 5.11, 5.12, 5.13).

Figura 5.11: Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos, exemplo de vertente, imageamento por VANT.



Autoria: NAZAR, jan. 2017. Coord. do ponto de visada: 20°14'56,2373; 46°26'17,290. Alt.: 1400 m.

Figura 5.12: Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos, imageamento por VANT.



Autoria: NAZAR, jan. 2017. Coord. do ponto de visada: $20^{\circ}13'36,784$; $46^{\circ}27'1,896$. Alt.: 1514 m.

Figura 5.13: Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos, área SW do ChD.



Autoria: NAZAR, out. 2016.

f) Relevo em escarpas estruturais associado a faces livres

O padrão de relevo em escarpas corresponde às feições que delimitam o ChD da área do entorno. Apresentam declives, em média, superiores a 45° , podendo chegar a alcançar a marca de 58° de inclinação. São formas de relevo abruptas, caracterizadas por súbitas rupturas de declive, formando paredões rochosos exuberantes. Em toda a extensão das escarpas é possível verificar a ocorrência de quedas d'água de dimensões variadas, o que contribui para o cenário de beleza cênica da região. É possível observar, também, os depósitos de talude no sopé dessas áreas, com destaque para blocos rochosos de tamanhos variados depositados na base da cachoeira Casca D'Anta seguindo o trecho do talvegue do rio São Francisco (FIGURAS 5.14, 5.15, 5.16).

Figura 5.14: Padrão em escarpas, mirante setor S.



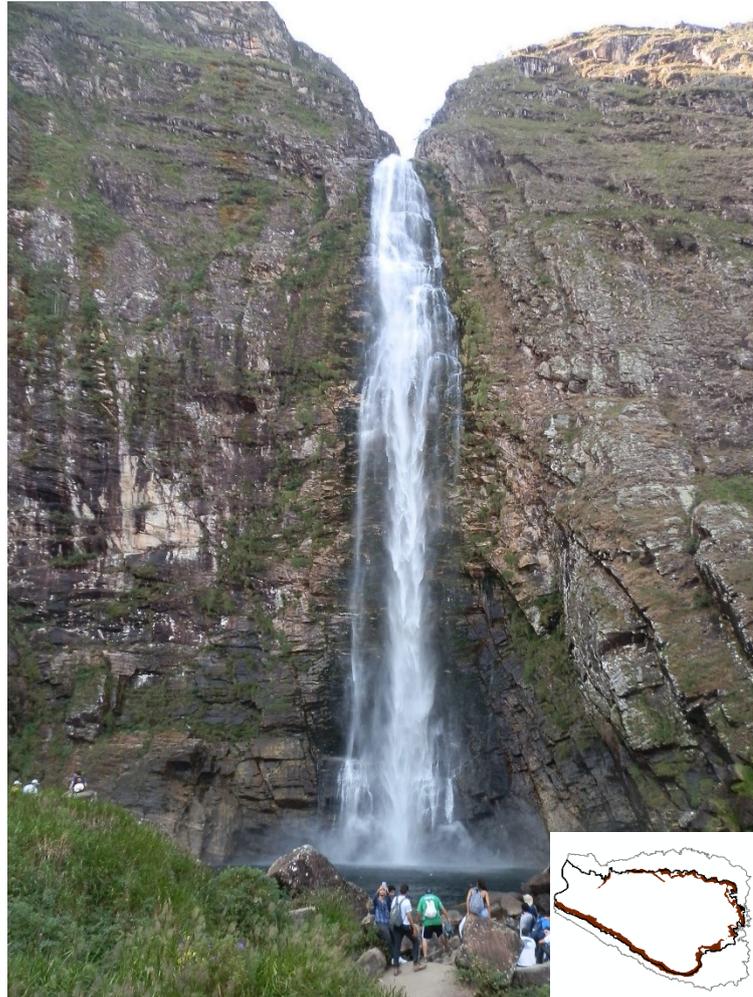
Autoria: NAZAR, fev. 2015.

Figura 5.15: Padrão em escarpas, com queda d'água, setor N.



Autoria: NAZAR, fev. 2015.

Figura 5.16: Padrão em escarpas, Cachoeira Casca D'Anta, setor S.



Autoria: NAZAR, abr. 2014.

g) Relevo fortemente dissecado associado a morros

A classe de Relevo fortemente dissecado associado a morros foi denominada para caracterizar as feições movimentadas do relevo que ocorrem nas áreas adjacentes (relevo rebaixado) ao ChD. O padrão em morros compreende densidades de drenagem elevadas e também médios a altos gradientes topográficos. Ocorre de forma generalizada no setor S-SE do mapa, próximo às cidades de São Roque de Minas e Vargem Bonita (FIGURAS 5.17 e 5.18).

Figura 5.17: Padrão em Relevo fortemente dissecado associado a morros.



Autoria: NAZAR, 2015.

Figura 5.18: Padrão em Padrão em Relevo fortemente dissecado associado a morros visto da parte alta, entrada de São João Batista.



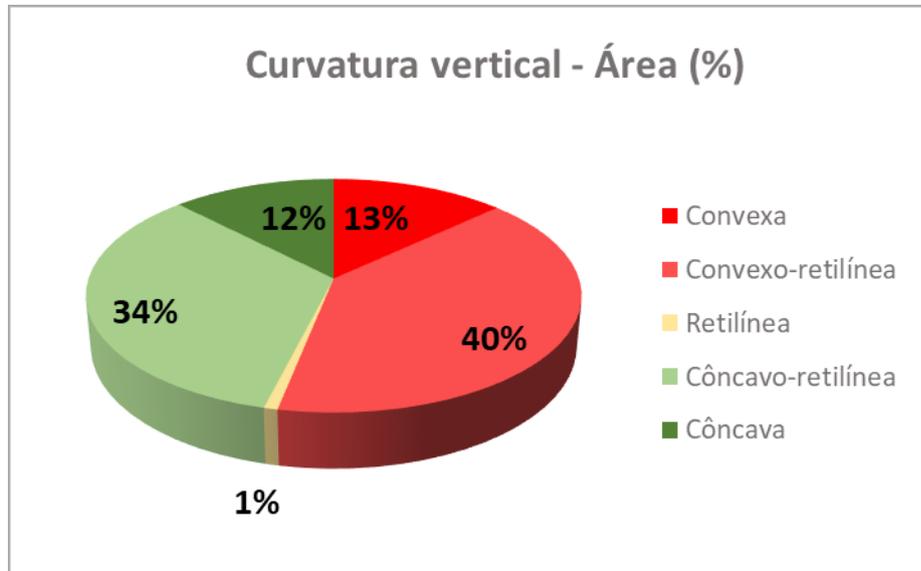
Autoria: NAZAR, 2015.

5.4. Mapa de Curvatura Vertical

Os aspectos da curvatura vertical fornecem informações das formas das vertentes em todo o Chapadão do Diamante e na área do entorno, em relação aos aspectos convexos, côncavos e retilíneos. As classes foram delimitadas por meio da adaptação da metodologia proposta por Valeriano (2003) e Dos Anjos, et. al. (2011) (MAPA 5.8), e contribuíram para a análise integrada da área, pois estão relacionadas aos processos da água em superfície, que podem condicionar diferentes tipos de materiais, em seus aspectos morfológicos e até mesmo constituintes minerais.

Sendo assim, a variável curvatura vertical foi classificada em cinco classes, cuja distribuição corresponde à sua maior parte atribuída às áreas convexo-retilíneas com 40%, situadas principalmente nas áreas interfluviais e altas vertentes. Em segundo lugar, estão as áreas côncavo-retilíneas, com 34 % do total, ocupando sobremaneira as áreas de médias e baixas vertentes. Por outro lado, as áreas convexas ocupam 13% da superfície, as côncavas perfazem 12% e, por fim, as áreas retilíneas aparecem com apenas 1% de ocorrência, conforme se observa no Gráfico 5.4.

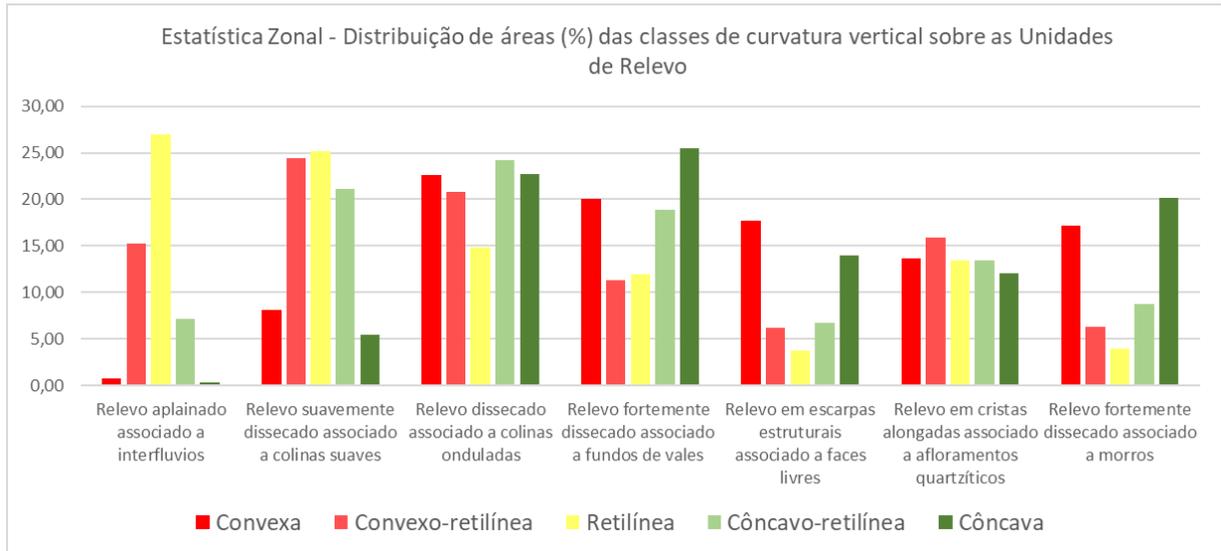
Gráfico 5.4: Distribuição das áreas de classes de curvatura vertical.



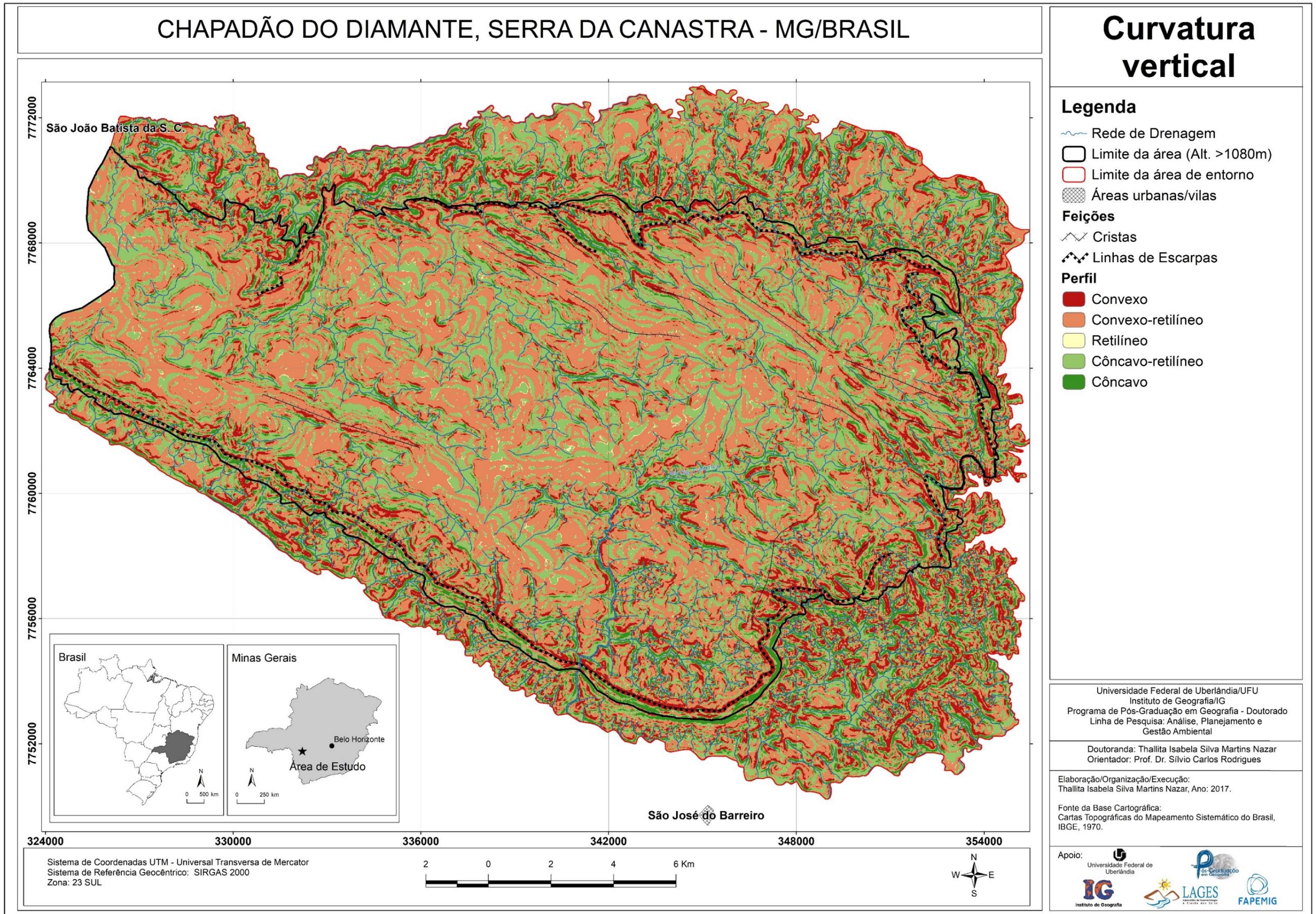
O Gráfico 5.5, por sua vez, demonstra a distribuição das classes de curvatura vertical em relação aos padrões de relevo mapeados. É possível verificar que a classe convexa predomina nos padrões de relevo moderado a fortemente dissecados, enquanto as vertentes convexo-retilíneas ocorrem principalmente em relevo suavemente dissecado a dissecado. De outro lado, os

segmentos côncavos estão associados às áreas de fundos de vale em sua maioria, ocorrendo também em relevos dissecados a fortemente dissecados, ao passo que as áreas côncavo-retilíneas se distribuem especialmente em relevos dissecados, equiparando-se às vertentes convexo-retilíneas. Por fim, as curvaturas retilíneas se concentram nos relevos aplainados a suavemente dissecados.

Gráfico 5.5: Distribuição das áreas de classes de curvatura vertical.



Mapa 5.8: Representação da curvatura vertical.



Diante do exposto, afirma-se que até os dias atuais é impossível gerar um mapa do relevo totalmente automatizado, e mais ainda, é impraticável a elaboração da cartografia geomorfológica sem a realização de trabalhos de campo e sem o emprego de outras técnicas de avaliação do relevo. Portanto, a aplicação de técnicas semi-automatizadas deve ser vista como um avanço para a qualidade e rapidez do mapeamento.

Tendo em vista a metodologia aplicada, cabe ressaltar que, de acordo com Evans (2012), os algoritmos são necessários por produzirem resultados mais consistentes e precisos na aproximação das formas de relevo, auxiliando na necessidade de um reconhecimento automatizado, ainda que em um processo que intercale procedimentos semi-automatizados, de delimitação de padrões de relevo e formas elementares a partir de MDEs/MDTs. As propriedades locais como altitude, declive e curvatura são fundamentais, mas também é relevante levar em consideração que muitas formas de relevo estão relacionadas com a rede de fluxo, pois a posição e o contexto são importantes para a sua classificação ou reconhecimento enquanto elementos de terreno ou tipos de padrões. O autor levanta, além disso, a crítica de que raramente foi quantificada a relação entre as formas de relevo e o contexto em que se inserem, a partir da concepção teórica de sistema, sugerindo que os resultados do mapeamento geomorfológico aliados à análise geomorfométrica, devem ser inter-relacionados quantitativamente.

Em suma, os resultados alcançados para o mapeamento dos padrões de relevo do Chapadão do Diamante foram satisfatórios e condizentes com a verdade de campo, observada em diversas visitas à área. A associação entre os aspectos de densidade de declividade, constituindo a rugosidade do terreno, densidade de drenagem, que indica o grau de dissecação, bem como a densidade topográfica, que diferencia os níveis topográficos, contribuiu para a sistematização dos padrões de relevo no ChD.

Estas unidades geomorfológicas, bem como as classes de curvatura vertical, serão relacionadas às geocoberturas no próximo capítulo, a partir do qual, buscou-se uma melhor compreensão das relações entre os diferentes aspectos físicos e sua integração.

CAPÍTULO VI



6. RESULTADOS – ESPACIALIZAÇÃO DOS MATERIAIS SUPERFICIAIS OU GEOCOBERTURAS DO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA: análise integrada a partir de imagens do *Google Maps/Earth*, dados aerogamaespectrométricos e levantamentos de campo

6.1. Introdução

A caracterização e o mapeamento dos materiais superficiais ou geocoberturas no Chapadão do Diamante pressupõem um considerável reconhecimento de campo e entendimento do substrato e diversidade de formas que permeiam a área. Os aspectos climáticos são importantes também por refletirem um jogo de forças, ao qual respondem os aspectos geológicos, tendo em vista a resistência de sua composição rochosa, que no caso do ChD, predominam quartzitos puros a micáceos, cuja composição e profundidade do pacote, sustentam a estrutura da Serra Da Canastra.

A tarefa de espacialização das unidades de geocoberturas, portanto, demonstrou uma variação dos tipos de materiais e relativa profundidade que variam de acordo com as formas topográficas, em sentido SE-NW e das bordas S e N para o centro da área. A fotointerpretação das imagens de alta resolução do *Google™*, quando observada em conjunto com a variável topográfica, permitiu a identificação de padrões recorrentes de cores, rugosidade, textura e sombreamento, demonstrando aplicabilidade na diferenciação das coberturas superficiais. Aliada a isto, a análise qualitativa dos aspectos gamaespectrométricos contribuiu de forma significativa para a caracterização dos materiais, seja pela sobreposição aos aspectos das imagens de satélite e topografia, e até mesmo pela atividade de observação da verdade de campo.

Os aspectos estruturais, obtidos por meio do delineamento de feições lineares observáveis em imagens de relevo sombreado, foram analisados a partir da sobreposição ao mapa de geocoberturas e sob o ponto de vista qualitativo, indicaram uma distribuição em toda a área do Chapadão, demonstrando as principais diferenciações de materiais em relação às áreas com maior intensidade de afloramentos rochosos e aquelas com topos planos e relevos mais suaves. Além disso, a análise espacial e de estatística descritiva foi preponderante para a melhor compreensão da distribuição dos dados de geocoberturas em relação aos aspectos das unidades de relevo mapeadas e os aspectos topográficos específicos, como a declividade e a curvatura.

6.2. Caracterização aerogamaespectrométrica

Os aspectos mineralógicos indicados pelas imagens aerogamaespectrométricas evidenciaram, sobretudo, a diferenciação das áreas com presença de geocoberturas ferruginosas, e por vezes, materiais concrecionários, geralmente associadas aos topos planos, bem como as áreas com predominância de afloramentos quartzíticos. Tais observações foram possíveis tendo como base o apresentado por Wilford (2002) e Wilford e Minty (2005), que afirmam que os radioelementos presentes nos materiais superficiais e rochas, representados pelo K, Th e U, respondem de maneiras distintas em relação às taxas de intemperismo e pedogênese.

As imagens analisadas englobam a distribuição do K e Th, este último, em especial, por sua tendência a acumular-se em áreas intensamente intemperizadas, ocorre associado aos óxidos de Fe e argilas, enquanto o K tende a ser removido, caracterizando-se com baixas concentrações em áreas de elevada ação intempérica. Além disso, o fato do K e Th estarem ausentes dos materiais quartzíticos contribuiu para a distinção dos materiais sobrepostos a tais áreas no ChD. As taxas de urânio não foram analisadas individualmente como as de K e Th, pois considerou-se o mesmo pouco representativo, já tendo sido indicado por Herrmann et al (2010) como tendo seu comportamento ainda pouco compreendido na literatura.

Neste sentido, conforme se observa no Mapa 6.1, os tons de azul e violeta indicam as maiores concentrações de Th, enquanto os tons que variam do amarelo ao vermelho remetem às áreas com menores taxas deste elemento. Ao sobrepor tal camada de dados às informações topográficas ou ao mapa de unidades de relevo, é bastante notória a relação entre os topos planos e colinas suaves à maior concentração do Th, que ocorre na parte central do ChD. O padrão de relevo em cristas quartzíticas, acredita-se referente ao quartzito puro existente na área e que persiste aos processos de intemperismo por sua maior resistência; por conseguinte, remetem aos tons avermelhados, indicando a diminuição do radioelemento. Em algumas áreas na porção NW do mapa, entremeio às cristas quartzíticas bem demarcadas, ocorrem porções aplainadas, reconhecidas no mapa de relevo, e que apresentam concentrações maiores de Th, indicando a presença de um material com um grau mais elevado de intemperismo.

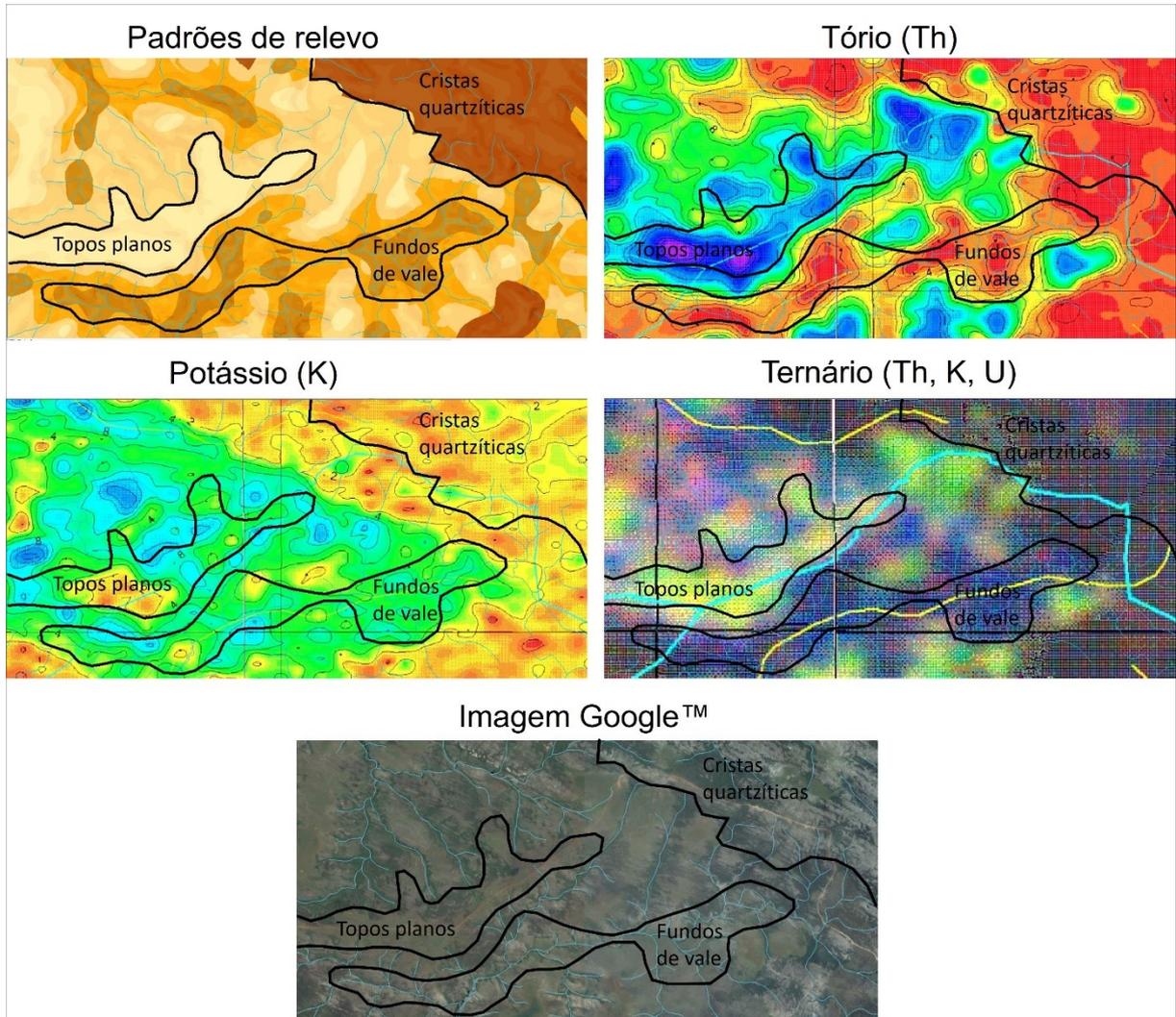
Do mesmo modo, o Mapa 6.2, referente à distribuição do K na área, indica também as posições das classes de relevo associadas aos afloramentos quartzíticos com as menores taxas deste radioelemento. Por outro lado, as maiores proporções de K, embora menores que as taxas de Th, ocorrem na parte central do ChD, em posições topográficas inferiores aos topos ocupados pelo Th. Assim, o K aparece principalmente nas áreas de meias vertentes e fundos de vale,

indicando o seu movimento conforme os fluxos do topo ao talvegue, tendo em vista a sua maior facilidade em ser lixiviado.

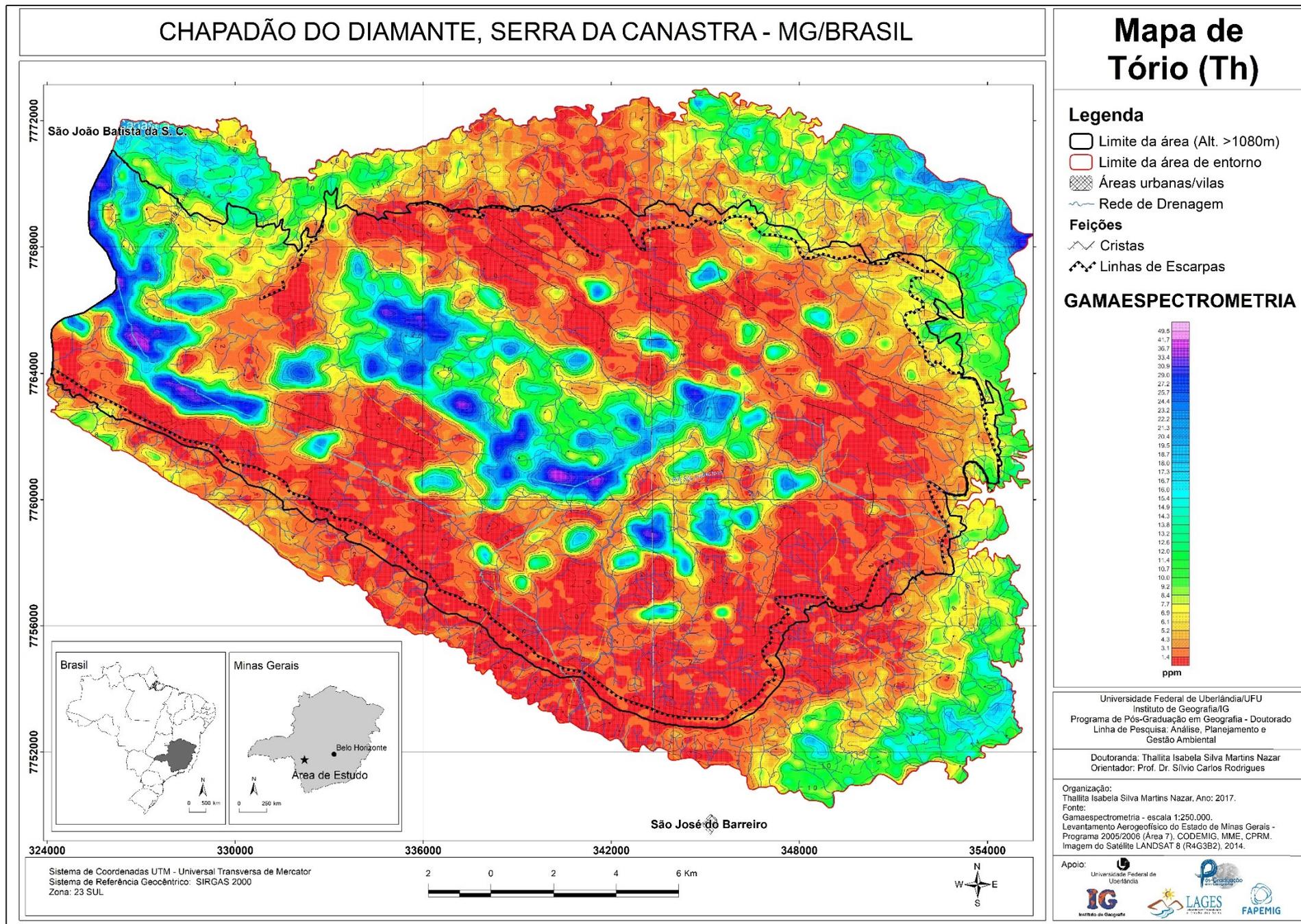
Por sua vez, o mapa Ternário (MAPA 6.3), que integra as proporções de Th, K e U, na representação CMY, apresenta os tons azul-arroxeados indicando maior presença de K, os esverdeados de Th e os avermelhados de U, sendo que tons bastante escuros remetem a baixos teores de todos os elementos. Assim, foi possível complementar a análise qualitativa da distribuição de tais radioelementos em relação aos materiais superficiais no ChD. Portanto, nas áreas onde predominam os topos planos, evidencia-se a presença de Th, e nas áreas com presença marcante de quartzo e afloramentos quartzíticos, os tons escuros indicam a diminuição dos três elementos radioativos. Em geral, o Th ocorre associado ao U, por isto, os tons aparecem verde-amarelados na imagem ternária.

As evidências observadas a partir da análise dos três mapas aerogamaespectrométricos, podem ser visualizadas na Figura 6.1, correspondente a uma área amostral selecionada que permeia as áreas de topos planos, fundos de vale e cristas quartzíticas.

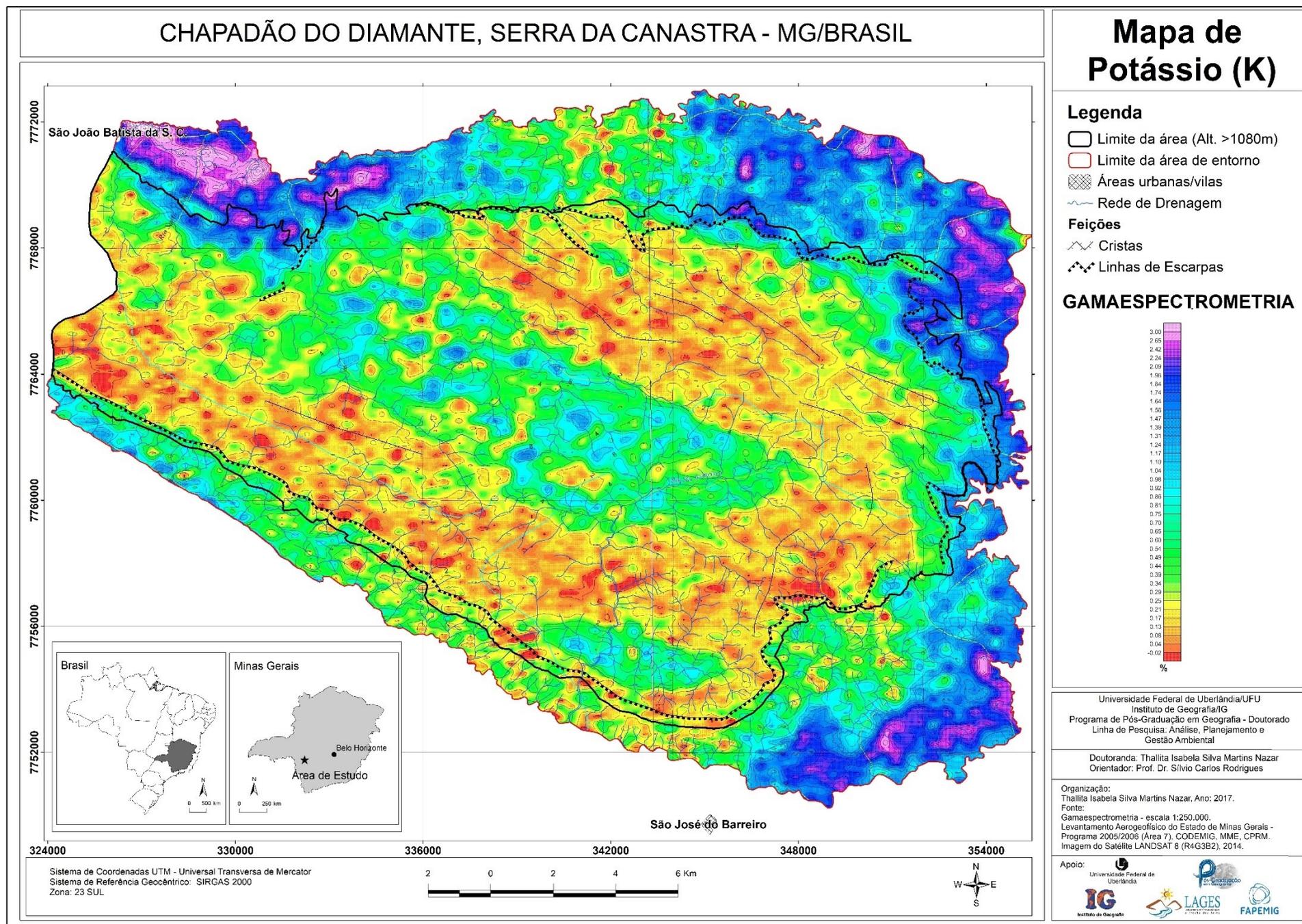
Figura 6.1: Representação da sobreposição dos mapas de Padrões de relevo, Th, K e Ternário.



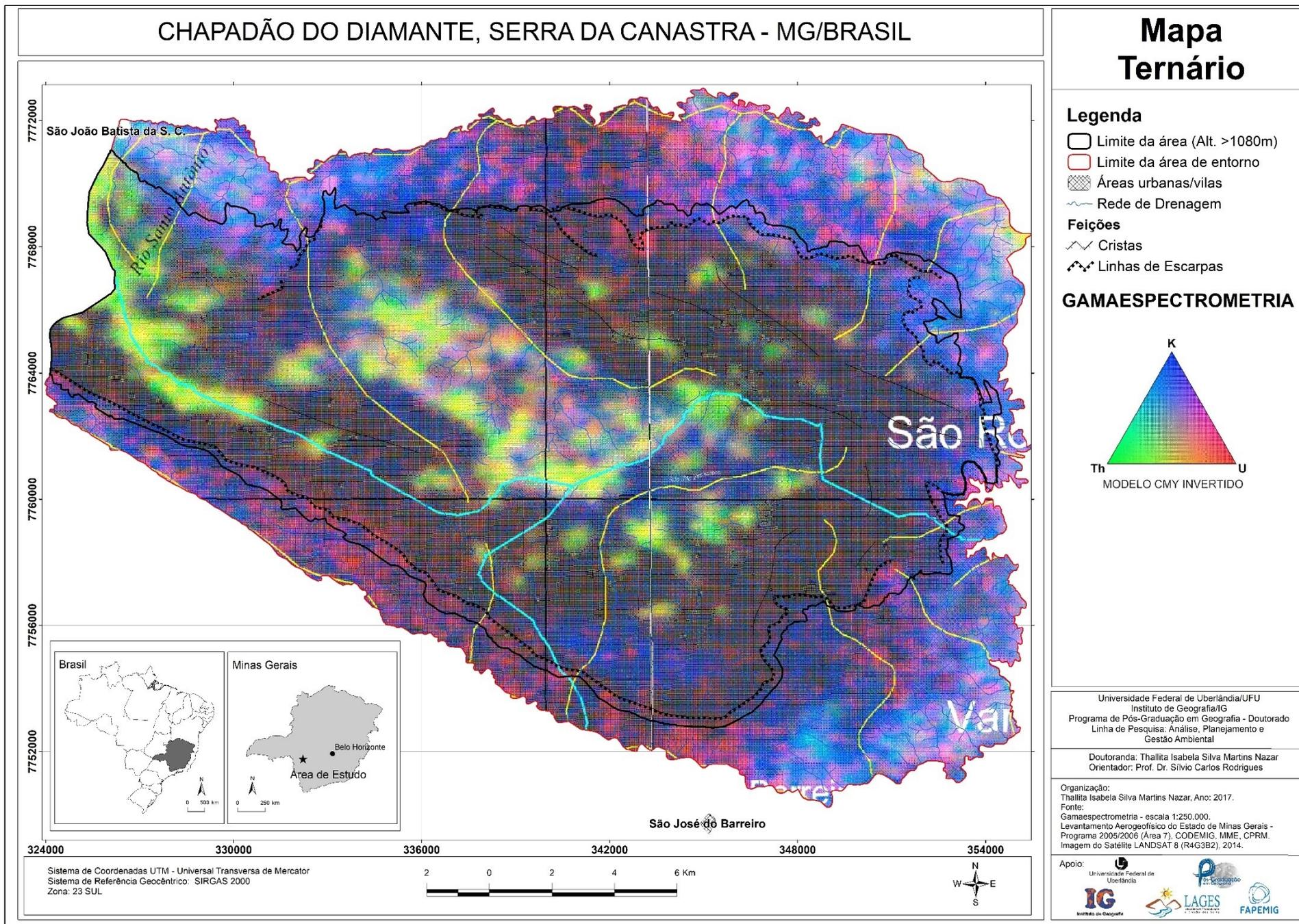
Mapa 6.1: Mapa de concentrações de Th no ChD.



Mapa 6.2: Mapa de concentrações de K no ChD.



Mapa 6.3: Mapa Ternário (Th, K, U) do ChD.



6.3. Caracterização estrutural

Sob a perspectiva estrutural, a análise dos lineamentos identificados por meio dos modelos de relevo sombreados do MDT-HC, em consonância ao mapa de geocoberturas, possibilitou a observação de três grandes eixos estruturais no ChD. O primeiro eixo (setor N-NE) condiz com a ocorrência de cristas alongadas quartzíticas, sobrepostas por materiais cascalho-arenosos e afloramentos rochosos abundantes (ora com caos de blocos), bem como de nítido controle estrutural da rede de drenagem, cujos cursos d'água se encaixam em vales retilíneos de sentido NW-SE. O segundo eixo, que contempla a parte central do ChD, também recorrente no sentido NW-SE, caracteriza-se pela distribuição dos materiais de topos planos a relevo suavemente dissecado, como as geocoberturas areno-argilo-ferruginosas e cascalho-arenosas, com presença marcante de óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Por fim, o terceiro eixo, correspondente ao setor S-SW, sendo marcado por cristas quartzíticas alongadas e presença de materiais cascalho-arenosos com ou sem caos de blocos.

Tais evidências podem fornecer indicações de mudanças no tipo litológico existente na área central do ChD, cujas características levam à maior incidência dos processos intempéricos para a evolução pedogenética dos materiais jacentes na superfície. Esta situação pode ser atribuída também às proporções dos radioelementos ali presentes, uma vez que as taxas de Th e K são elevadas no eixo central em comparação com os outros dois eixos estruturais. Geralmente, de acordo com Ribeiro, Mantovani e Louro (2013), o K está associado a rochas metamórficas micáceas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas, como filitos, xistos e gnaisses, entre outras rochas ígneas e sedimentares; sendo os filitos e os quartzitos micáceos os representantes na área de estudo. E o Th, por sua vez, permanece no ambiente devido à sua menor mobilidade geoquímica, e quando em estado livre, em função da quebra mineral pelo intemperismo, ele é facilmente retido nos óxidos e hidróxidos de Fe e nas argilas coloidais.

A Figura 6.2 ilustra a relação dos lineamentos e direcionamentos das feições no sentido NW-SE, conforme o diagrama de rosetas apresentado. Os eixos estruturados citados acima também são representados, os quais foram identificados a partir da junção de vários lineamentos em mesma sequência direcional e do ordenamento da rede de drenagem sob esta mesma linearidade. É notória a pouca diferenciação altimétrica de um eixo ao outro, conforme se observa no perfil topográfico SW-NE na figura, ou seja, as linearidades parecem representar fraturas, ou deformações por ruptura, que podem estar separando o bloco ou as camadas rochosas, ao longo das quais não ocorreu deslocamento

6.4. Mapa de Geocoberturas

O mapa de geocoberturas foi confeccionado a partir da identificação de 11 (onze) classes de materiais superficiais, por meio da aplicação dos métodos e técnicas descritos. A variabilidade destes materiais foi caracterizada pelas definições relativas do tipo granulométrico, processo de intemperismo e mineralogia predominantes, dependendo da possibilidade. Houve classes que foram classificadas como indiferenciadas, devido à ausência de parâmetros para definir seus aspectos predominantes. Contudo, a espacialização das geocoberturas reflete a resposta do substrato aos padrões de relevo e tipo climático da região em que se insere.

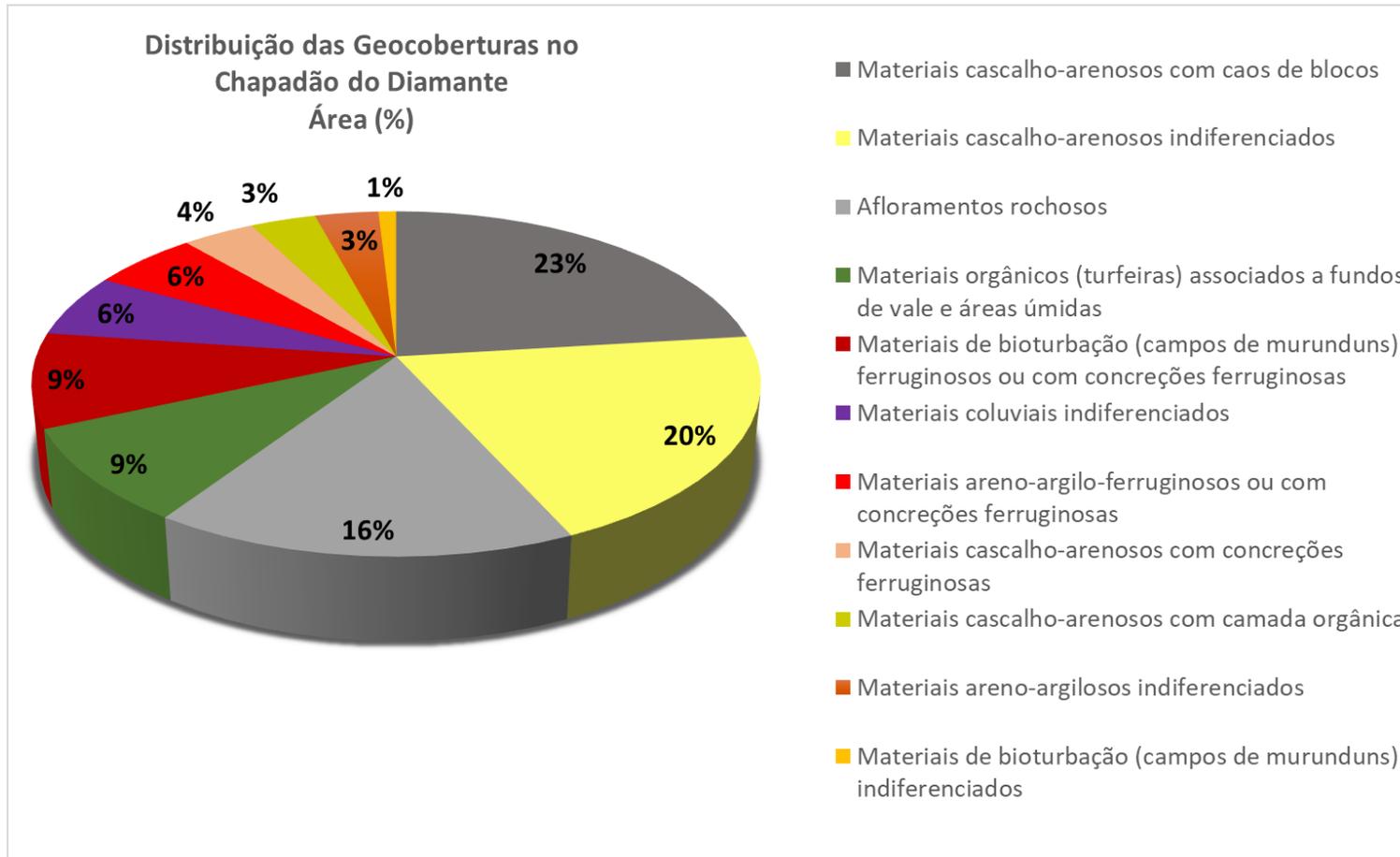
O Quadro 6.1 sintetiza as classes de geocoberturas e as suas áreas correspondentes, dentro do limite das altitudes maiores que 1080 m. O Gráfico 6.1 reflete a distribuição das áreas, permitindo afirmar que mais da metade das coberturas do ChD são compostas por materiais arenosos, cascalhentos e com afloramentos rochosos, indicando o papel de destaque do tipo litológico ali presente, o quartzito, além disso, cerca de 20% da área foi reconhecida com a presença de materiais ferruginosos, com ocorrências até significativas de concreções lateríticas.

Por conseguinte, apresenta-se o Mapa 6.4 referente às Geocoberturas em toda a área do Chapadão, a partir do qual é possível observar a espacialização das diferentes classes, bem como as tendências observadas. Além disso, serão colocadas as descrições de cada classe e, conseqüentemente, as análises geoestatísticas descritivas, que darão suporte para o melhor entendimento das relações espaciais entre as unidades de geocoberturas e os aspectos topográficos da área.

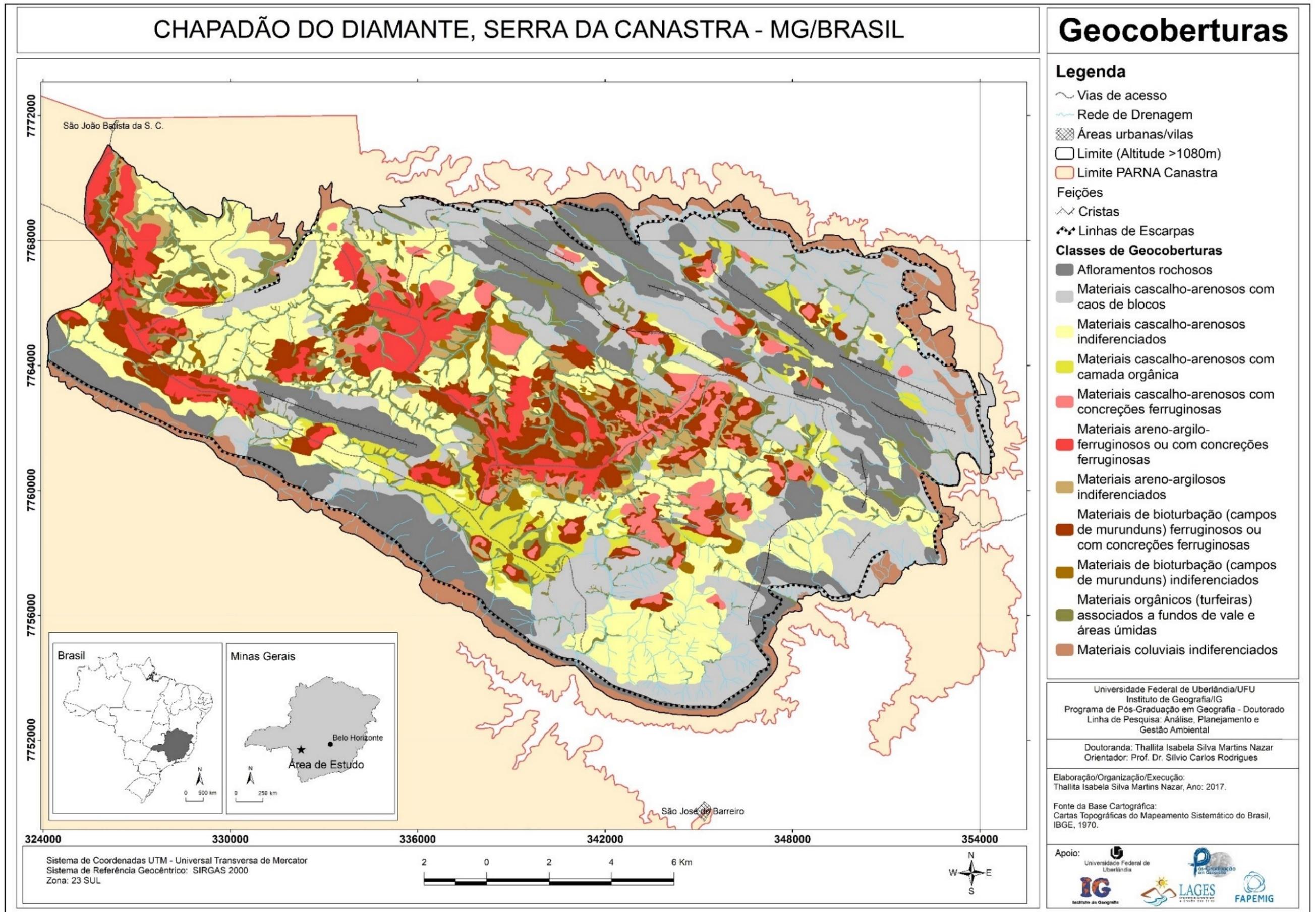
Quadro 6.1: Classes de materiais superficiais ou geocoberturas e aspectos predominantes na área de estudo.

Classes	Área (%)	Padrões de relevo associados	Aspectos gamaespectrométricos associados
<i>Materiais cascalho-arenosos com caos de blocos</i>	23,07	Predominam nas áreas com relevo dissecado em colinas onduladas e também no conjunto de cristas quartzíticas.	Baixas concentrações ou nenhuma dos três radioelementos Th, K e U.
<i>Materiais cascalho-arenosos indiferenciados</i>	20,09	Ocupam boa parte da área, cobrindo relevos dissecados que formam colinas onduladas a fortemente onduladas.	Baixas concentrações de Th e variações de baixas a médias concentrações de K.
<i>Afloramentos rochosos</i>	16,24	Ocorrem, sobremaneira, no padrão de Cristas alongadas quartzíticas.	Baixas concentrações ou nenhuma dos três radioelementos Th, K e U.
<i>Materiais orgânicos (turfeiras) associados a fundos de vale e áreas úmidas</i>	8,97	Predominam nos relevos fortemente dissecados, associados aos fundos de vale.	Médias a baixas concentrações de Th e altas, médias e baixas de K, em todo o Chapadão.
<i>Materiais de bioturbação (campos de murunduns) ferruginosos ou com concreções ferruginosas</i>	8,87	Cobrem, principalmente, as áreas de relevo dissecado suave ondulado, adjacentes aos topos planos do setor central. Podem ocorrer também nos próprios topos planos e nos setores de fundos de vale, antecedendo às turfeiras.	Médias concentrações de Th e altas de K.
<i>Materiais coluviais indiferenciados</i>	5,90	Ocorrem no sopé das escarpas.	Baixas concentrações de Th e médias a baixas de K.
<i>Materiais areno-argilo-ferruginosos ou com concreções ferruginosas</i>	5,52	Ocupam os topos planos, especialmente aqueles dos setores central e oeste da área.	Muito altas a altas concentrações de Th e baixas de K.
<i>Materiais cascalho-arenosos com concreções ferruginosas</i>	3,75	Estão presentes nos topos planos mais a leste, adjacentes às cristas alongadas deste setor.	Média a alta concentração de Th, e média de K.
<i>Materiais cascalho-arenosos com camada orgânica</i>	3,40	Ocorrem em topos planos e relevo dissecado em forma de colinas suaves, na porção sul-sudoeste da área.	Baixas concentrações de Th e K.
<i>Materiais areno-argilosos indiferenciados</i>	3,28	Prevaecem nas áreas de relevo dissecado em colinas suave a onduladas, sobretudo, nas meias vertentes dos setores central e oeste.	Altas a médias concentrações de K e medianas de Th.
<i>Materiais de bioturbação (campos de murunduns) indiferenciados</i>	0,91	Ocorrem em áreas, geralmente não associadas às adjacências de topos planos ferruginosos, porém, ocupam áreas que antecedem às turfeiras nas baixas vertentes.	Médias a baixas concentrações de Th e médias de K.

Gráfico 6.1: Distribuição das Classes de Geocoberturas (Área %).



Mapa 6.4: Materiais Superficiais no Chapadão do Diamante.



Sistema de Coordenadas UTM - Universal Transversa de Mercator
 Sistema de Referência Geocêntrico: SIRGAS 2000
 Zona: 23 SUL

a) Materiais cascalho-arenosos com caos de blocos

As unidades cascalho-arenosas com caos de blocos ocorrem em áreas semelhantes àquelas do grupo de intensos afloramentos rochosos, assim, estão presentes na unidade de relevo de cristas quartzíticas, bem como nas áreas dissecadas como colinas onduladas (FIGURA 6.3). Correspondem à classe de maior ocorrência no ChD, ocupando significativos 23% do total. Os blocos rochosos podem ser esparsos e caóticos entre si, porém distribuídos em diferentes partes ao longo das vertentes, por vezes alinhados em direções preferenciais. A altitude média aproxima-se de 1300 m, sendo a declividade em torno de 10 graus (22%) e as curvaturas verticais predominantes são as convexo-retilíneas. Os aspectos gamaespectrométricos representam baixas quantidades dos elementos Th, K e U. Do ponto de vista estrutural, estas geocoberturas ocorrem nos eixos 1 e 3, no domínio de litologia mais resistente, demarcando as características de estreitas camadas de materiais sobre a rocha alterada.

Ao observar alguns perfis destes materiais ao longo das vertentes, verificou-se a existência de materiais coluviais depositados nos locais em que os blocos de rocha impedem a continuação do transporte, influenciado pelas condições de gradientes elevados. Nestas áreas, em períodos chuvosos, também ocorre a saturação dos materiais, pelo impedimento da drenagem através dos afloramentos (FIGURA 6.4). Podem ocorrer, além disso, perfis com camada orgânica logo acima da rocha alterada, como se observa na Figura 6.5. Tal situação é melhor descrita no Capítulo 7, quando serão abordadas algumas áreas amostrais da superfície do Chapadão.

Figura 6.3: Blocos rochosos cercados por material cascalho-arenoso.



Autoria: NAZAR, 2016.

Figura 6.4: Perfil de material cascalho-arenoso, em área coluvial.



Autoria: NAZAR, 2016.

Figura 6.5: Perfis de materiais cascalho-arenosos, sobre a rocha alterada, com presença de matéria orgânica na camada superficial.



Autoria: NAZAR, 2016.

b) Materiais cascalho-arenosos indiferenciados

As geocoberturas caracterizadas como cascalho-arenosas indiferenciadas, correspondem à segunda classe mais comum no ChD (ocupam cerca de 20% da área). Estas ocorrem, principalmente, ao longo dos eixos estruturais 2 e 3, associadas aos relevos dissecados e fortemente dissecados, sendo formadas por camadas incipientes de cascalho e areia (FIGURAS 6.6, 6.7 e 6.8). A altitude média é cerca de 1310 m, com declives variando entre os 8 graus (18 %) e curvaturas verticais convexo-retilíneas. Há predomínio de baixas taxas de Th e K, indicando substrato rico em minerais de quartzo.

Figura 6.6: Camada superficial cascalho-arenosa.



Autoria: NAZAR, 2016.

Figura 6.7: Relevos dissecados com camada cascalho-arenosa, setor NW do eixo central.



Autoria: NAZAR, 2016.

Figura 6.8: Relevos fortemente dissecados com camada cascalho-arenosa, setor SE do eixo 3.



Autoria: NAZAR, jan. 2017. Coord. do ponto de visada: 20°17'15,68"; 46°30'59,19. Alt.: 1379 m.

c) Afloramentos Rochosos

Os afloramentos rochosos ocupam uma área significativa no ChD, sendo o terceiro grupo de maior representatividade nesta superfície (cerca de 16% da área). Conforme se observa na Figura 6.9, a predominância desta classe ocorre nos relevos de cristas alongadas, situadas a NE e S-SW da área. Em geral, estão associados à ocorrência da rocha quartzítica pura, sendo, portanto, elementos de alta resistência aos processos intempéricos. Pelo viés estrutural, é possível perceber uma certa linearidade nos afloramentos, que acompanham o direcionamento preferencial de todo o ChD (NW-SE), conforme visualizado no diagrama de rosetas. Sob a perspectiva gamaespectrométrica, as respostas de raios-gama nesta classe refletem baixíssimas concentrações dos três radioelementos, como Th, K e U, contribuindo para a sua delimitação.

Além disso, pode-se afirmar que as análises espaciais zonais indicaram para a classe de afloramentos rochosos em relação aos aspectos topográficos, uma altitude média de 1346 m, declividades em torno de 12 graus (26%) e curvatura vertical predominante como convexo-retilínea.

Figura 6.9: Afloramentos rochosos em área de cristas quartzíticas, imageamento por VANT.



Autoria: NAZAR, jan. 2017. Coord. do ponto de visada: 20°14'51,51"; 46°26'8,37. Alt.: 1478 m.

d) Materiais orgânicos (turfeiras) associados a fundos de vale e áreas úmidas

As geocoberturas orgânicas ocorrem principalmente nas áreas de fundos de vale em toda a extensão do ChD e eventualmente, aparecem como áreas úmidas na porção de relevo em cristas quartzíticas, entremeio aos afloramentos, por impedirem a drenagem da água em tais locais. Neste sentido, os principais padrões de relevo associados constituem aqueles fortemente dissecados, nos quais se observa vales encaixados e por vezes, cursos d'água correndo sobre as rochas (FIGURA 6.10).

A altitude média corresponde a cerca de 1311 m, com declividades predominantes de 6 a 7 graus (15%), sendo a curvatura vertical côncavo-retilínea. De coloração fortemente escura, as turfeiras chegam a atingir mais de um metro de profundidade em alguns locais, e nas estações úmidas, podem ficar completamente saturadas.

Figura 6.10: Turfeira sobre a rocha, na área do leito do córrego.



Autoria: NAZAR, 2016.

e) Materiais de bioturbação (campos de murunduns) ferruginosos ou com concreções ferruginosas

As geocoberturas identificadas enquanto materiais resultantes de bioturbação, que compõem os campos de murunduns na superfície do Chapadão, caracterizam-se, primeiramente, pelo micro relevo composto por montículos circulares (FIGURA 6.11), que se distinguem claramente na paisagem. Estes materiais, geralmente, estão associados à presença do ferro e de suas concreções, as quais podem formar camadas inferiores bastante impermeáveis, o que torna o ambiente insuficientemente drenado (FIGURA 6.12). A presença de atividade biológica atual foi observada em alguns dos montículos, mas também, foi notada inatividade em diversos murunduns abandonados (FIGURA 6.13). A avaliação de tal dinâmica, por ora, não cabe à esta tese, portanto, serão descritas apenas as observações morfológicas e independentes da atividade de seres vivos.

Do ponto de vista estrutural, essas geocoberturas se encontram, majoritariamente, no eixo 2 (central), associadas e adjacentes aos relevos aplainados e interfluviais, ocupando posições

intermediárias nas vertentes. Podem ocorrer também em alguns topos planos e próximas aos fundos de vale, limitando-se às turfeiras. As posições topográficas têm uma média de 1369 m, com declives suaves, de 4 a 5 graus (10 a 11%) e vertentes convexo-retilíneas. Os radioelementos aparecem com médias concentrações de Th e altas de K, este último, possivelmente, pelo aumento da retenção de drenagem.

Figura 6.11: Destaque para a distinção dos campos de murunduns na paisagem. Imageamento por VANT.



Autoria: NAZAR, jan. 2017. Coord. do ponto de visada: 20°9'52,58"; 46°40'2,33. Alt.: 1325 m.

Figura 6.12: Indicação de camada subsuperficial laterítica.



Autoria: NAZAR, 2016.

Figura 6.13: Murundum com presença biológica ativa.



Autoria: NAZAR, 2016.

f) Materiais coluviais indiferenciados

Os materiais coluviais indiferenciados são aqueles localizados, especificamente, sob as áreas das escarpas, no sopé das encostas, como depósitos de tálus (FIGURA 6.14). Com uma altitude média de 1136 m, os declives são bastante acentuados, com predominância de 22 graus (48%), sendo as curvaturas verticais classificadas como retilíneas. Tais materiais refletem baixas proporções de Th e médias a baixas de K.

Figura 6.14: Escarpas Leste da Serra da Canastra, com depósitos de tálus no sopé.



Autoria: NAZAR, 2015.

g) Materiais areno-argilo-ferruginosos ou com concreções ferruginosas

A classe de geocoberturas referida como materiais areno-argilo-ferruginosos ou com concreções ferruginosas recebeu tal identificação devido à sua coloração avermelhada, que indica a presença da hematita, bem como aos parâmetros observáveis de pegajosidade e presença de grãos com indicativos de concrecionamento (FIGURAS 6.15 e 6.16). Estes materiais, relativamente profundos, ocorrem, de forma preponderante, nos relevos aplainados ou topos planos (áreas interfluviais) (FIGURA 6.17), coincidindo com as superfícies residuais, que indicam longa exposição aos processos de intemperismo em climas tropicais. As taxas dos radioelementos Th e K, altas e baixas, respectivamente, contribuem para a sua delimitação e interpretação, conforme explicitado anteriormente.

Os níveis topográficos do ChD mostram que não há diferenças significativas de altitudes em toda a sua área, com exceção dos pontos cotados mais elevados que se encontram nas zonas de cristas quartzíticas. Portanto, as geocoberturas areno-argilo-ferruginosas ou com concreções ferruginosas estão a níveis elevados de altitude, com uma média de 1365 m, reiterando as observações descritas a respeito das características estruturais, em que se associa a ocorrência de tais materiais ao segundo eixo estrutural (zona central do ChD), onde não foram observadas mudanças ou rupturas bruscas de altitude. A média de declividade situa-se em torno de 3 graus (6%) e a curvatura vertical predominante é a convexo-retilínea.

A permanência de tais geocoberturas em níveis elevados pode estar associada à ocorrência de uma camada concrecionária (endurecida) abaixo dos materiais areno-argilo-ferruginosos, a

qual, por ser mais resistente, sustenta estes materiais e o relevo naquelas superfícies. Uma das evidências para tal assertiva se baseia na ocorrência, quase que obrigatória, de campos de murunduns em suas adjacências, em cotas topograficamente inferiores, ou seja, em toda a área, os materiais areno-argilo-ferruginosos estão cercados pelas geocoberturas de bioturbação, estas, por sua vez, que se associam a áreas que estiveram ou estão em processo de fraca drenagem da água, permitindo associar também o papel das concreções como retentoras de umidade. Nestas áreas onde a drenagem é insuficiente, têm-se a predominância da goethita, verificada a partir de análises de difratometria de raios X.

Figura 6.15: Material areno-argilo ferruginoso, setor W.



Autoria: NAZAR, 2016.

Figura 6.16: Material areno-argilo ferruginoso, setor central a NW.



Autoria: NAZAR, 2016.

Figura 6.17: Topo plano com material avermelhado, setor W. Imageamento por VANT.



Autoria: NAZAR, jan. 2017. Coord. do ponto de visada: 20°13'42,71"; 46°29'33,57. Alt.: 1481 m.

h) Materiais cascalho-arenosos com concreções ferruginosas

Os materiais cascalho-arenosos com concreções ferruginosas se caracterizam por uma camada superficial cascalhenta formada por nódulos soltos de ferro e até mesmo por porções endurecidas, caracterizando uma forma de laterita incipiente (FIGURA 6.18). Tal camada, em alguns locais, é observada sobre espesso manto de alteração, que varia da coloração amarela a avermelhada (FIGURA 6.19). Estas geocoberturas ocupam as áreas de topos planos (interflúvios), nos setores leste do eixo estrutural central, limitando-se às cristas quartzíticas alongadas. As concentrações de Th variam de média a alta e o K apresenta taxas medianas, enquanto que a topografia reflete altitudes predominantes de 1372 m, um gradiente médio de 4 graus (9%) e curvaturas verticais convexo-retilíneas.

Estas unidades também são circundadas por campos de murunduns ferruginosos, de forma semelhante às unidades areno-argilo-ferruginosas já descritas.

Figura 6.18: Camada superficial cascalhenta, com nódulos concrecionários.



Autoria: NAZAR, 2016.

Figura 6.19: Perfis de alteração sobrepostos pela camada cascalhenta e concrecionária.



Autoria: NAZAR, 2016.

i) Materiais cascalho-arenosos com camada orgânica

As geocoberturas cascalho-arenosas com camada orgânica está associada a topos planos (interflúvios) e relevo suavemente dissecado, situados na porção sul-sudoeste e referentes ao terceiro eixo estrutural delimitado anteriormente. Nesta porção do Chapadão do Diamante predominam rochas mais resistentes, que indicam baixos níveis dos radioelementos Th e K, resultando em uma camada delgada de cascalhos e areias sobre a rocha alterada (os quartzitos da área tendem à coloração amarelada quando intemperizados), com a presença de uma camada superior orgânica (FIGURAS 6.20 e 6.21). A altitude média é de 1369 m, com declividades em torno de 6 graus (13%) e vertentes predominantemente retilíneas.

Figura 6.20: Perfil de materiais cascalho-arenosos com camada orgânica.



Autoria: NAZAR, 2016.

Figura 6.21: Panorama de materiais cascalho-arenosos com camada orgânica.



Autoria: NAZAR, 2016.

j) Materiais areno-argilosos indiferenciados

Os materiais areno-argilosos indiferenciados ocupam uma área relativamente pequena no contexto do Chapadão do Diamante, podendo ser consideradas como locais de transição entre os campos de murunduns e os fundos de vales. Suas características aparecem, sobretudo, nas áreas centrais e a oeste, associadas a um relevo suavemente dissecado. Predominam nas meias vertentes, com curvaturas retilíneas e declividade média em torno de 6 graus (13%). Apresentam altos índices de K, indicando que o mesmo ainda não fora lixiviado por completo, considerando a presença de uma drenagem insuficiente e coloração amarelada, referente à presença da goethita. Neste sentido, há possibilidade de tais fatores estarem associados.

Em um ponto amostral deste tipo de formação, identificou-se uma espessura fina de camada com alguns grãos concrecionários (~30 cm) (FIGURA 6.22), e sotoposta a ela, encontrou-se uma camada endurecida, podendo ser considerada como laterítica.

Figura 6.22: Ponto amostral de materiais areno-argilosos indiferenciados, sobre camada laterítica.



Autoria: NAZAR, 2016.

k) Materiais de bioturbação (campos de murunduns) indiferenciados

Os materiais de bioturbação indiferenciados foram identificados como sendo aqueles onde estão ausentes o ferro ou feições ferruginosas, indicadas por médias a baixas proporções de Th, bem como os que estão em posições topográficas inferiores, antecedendo as turfeiras em áreas de baixas vertentes. As características topográficas consistem em altitudes em torno de 1336 m, declividade média de 5 graus (11%), com predominância de curvaturas verticais retilíneas, podendo ocorrer em pequenas áreas tanto no eixo estrutural central, como no eixo 1 e 2.

6.5. Análise espacial por meio de estatística zonal descritiva

Partindo para a análise de estatística zonal, os dados do meio físico do Chapadão do Diamante apresentam tendências que indicam uma inter-relação importante entre eles. Especificamente, no que se refere à distribuição das geocoberturas sobre as unidades de relevo, o Gráfico 6.2 ilustra alguns padrões predominantes na área. Alguns desses pontos já foram citados na descrição de cada unidade de geocoberturas anteriormente, assim, a visualização do gráfico em colunas permite o melhor entendimento das ocorrências.

Em relação à unidade de Relevo aplainado associado a interflúvios, nota-se que mais de 70% das geocoberturas areno-argilo-ferruginosas com concreções ferruginosas ocupam tais áreas, enquanto que, aproximadamente, 40% dos campos de murunduns ou materiais de bioturbação ferruginosos se encontram nesses locais. Em terceiro lugar, estão os materiais cascalho arenosos com concreções ferruginosas, com cerca de 30% de seu total distribuídos em topos planos.

Para o relevo suavemente dissecado, as geocoberturas com as maiores áreas distribuídas são os campos de murunduns indiferenciados (>50%); os materiais cascalho-arenosos com concreções ferruginosas (~45%); os materiais areno-argilosos indiferenciados (~45%), os campos de murunduns ferruginosos (40%), e por último, os materiais cascalho-arenosos com camada orgânica (~35%).

Na unidade de Relevo dissecado em colinas onduladas, os materiais se distribuem de forma mais uniforme, com destaque para as geocoberturas orgânicas, os materiais areno-argilosos indiferenciados e os materiais cascalho-arenosos indiferenciados, ambos com aproximadamente 30% de suas áreas destinadas a este tipo de relevo. Já em relação ao padrão

em Relevo fortemente dissecado, destacam-se os materiais orgânicos e os cascalho-arenosos indiferenciados, que fornecem cerca de 20% de suas áreas.

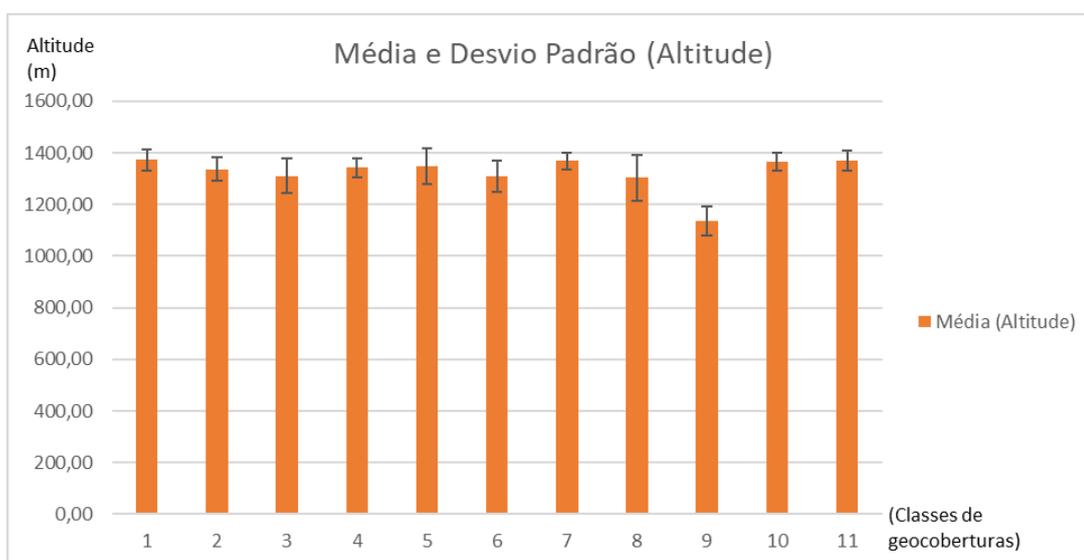
As geocoberturas de afloramentos rochosos e materiais cascalho-arenosos com caos de blocos têm a maior parte de suas áreas, cerca de 40% e 30%, respectivamente, destinadas ao padrão de Relevo em cristas alongadas quartzíticas. Os materiais coluviais indiferenciados, por sua vez, ocorrem em sua maioria (>60%), associados ao relevo em escarpas estruturais. Este último também recebe cerca de 20% do total dos afloramentos quartzíticos. Por fim, a classe de Relevo fortemente dissecado em morros, que ocupa, majoritariamente, as áreas rebaixadas do entorno do ChD, não é representativo para estas análises.

As tabelas de estatísticas zonais geradas para comparar as diferenças entre as classes de geocoberturas, pautaram-se na avaliação da altitude (MDT-HC), declividade e curvatura vertical. A variação da altimetria pode ser verificada na Tabela 6.1, e o Gráfico 6.3 indica as diferenças de médias e desvios padrão para cada classe específica. Observa-se que as altitudes variam de forma suave entre as classes e os desvios padrão também são pequenos em relação à média, reiterando a ideia da baixa variação altimétrica no ChD. Destaca-se, entretanto, a maior variação devido aos materiais coluviais aparecerem no sopé das escarpas, com grande desnível altimétrico.

Tabela 6.1: Estatística Zonal aplicada para os valores de altitude em cada classe de geocoberturas.

Classes		MIN	MAX	Range	Média (Altitude)	Desvio Padrão
1.	Materiais cascalho-arenosos com concreções ferruginosas	1189,83	1465,68	275,85	1371,90	42,34
2.	Materiais de bioturbação (campos de murunduns) indiferenciados	1209,55	1425,50	215,95	1336,64	43,83
3.	Materiais orgânicos (turfeiras) associados a fundos de vale e áreas úmidas	1024,98	1453,80	428,82	1311,06	66,82
4.	Materiais areno-argilosos indiferenciados	1199,67	1443,89	244,22	1342,95	37,02
5.	Afloramentos rochosos	1060,41	1495,15	434,74	1346,83	70,19
6.	Materiais cascalho-arenosos indiferenciados	1056,53	1469,23	412,69	1310,15	61,21
7.	Materiais de bioturbação (campos de murunduns) ferruginosos ou com concreções ferruginosas	1230,05	1460,02	229,97	1369,28	32,75
8.	Materiais cascalho-arenosos com caos de blocos	904,85	1493,84	589,00	1303,06	89,53
9.	Materiais coluviais indiferenciados	1045,49	1435,57	390,08	1136,11	57,89
10.	Materiais areno-argilo-ferruginosos ou com concreções ferruginosas	1231,62	1429,88	198,25	1365,19	36,44
11.	Materiais cascalho-arenosos com camada orgânica	1251,29	1453,74	202,45	1369,57	38,04

Gráfico 6.3: Diferenças de média e os desvios padrão de altitude para cada classe de geocoberturas.

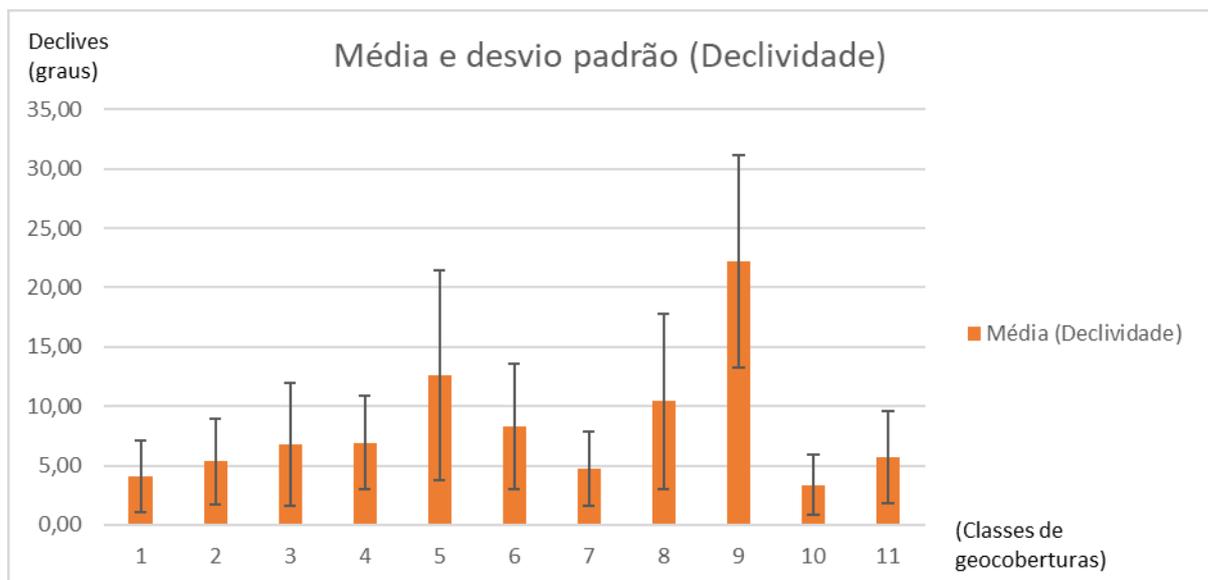


No que se refere à distribuição da declividade, a variação entre as classes é maior, inclusive os desvios padrão em cada uma delas (TABELA 6.2 e GRÁFICO 6.4). Entretanto, é possível observar que as maiores médias de gradientes estão relacionadas às geocoberturas de afloramentos rochosos e cascalho-arenosas com caos de blocos, situados nas áreas mais elevadas e representativas de quartzito puro. Enquanto que os menores graus de declives estão associados às geocoberturas ferruginosas e lateríticas.

Tabela 6.2: Estatística Zonal aplicada para os valores de declividade em cada classe de geocoberturas

Classes	MIN	MAX	Range	Média	Desvio Padrão
Materiais cascalho-arenosos com concreções ferruginosas	0,03	23,75	23,72	4,08	3,02
Materiais de bioturbação (campos de murunduns) indiferenciados	0,02	20,82	20,79	5,33	3,57
Materiais orgânicos (turfeiras) associados a fundos de vale e áreas úmidas	0,01	53,16	53,15	6,77	5,17
Materiais areno-argilosos indiferenciados	0,02	24,33	24,31	6,91	3,94
Afloramentos rochosos	0,03	58,32	58,28	12,60	8,81
Materiais cascalho-arenosos indiferenciados	0,01	41,78	41,77	8,28	5,28
Materiais de bioturbação (campos de murunduns) ferruginosos ou com concreções ferruginosas	0,00	24,31	24,30	4,72	3,15
Materiais cascalho-arenosos com caos de blocos	0,00	51,79	51,79	10,42	7,39
Materiais coluviais indiferenciados	0,53	56,73	56,20	22,19	8,96
j. Materiais areno-argilo-ferruginosos ou com concreções ferruginosas	0,02	21,44	21,42	3,37	2,54
l. Materiais cascalho-arenosos com camada orgânica	0,04	28,78	28,74	5,70	3,85

Gráfico 6.4: Diferenças de média e os desvios padrão de declives para cada classe de geocoberturas.

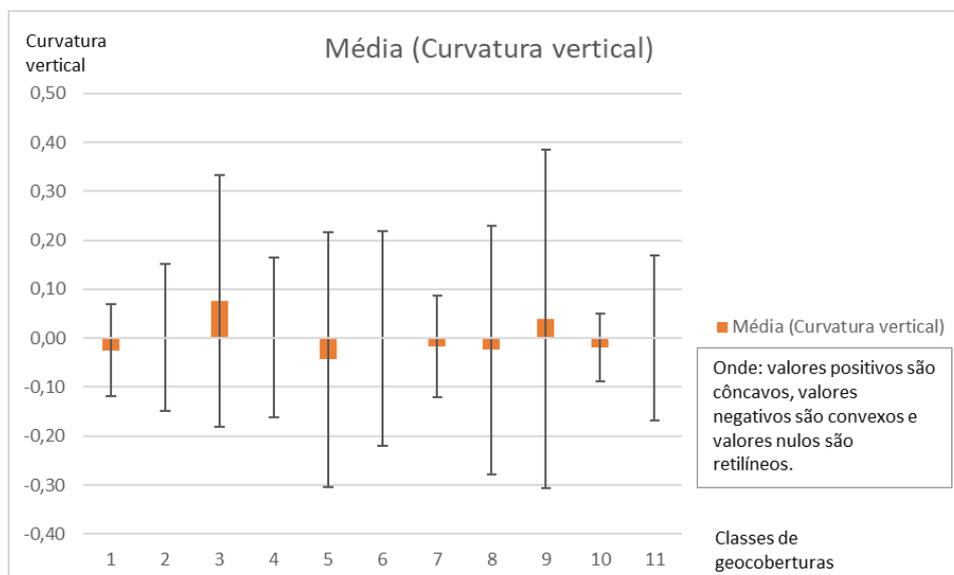


A respeito da variação dos índices de curvatura vertical em relação à cada classe de geocoberturas, a Tabela 6.3 e o Gráfico 6.5 demonstram que as médias apresentam variação significativa, permitindo caracterizar cada tipo de geocoberturas, bem como associar grupos de predominância, por exemplo, os materiais ferruginosos e com concreções, os materiais cascalho-arenosos indiferenciados ou com caos de blocos e os afloramentos rochosos prevalecem em vertentes convexas e/ou convexo-retilíneas. Já os materiais orgânicos e os coluviais ocorrem nas áreas de vertentes côncavas e/ou côncavo-retilíneas.

Tabela 6.3: Estatística Zonal aplicada para os valores de curvatura vertical em cada classe de geocoberturas

Classes	MIN	MAX	Range	Média	Desvio Padrão
(1) Materiais cascalho-arenosos com concreções ferruginosas	-0,87	1,30	2,16	-0,02	0,09
(2) Materiais de bioturbação (campos de murunduns) indiferenciados	-0,87	1,97	2,84	0,00	0,15
(3) Materiais orgânicos (turfeiras) associados a fundos de vale e áreas úmidas	-1,49	6,09	7,57	0,08	0,26
(4) Materiais areno-argilosos indiferenciados	-0,89	2,16	3,06	0,00	0,16
(5) Afloramentos rochosos	-2,01	5,92	7,93	-0,04	0,26
(6) Materiais cascalho-arenosos indiferenciados	-1,31	5,15	6,46	0,00	0,22
(7) Materiais de bioturbação (campos de murunduns) ferruginosos ou com concreções ferruginosas	-0,96	2,16	3,12	-0,02	0,10
(8) Materiais cascalho-arenosos com caos de blocos	-2,97	7,59	10,56	-0,02	0,25
(9) Materiais coluviais indiferenciados	-2,26	5,85	8,11	0,04	0,35
(10) Materiais areno-argilo-ferruginosos ou com concreções ferruginosas	-0,81	1,00	1,81	-0,02	0,07
(11) Materiais cascalho-arenosos com camada orgânica	-0,88	3,69	4,57	0,00	0,17

Gráfico 6.5: Diferenças de média e os desvios padrão de curvatura vertical para cada classe de geocoberturas.



É praticamente inviável dissociar a análise das geocoberturas dos elementos topográficos, padrões de relevo e aspectos litoestruturais do ChD. Isto vai ao encontro da premissa inicial da tese, vinculada à concepção de que tais elementos são interdependentes, e as análises e procedimentos realizados possibilitaram resultados que convergem para este ponto de vista.

Primeiramente, cabe destacar que as formações rochosas do ChD são classificadas como um conjunto de quartzitos puros a micáceos com intercalações de filito, sendo tal conjunto abordado na literatura sem diferenciação espacial de cada tipo de rocha específico. Diante disso, houve a impossibilidade de associar espacialmente cada tipo de formação superficial aos tipos rochosos existentes, entretanto, pela distribuição dos materiais, aspectos estruturais, e partindo do entendimento da resistência dos diferentes tipos de rochas, entende-se que o substrato rochoso condiciona os distintos padrões de formas de relevo e conseqüentemente, os tipos de materiais subjacentes. Assim, as áreas de cristas quartzíticas e afloramentos abundantes, expressam a ocorrência do quartzito puro; enquanto os relevos dissecados, com colinas que variam de suaves, onduladas a fortemente onduladas, englobam os quartzitos micáceos e os filitos.

Portanto, considera-se a superfície do Chapadão do Diamante como dotada de uma alta complexidade morfológica e estrutural, o que demanda uma interpretação cuidadosa e integrada dos seus elementos constituintes. Os resultados apresentados possibilitaram uma visão mais ampla sobre a área e demonstram uma nova abordagem a ser trabalhada. A caracterização dos aspectos superficiais aliados às formas de relevo e substrato rochoso, contribuem e podem embasar novas pesquisas, uma vez que este panorama do ChD ainda não havia sido explorado.

CAPÍTULO VII



7. RESULTADOS – ANÁLISE DOS MATERIAIS SUPERFICIAIS OU GEOCOBERTURAS DE TRÊS VERTENTES NO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA: uma abordagem granulométrica e de difratometria de Raios X

7.1. Introdução

Tendo em vista a diversidade morfológica e de geocoberturas reconhecidas para o Chapadão do Diamante, optou-se pela seleção de três áreas amostrais em diferentes padrões de paisagem observados, considerando-as representativas para uma aproximação da compreensão da paisagem. A aplicação das análises laboratoriais de granulometria e difratometria de Raios X contribuiu para a caracterização morfológica e mineralógica dos materiais, além de confluir para o melhor entendimento dos graus de intemperismo nos três ambientes, a partir da identificação dos constituintes da fração argila, assim como os processos físicos atuantes durante a gênese de tais materiais.

Em relação às análises granulométricas, tanto por peneiramento quanto por sedimentação, observou-se diferentes padrões entre as três vertentes analisadas, como já era esperado. Foram elaboradas curvas granulométricas para cada camada nos diferentes pontos amostrais, a partir do peneiramento, e os dados oriundos da sedimentação foram lançados no triângulo textural. Os resultados demonstraram, também, variações dentro dos próprios transectos, indicando respostas dos materiais às características do terreno e do substrato.

Os diferentes tipos de curvas granulométricas, as quais podem indicar se o material possui granulometria contínua ou descontínua, se é uniforme, bem graduado ou mal graduado; permitem reconhecer as características que podem indicar os processos predominantes ao longo das vertentes. E as classes texturais, tomadas pelo triângulo, foram utilizadas como complemento à análise para melhor caracterizar as geocoberturas, bem como estabelecer a certo nível, a intensidade do intemperismo, que pode ser complementada pela proporção de argila, já que esta faz parte dos últimos estágios da ação intempérica.

Diante do exposto, este capítulo tem o objetivo de caracterizar as áreas amostrais selecionadas, as quais, são compreendidas por transectos referentes ao eixo interflúvio-fundo de vale, inseridas em três contextos geomorfológicos distintos. O entendimento de tais diferenças é um

avanço para o conhecimento científico do Chapadão do Diamante, o qual está apenas começando a ser desvendado.

7.2. Caracterização granulométrica

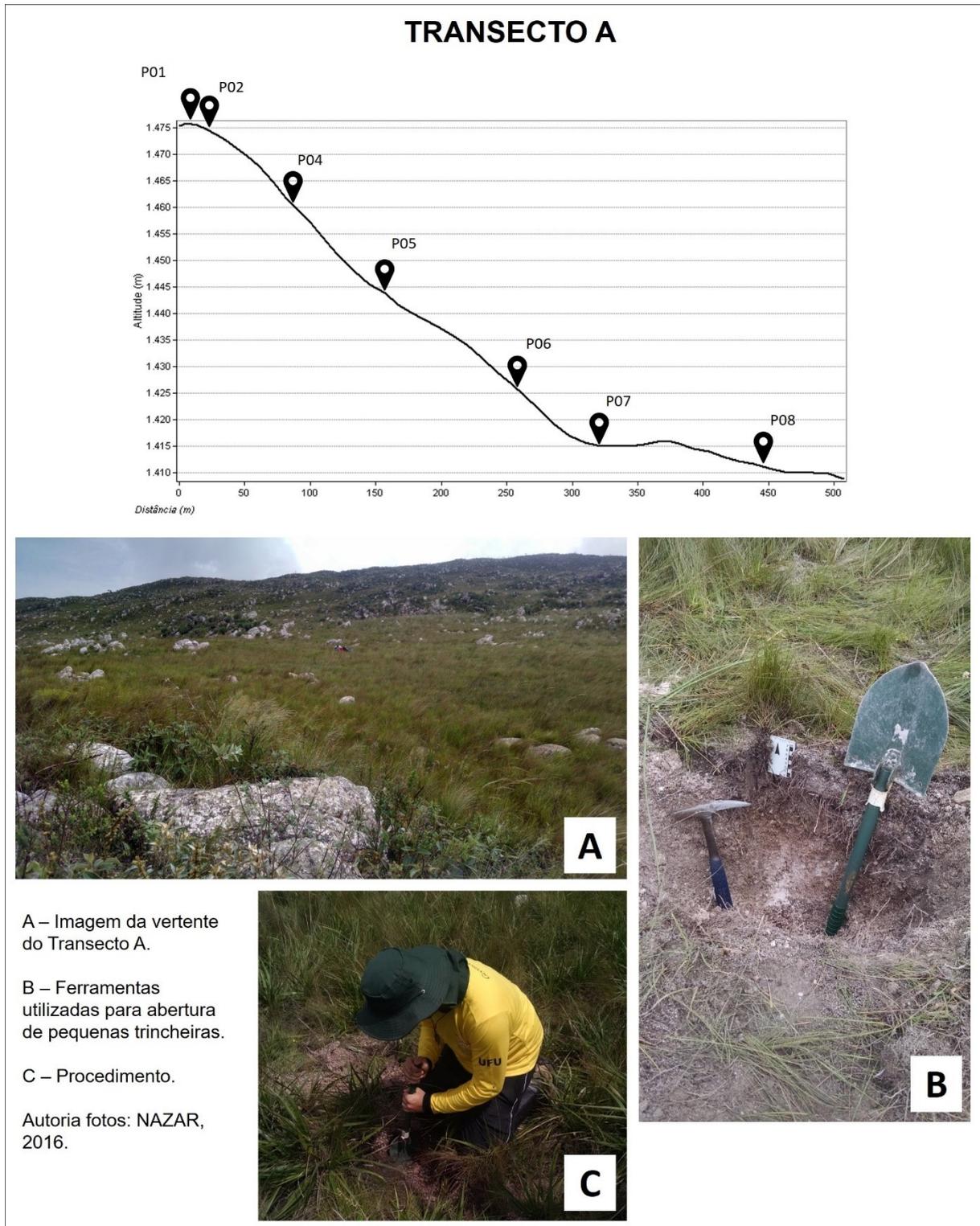
a) Transecto A

A primeira área amostral compreende o transecto A (FIGURA 7.1), realizado em relevo de cristas quartzíticas, com afloramentos rochosos contínuos no topo e caos de blocos com materiais cascalho-arenosos nas médias vertentes. Em alguns locais, ocorre deposição de material por coluvionamento, os quais são barrados pela ocorrência de caos de blocos, e às vezes são recobertos com camada superficial hidromórfica. Esta vertente, localizada a NE do ChD, perfaz uma distância de 500 metros do topo até a base, com trechos convexo-retilíneos e côncavos. Ao longo do transecto, foram realizados 7 pontos de coleta por tradagens e pequenas trincheiras, com descrições apresentadas no Quadro 7.1.

Quadro 7.1: Pontos amostrais do Transecto A.

Seção	Ponto	Prof. (cm)	Cód.	Características visíveis em campo
Alta vertente.	P01	0-5	A1	Camada superficial orgânica sobre afloramentos quartzíticos, material pouco intemperizado. Predomínio de processos mecânicos. .
	P02	0-2	A2	Camada superficial orgânica incipiente sobre afloramentos quartzíticos, material pouco intemperizado. Predomínio de processos mecânicos.
	P03	--	-	Não foi possível a coleta de amostras significativas.
	P04	0-12	A3	Material coluvial depositado em área côncava, delimitada por zona de caos de blocos. Constituição variegada, com areia, cascalhos e calhaus.
>12		A4		
Média vertente.	P05	0-9	A5	Material coluvial depositado em área côncava, delimitada por zona de caos de blocos. Constituição variegada, com areia, cascalhos e calhaus. Após 26 cm de profundidade, o material apareceu saturado em água.
		9-33	A6	
		33-53+	A7	
	P06	0-12	A8	Material coluvial depositado em área côncava, delimitada por zona de caos de blocos. Constituição variegada, com camada orgânica sobre cascalho-arenosa.
		12-32	A9	
		32-65	A10	
Baixa vertente.	P07	0-7	A11	Patamar aplainado, côncavo-retilíneo, com alguns afloramentos rochosos. Material orgânico sobre camada cascalho-arenosa, sobreposta a materiais mais finos.
		7-24	A12	
		24-29	A13	
		29-48	A14	
		48 +	A15	
	P08	0-24	A16	Segmento convexo-retilíneo. Material variegado, sendo as camadas superiores mais finas, sobre material grosseiro.
		24-29	A17	
		29-48+	A18	

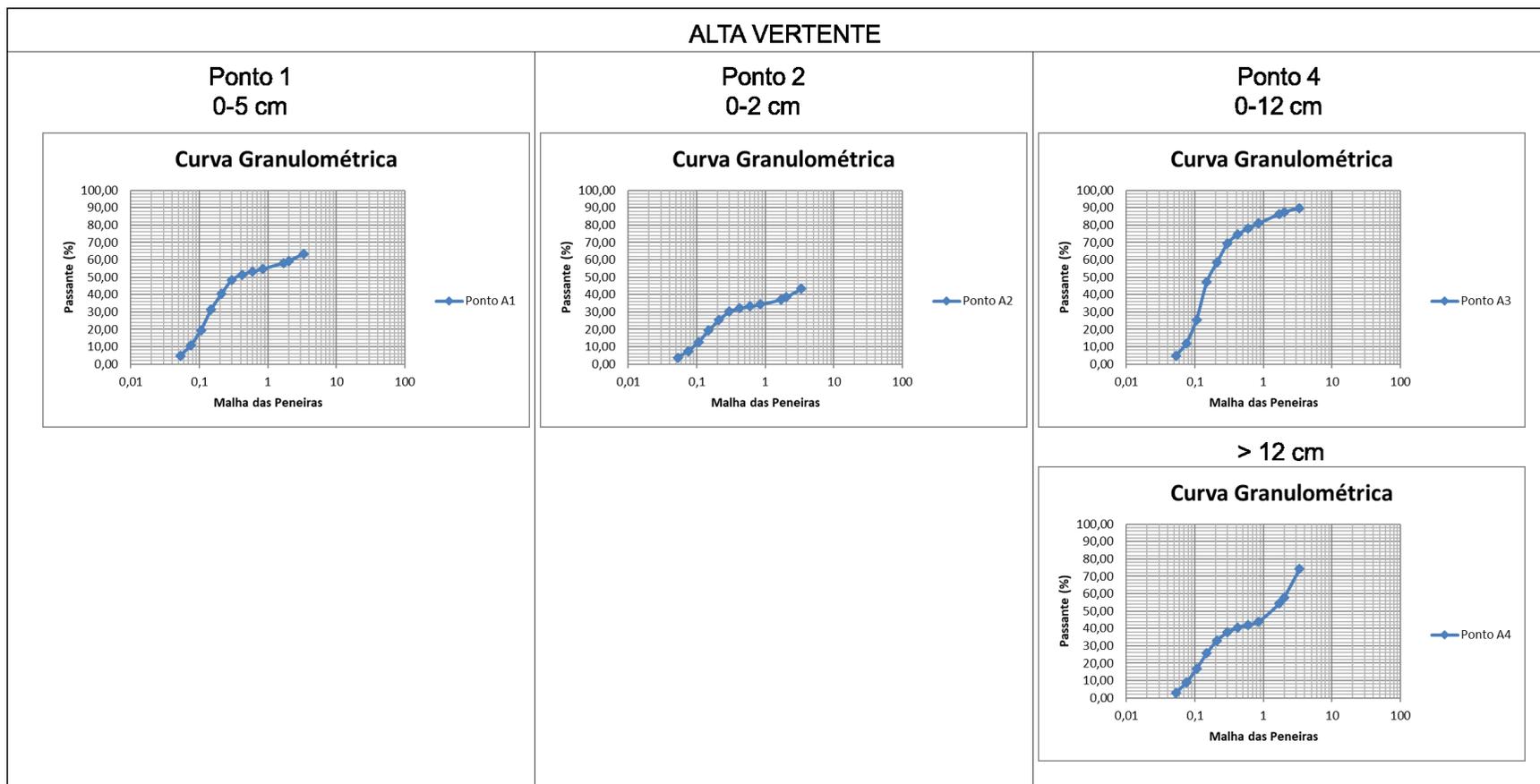
Figura 7.1: Transecto A e pontos amostrais.



No que se refere à análise granulométrica por peneiramento (ANEXO 1), de modo geral, as granulometrias fornecem curvas descontínuas e mal graduadas, coincidindo com as observações em campo, sendo predominantes as frações de cascalhos e areias. Estas condições permitem associar à prevalência de processos mecânicos atuantes sobre as rochas quartzíticas puras, que no local, constituem vertentes mais declivosas. As pequenas espessuras dos pacotes de materiais, em tal transecto, reiteram esta situação. Em contrapartida, nos locais amostrais onde se caracterizam áreas de deposição, em função das barreiras formadas pelos próprios afloramentos rochosos ou em áreas côncavo-retilíneas, as curvas granulométricas se mostram um pouco mais contínuas e também pouco mais graduadas. As Figuras 7.2, 7.3 e 7.4, ilustram os conjuntos de curvas granulométricas, representadas através de escala logarítmica, para cada ponto amostral, indicando a variação em cada camada.

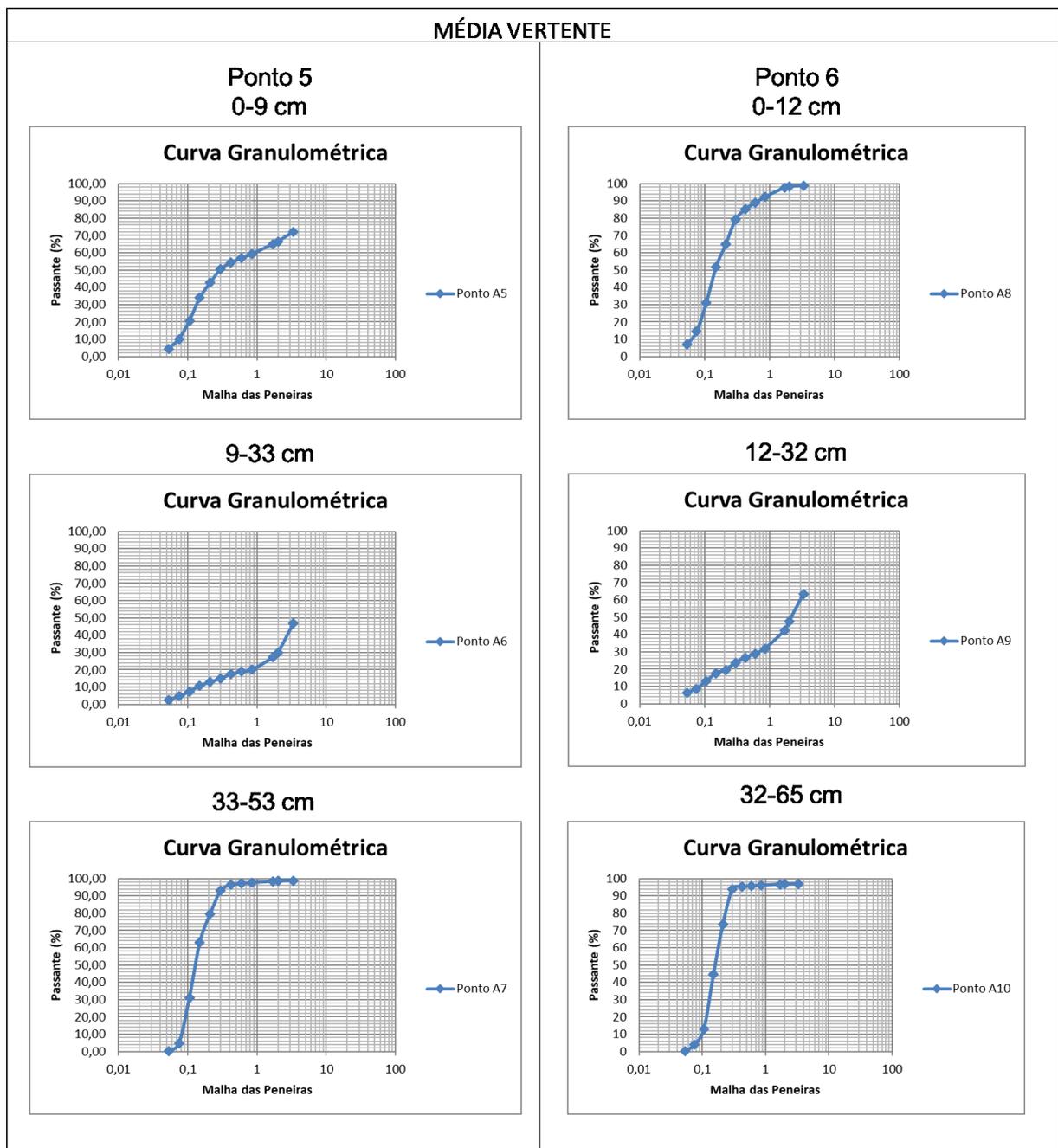
Observa-se que as curvas da Figura 7.2 fogem completamente ao formato próximo de “S”, ao mesmo tempo em que a porcentagem das frações passantes mostra o predomínio dos grãos grosseiros (localizados entre os valores logarítmicos 1 e 10).

Figura 7.2: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Alta Vertente do Transecto A.



A Figura 7.3 destaca as curvas dos pontos da média vertente, sendo observável uma anomalia nas amostras com profundidade superior a 32-33 cm, o que provavelmente indica a presença de rocha alterada a partir desta profundidade. Os pontos 5 e 6 estão localizados em áreas de deposição coluvial, o primeiro reflete materiais cascalho-arenosos na camada superior, enquanto o segundo demonstra uma camada superficial de material contínuo e bem graduado. Estas diferenças podem indicar que os materiais mais grosseiros são barrados nas partes mais altas da vertente. Ao mesmo tempo, os materiais mais finos passam a ser retrabalhados e são expostos mais facilmente à ação do intemperismo.

Figura 7.3: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Média Vertente do Transecto A.



No caso da baixa vertente (FIGURA 7.4), o ponto 7 apresenta uma camada superior mais fina com curva contínua, sobreposta a uma camada bastante cascalhenta, com profundidade de 7 a 24 cm. Esta segunda camada grosseira pode ser associada às correspondentes nos dois pontos a montante (Ponto 5 e 6), os quais demonstram em profundidades próximas, um aumento da fração areia grossa e cascalho, subjacentes a uma camada mais homogênea e fina. Estas características podem indicar mudanças nos processos que ocorreram/ocorrem em função de variações climáticas. O ponto 8, por sua vez, caracterizado por uma área com gradientes suaves, apresenta curvas mais contínuas nas camadas superiores, com ocorrência de cascalhos após os 28 cm de profundidade.

A respeito das análises granulométricas por sedimentação (ANEXO 2), apresenta-se os gráficos da distribuição da granulação fina dos materiais, bem como o triângulo textural (FIGURA 7.5), a partir dos quais, verifica-se a preponderância das frações arenosas. De modo geral, julga-se que o transecto A da vertente localizada em área de cristas quartzíticas deve ser caracterizado como predominantemente cascalho-arenoso, com a fração fina franco-arenosa.

Figura 7.4: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Baixa Vertente do Transecto A.

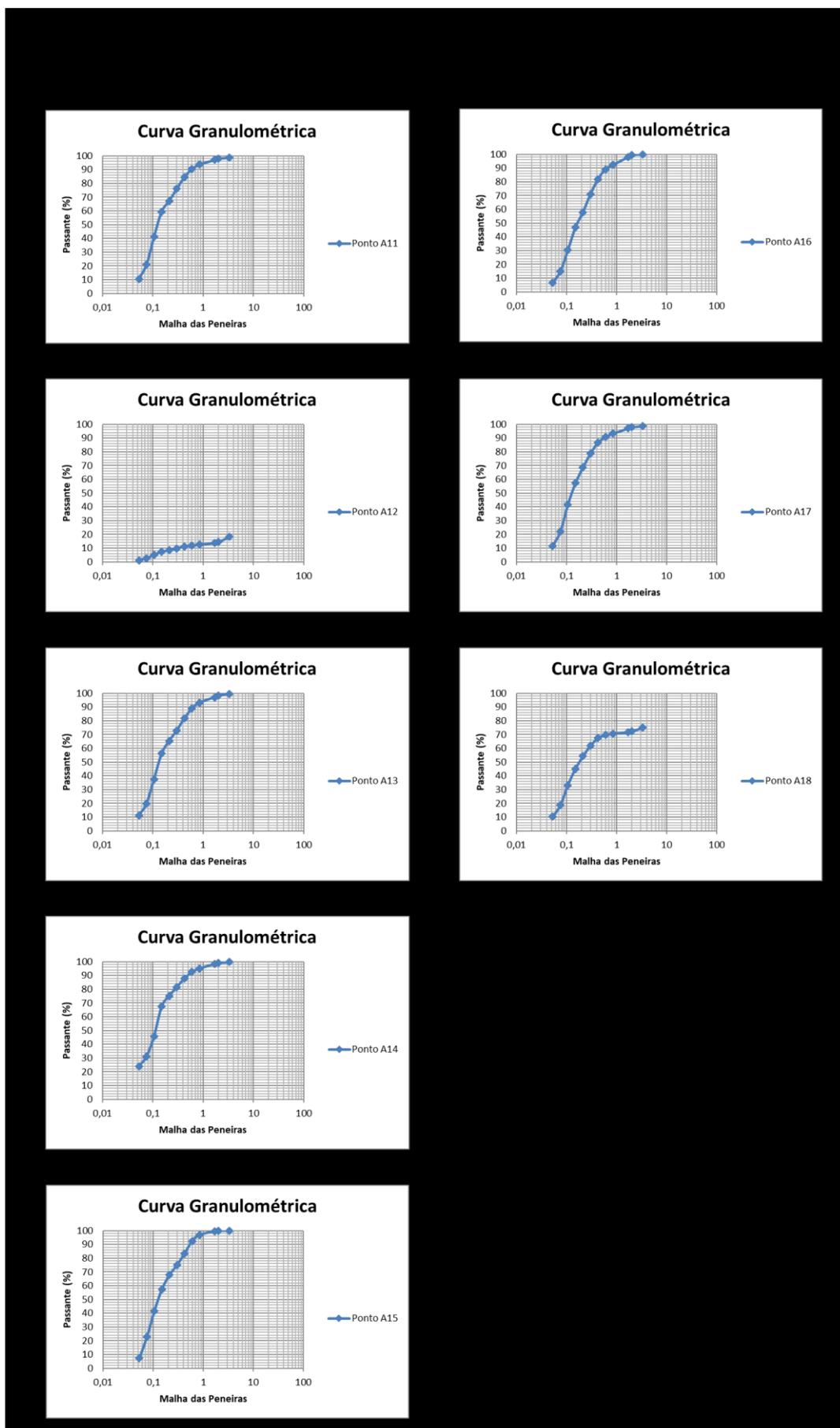
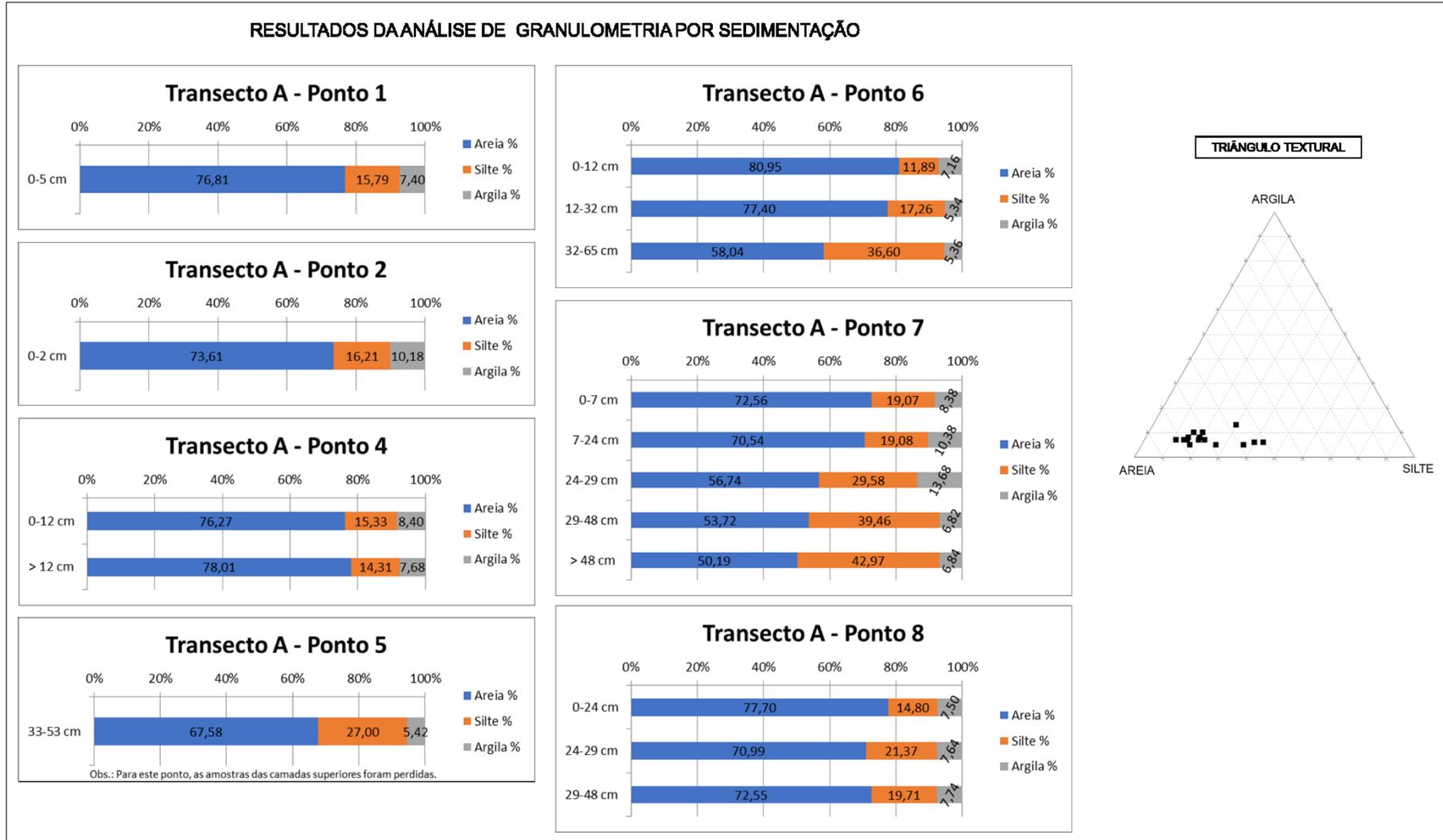


Figura 7.5: Conjunto de gráficos e triângulo textural, resultantes da análise de granulometria por sedimentação para o Transecto A.

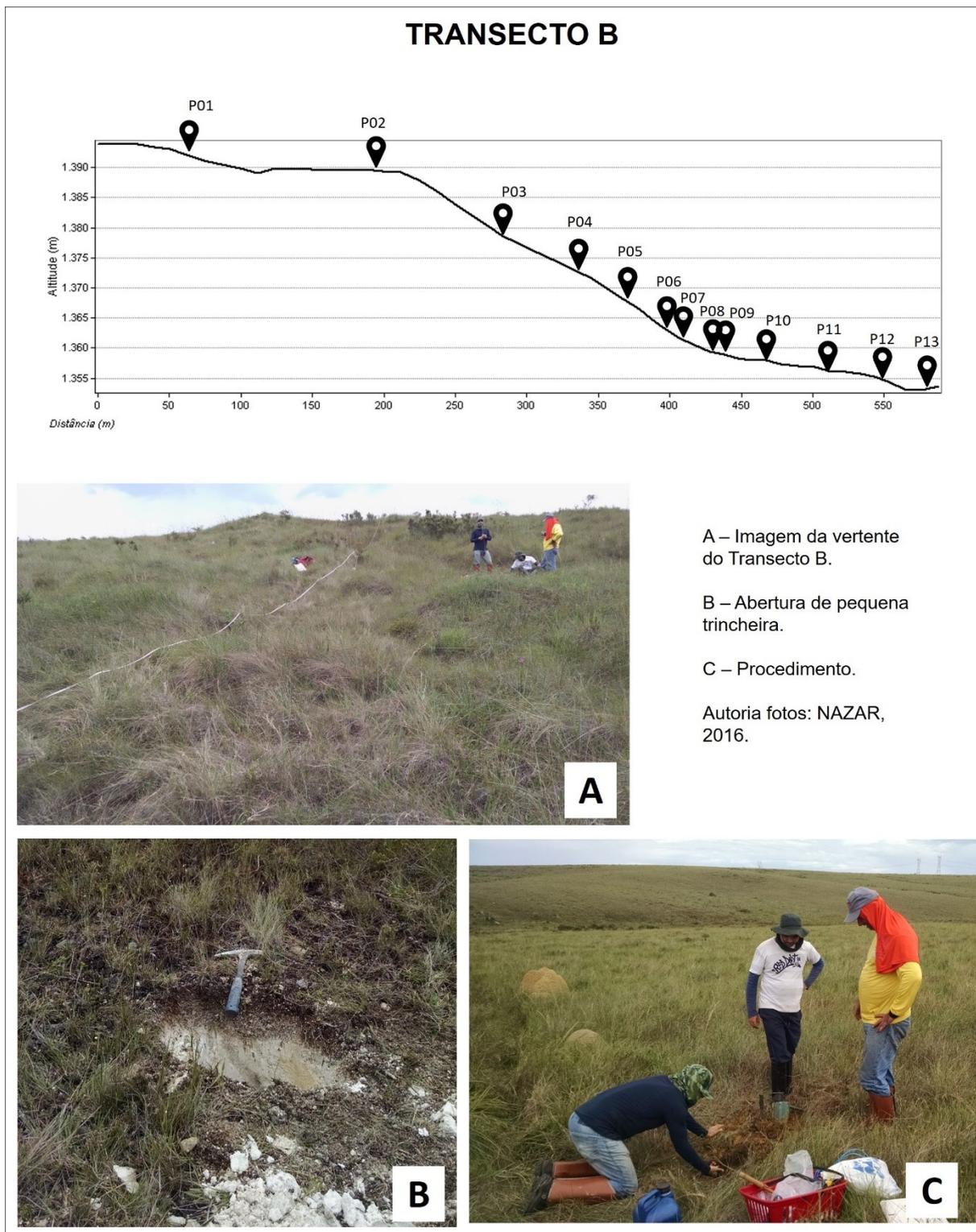


b) Transecto B

A segunda área engloba o transecto B (FIGURA 7.6), traçado em relevo aplainado a suavemente dissecado com raros afloramentos e camadas estreitas de materiais cascalhentos e concrecionários no topo, passando por campo de murunduns na média vertente e materiais turfosos no fundo de vale. Ao longo das seções de alta e média vertentes, foram observadas ocorrências de cascalhos com concreções ferruginosas, bem como camada endurecida como laterita, de difícil tradagem. Esta vertente possui cerca de 600 metros, com trechos convexo-retilíneos e côncavo-retilíneos, estando localizada na parte centro-leste do ChD. Foram realizados 13 pontos de coleta por meio de tradagens e abertura de algumas pequenas trincheiras, conforme descrito no Quadro 7.2.

As análises granulométricas por peneiramento (ANEXO 3) demonstraram para a vertente B uma relevante variação nas curvas em cada ponto amostral. Em sua maioria, os gráficos indicam curvas granulométricas descontínuas e mal graduadas, como é o caso da alta vertente, onde ocorrem cascalhos com concreções ferruginosas em material bastante avermelhado nas camadas superficiais. É possível observar, também, em área de ocorrência de murunduns, uma camada subsuperficial composta por material ferruginoso cascalhento, indicando que a camada superior com grãos mais finos, pode ser resultante de atividade de bioturbação (FIGURA 7.7).

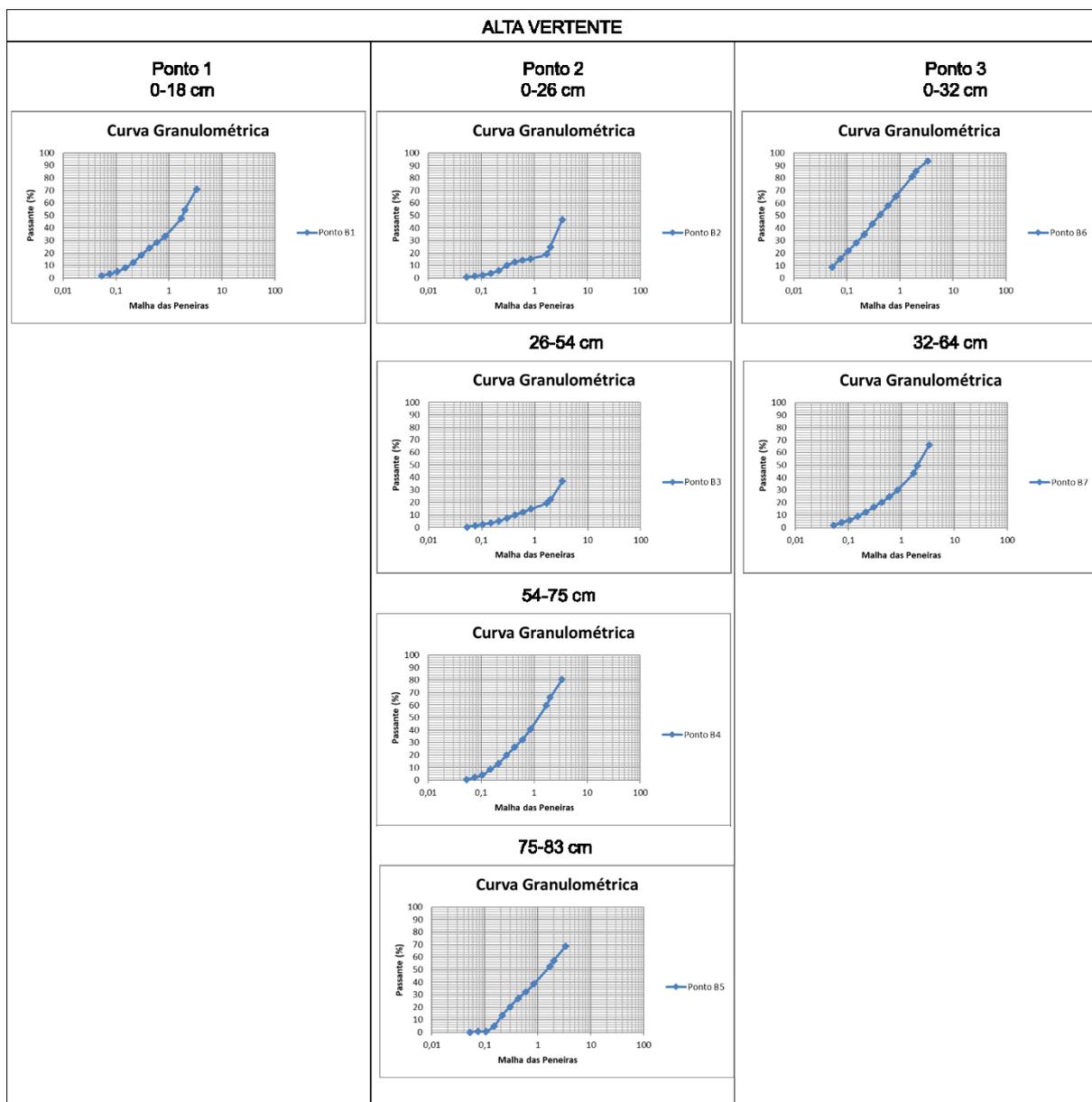
Figura 7.6: Transecto B e pontos amostrais.



Quadro 7.2: Pontos amostrais do Transecto B.

Seção	Ponto	Prof. (cm)	Código	Características visíveis em campo
Alta vertente.	P01	0-18	B01	Camada cascalho-arenosa com concreções ferruginosas abundantes. Após 18 cm, presença de camada endurecida que impossibilitou a tradagem. Trecho de vertente retilíneo.
	P02	0-26	B02	Material, em geral, cascalho-arenoso com concreções ferruginosas nas amostras B2 e B3. A camada B4 e B5 apresentou material mais fino. Trecho de vertente retilíneo.
		26-54	B03	
		54-75	B04	
		75-83+	B05	
	P03	0-32	B06	Camada superficial revolvida por atividade biológica, sobreposta a material ferruginoso, com cascalhos concrecionários. Presença de murunduns. Trecho de vertente convexo-retilíneo.
		32-64+	B07	
Média vertente.	P04	0-8	B08	Camada superficial orgânica. Após 18 cm (B10), aparece material cascalhento ferruginoso, sobreposto à rocha alterada. Trecho de vertente convexo-retilíneo.
		8-18	B09	
		18-38	B10	
		38-46	B11	
		46-59	B12	
	P05	0-18	B13	Material depositado em área precedente a afloramento rochoso, com consequente ruptura de declive. A camada superficial é orgânica (B13), seguida de uma camada fina esbranquiçada (B14), sobreposta à outra camada orgânica, turfosa, bastante úmida. Trecho de vertente convexo-retilíneo.
		18-50	B14	
		50-85+	B15	
	P06	0-9	B16	Após a ruptura de declive, material sobreposto a filito alterado. Trecho de vertente côncavo-retilíneo.
		9-17	B17	
		17+	B18	
	P07	0-4	B19	Camada superficial fina sobreposta a material cascalhento concrecionário. Trecho de vertente côncavo-retilíneo.
		4+	B20	
Baixa vertente.	P08	0-13	B21	Material cascalho-arenoso com concreções ferruginosas. Após 30 cm, camada laterítica. Trecho de vertente côncavo-retilíneo.
		13-30	B22	
	P09	0-6	B23	Material areno-argiloso. Após 30 cm, ocorrência de camada laterítica. Trecho de vertente Trecho de vertente côncavo-retilíneo.
		6-23	B24	
		23-30	B25	
		>30	B26	
	P10	0-6	B27	Camada superior orgânica. Material arenoso, pouco cascalho. Após 50 cm, rocha alterada. Trecho de vertente Trecho de vertente côncavo-retilíneo.
		6-49	B28	
		49-85+	B29	
	P11	0-8	B30	Camada superior orgânica. Material arenoso, pouco cascalho. Trecho de vertente côncavo-retilíneo.
		8-48	B31	
		48-68	B32	
		68-95+	B33	
	P12	0-8	B34	Material areno-argiloso orgânico. Turfeira. Trecho de vertente côncavo-retilíneo.
		8-23	B35	
23-49		B36		
49-105+		B37		
P13	0-18	B38	Depósito aluvial. Material orgânico, turfa. Após 55 cm, material saturado em água. Trecho de vertente côncavo.	
	18-55	B39		

Figura 7.7: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Alta Vertente do Transecto B.



As Figuras 7.8 e 7.9 mostram a variação na média vertente, onde é possível observar, após 18 cm de profundidade no ponto 4, a presença de camada cascalhenta com concreções ferruginosas. Observa-se uma descontinuidade dessa camada ferruginosa, que volta a parecer, à jusante da média vertente (ponto 7), e na transição para a baixa vertente (ponto 8), por vezes, impenetrável por tradagem, indicando a presença de laterita endurecida. Tal descontinuidade é verificada a partir de uma ruptura de declive, com afloramentos de quartzito a montante e de filito a jusante.

Figura 7.8: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Média Vertente do Transecto B (Pontos 4 e 5).

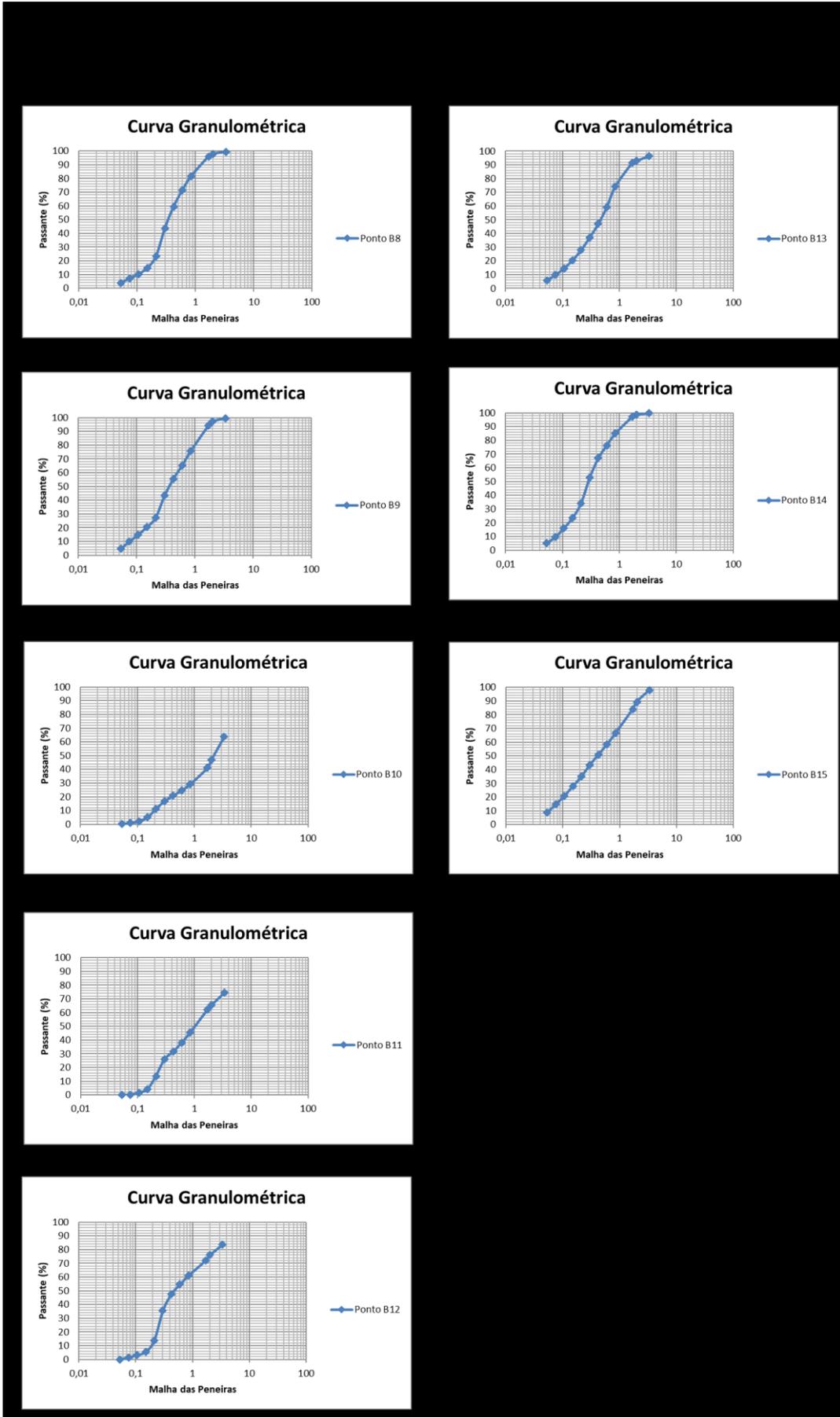
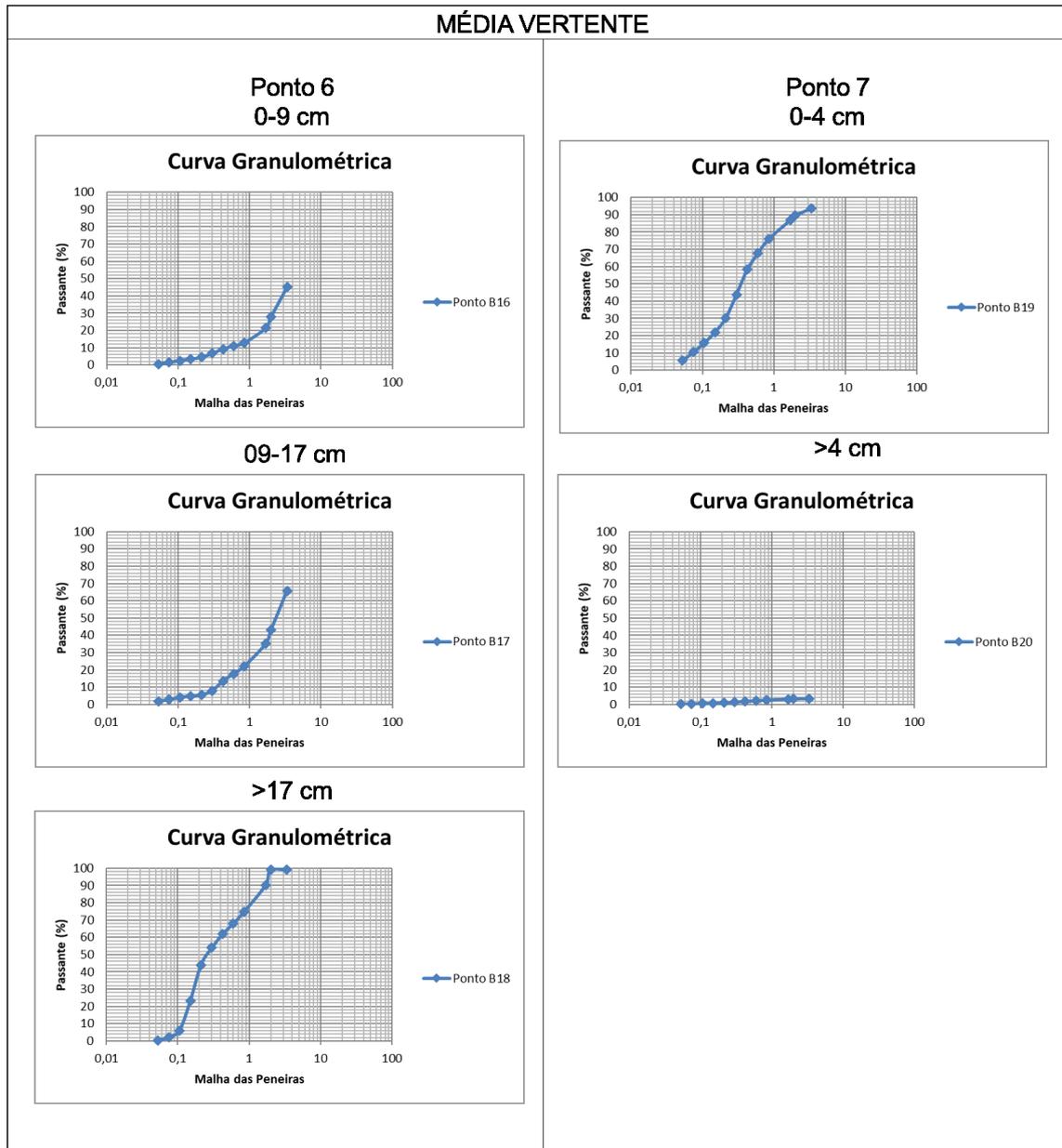


Figura 7.9: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Média Vertente do Transecto B. (Pontos 6 e 7).



As amostras de baixa vertente, por sua vez, foram representativas de camadas com materiais mais finos e curvas granulométricas pouco mais contínuas e graduadas, com exceção do ponto 8 na transição da média para a baixa vertente, com presença de concreções ferruginosas, bem como o ponto 9, apresentando uma camada laterítica em profundidade maior que 30 cm. Os pontos 10 a 13 apresentam uma transição de materiais mais finos, areno-argilosos, para orgânicos, bastante profundos e escurecidos (FIGURAS 7.10; 7.11).

O fato da existência de materiais cascalhentos e concrecionários nos diferentes níveis topográficos do transecto, bem como em profundidades próximas ou superiores a 30 cm nas áreas côncavo-retilíneas de baixa vertente, pode estar relacionado a questões de variações no

regime hídrico da região, podendo ser associado ao observado no Transecto A, em que se observou a presença de camadas subsuperficiais cascalhentas sotopostas a materiais mais finos. Outro ponto a ser destacado, refere-se à distribuição da presença de Fe ao longo dos diferentes compartimentos da vertente, permitindo pressupor a perda de Fe^{2+} dissolvido em água, o qual migra das partes altas para as baixas.

Figura 7.10: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Baixa Vertente do Transecto B (Pontos 8 a 10).

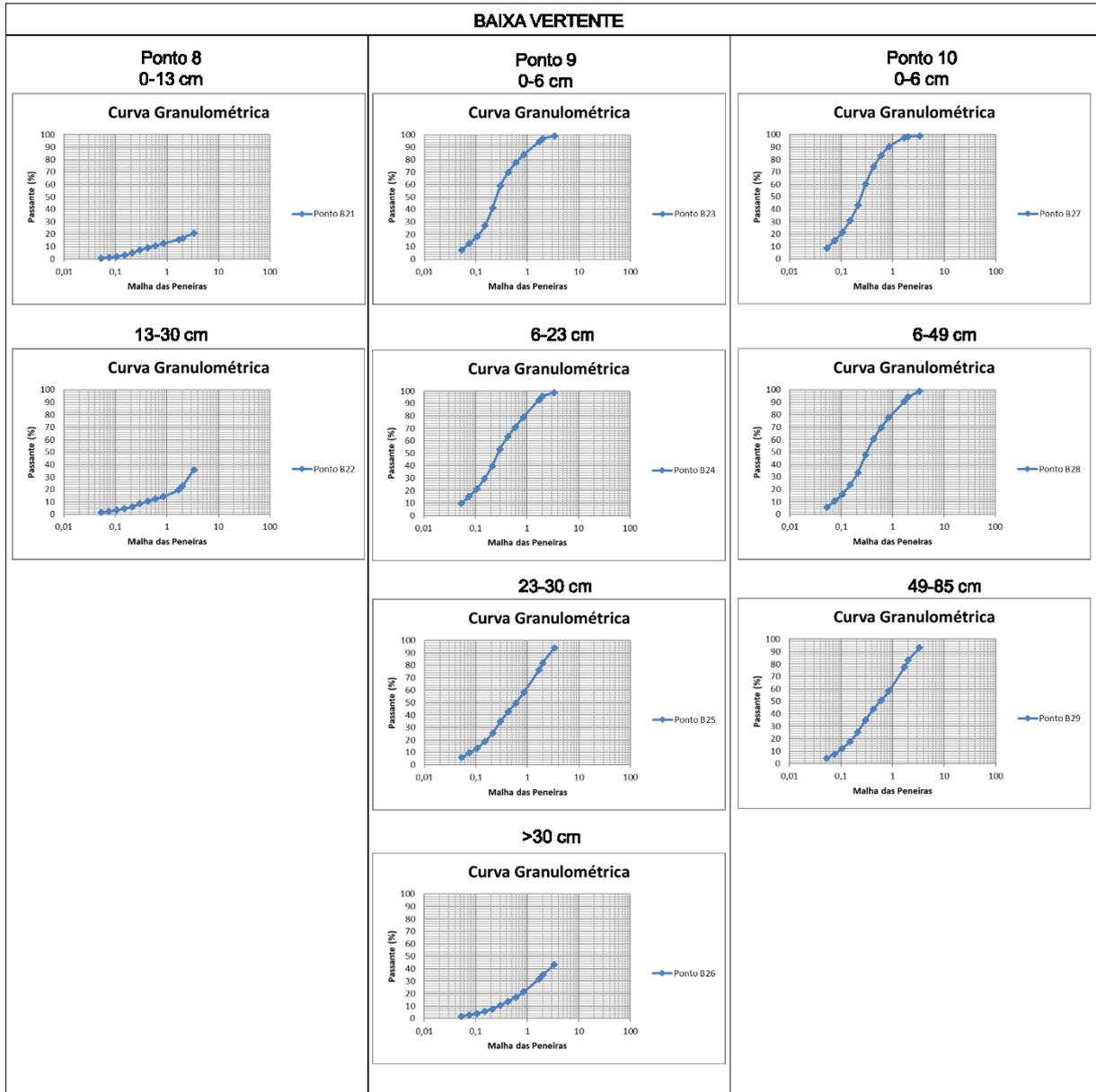
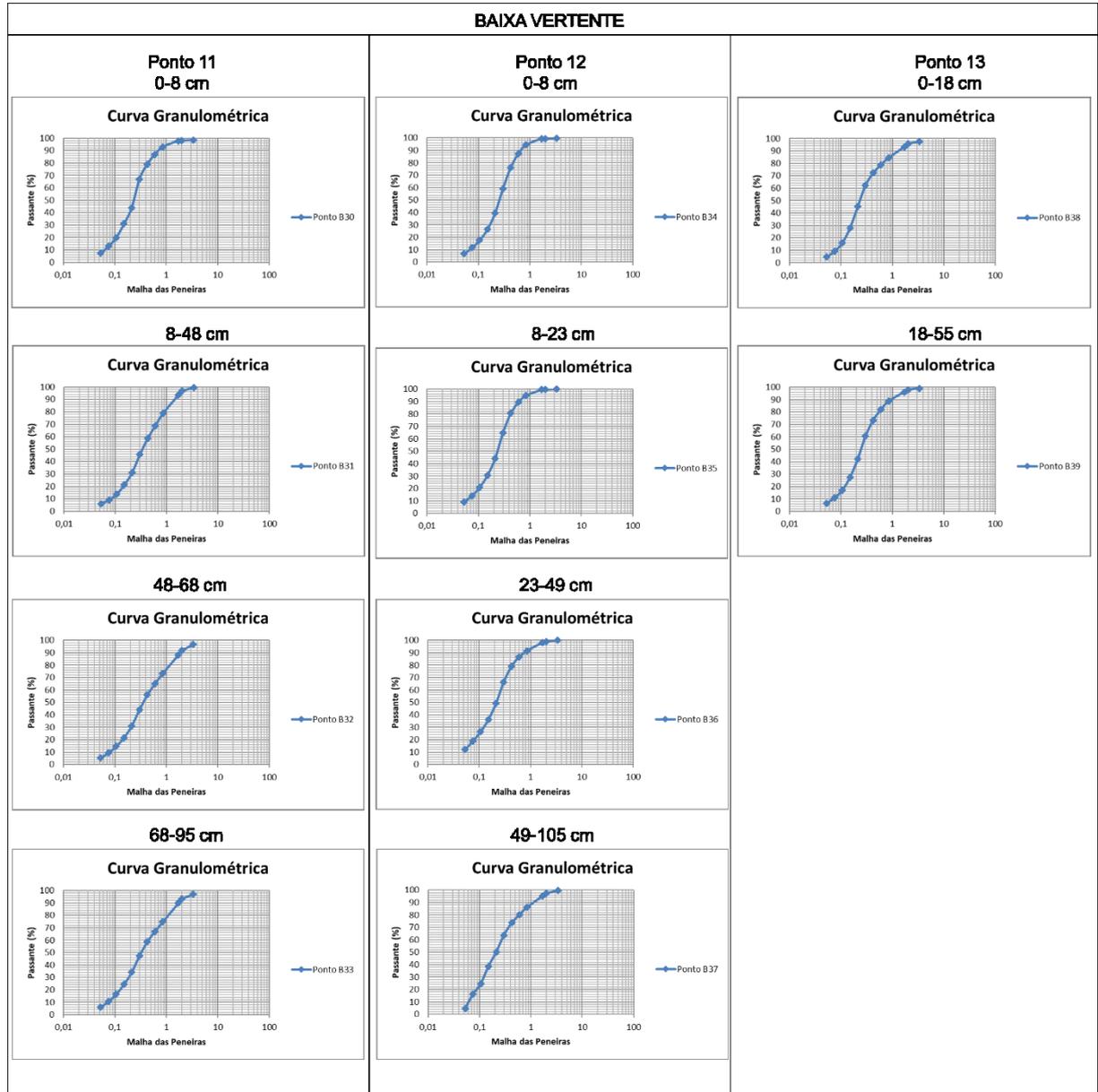
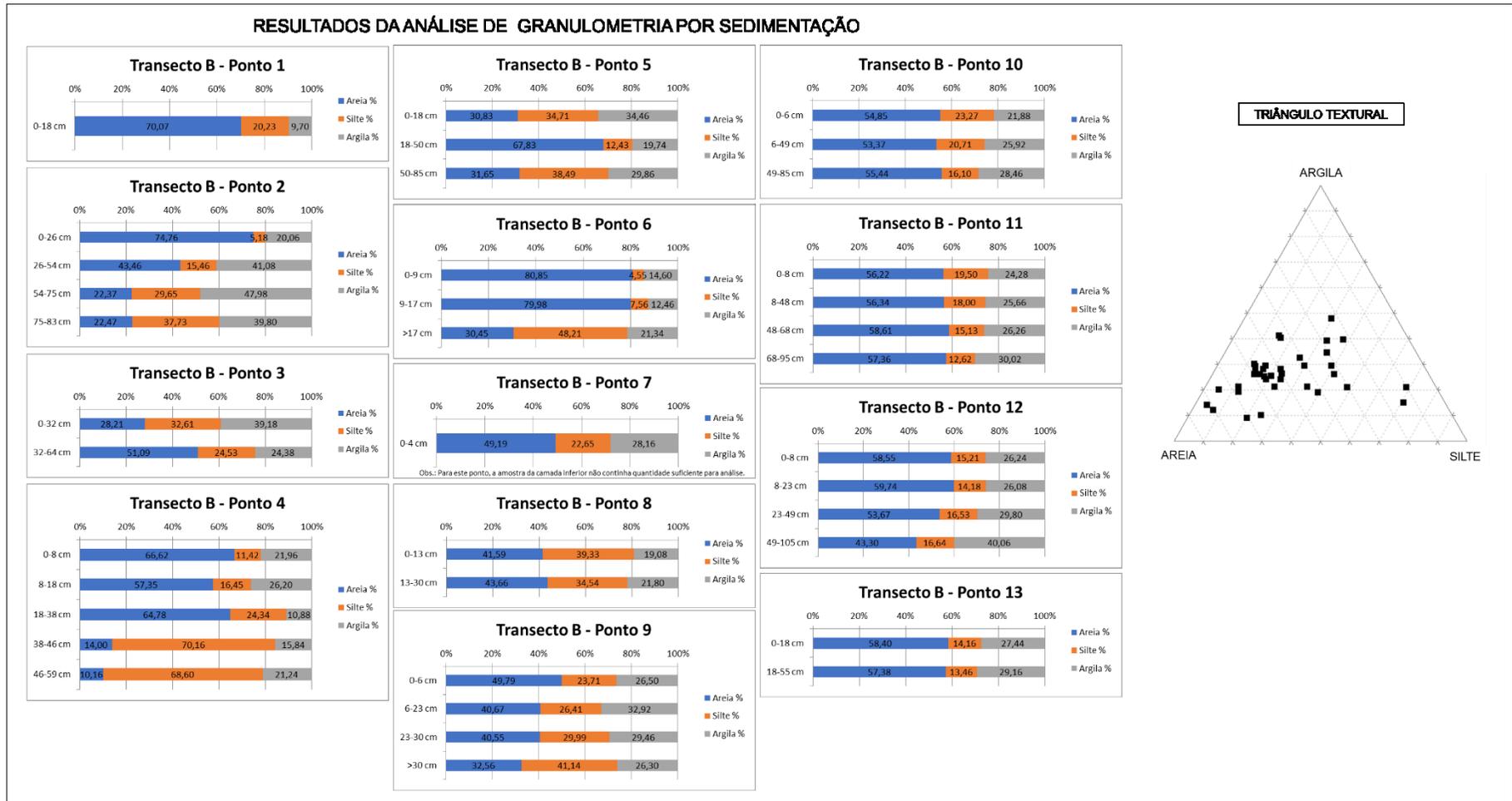


Figura 7.11: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Baixa Vertente do Transecto B (Pontos 11 a 13).



No que se refere às análises granulométricas por sedimentação (ANEXO 4), a Figura 7.12 ilustra a distribuição das frações finas dos materiais do Transecto B, indicando maior variação das proporções comparado aos resultados do Transecto A. Na vertente em questão, observa-se um aumento das taxas de silte e argila, porém, as porções arenosas ainda são significativas. Do ponto de vista dos processos, estima-se que essa área reflete maior atuação dos agentes intempéricos, quer através das características do material parental, quer pela presença das camadas ferruginosas e concreções. Assim, pela classificação no triângulo textural, de modo geral, pode-se estabelecer que os materiais são franco-argilo-arenosos.

Figura 7.12: Conjunto de gráficos e triângulo textural, resultantes da análise de granulometria por sedimentação para o Transecto B.



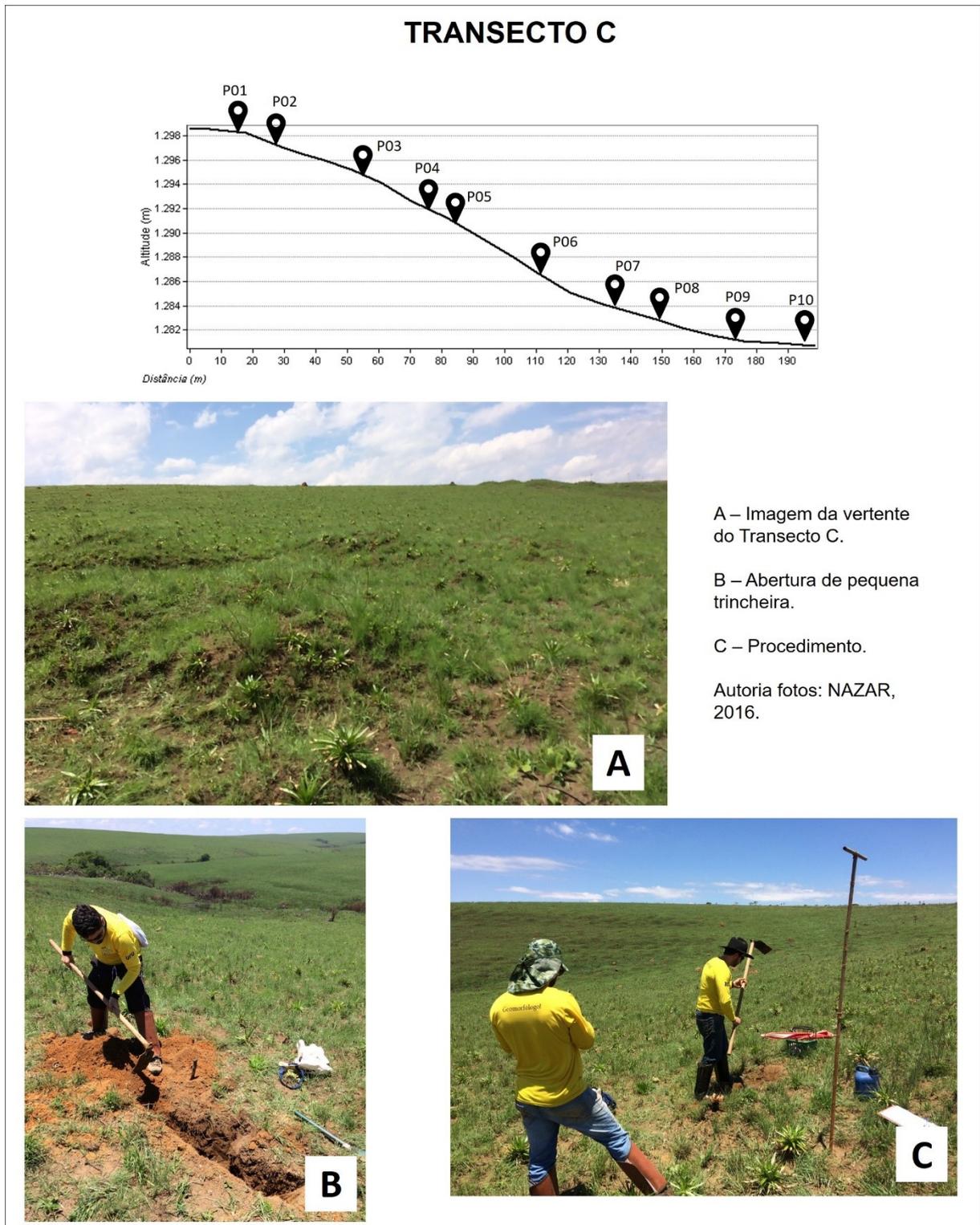
c) Transecto C

A terceira área amostral é caracterizada pelo transecto C (FIGURA 7.13), em relevo também aplainado a suavemente dissecado, porém com materiais profundos e com ausência de afloramentos rochosos, os murunduns aparecem na baixa vertente antecedendo os materiais orgânicos do fundo. No geral, os materiais se apresentam uniformes com raras ocorrências de grãos de quartzo envoltos por ferro. Esta vertente possui 200 metros de extensão, sendo convexo-retilínea em sua parte alta e côncavo-retilínea na parte baixa, e está localizada no oeste do ChD. Foram realizados 10 pontos amostrais por meio de tradagens, de acordo com Quadro 7.3.

Os resultados da análise granulométrica por peneiramento (ANEXO 5) indicaram para este transecto, a ocorrência de curvas relativamente homogêneas nos variados pontos amostrais ao longo da vertente, as quais se apresentam contínuas e bem graduadas. As Figuras 7.14, 7.15 e 7.16 ilustram as curvas granulométricas dos pontos amostrais, as quais não indicaram mudanças abruptas na composição física dos materiais. A característica marcante está na profundidade dos perfis, bem como na ausência de materiais cascalhentos como observado nos transectos anteriores. A Vertente C caracteriza-se, portanto, por um maior grau de evolução intempérica, uma vez que apresenta maiores proporções da fração argila, principalmente na área de alta e baixa vertente. Já na média vertente, verificou-se uma proporção mais elevada da fração areia, bem como algumas ocorrências de grãos de cascalho esparsos, às vezes concrecionários.

Em relação às análises granulométricas por sedimentação (ANEXO 6), estas estão representadas na Figura 7.17, que traz os gráficos da distribuição das frações finas, bem como a caracterização pelo triângulo textural, a partir do qual define-se que os materiais se constituem predominantemente como argilosos a argilo-arenosos.

Figura 7.13: Transecto C e pontos amostrais.



Quadro 7.3: Pontos amostrais do Transecto C.

Seção	Ponto	Prof. (cm)	Código	Características visíveis em campo
Alta vertente	P01	0-20	C1	Material avermelhado, fino e profundo, característica de pegajosidade. Não houve variação visível entre as camadas. Seção de vertente convexo-retilínea.
		20-100	C2	
		100-180	C3	
	P02	0-20	C4	Material avermelhado, fino e profundo, característica de pegajosidade. Não houve variação visível entre as camadas. Presença de umidade. A partir de 180 cm, começa transição para rocha alterada. Seção de vertente convexo-retilínea.
		20-100	C5	
		100-180	C6	
	P03	0-20	C7	Material avermelhado, fino e profundo. Na segunda camada, surgem grãos maiores, como cascalho esparsos. A partir de 160 cm começa a camada de rocha alterada. Seção de vertente convexo-retilínea.
		20-100	C8	
		100-150	C9	
		150-200	C10	
Média vertente	P04	0-20	C11	Material começa a se diferenciar, mudança sutil na coloração, do vermelho para o bruno, mas continua fino. Após 160 cm aparece a camada de rocha alterada. Seção de vertente convexo-retilínea.
		20-60	C12	
		60-130	C13	
		130-160	C14	
	P05	0-20	C15	Os materiais passam à coloração bruna. A partir de 20 cm aparecem grãos levemente concrecionários. Após 130 cm, a camada apresenta umidade bastante visível. Seção de vertente côncavo-retilínea.
		20-80	C16	
		80-170	C17	
	P06	0-20	C18	Camada superficial com grãos mais finos. Após 85 cm aparecem alguns cascalhos com leve concreção ferruginosa. Seção de vertente côncavo-retilínea.
		20-85	C19	
		85-120	C20	
	P07	0-20	C21	Camada superficial mais escura, sobreposta a camada bruna, onde aparecem nódulos avermelhados. Após 140 cm, rocha alterada. Seção de vertente côncavo-retilínea.
		20-65	C22	
		65-140	C23	
Baixa vertente	P08	0-80	C24	Materiais de coloração bruna. Seção de vertente côncavo-retilínea.
		80-100	C25	
	P09	0-20	C26	Material variegado, sendo a segunda camada de cor bruna, com presença de alguns cascalhos com concreções ferruginosas. As camadas inferiores apresentam materiais mais finos, com umidade aparente. Seção de vertente côncavo-retilínea.
		20-40	C27	
		40-100	C28	
		100-185	C29	
	P10	0-130	C30	Camada turfosa (C30) sobre a rocha alterada. Seção de vertente côncava.
>130		C31		

Figura 7.14: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Alta Vertente do Transecto C.

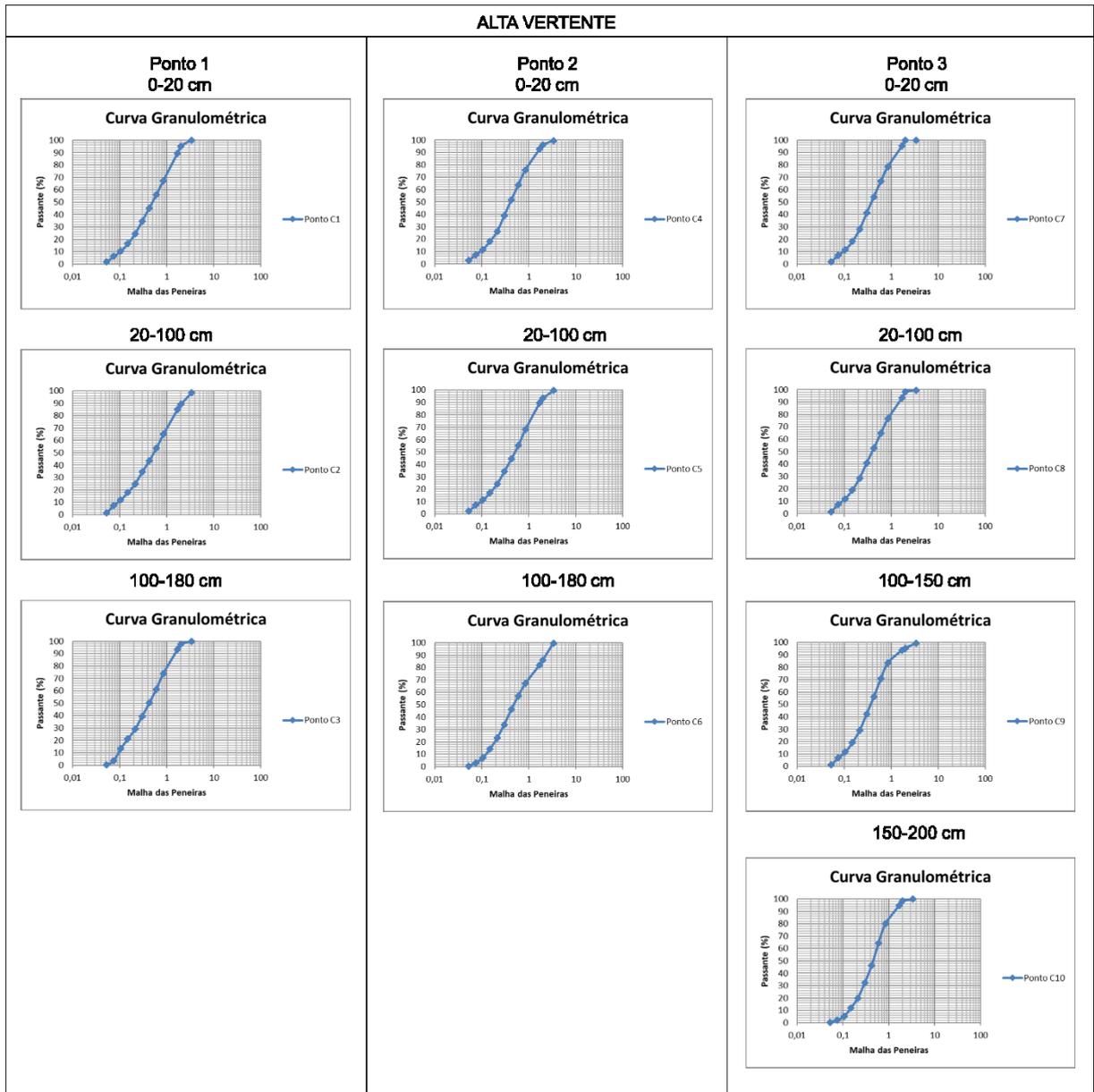


Figura 7.15: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Média Vertente do Transecto C.

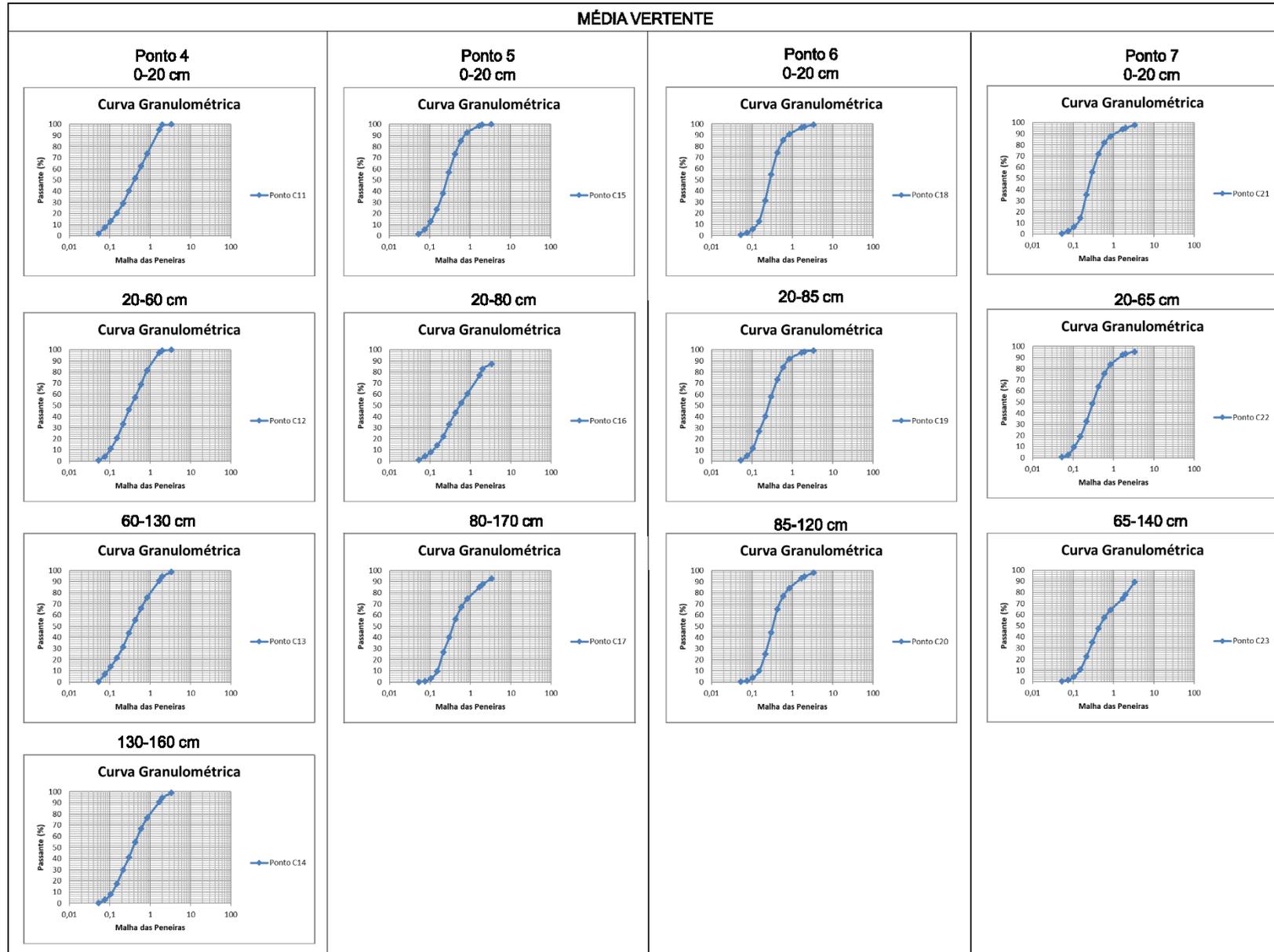


Figura 7.16: Curvas granulométricas dos pontos amostrais da Baixa Vertente do Transecto C.

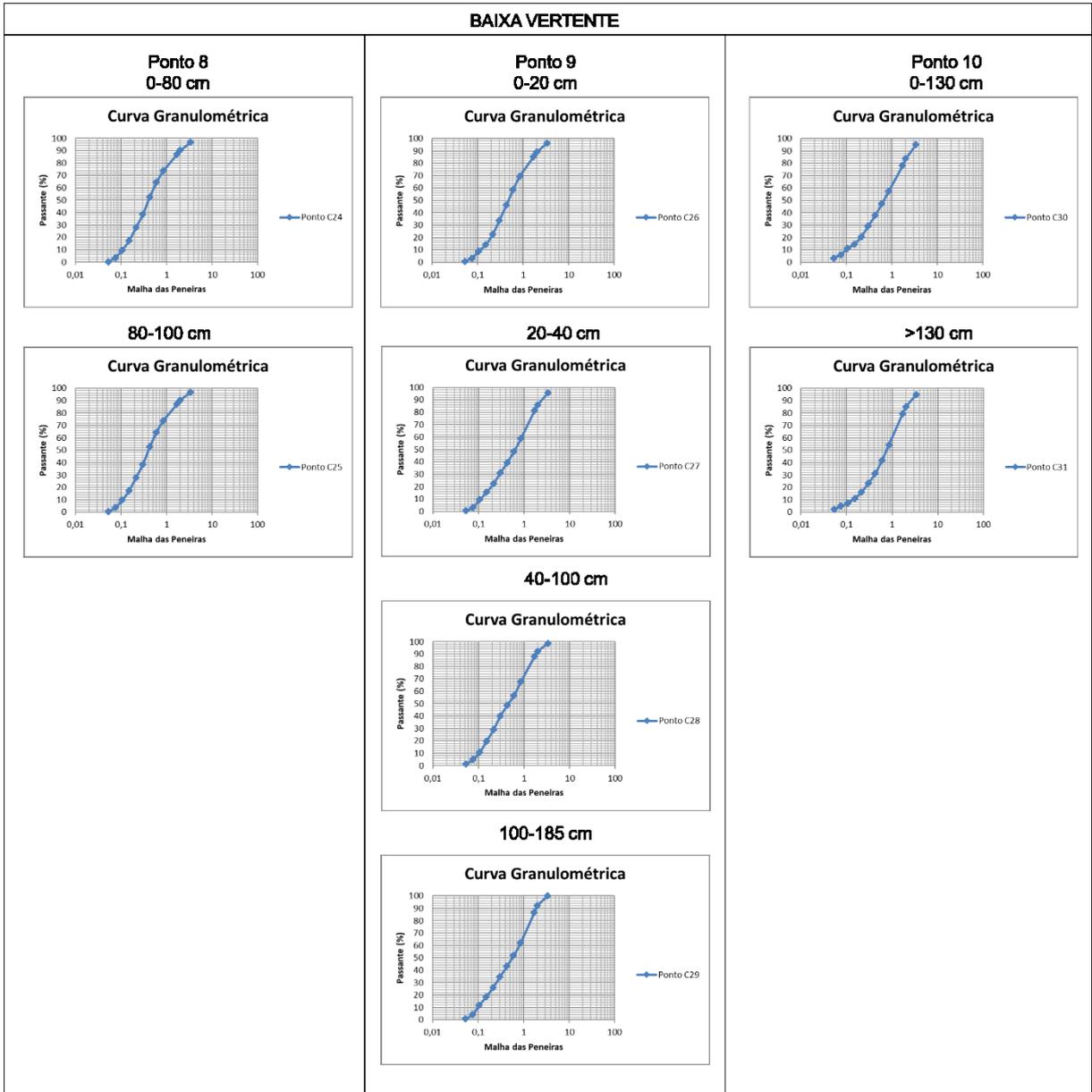
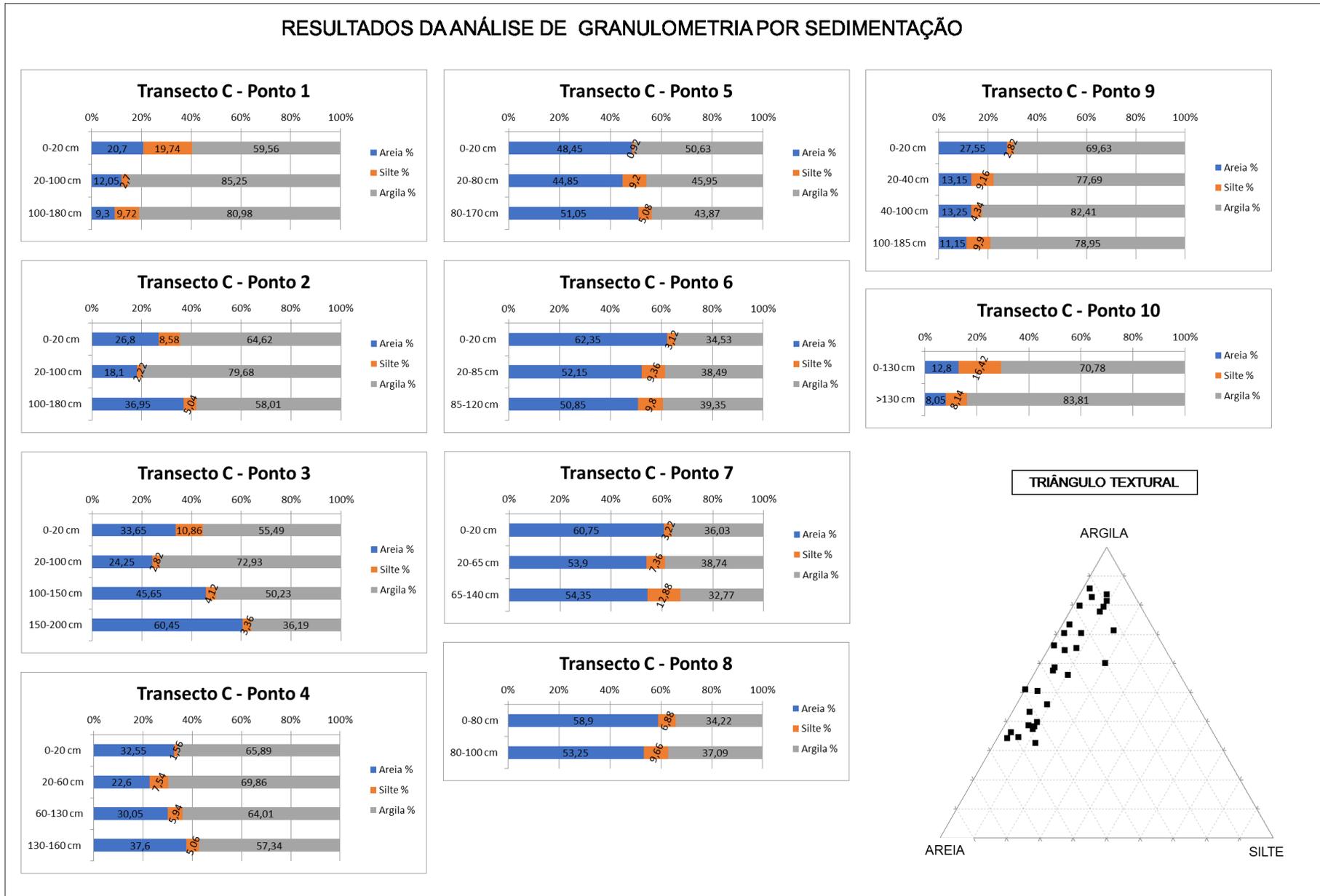


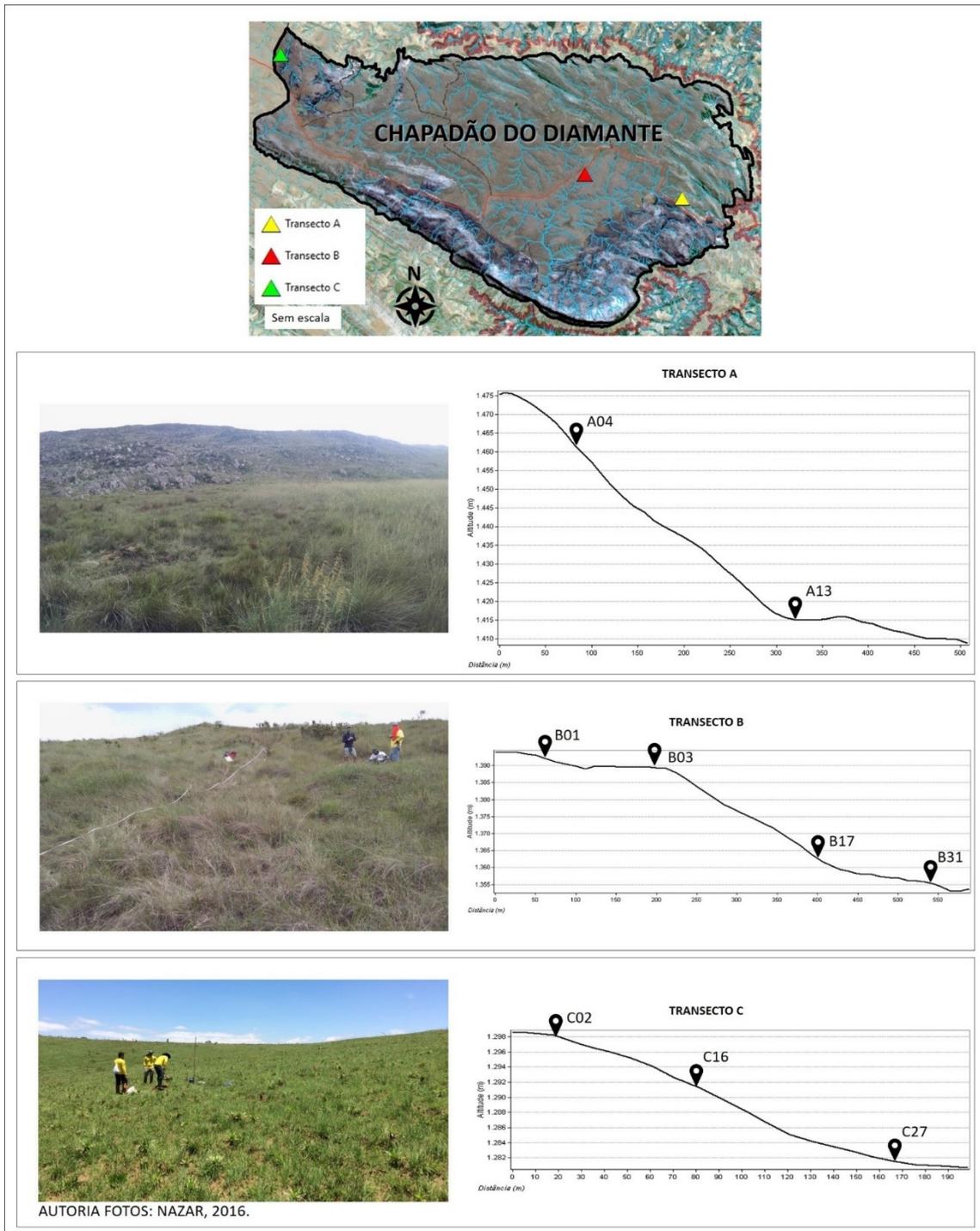
Figura 7.17: Conjunto de gráficos e triângulo textural, resultantes da análise de granulometria por sedimentação para o Transecto C.



7.3. Caracterização da fração argila por difratometria de Raios X

Os resultados das análises de Difratometria de Raios X (DRX) (ANEXO 7) possibilitaram esclarecer algumas questões importantes na comparação dos três transectos analisados, conforme apresentado na Figura 7.18, que indica a localização das amostras em seus respectivos transectos.

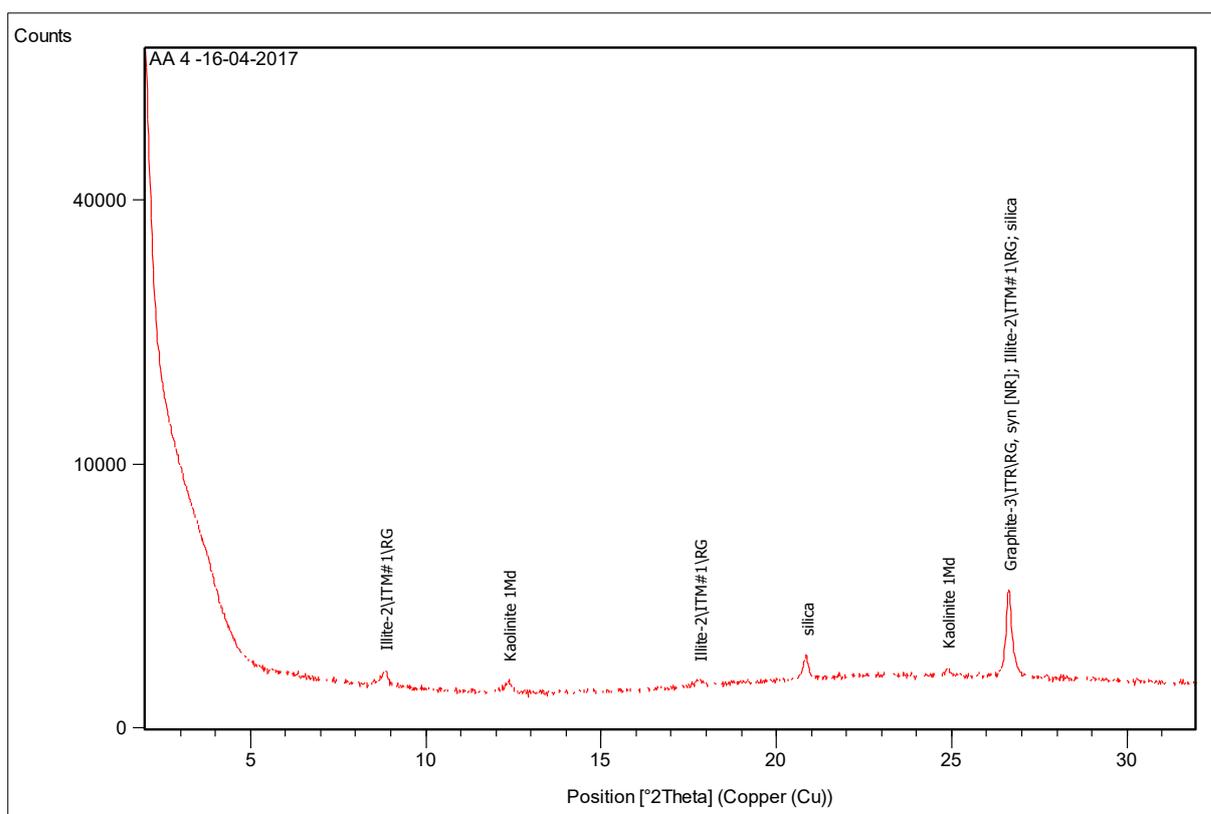
Figura 7.18: Localização das amostras para análise de DRX.



Apesar de terem sido aplicadas a poucas amostras, estas análises permitiram associar os aspectos mineralógicos aos processos que ocorrem em resposta a um determinado tipo climático e em função das características litológicas e topográficas. Assim, aproximou-se de um melhor entendimento dos graus de intemperismo do conjunto do Chapadão do Diamante (ChD), uma vez que, em estado elevado, a ação meteórica apresenta como resultado a ocorrência de argilas silicatadas (argilominerais), e como produtos finais, resultam aqueles bastante resistentes, tais como os óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio. Além disso, os materiais analisados permitiram a identificação de alguns minerais constituintes das rochas ali presentes.

A respeito dos pontos amostrais destinados à DRX para o Transecto A, foram analisadas duas amostras, a primeira, denominada A4, localizada no ponto 04 (alta vertente) a uma profundidade maior que 12 cm, e a segunda, A13, situada no ponto 07 (baixa vertente), entre 24 a 29 cm. Ambas as amostras foram selecionadas pelas características já descritas no item anterior, estando associadas aos locais de deposição de materiais barrados pelos afloramentos rochosos, cujas proporções da fração fina da amostra A4 é composta por 7,68% de argila, enquanto a amostra A13 apresenta 13,68%.

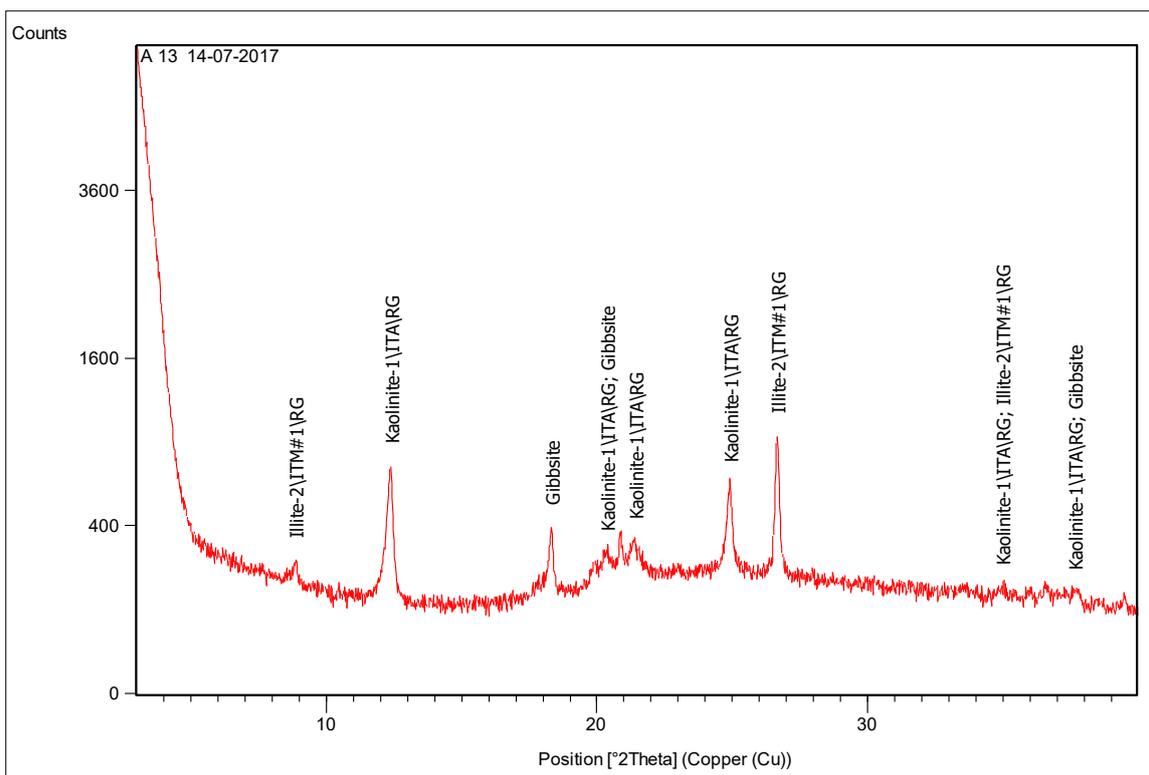
Sendo assim, para a amostra A4 (GRÁFICO 7.1), foram encontrados os argilominerais caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e illita ($(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$), esta última correspondente a um tipo de mica hidratada, indicando a presença de umidade no ambiente (pouca drenagem), com disponibilidade de cátions de alumínio e de potássio disponíveis. A caulinita, por sua vez, é indicativa de ambientes altamente intemperizados, o que sugere que os materiais adjacentes em tal ponto amostral estão há bastante tempo em um ambiente estável, sobre a atuação de um clima tropical úmido. Entretanto, de modo geral, entende-se que apesar da amostra estar inserida em um ambiente de cristas quartzíticas, cujas características foram descritas como predominantemente cascalho-arenosas, com geocoberturas de pequenas espessuras e baixo grau de alteração em função de sua maior resistência aos processos de meteorização, a presença de argilominerais 1:1 reflete a atuação intensa e prolongada da água nesse ambiente. Também foram encontrados os minerais sílica (SiO_2) e grafita (C).

Gráfico 7.1: Mineralogia da fração argila para a Amostra A4.

Em relação à amostra A13 (GRÁFICO 7.2), situada na baixa vertente, foram encontrados os argilominerais caulinita e illita, com picos maiores que a amostra anterior, bem como a gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), indicando um estado mais elevado de intemperismo quando comparado à primeira. A gibbsita resulta da perda da sílica pelos argilominerais, sendo um dos óxidos de alumínio mais comuns encontrados na superfície terrestre. Os picos de illita, ressaltados, indicam maior permanência da água no local, facilitada pela topografia côncavo-retilínea.

A mineralogia da fração argila das amostras do Transecto A refletem, de certo modo, o jogo de forças entre a resistência do material parental e a intensidade do intemperismo em meio tropical, associados à questão topográfica, cujo conjunto, em suas variadas combinações distinguem materiais com diferentes respostas e comportamentos. Neste sentido, os resultados das análises apresentadas devem ser associados e interpretados em conjunto com outros dados levantados sobre a área e o ambiente geomorfológico em que se insere.

Gráfico 7.2: Mineralogia da fração argila para a Amostra A13.



No que se refere ao Transecto B, as amostras destinadas à DRX foram a B01 e B03, na alta vertente; a B17 na média vertente e a B31 na baixa vertente. A amostra B01 (GRÁFICO 7.3) corresponde à camada superficial, de 0 a 18 cm de profundidade, localizada no ponto 1 da vertente, com 9,7% da fração argila. Foram identificadas nesta amostra a presença dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, tais como a hematita (Fe_2O_3), a goethita (Fe O (O H)) e a gibbsita (Al (O H)_3), e também a nacrita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{O H})_4$), um argilomineral do grupo das caulinitas. A presença da hematita reforça a caracterização dos materiais no local, sendo formados por cascalhos com concreções ferruginosas e tonalidades bastante avermelhadas.

Os óxidos e hidróxidos de Fe e Al demonstram o grau avançado do intemperismo na área, que podem constituir as geocoberturas lateríticas, quando em grandes quantidades. A hematita é indicativa de um ambiente bem drenado, contudo, a presença da goethita, reflete uma transição, já que ocorre em ambientes com drenagem deficiente. Esta situação ilustra a presença da água nos materiais superficiais em diferentes níveis topográficos em todo o Chapadão do Diamante, cuja dinâmica é bastante interessante para pesquisas futuras.

Ainda na alta vertente do Transecto B, a amostra B03 (GRÁFICO 7.4), com 26 a 54 cm de profundidade e pertencente ao ponto 2, reflete a ocorrência de concreções ferruginosas,

apresentando hematita e gibbsita (principais óxidos formadores da laterita), bem como a caulinita e a muscovita ($K Al_2 (Si_3 Al) O_{10} (OH , F)_2$). Esta última, acredita-se ser a mica primária decorrente da composição dos quartzitos micáceos na área, sendo um filossilicato de difícil decomposição intempérica, permanecendo por mais tempo no ambiente.

Gráfico 7.3: Mineralogia da fração argila para a Amostra B01.

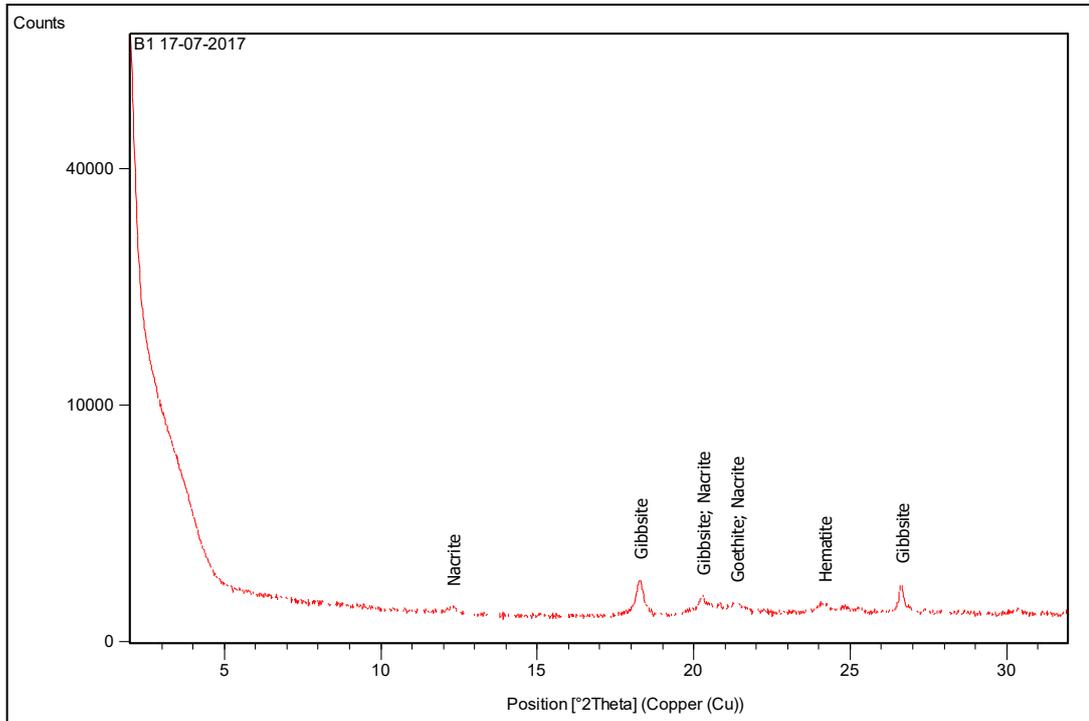
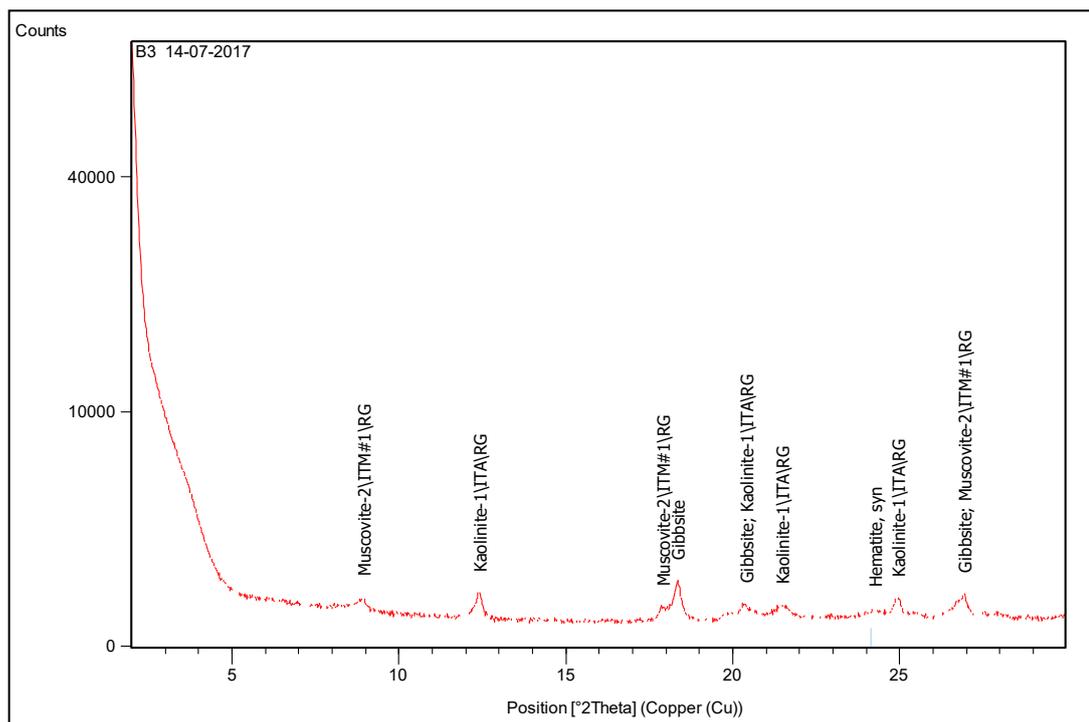
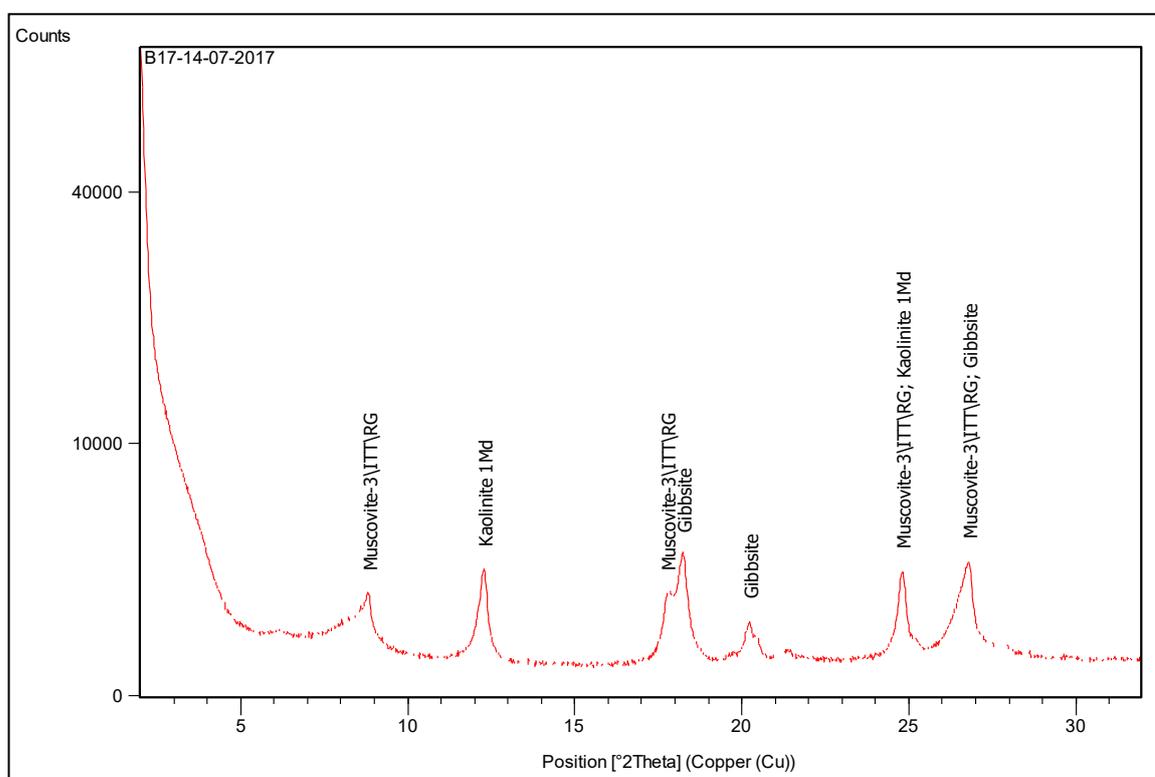


Gráfico 7.4 Mineralogia da fração argila para a Amostra B03.

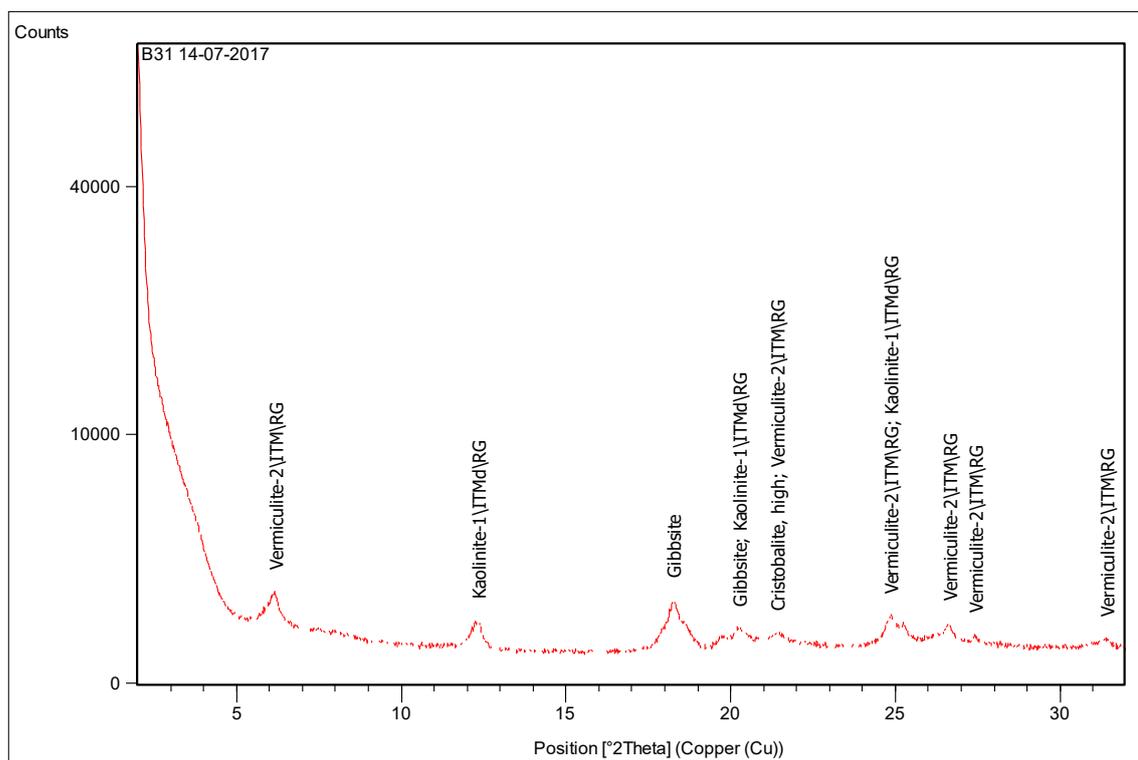


Partindo para a análise da média vertente do Transecto B, a amostra B17 (GRÁFICO 7.5), referente a profundidade de 9 a 17 cm no ponto 6, possui muscovita, gibbsita e caulinita. A composição química da muscovita, sendo constituída basicamente de alumínio, sódio ou potássio, pode apresentar muitas vezes o ferro e magnésio cristalizado, entre outros elementos (SIMÕES, 1995). Sendo assim foi identificada nesta amostra, a muscovita com a seguinte composição: $(K, Na) (Al, Mg, Fe)_2 (Si_{3.1} Al_{0.9}) O_{10} (OH)_2$, sendo o Fe um de seus constituintes. Esta evidência pode ser explicativa sobre a origem do Fe na porção central e oeste do ChD, sendo constituída por quartzitos micáceos intercalados com muscovita filitos, conforme descrito por Simões et al (2015).

Gráfico 7.5 Mineralogia da fração argila para a Amostra B17.

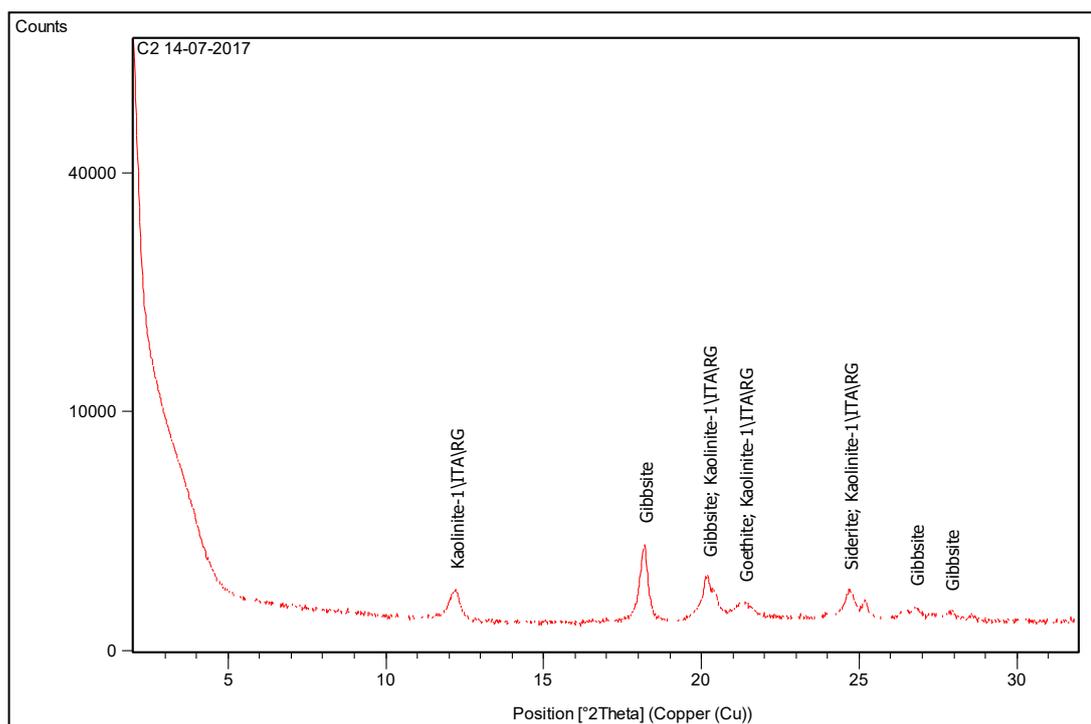


A Amostra B31 (GRÁFICO 7.6), situada entre 8 e 48 cm de profundidade no ponto 11, representa a baixa vertente, tendo sido identificadas a gibbsita, a caulinita e a vermiculita ($(Mg, Al)_3 (Si, Al)_4 O_{10} (OH)_2 \cdot 4H_2O$). A vermiculita é um argilomineral 2:1, com grau de intemperismo intermediário formada por hidratação e, geralmente, pode estar associada à decomposição de biotita e clorita. A sua ocorrência na secção da baixa vertente pode indicar um ambiente mal drenado.

Gráfico 7.6 Mineralogia da fração argila para a Amostra B31.

No tocante ao Transecto C, foram analisadas as amostras C02 na alta vertente, C16 na média vertente e C27 na baixa vertente. O Gráfico 7.7. indica a mineralogia da fração argila na amostra C02, situada em profundidade de 20 a 100 cm no ponto 1, tendo sido identificadas a caulinita, a gibbsita, a goethita e a siderita (Fe C O_3). Esta última é um carbonato de Fe, do grupo da calcita, e ocorre associada a óxidos, hidróxidos e silicatos (MACHADO et al., 2017). A ocorrência da goethita indica um ambiente mal drenado, com permanência da água por mais tempo no sistema, sendo o mesmo válido para a siderita, a qual, segundo Postma (1980), pode ser formada a partir da redução de óxidos/hidróxidos de ferro e da dissolução de carbonato de cálcio (CaCO_3). Além disso, na visão de Retallack (1990), a água subterrânea inerte permite a persistência de minerais quimicamente reduzidos, tal como a siderita. Esta premissa condiz com a presença de umidade subsuperficial notada ao longo das tradagens no Transecto C.

Gráfico 7.7: Mineralogia da fração argila para a Amostra C02.



A Amostra C16 (GRÁFICO 7.8), referente a profundidade de 20 a 80 cm no ponto 5 da média vertente, é caracterizada pela presença da gibbsita, da siderita, do clinocloro ferroan ($(\text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), e da cristobalita (SiO_2). O clinocloro é um argilomineral do grupo das cloritas, sendo neste caso, associado ao Fe^{2+} , e são comuns em rochas metamórficas, além de poder ser resultado da alteração da biotita (KLEIN, DUTROW, 2012). Já a cristobalita é uma variação polimorfa de quartzo (MACHADO et al, 2017). Estas condições apresentadas indicam alto grau de intemperismo pela presença do óxido de alumínio, como sendo um dos últimos produtos mais resistentes e residuais das geocoberturas. A presença da siderita indica um ambiente mal drenado, e em conjunto com o clinocloro ferroan, confirmam a influência do ferro naquele local.

Por fim, a Amostra C27 (GRÁFICO 7.9), no ponto 9 da baixa vertente, entre 20 e 40 cm de profundidade, traz a caulinita, a goethita e a gibbsita (produtos finais do intemperismo), bem como a siderita e a biotita ($2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot (\text{K}, \text{H})_2\text{O} \cdot (\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), a qual ocorre associada a rochas metamórficas em geral (MACHADO et al., 2017).

Gráfico 7.8: Mineralogia da fração argila para a Amostra C16.

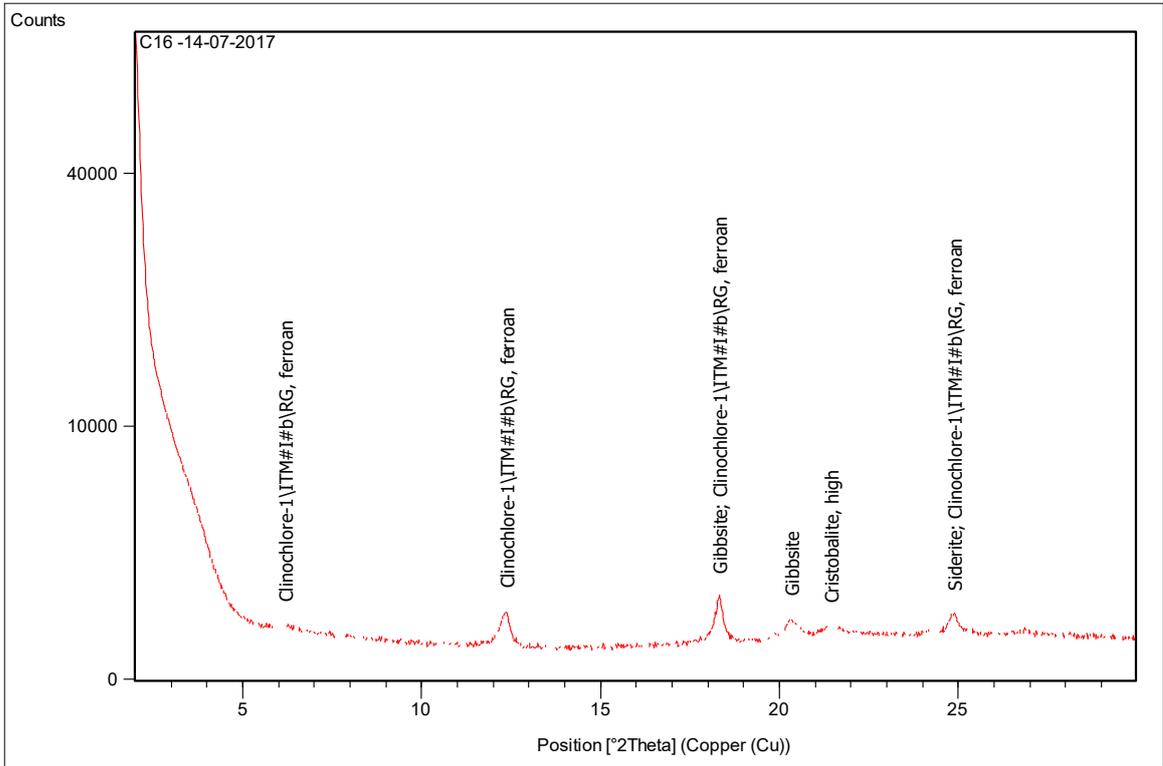
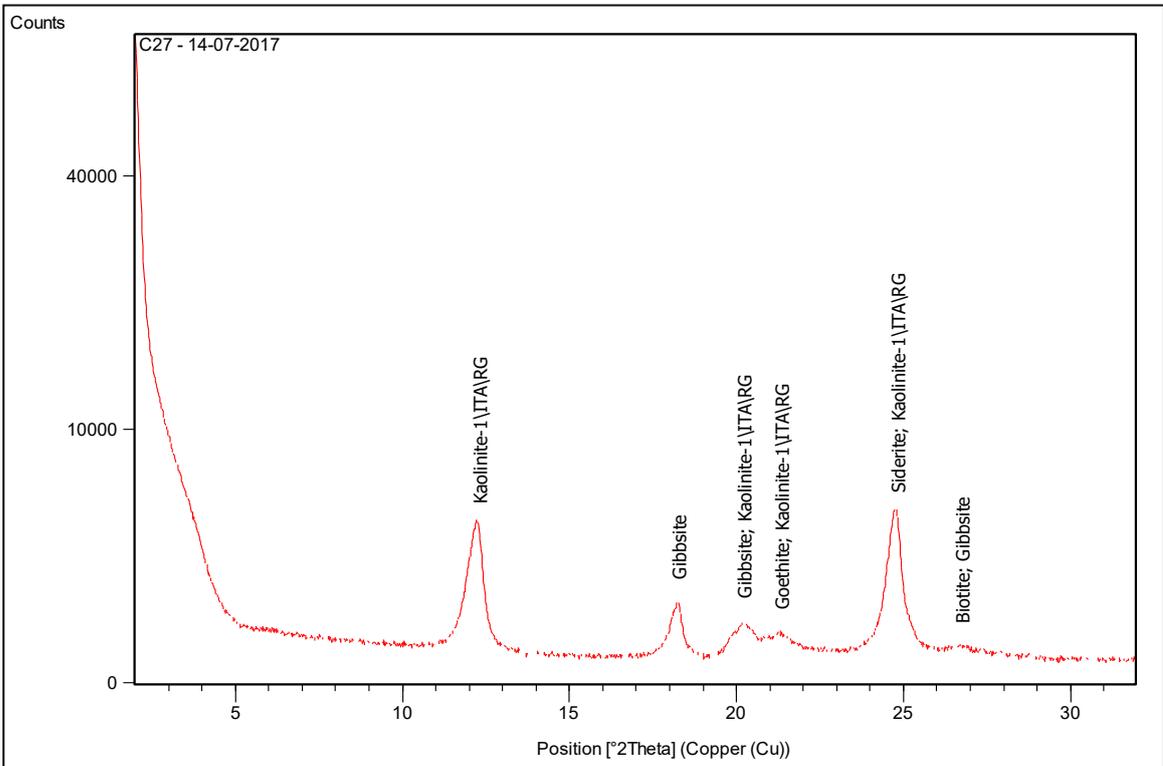


Gráfico 7.9: Mineralogia da fração argila para a Amostra C27.



Em síntese, pode-se afirmar que os constituintes da fração argila nos pontos amostrais ao longo do Transecto C indicam um elevado grau de intemperismo, devido a ocorrência de argilominerais 1:1 e óxidos / hidróxidos de alumínio e ferro. A presença de minerais hidratados, como a siderita e goethita, é resposta à drenagem insuficiente da área, e a ocorrência de argilominerais do grupo das cloritas, pode indicar uma mudança no substrato rochoso, uma vez que a vertente em questão se localiza nas proximidades das rochas da Formação Paracatu Indivisa do Grupo Canastra, no setor oeste do Chapadão do Diamante, com rochas muscovita-clorita-quartzo xistos.

Foram elaborados três painéis ilustrativos para cada transecto, em função dos pontos amostrais específicos, como forma de sumarizar as suas características principais e facilitar a leitura e entendimento (FIGURAS 7.19, 7.20, 7.21). As diferenças observadas, tanto em campo quanto a partir das análises físicas e mineralógicas realizadas, podem ser associadas ao conjunto paisagístico complexo do Chapadão do Diamante. Assim, os aspectos litoestruturais, a conformação do relevo e os diferentes tipos de geocoberturas, cuja interdependência pode ser verificada a partir da análise espacial realizada, apresentam respostas que, levando em consideração a atuação de um clima prolongado, tropical e úmido; são representativas por meio das análises de granulometria e difratometria de raios X.

Figura 7.19: Painel ilustrativo do Transecto A.

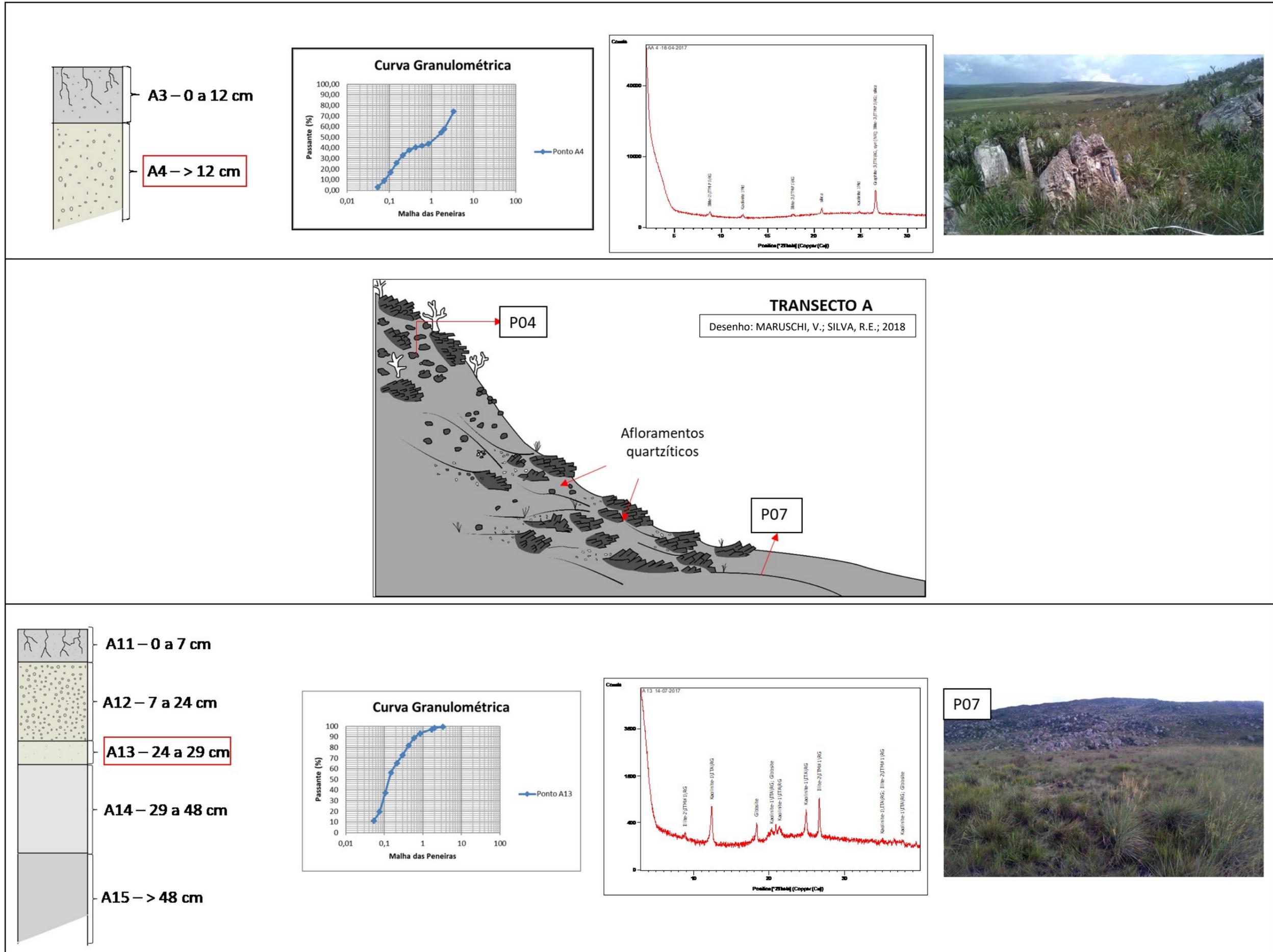


Figura 7.20: Painel ilustrativo do Transecto B.

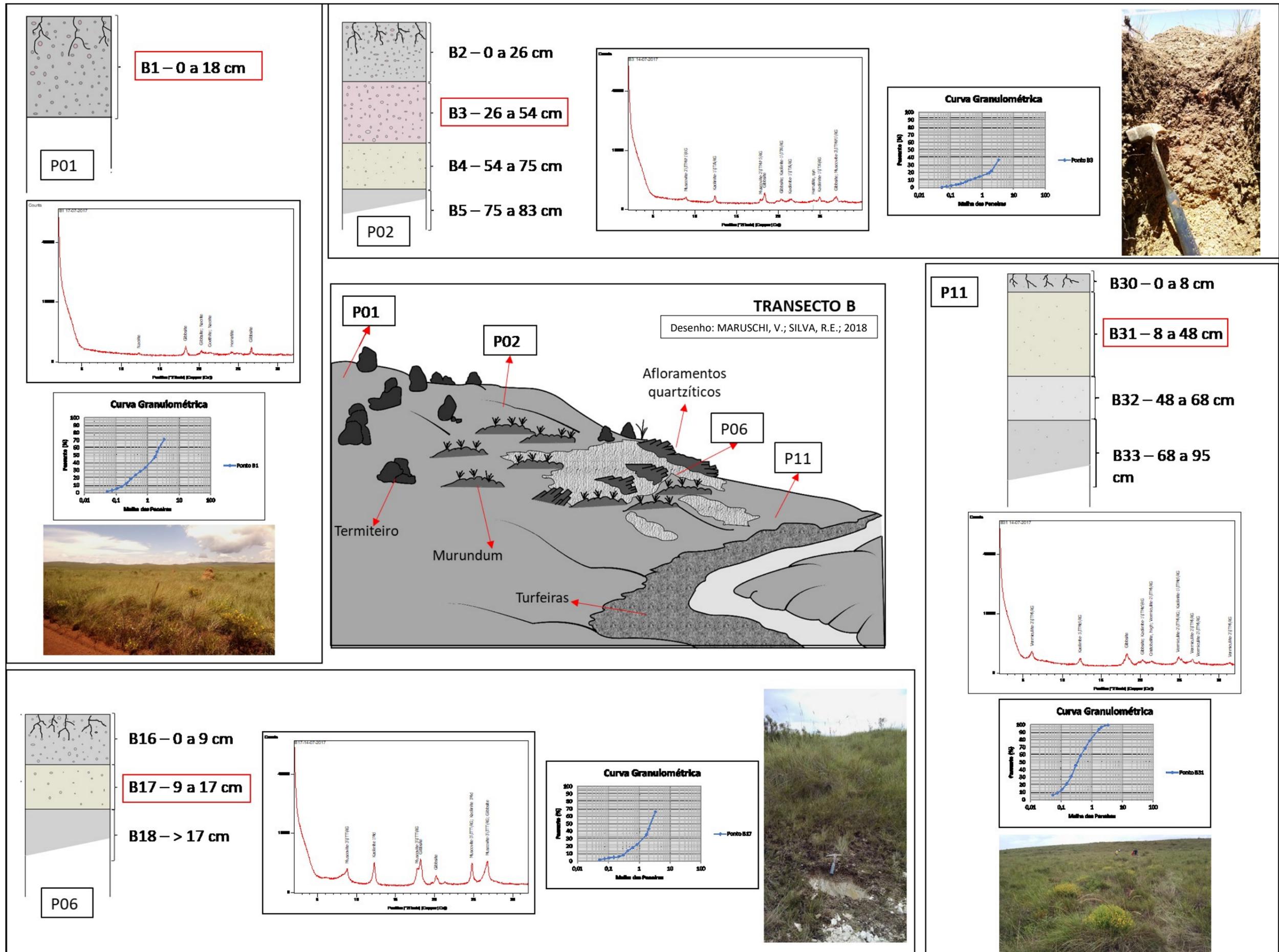
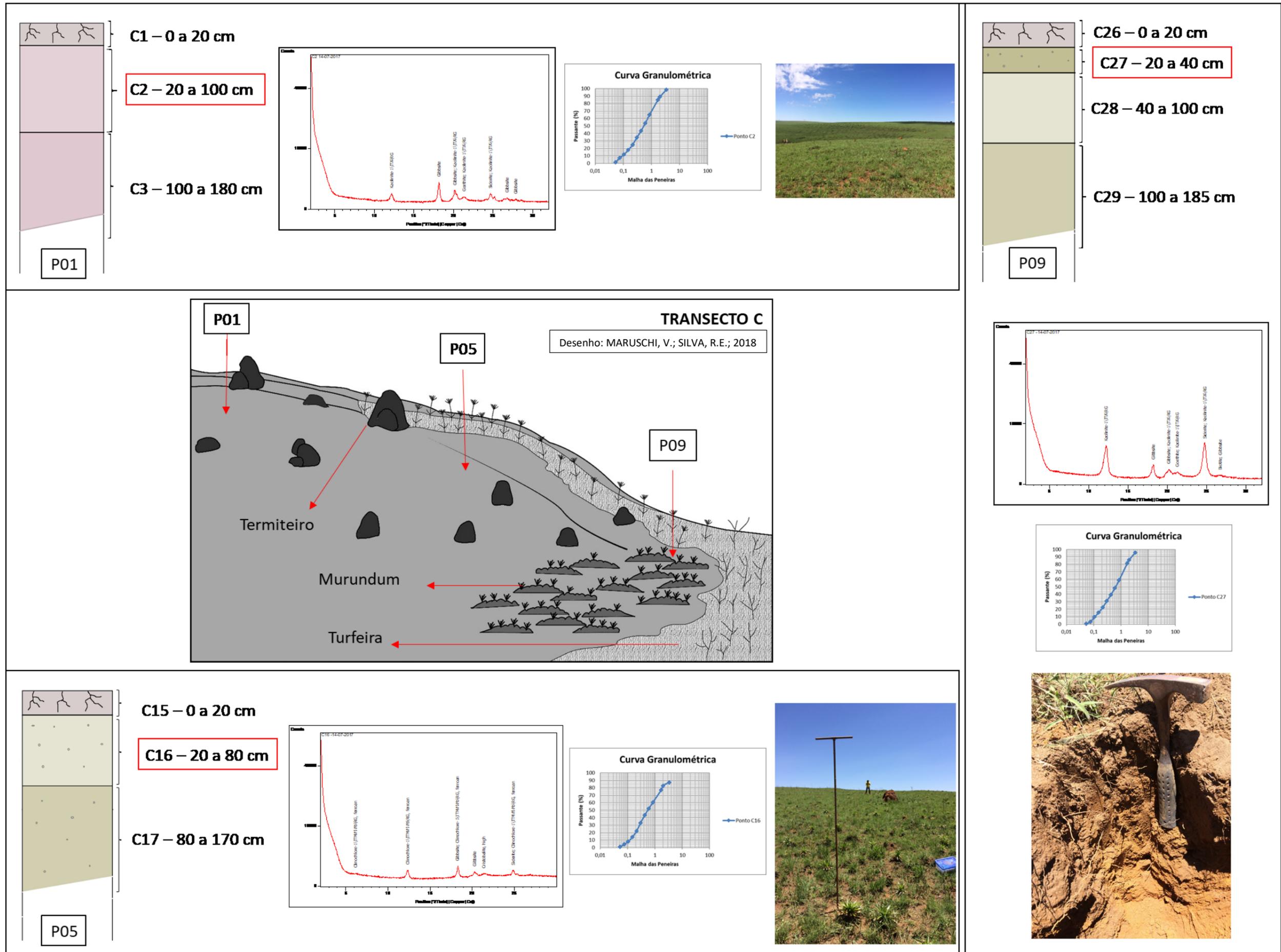


Figura 7.21: Painel ilustrativo do Transecto C.



CAPITULO VIII



8. CONSIDERAÇÕES FINAIS: uma discussão inicial sobre os aspectos físicos integrados da superfície do Chapadão do Diamante, Serra da Canastra

A tarefa de fechar esta tese com um capítulo intitulado Considerações Finais, ou em vias mais rígidas, limitar com Conclusões, cujo significado é definitivo e pontual, torna-se um tanto arriscada, se for encarada como encerramento do conhecimento alcançado. Inúmeros foram os desafios para lançar ideias e hipóteses a respeito da dinâmica geomorfológica e do meio físico do Chapadão do Diamante, e este caminho está aberto para a gama de possibilidades a ser explorada nesta vasta superfície, que de homogênea não possui quase nada. Não cabe, portanto, a esta pesquisa, rematar um ciclo de obtenção do saber, o que jamais foi a sua intenção, mas de fato, contribuir para o avanço da ciência em relação à área de estudo selecionada, tendo em vista as lacunas existentes antes do lançamento deste trabalho.

As abordagens realizadas ao longo do período de execução da tese buscaram estar em acordo com as justificativas, revisões teóricas e metodológicas levantadas, bem como estabelecer um caráter de pesquisa dinâmica sob um viés amplo de integração de diferentes métodos e técnicas, haja vista a heterogeneidade dos aspectos naturais e físicos do meio geográfico. A natureza da geomorfologia, que integra os fatores geológicos e climáticos, cuja interação propicia diferentes tipos de relevos e geocoberturas, é complexa e ativa pela abundância de processos inter-relacionados e interdependentes, que atuam de diferentes maneiras em função de suas características próprias. Neste sentido, todo estudo geomorfológico e do meio físico integrado é uma representação ou um modelo da realidade, e como tal, constitui-se uma construção teórica a partir da aplicação de um conjunto de hipóteses.

Isto posto, as relações entre os diferentes atributos do meio físico no ChD, incluindo as formas de relevo, a litologia e lineamentos estruturais, as classes de geocoberturas reconhecidas e as análises de detalhe das geocoberturas em áreas amostrais, contribuíram para o melhor entendimento da dinâmica paisagística, e conseqüentemente, fornecem caminhos a serem trilhados, para o incremento do conhecimento científico da área. Por este ângulo, a análise integrada dos aspectos físicos do Chapadão permitiu levantar algumas hipóteses a seu respeito, levando em consideração a assertiva de que a ciência está sempre em construção, e deve ser algo contínuo, na ânsia de enriquecer o conhecimento.

Para se alcançar, de fato, um panorama esclarecedor do ChD, foram designadas escolhas metodológicas fundamentadas na base geral da geomorfologia que estabelece a compartimentação da paisagem e a análise sistemática dos dados. A partir disto, considerou-se

a aplicação da investigação qualitativa e quantitativa, aliada ao processamento de dados em ambiente SIG, que há bastante tempo, tem revolucionado as pesquisas geomorfológicas e do meio ambiente físico. Por isto, acredita-se que o caminho metodológico traçado, em uma abordagem adaptada ao ChD, obteve êxito a partir dos objetivos propostos para a pesquisa. A integração de dados multifontes para o geoprocessamento, desde o MDT e os aspectos geológicos básicos até as informações aerogamaespectrométricas, bem como a utilização de imagens *Google Maps/Earth*, todos disponibilizados gratuitamente pelos órgãos responsáveis, confere a possibilidade de reprodução da metodologia apresentada. Esta, por sua vez, complementa-se de adaptações de técnicas e aplicações já consolidadas, validando o seu propósito e efeito.

Os resultados alcançados para a modelagem do relevo, com base em aspectos geomorfométricos com aplicação de algoritmos semi-automatizados, alcançou um nível de mapeamento do relevo inédito para o Chapadão do Diamante, assim como permitiu a análise espacial da distribuição dos parâmetros da superfície terrestre e sua relação com os tipos de geocoberturas associadas. Do ponto de vista da hipótese inicialmente lançada, acredita que a mesma pode ser aceita, uma vez que se constata, a partir das análises espaciais realizadas em função dos aspectos do meio físico, que existe uma profunda inter-relação entre eles na superfície do ChD.

Portanto, foi possível estabelecer que os tipos de formas existentes são resultado, de um lado, da conformação litoestrutural, distribuída entre: a) quartzitos puros que estruturam cristas alongadas com declives mais acentuados, destacando-se positivamente na paisagem ao longo dos eixos nas bordas N e S da área, caracterizando geocoberturas cascalho-arenosas, com algumas ocorrências de caos de blocos e, geralmente, de espessuras incipientes; b) quartzitos micáceos intercalados a filitos, que sustentam, em um eixo estrutural central, relevos aplainados e dissecados em diferentes graus, formando colinas suaves a onduladas, que sustentam geocoberturas cascalho-areno-ferruginosas, areno-argilo-ferruginosas ou cascalho arenosas indiferenciadas. Por outro lado, os mesmos relevos aplainados podem ser suportados e preservados pela presença de camadas concrecionárias ferruginosas, como sendo resultantes da longa exposição aos processos intempéricos decorrentes do clima tropical, com suas oscilações sazonais, que interferem pelo balanço hídrico, a nível da variação do lençol freático, entre outros aspectos.

Outra questão bastante interessante, parece ser a ocorrência dos campos de murunduns e termiteiros ativos, que se distribuem nas áreas de maior permanência de umidade nas camadas

de geocoberturas. Suas ocorrências, em geral, configuram as adjacências dos topos aplainados, que ao serem sustentados por concreções ferruginosas, as quais também estão presentes ao longo das vertentes, podem formar um acamamento pouco permeável, mantendo a água subsuperficial por mais tempo.

Ademais, as observações e análises físicas e mineralógicas de materiais de áreas amostrais, complementaram a ideia de que o ChD remete ao manejo do equilíbrio entre a resistência do material parental quartzítico e a intensidade do intemperismo. Assim, os argilominerais e óxidos identificados, como a caulinita e a gibbsita, por exemplo, que denotam áreas que estiveram sob atuação de forte meteorização, indicam uma atuação intempérica avançada sobre as rochas do ChD. Isto mostra que o ambiente está há bastante tempo em estabilidade, uma vez, que em materiais incipientes, formados por processos de transporte por gravidade (materiais coluviais), a atividade pedogenética está presente. Vide o caso da vertente analisada sobre cristas quartzíticas, onde os materiais depositados em locais propícios fornecem tais indícios.

O mesmo é válido para as áreas com materiais ferruginosos residuais, onde foi encontrada a presença de muscovita com ferro em sua composição química, sendo esta mica, uma das componentes das rochas micáceas e filitos ali presentes. Estima-se que a longa exposição aos fatores intempéricos levou à completa degradação dessa muscovita nas áreas onde prevalecem as geocoberturas de materiais ferruginosos. Tal hipótese se ajusta à teoria de que os materiais profundos, avermelhados e ferruginosos do Brasil de clima tropical sazonal, são oriundos de formação *in situ* (autóctone).

Em suma, apesar das limitações e algumas dificuldades enfrentadas durante a pesquisa, depreende-se que os objetivos da tese foram alcançados, trazendo à tona aspectos importantes do Chapadão do Diamante e abrindo caminhos para futuras pesquisas. Assim, aspira-se que o fruto deste trabalho complemente as bases cartográficas, tendo em vista todos os mapas elaborados, e inspire investigações futuras sobre os diferentes aspectos geomorfológicos, geoquímicos e de evolução dos materiais superficiais. Igualmente importante, cabe ressaltar que o ChD oferece um conjunto de paisagens distintas que revelam diferentes processos geomorfológicos, litoestruturais, biogeográficos e hidrológicos, os quais devem subsidiar o incremento da valorização e reconhecimento da geodiversidade na área, principalmente, por pertencer à uma unidade de proteção integral, o PARNA Canastra.

REFERÊNCIAS

AB' SABER, A.N. Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo: IGEOG-USP, n.18, p. 1-23, 1969.

ABNT. **NBR-7181** – Solo: Análise Granulométrica. 1984.

ABREU, A.A. (1983). A Teoria Geomorfológica e sua Edificação: Análise Crítica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 51-67, 2003.
<https://doi.org/10.5935/0100-929X.19830001>

AMORIM, M.A.F.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; MESSIAS, R.M. Dinâmica De Vertente: Evidências A Partir Da Caracterização Das Coberturas Superficiais - Gouveia - Serra Do Espinhaço Meridional – MG. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, p.65-71, 2014.

ANDRADE, F.R.D.; MCREATH, I.; MADUREIRA FILHO, J.B.; ATENCIO, D. A Terra sólida: minerais e rochas. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R., TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. (Org.) **Decifrando a Terra**. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009, p. 130-151.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M.; ROCHA, L.C. Mapeamento geomorfológico da Serra do Espinhaço Meridional: primeira aproximação. **Geonomos**, v. 19, n. 2, p. 50-69, 2011.

_____; LOPES, M.R.S.; SILVA, S.M. Lateritas: um conceito ainda em construção. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.3, p. 241-257, 2013.

AVELAR, A.S.; COELHO NETTO, A.L.; UAGODA, R.; FERRO, C.S.R. Geologia, Dissolução de Rochas Quartzíticas e Formas Cársticas na Bacia do Ribeirão Santana (MG/RJ). In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia/GO, 2006, p. 1-2.

BARDUINO, C.N.; OLIVEIRA, F.S.; CLEMENTE, E.P. RIBEIRO, E.V. TRINDADE, W.M.; SOUZA, F.C.R. Topossequência de solos derivados de mica-xisto-quartzito do Grupo Itacolomi, Quadrilátero Ferrífero, MG. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis/SC, 28 de julho a 02 de agosto de 2013, p. 1-4.

BECKINSALE, R.P; CHORLEY, R.J. **The history of the study of landforms or the development of geomorphology**. v. 3. London: Geological Society of London, 1991.
<https://doi.org/10.4324/9780203411971>

BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, n. 16 e 17, p. 85-116, 1965.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003. (volume 3)

BISHOP, T.F.A. MINASNY, B. Digital soil-terrain modeling: the predictive potential and uncertainty. In: GRUNWALD, S. (Ed). **Environmental Soil-Landscape Modeling**, CRCPress. Boca Raton, Fla, USA, 2006. p.185–213. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00074-X)

BISHOP, T.F.A.; MCBRATNEY, A.B. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. **Geoderma**, n. 103, p. 149–160, 2001.

BLOMM, A.L. (1972). **Superfície da Terra**. Trad. sob a direção de Setembrino Petri e Reinholt Ellert. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1996.

BLUME, H.P.; BRÜMMER, G.W.; FLEIGE, H.; HORN, R.; KANDELER, E.; KÖGEL-KNABNER, I.; KRETZSCHMAR, R.; STAHR, K; WILKE, B.M. **Scheffer/Schachtschabel Soil Science**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30942-7>

BRADY, N.C. **Natureza e Propriedades dos Solos**. 6ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.; FUCKS, S.D.; CARVALHO, M.S. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (Eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004. Capítulo 1.

CAMÊLO, D.L. **Duricrusts ferruginosos da Serra do Espinhaço Meridional (MG) e suas relações com a evolução da paisagem**. 94 f. 2017. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2017.

CAMIZ, S.E.; POSCOLIERI, M. Geomorpho: a methodology for the classification of terrain units. In: JASIEWICZ, J.; ZWOLIŃSKI, Z. B.; MITASOVA, H.; HENGL T. (Eds), **Geomorphometry for Geosciences**. Adam Mickiewicz University in Poznań - Institute of Geoecology and Geoinformation, International Society for Geomorphometry, Poznań, 2015. 278 p.

CAMPY, M.; MACAIRE, J.J. **Géologie des formations superficielles: géodynamique – faciès - utilisation**. Paris; Milan, 1989. 433 p.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988.

CARNEIRO, C.D.R.; SOUZA, J. J. Mapeamento geomorfológico em escala de semidetalhe da região de Jundiá-Atibaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 17-30, 2003. <https://doi.org/10.20502/rbg.v4i2.21>

CARNEIRO, C.D.R. As esferas terrestres se reciclam: o ciclo das rochas. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA; F.F.M., BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012. p. 16-23.

CARVALHO, A.; ROTTA, C.L. Estudos das formações superficiais do município de Atibaia-SP. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 49, p. 5-22, junho de 1974.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: out. 2015.

CHAMPAGNAC, L. **Dynamique des formations superficielles et analyse morphologique du Val de Ruz**. 2005. 149 f. (Mémoire de fin d'études) – Université de Neuchâtel, Institut de Géographie et de Géologie, Janvier, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. As teorias geomorfológicas. **Notícias geomorfológicas**, Campinas, v.13, n. 25, p.3-14, 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COBLENTZ, D.; PABIAN, F.; PRASAD, L. Quantitative Geomorphometrics for Terrain Characterization. **International Journal of Geosciences**, v. 5, p. 247-266, 2014. <https://doi.org/10.4236/ijg.2014.53026>

CORRÊA, A.C.B.; FONSÊCA, D.N. Lineamentos de Drenagem e de Relevo como Subsídio para a Caracterização Morfoestrutural e Reativações Neotectônicas da Área da Bacia do Rio Preto, Serra do Espinhaço Meridional – MG. **Revista de Geografia**, Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 1, p. 72-86, Set. 2010.

CORTES, J.P.S. **Compartimentação e Evolução Geomorfológica da Borda Ocidental da Serra da Canastra – MG**. 2015. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2015.

COTTON, C.A. **Geomorphology: an introduction to the study of landforms**. 6. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1952.

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

DEMEK, J. **Generalization of Geomorphological Maps**. In: Progress Made in Geomorphological Mapping, vol. 9, Brno, 1967, p. 36-72.

DEWOLF, Y. **Intérêt et principes d'une cartographie des formations superficielles**. Association des publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Caen, 1965.

DEWOLF, Y.; BOURRIÉ, G. (Eds., 2008) Les formations superficielles, genèse, typologie, classification, paysages et environnements, ressources et risques. Resenha de: MORHANGE, C. Les formations superficielles, genèse, typologie, classification, paysages et environnements, ressources et risques. **Méditerranée** [En ligne], 112, 2009.

DINIZ, A.D.; OLIVEIRA, C.V.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Relação Entre Relevo, Classes De Solos e Erosão No Espinhaço Meridional. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA E I ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM - RS, 02 a 07 de Agosto de 2004.

DINIZ, A.D.; OLIVEIRA, C.V.; AUGUSTIN, C.H.R.R. Relações Solos - Superfícies Geomórficas Na Porção Norte Da Bacia Do Ribeirão Chiqueiro - Gouveia, MG. **Geonomos**, v. 13, n. 1, 2, p. 19-27, 2005.

DOBOS, E. HENGL, T. Soil Mapping Applications. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Org.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Developments in Soil Science, vol. 33. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 461-479. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00020-2)

DOS ANJOS, D. S.; MENEGUETTE JUNIOR, M.; NUNES, J. O. R. Classificação da curvatura de vertentes em perfil via Modelo Numérico de Terreno. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 30 de abril a 05 de maio de 2011, p. 2286 -2293.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997.

_____. - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil**. Comunicado Técnico 66. Rio de Janeiro, RJ, Dezembro, 2012.

ESPINDOLA, C.R.A Pedologia e a Evolução Das Paisagens. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, n 1/2, p. 67-92, 2010. <https://doi.org/10.5935/0100-929X.20100005>

ESRI. **How Curvature Works**. 2011. Acesso em jan. 2016. Disponível em <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Curvature%20works>>.

EVANS, I.S. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. **Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Supplementband**, v. 36, p. 274–295, 1980.

EVANS, I.S. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R.J. (Ed.) **Spatial Analysis in Geomorphology**, Methuen, London, 1972. p. 17–90.

EVANS, I.S. Geomorphometry and landform mapping: What is a landform? **Geomorphology**, 137, p. 94–106, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.09.029>

EVANS, I.S.; HENGL, T.; GORSEVSKI, P. Applications in geomorphology. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Org.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Developments in Soil Science, vol. 33. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 497-525. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00022-6)

EVANS, I.S.; MINÁR, J. A classification of geomorphometric variables. In: HENGL, T., EVANS, I.S., WILSON, J.P. (Eds) **Proceedings of Geomorphometry**, 2011, Redlands, CA, 7–11 September 2011, p. 105–108.

FERREIRA, A. **Mapeamento das formações superficiais da bacia do córrego do rio Grande – Depressão de Gouveia (Serra do Espinhaço Meridional / MG)**. 2002. 138f. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORINSKY, I.V. **Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology**, Academic Press, Boston, 2012.

GABOARDI, C. **Generalização E Análise Multirresolução De Modelos Digitais Do Terreno Com Base Em Transformada Wavelet**. 2009. 158 F. Tese (Doutorado Em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, 2009.

GAMA, A.; DIMUCCIO, L. A. Geomorfologia: a construção de uma identidade. In: LOURENÇO, L.F, MATEUS, M. A. **Riscos Naturais, antrópicos e mistos**. Edição: Departamento de Geografia, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra, 2013. p. 779-795.

GERRARD, J. Soil geomorphology: present dilemmas and future challenges. **Geomorphology**, v. 7, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., p. 61-84, 1993.

GRECU, F. Geomorphological Map of the Prahova Subcarpathians (Romania). **Journal of Maps**, p. 108-116, 2009.

GRIFFITHS, J. S.; SMITH, M. J.; PARON, P. Introduction to applied geomorphological Mapping. In: SMITH, M. J.; PARON, P. GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological Mapping: methods and applications**. Elsevier, 2011. p. 3-12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53446-0.00001-X>

GRUNWALD, S. Current State of Digital Soil Mapping and What is Next. In: BOETTINGER, J.L.; HOWELL, D.W.; MOORE, A.C. HARTEMINK, A.E.; KIENAST-BROWN, S. (Eds). **Digital Soil Mapping**, Progress in Soil Science 2. Springer, 2010. p. 3-12. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8863-5_1

GUERRA, S.; PAISANI, J.C. Abrangência Espacial E Temporal Da Morfogênese E Pedogênese No Planalto De Palmas (Pr) E Água Doce (Sc): Subsídio Ao Estudo Da Evolução Da Paisagem Quaternária. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 32, n.3, p.501-515, 2013.

GUSTAVSSON, M. **Development of a Detailed Geomorphological Mapping System and GIS Geodatabase in Sweden**. 61f. 2005. Licentiate Thesis. Sweden, 2005.

_____. Development of a Detailed Geomorphological Mapping System and GIS Geodatabase in Sweden. **Acta Universitatis Upsaliensis**. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 236. Uppsala. 36 p, 2006.

HASUI, Y. Sistema Orogênico Tocantins. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA; F. F. M., BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012. p. 289-330.

HENGL, T. **A Practical Guide to Geostatistical Mapping**. Amsterdam (NL), 2009.

_____; EVANS, I. S. Mathematical and digital models of the land surface. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Org.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Developments in Soil Science, vol. 33. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 31-63. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00002-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00002-0)

_____; REUTER, H. I. (Org.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Developments in Soil Science, vol. 33. Amsterdam: Elsevier, 2009.

_____; MACMILLAN, R. A. Geomorphometry – a key to landscape mapping and modelling. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Org.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Developments in Soil Science, vol. 33. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 433-460. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00019-6)

HERRERA, I.L.I.E. 2016. **Utilização de Dados Altimétricos, Geomorfológicos e Gamaespectrométricos para a Identificação de Crostas Lateríticas em uma Área da Porção Norte do Estado de Rondônia**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). - Programa de Pós-Graduação em Geografia PPGG- da Universidade Federal de Rondônia – UNIR. 2016.

HERRMANN, L.; SCHULER, U.; RANGUBPIT, W.; ERBE, P.; SURINKUM, A.; ZAREI, M.; STAHR; K. The potential of gamma-ray spectrometry for soil mapping. In: XIX WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING WORLD, 2010, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane, Australia. 1 – 6 August 2010. p. 117-120.

HIRUMA, S. T.; ROCCOMINI, C. Análise morfométrica em neotectônica: o exemplo do Planalto de Campos do Jordão, SP. **Revista do Instituto Geológico, IG São Paulo**, v. 20, n. 1/2, p. 5-19, jan/dez 2009.

HUGGET, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. 2 ed. Taylor & Francis e-Library, 2007.

IWAHASHI, J., PIKE, R.J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology**, v. 86, n. 3–4, p. 409–440, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.012>

JACOBSON, A.; DHANOTA, J.; GODFREY, J.; JACOBSON, H.; ROSSMAN, Z.; STANISH, A.; WALKER, H.; RIGGIO, J. A novel approach to mapping land conversion using Google Earth with an application to East Africa. **Environmental Modelling & Software**, v. 72, p. 1-9, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.06.011>

JEDLIČKA, K. Accuracy of Surface Models Acquired From Different Sources — Important Information For Geomorphological Research. **Geomorphologia Slovaca et Bohemica**, v. 9, n.1, p. 17-28, 2009.

KLEIN, C. DUTROW, B. **Manual de ciência dos minerais**. Tradução e revisão técnica: Rualdo Menegat. 23 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

KOTHARI, C.R. **Research Methodology: methods and techniques**. 2 ed. New Delhi: New Age International (P) Ltd., Publishers, 1990.

LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B. Spatial Soil Information Systems and Spatial Soil Inference Systems: Perspectives for Digital Soil Mapping. In: LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B.; VOLTZ, M. (Ed.). **Developments in Soil Science**, volume 31, Elsevier B.V., 2007. p. 3-22.

LEBRET, P.; CAMPY, M.; COUTARD, J.P.; FOURNIGUET, J.; ISAMBERT, M.; LAUTRIDOU, J.P.; LAVILLE, P.; MACAIRE, J.J.; MÉNILLET, F.; MEYER, R. Cartographie des formations superficcielles. Reactualisation des principes de representation à 1/50.000. **Geologie de la France**, n. 4, p. 39-54, 1993.

LEMOES, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

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

LOPES, F.C.A.; SANTOS, I. **Uma Nova Metodologia Para Elaboração De Modelos Digitais Hidrologicamente Consistentes**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, Viçosa, 2009. p. 1-14.

LUCAS, Y.; CHAWEL, A. Soil Formation in Tropically Weathered Terrains. In: BUTT, C.R.M.; ZEEGERS, H. (Ed). **Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains**. Amsterdam: Elsevier. 1992, p. 57-77. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89095-5.50011-0>

MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A; ANDRE, A.C.;GODOY, A.M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F. **Enciclopédia Multimídia de Minerais**. [on-line]. ISBN: 85-89082-11-3 Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/museudpm>>. Acesso em novembro de 2017.

MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Developments in Soil Science, vol. 33, Hungary: ELSEVIER, 2009, p. 227-254. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00009-3)

MAGALHÃES, C. S. **A Aplicação de Parâmetros Morfométricos no Estudo do Relevo das Bacias do Rio Santo Antônio e Ribeirão Grande, Sudoeste De Minas Gerais**. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. 2015.

MARQUES NETO, R. Evolução de caverna em quartzito e processos cársticos em São Thomé das Letras-MG: contribuição ao estudo de sistemas cársticos em rochas silicáticas. **Geosul**, Florianópolis, v. 23, n. 45, p 105-121, jan./jun. 2008. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2008v23n45p105>

MARQUES, J. M. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013, p.23-45.

MARTINS, T. I. S. **Mapeamento geomorfológico da folha Piumhi, Minas Gerais**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. 2013.

MARTINS, T. I. S.; RODRIGUES, S. C. Compartimentação Geomorfológica da Folha Piumhi, Região do Alto São Francisco, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia** (Online), São Paulo, v.17, n.1, p.145-162, Jan-Mar 2015.

MCBRATNEY, A.B.; MENDONÇA SANTOS, M.L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, Amsterdam, v. 117, n. 1/2, p. 3-52, Nov. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)

MESSIAS-MARTINS, R.; AMORIM, M. A. F.; AUGUSTIN; C. H. R. R.; AZEVEDO, P. A. A. Relação entre forma da vertente, cobertura superficial e sítios geomorfológicos na bacia do Ribeirão do Chiqueiro, Depressão de Gouveia, Serra do Espinhaço Meridional – MG. **Geonomos**, v. 21, n. 2, p. 38-45, 2013. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v21i2.270>

MMA/IBAMA. **Plano de Manejo da Serra da Canastra**. 2005. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades_coservacao/PM_PNSC_Resumo_Executivo.PDF>. Acesso em: 20 mai. 2012.

MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A.; PETERSON, G.A. Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 57, p. 443-452, 1993. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700020026x>

NEVES, W.V.; MENEZES; E.P.; OLIVEIRA; F.S.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; ARANHA, P.R.A. Estudo das coberturas superficiais na interface Cerrado-Vereda no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 351-367, Jul-Set 2015.

OLAYA, V. Basic Land-surface Parameters. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Developments ion Soil Science, vol. 33, Hungary: ELSEVIER, 2009, p. 141-171. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00006-8)

OLIVEIRA, C.K.R.; SALGADO, A.A.R., Geomorfologia Brasileira: Panorama Geral da Produção Nacional de Alto Impacto no Quinquênio Entre 2006-2010. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.1, p.117-123, Jan-Mar 2013.

OLIVEIRA, D. B.; MORENO, R. S.; MIRANDA, D. J.; RIBEIRO, C. S.; SEOANE, J. C. S.; MELO, C. L. Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM , em uma área ao norte do rio Doce, ES. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 25-30 abril 2009. p. 4157-4163.

PAVLOPOULOS, K.; EVELPIDOU, N.; VASSILOPOULOS, A. **Mapping geomorphological Environments**. Berlin: Springer, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01950-0>

PENTEADO, M.M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

PFALTZGRAFF, P.A.S.; FERREIRA; R.V. Cartografia Das Formações Superficiais Na Região Metropolitana Do Recife. In: X CONGRESSO DA ABEQUA, 2005, Guarapari. **Anais...** Guarapari, ES. 2005. p. 1-5.

PIKE, R. J.; EVANS, I. S.; HENGL, T. Geomorphometry: a brief guide. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Org.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Developments in Soil Science, vol. 33. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 3-30. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00001-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00001-9)

PIMENTEL, M. M.; JOST ; H.; FUCK; R. A. O Embasamento Da Faixa Brasília E O Arco Magmático De Goiás. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C.; NEVES, B. B. (Org.) **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. Cap. XXI, p. 354-369.

PONÇANO, W. L.; BISTRICHI, C. A.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, M. A.; PIRES NETO, A. C.; ALMEIDA, F. F. M. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo. In: II SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1979, Rio Claro. **Atas...** [S.l.]: SBG-Núcleo de São Paulo, 1979. v. 2, p. 253-262.

PORTO, C.G. Intemperismo em regiões tropicais. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org.) **Geomorfologia e meio ambiente**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000, p. 25-58.

POSTMA, D. Formation of siderite and vivianite and the pore-water composition of a Recent bog sediment in Denmark. **Chemical Geology**, v. 31, p. 225-244, 1980. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(80\)90088-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(80)90088-1)

QUEIROZ NETO, J. P. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 22, n. 1/2, p. 65-78, 2001.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F.; KER, J.C. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 6ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2014.

RETALLACK, G.J. **Soils of the past: An introduction to paleopedology**. London: Unwin Hyman. 1990. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-7902-7>

RIBEIRO, V.B.; MANTOVANI, M.S.M.; LOURO, V.H.A. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. **Terræ Didática**, v. 10, p. 29-51, 2013.

RODRIGUES, S. C. **Análise Empírico-Experimental da Fragilidade Relevo-Solo no Cristalino do Planalto Paulistano: sub bacia do reservatório Billings**. 1998. 265 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento**: sistema de informação geográfica. Uberlândia: EDUFU, 1996.

ROSS, J.L.S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos. 2006.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. 8 ed. São Paulo: Contexto, 2007.

_____. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n.6, São Paulo: Edusp, p. 17-30, 1992.

SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**. 1991. 285 f. Tese (Professor Titular) – Departamento de Geografia, IGC, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1991.

SALGADO, A. A. R.; BIAZINI, J.; HENNIG, S. Geomorfologia Brasileira: Panorama Geral Da Produção Nacional No Início Do Século XXI (2001-2005). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, p.85-91, 2008. <https://doi.org/10.20502/rbg.v9i1.104>

SALOME, A.L., VAN DORSSER, H.J. Examples of 1:50000 scale geomorphological map of part of the Ardennes. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Berlin, v.26, n.4, p.481-489, dez. 1982.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de Concentração da Rugosidade: uma Nova Proposta Metodológica Para o Mapeamento e Quantificação da Dissecação do Relevo como Subsídio a Cartografia Geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.15, n.1, (Jan-Mar) p.47-60, 2014. <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i1.376>

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, L. S. R. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.7, n.2, p. 3-12, 2006.

SCHMIDT, J., HEWITT, A., Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. **Geoderma**, 121 (3–4), p. 243–256, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.10.008>

SCOTT, K.; PAIN, C. (Eds) **Regolith Science**. Collingwood Vic., Austrália: Springer, 2009.

SCULL, P.; FRANKLIN, J. CHADWICK, O.A.; MCARTHUR, D. Digital Soil-Terrain Modelling: The Predictive. **Progress in Physical Geography**, v. 27, n. 2, p. 171–197, 2003. <https://doi.org/10.1191/0309133303pp366ra>

SILVA, C. H.; SIMÕES, L. S. A.; DAMÁZIO, W. L.; FERREIRA, S. N.; LUVIZOTTO, G. L. O Grupo Canastra em sua área-tipo, região de Tapira, sudoeste do estado de Minas Gerais. **Revista do Instituto de Geociências - USP Geol. USP, Sér. cient.**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 8-9, Agosto 2012.

SILVA, T.I.; RODRIGUES, S. C. Elaboração de um Tutorial de Cartografia Geomorfológica como Alternativa para o Ensino de Geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 3, p. 85-94, 2009.

_____; RODRIGUES, S.C. A utilização de SIGs e técnicas de Geoprocessamento a partir de imagens da SRTM para a Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Médio-Baixo Curso do Rio Araguari/MG. **Caderno de Geografia** (PUCMG. Impresso), v. 20, p. 58-73, 2010.

_____; RODRIGUES, S.C. Tutorial de Cartografia Geomorfológica. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.3, p.1 - 65, 2009.

SIMÕES, L.S.A. **Evolução tectono-metamórfica da Nappe de Passos, sudoeste de Minas Gerais**. 1995. 149 f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 1995.

_____; MARTINS, J.E.S.; VALERIANO, C.M.; GODOY, A. M.; ARTUR, A. C. **Folha Vargem Bonita, SF.23-V-B-I**. Projeto Fronteiras de Minas Gerais. Programa Mapeamento Geológico do Estado de Minas Gerais. Contrato CODEMIG 3473, FUNDEP 19967. UFMG: 2015.

SIMÕES, P.M.L.; VALADÃO, R.C.; MESSIAS, R.M.; MACHADO, M.R. Distribuição Espacial De Formações Superficiais Em Um Trecho Da Borda Oeste Do Planalto Do Espinhaço Meridional / MG. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, p.72-76, 2014.

_____; VALADÃO, R.C.; OLIVEIRA, C.V.; OLIVEIRA, F.S.; SANTOS, P. Distribuição Espacial De Formações Superficiais Geneticamente Associadas A Rochas Siliciclásticas – Planalto Do Espinhaço Meridional (MG) – Brasil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 161-170, jan/abr/2016.

SMITH, M. J. Digital Mapping: visualization, interpretation and quantification of landforms. In: SMITH, M. J.; PARON, P. GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological Mapping: methods and applications**. Elsevier, 2011. p. 225 – 252. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53446-0.00008-2>

SMITH, M. J.; PARON, P. GRIFFITHS, J. S. **Geomorphological Mapping: methods and applications**. Elsevier, 2011.

SOLLER, D.R., REHEIS, M.C., GARRITY, C.P., VAN SISTINE, D.R. **Map database for surficial materials in the conterminous United States**: U.S. Geological Survey Data Series 425, 2009.

SOUZA, D. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos Morfoestruturais e Morfoesculturais da Serra da Canastra e Entorno (MG). **Revista do Departamento de Geografia –USP**, v. 27, p. 47-66, 2014.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

SUGUIO, K. **Rochas sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica**. São Paulo: Edgar Blucher, 1980.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B.; MELFI, A.J. Da rocha ao solo: intemperismo e pedogênese. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R., TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. (Org.) **Decifrando a Terra**. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009, p. 210-239.

TOMAZZOLI, E. R. A evolução geológica do Brasil-Central. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, Ano 2, n. 3, p. 11-26, Junho 1990.

TRESCASES, J.J. La Cartographie Géologique Des Formations Superficielles En Nouvelle-Calédonie. In: 9^o CONGRÈS INTERNATIONAL DE L'INQUA, 1973, Christchurch. **Actes...** Christchurch, Nouvelle-Zélande, Décembre 1973. p. 229-230.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TRICART; J. **Principes et méthodes de geomorphologie**. Paris: Masson Ed. 1965.

UAGODA, R.; COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S. Morfologia de depressões fechadas em relevo cárstico-quartzítico da bacia do Ribeirão Santana/MG: primeiras datações

absolutas. IN: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, MG, 2008. p. 1-10.

UDESC. Universidade do Estado de Santa Catarina. **Roteiro** – Granulometria. Centro de Ciências Tecnológicas – CCT, Laboratório de Mecânica dos Solos. Disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmes/arquivos/>>. Acesso em março de 2016.

UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENE, M. A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – setores sententrional e meridional. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 1-14, 2012.

VALERIANO, C.M.; DARDENNE, M, A.; FONSECA, M. A.; SIMÕES, L. S.; SEER, H. J. A Evolução Tectônica da Faixa Brasília. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C.; NEVES, B. B. (Org.) **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. Cap. XXXII, p. 575-593. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000300022>

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VITTE, A. C. Breves considerações sobre a história da geomorfologia geográfica no Brasil. **Geo UERJ** - Ano 12, v.1, n. 21, p. 1-19, 1º semestre de 2010.

VITTE, A. C. Da Ciência da Morfologia à Geomorfologia Geográfica: uma contribuição à história do pensamento geográfico. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 07, n. 13, p. 113-120, 2008.

VOZENÍLEK, V. Integration Gis and GPS within Geomorphological Mapping. In: 21st INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE (ICC), 2003, Durban. **Proceedings...** Durban, South Africa, 10-16 August 2003. p. 1956-1967.

WANDERLEY, M. F. B. **Estudos em Estimção de Densidade por Kernel: Métodos de Seleção de Características e Estimção do Parâmetro Suavizador**. 2013. 96 f Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belo Horizonte, BR–MG, 2013.

WEISS, A. D. **Topographic Positions and Landforms Analysis**. Conference Poster. In: ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE, San Diego, CA, p. 9-13. 2001.

ANEXOS

ANEXO 1: Tabela granulométrica do Transecto A – Peneiramento

Ponto	Prof. (cm)	CÓDIGO	MALHAS DAS PENEIRAS (mm)												
			S/A	0,053	0,075	0,106	0,15	0,212	0,3	0,425	0,6	0,85	1,7	2,00	3,35
P01	0-5	A1	9,77	11,57	17,54	23,75	17,85	16,02	6,01	3,29	3,28	6,80	2,23	8,40	72,75
P02	0-2	A2	3,91	3,92	5,27	7,00	6,20	5,03	2,00	1,17	1,16	2,90	1,43	5,11	58,80
P04	0-12	A3	9,73	13,85	27,23	43,07	22,85	21,48	10,63	6,50	5,95	10,72	2,34	4,65	20,15
	12 +	A4	2,70	5,10	7,03	8,10	6,59	4,07	2,54	1,43	1,53	9,26	3,26	14,49	23,05
P05	0-9	A5	5,85	7,22	13,57	17,18	11,27	10,13	4,87	3,23	3,19	7,44	1,91	7,17	36,00
	9-33	A6	8,87	6,64	9,10	11,70	6,68	7,37	8,00	4,74	4,28	23,86	9,43	56,66	177,24
	33-53+	A7	0,38	10,48	61,02	73,98	38,23	30,72	7,54	1,77	1,34	1,88	0,33	0,65	2,50
P06	0-12	A8	6,86	7,48	16,72	20,61	13,25	14,21	6,05	3,67	3,46	5,38	0,64	0,59	1,08
	12-32	A9	6,26	2,40	4,30	4,62	1,99	4,12	2,99	2,24	2,91	10,44	5,22	15,99	36,47
	32-65	A10	0,14	3,80	8,90	31,68	29,21	20,20	1,34	0,53	0,39	0,52	0,10	0,16	3,07
P07	0-7	A11	10,36	10,34	19,99	18,22	7,75	8,75	8,40	5,75	3,30	3,36	0,90	0,64	1,35
	7-24	A12	1,57	2,47	3,76	3,55	1,66	2,22	2,22	1,24	0,66	2,04	0,91	6,04	126,93
	24-29	A13	11,12	8,50	17,62	18,35	9,15	7,59	8,63	7,06	4,29	3,88	1,21	1,25	0,48
	29-48	A14	23,85	7,06	14,55	21,59	7,74	6,36	6,09	4,80	2,49	3,37	0,73	0,49	0,30
	48 +	A15	7,16	15,53	18,83	15,75	10,28	7,09	8,44	8,95	4,37	2,70	0,25	0,14	0,00
P08	0-24	A16	6,40	8,37	15,07	16,47	10,93	13,04	10,73	7,13	3,03	5,69	1,42	0,58	0,00
	24-29	A17	15,42	13,51	25,78	20,74	14,99	13,48	10,62	5,24	3,29	4,98	1,10	1,07	1,67
	29-48+	A18	15,35	12,39	21,72	17,91	13,55	11,56	8,25	3,44	1,18	1,78	0,90	3,95	37,33

ANEXO 2: Tabela granulométrica do Transecto A – Sedimentação

Amostra	Cadinho Argila	Cadinho + Argila	Argila	Cadinho Areia	Cadinho + Areia	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Areia %	Argila %	Silte %
A1	21,2157	21,2527	0,037	57,7134		3,3140	11,9713	15,2853	76,43	7,4	16,17
A2	22,6301	22,6810	0,0509	57,5212		3,5188	11,0787	14,5975	72,99	10,18	16,83
A3	20,2210	20,2630	0,042	57,4057		2,7117	12,5667	15,2784	76,39	8,4	15,21
A4	28,9259	28,9643	0,0384	38,5433		3,7060	11,8708	15,5768	77,88	7,68	14,44
A5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	30,8854	30,9125	0,0271	38,7305		1,0544	12,3200	13,3744	66,87	5,42	27,71
A8	21,5265	21,5623	0,0358	54,9580		3,3120	12,8495	16,1615	80,81	7,16	12,03
A9	19,7966	19,8233	0,0267	62,9990		8,1850	7,2843	15,4693	77,35	5,34	17,31
A10	23,4396	23,4664	0,0268	62,0564		0,6344	10,9141	11,5485	57,74	5,36	36,90
A11	22,3365	22,3784	0,0419	58,1378		3,2702	11,2467	14,5169	72,58	8,38	19,04
A12	22,8981	22,9500	0,0519	57,5354		4,0474	10,0692	14,1166	70,58	10,38	19,04
A13	20,6098	20,6782	0,0684	39,1317		2,8511	8,5000	11,3511	56,76	13,68	29,56
A14	19,4568	19,4909	0,0341	39,3537		1,5876	9,1455	10,7331	53,67	6,82	39,51
A15	21,3196	21,3538	0,0342	57,3754		2,5603	7,4753	10,0356	50,18	6,84	42,98
A16	20,1029	20,1404	0,0375	51,9156		4,0506	11,4684	15,519	77,60	7,5	14,91
A17	20,5724	20,6106	0,0382	43,0763		2,8912	11,3260	14,2172	71,09	7,64	21,27
A18	19,4402	19,4789	0,0387	59,0114		3,7028	10,8085	14,5113	72,56	7,74	19,70

ANEXO 3: Tabela granulométrica do Transecto B– Peneiramento

Ponto	Prof. (cm)	CÓDIGO	MALHAS DAS PENEIRAS (mm)												
			S/A	0,053	0,075	0,106	0,15	0,212	0,3	0,425	0,6	0,85	1,7	2,00	3,35
P1	0-18	B1	2,58	2,22	3,02	4,32	6,43	8,89	8,30	6,82	7,37	21,03	10,37	24,72	43,36
P2	0-26	B2	1,48	1,53	1,52	2,62	4,45	8,22	5,58	2,98	2,03	7,98	11,25	43,11	106,76
	26-54	B3	0,68	2,47	2,93	2,62	3,78	5,83	6,62	5,90	5,76	12,07	6,77	36,75	157,68
	54-75	B4	0,22	1,66	1,55	3,90	3,95	5,50	5,54	5,28	7,03	16,21	5,27	12,17	16,75
	75-83+	B5	0,04	0,52	0,30	3,99	8,69	6,97	6,59	5,31	6,36	14,24	4,36	11,61	31,59
P3	0-32	B6	13,06	10,43	9,43	9,52	10,45	12,34	11,40	10,69	11,64	23,51	6,78	12,43	9,49
	32-64+	B7	1,66	2,50	1,89	2,97	3,45	3,87	4,03	4,28	5,49	13,22	5,97	16,63	33,87
P4	0-8	B8	2,68	2,34	2,06	3,06	5,98	13,84	10,94	8,08	6,98	9,92	1,22	1,06	0,43
	8-18	B9	3,66	4,25	3,94	4,39	5,47	12,56	9,71	7,69	8,42	14,57	2,32	1,90	0,32
	18-38	B10	0,49	1,55	2,53	5,50	12,27	11,16	7,87	7,83	8,90	23,51	11,61	33,23	72,27
	38-46	B11	0,00	0,00	0,71	1,08	4,28	5,39	2,43	2,90	3,31	7,32	1,45	3,96	11,33
	46-59	B12	0,00	0,76	1,14	1,32	5,10	12,96	7,35	4,12	3,89	6,67	2,30	4,55	9,86
P5	0-18	B13	1,81	1,32	1,48	1,91	2,32	2,93	3,15	3,88	4,82	5,50	0,43	1,02	1,18
	18-50	B14	3,07	2,82	3,84	4,49	6,45	11,16	8,66	5,65	5,30	7,40	0,94	0,51	0,15
	50-85+	B15	3,58	2,34	2,49	2,84	2,87	3,47	3,04	2,97	3,36	7,01	2,16	3,49	0,84
P6	0-9	B16	0,60	1,06	0,82	0,90	1,02	2,24	2,59	1,75	1,94	8,50	6,43	17,19	54,75
	9-17	B17	1,58	1,37	1,07	0,75	0,74	2,39	5,61	4,17	4,41	13,11	7,74	22,63	34,15
	17+	B18	0,42	2,19	5,05	21,72	26,18	12,34	10,01	7,62	8,72	19,28	11,35	0,00	1,10
P7	0-4	B19	6,73	5,98	6,31	7,63	9,69	16,56	17,37	11,39	9,94	13,20	3,39	4,77	7,82
	4+	B20	0,18	0,21	0,19	0,23	0,28	0,44	0,48	0,40	0,41	0,63	0,09	0,32	107,52
P8	0-13	B21	0,73	0,61	0,68	1,09	1,82	2,30	1,86	1,65	1,70	3,12	1,20	4,17	79,47
	13-30+	B22	3,00	1,78	1,97	2,43	3,16	4,97	3,96	3,46	3,83	10,46	5,87	26,93	128,22
P9	0-6	B23	6,92	5,18	5,31	8,16	13,93	16,79	10,57	7,25	6,20	10,00	2,46	1,82	1,03
	6-23	B24	11,57	6,95	7,45	9,97	12,59	16,25	12,34	9,56	9,54	16,85	3,58	3,86	1,44

ANEXO 4: Tabela granulométrica do Transecto B – Sedimentação

Amostra	Cadinho Argila	Cadinho + Argila	Argila	Cadinho Areia	Cadinho + Areia	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Areia %	Argila %	Silte %
B1	21,2157	21,2642	0,0485	57,5212		11,1516	2,8618	14,0134	70,07	9,7	20,23
B2	22,6301	22,7304	0,1003	38,7305		11,1324	3,8198	14,9522	74,76	20,06	5,18
B3	20,2210	20,4264	0,2054	38,5433		5,1981	3,4944	8,6925	43,46	41,08	15,46
B4	28,9259	29,1658	0,2399	58,1378		3,0269	1,4461	4,473	22,37	47,98	29,65
B5	30,8854	31,0844	0,199	62,0564		2,6863	1,8084	4,4947	22,47	39,8	37,73
B6	21,5265	21,7224	0,1959	57,4006		2,0751	3,5664	5,6415	28,21	39,18	32,61
B7	19,7966	19,9185	0,1219	57,5354		7,1271	3,0905	10,2176	51,09	24,38	24,53
B8	23,4396	23,5494	0,1098	54,9580		10,1287	3,1954	13,3241	66,62	21,96	11,42
B9	22,3366	22,4676	0,131	62,9990		7,8333	3,6371	11,4704	57,35	26,2	16,45
B10	22,8981	22,9525	0,0544	57,3754		10,5401	2,4159	12,956	64,78	10,88	24,34
B11	20,6098	20,6890	0,0792	59,0114		1,8955	0,9040	2,7995	14,00	15,84	70,16
B12	19,4568	19,5630	0,1062	57,7134		0,9471	1,0840	2,0311	10,16	21,24	68,60
B13	20,1029	20,2752	0,1723	43,0763		3,0906	3,0745	6,1651	30,83	34,46	34,71
B14	20,5724	20,6711	0,0987	39,3537		8,4895	5,0764	13,5659	67,83	19,74	12,43
B15	19,4402	19,5895	0,1493	51,9156		1,3927	4,9364	6,3291	31,65	29,86	38,49
B16	21,3196	21,3926	0,073	57,2173		13,9059	2,2650	16,1709	80,85	14,6	4,55
B17	27,8517	27,9140	0,0623	58,1241		13,9475	2,0488	15,9963	79,98	12,46	7,56
B18	26,0180	26,1247	0,1067	55,6265		0,0577	6,0319	6,0896	30,45	21,34	48,21
B19	29,4444	29,5852	0,1408	39,1317		5,4854	4,3525	9,8379	49,19	28,16	22,65
B20	Ausência de amostra <2,00mm										
B21	21,2157	21,3111	0,0954	54,9572		4,8382	3,4799	8,3181	41,59	19,08	39,33
B22	22,6301	22,7391	0,109	57,6874		4,6213	4,1108	8,7321	43,66	21,8	34,54
B23	20,2210	20,3535	0,1325	57,3671		5,1253	4,8325	9,9578	49,79	26,5	23,71
B24	28,9259	29,0905	0,1646	39,3546		3,6347	4,4997	8,1344	40,67	32,92	26,41
B25	30,8854	31,0327	0,1473	57,5367		3,7917	4,3188	8,1105	40,55	29,46	29,99

B26	21,3093	21,4408	0,1315	62,0481		2,2223	4,2900	6,5123	32,56	26,3	41,14
B27	19,7966	19,9060	0,1094	38,7284		5,4212	5,5485	10,9697	54,85	21,88	23,27
B28	23,4396	23,5692	0,1296	51,9126		4,9152	5,7580	10,6732	53,37	25,92	20,71
B29	22,3366	22,4789	0,1423	57,7127		5,8442	5,2443	11,0885	55,44	28,46	16,10
B30	22,8981	23,0195	0,1214	44,0809		6,2458	4,9988	11,2446	56,22	24,28	19,50
B31	20,6098	20,7381	0,1283	57,2150		5,4387	5,8300	11,2687	56,34	25,66	18,00
B32	19,4568	19,5881	0,1313	37,1306		6,0050	5,7173	11,7223	58,61	26,26	15,13
B33	20,1029	20,2530	0,1501	57,5148		5,7813	5,6910	11,4723	57,36	30,02	12,62
B34	20,5724	20,7036	0,1312	57,0077		7,8140	3,8966	11,7106	58,55	26,24	15,21
B35	19,4402	19,5706	0,1304	38,5436		7,5831	4,3650	11,9481	59,74	26,08	14,18
B36	21,3196	21,4686	0,149	62,9956		6,2742	4,4600	10,7342	53,67	29,8	16,53
B37	27,8517	28,0520	0,2003	58,1321		4,1594	4,4999	8,6593	43,30	40,06	16,64
B38	26,0180	26,1552	0,1372	58,1232		4,0235	7,6567	11,6802	58,40	27,44	14,16
B39	29,4444	29,5902	0,1458	55,6236		5,1651	6,3113	11,4764	57,38	29,16	13,46

ANEXO 5: Tabela granulométrica do Transecto C – Peneiramento

Ponto	Prof. (cm)	Código	Malha das peneiras												
			S/A	0,053	0,075	0,106	0,15	0,212	0,3	0,425	0,6	0,85	1,7	2	3,35
P1	0-20	C1	1,74	4,34	4,42	5,88	7,91	10,11	10,52	10,53	11,46	22,03	5,39	5,05	0
	20-100	C2	1,41	6,03	4,56	5,9	6,84	9,35	9,17	9,83	11,18	19,98	4,06	9,29	1,53
	100-180	C3	0,09	2,83	7,81	6,18	6,14	8,32	8,41	8,9	10,05	15,46	3,46	1,82	0
P2	0-20	C4	2,78	4,44	4,3	6,55	7,88	12,81	12,81	12,17	11,95	16,73	3,43	3,5	0,53
	20-100	C5	2,19	4,84	4,1	5,9	7,07	9,85	10,25	10,81	12,88	21,15	3,77	6,27	0,36
	100-180	C6	0,39	2,7	4,03	7,2	8,7	10,79	12,15	11	10	14,8	4,17	13,4	0,33
P3	0-20	C7	1,88	5,07	4,5	6,67	9,78	13,04	13,02	12,5	11,76	16,59	4,61	0,16	0
	20-100	C8	1,28	5,99	4,52	7,14	9,41	12,28	11,77	12,05	11,79	16,76	4,98	1,19	0,44
	100-150	C9	1,04	5,85	4,66	7,68	9,56	13,33	13,59	14,7	12,74	10,06	1,67	4,04	0,58
	150-200	C10	0,35	1,71	3,07	6,77	8,02	12,32	13,87	17,83	15,54	14,83	3,79	1,23	0,12
P4	0-20	C11	1,94	5,4	5,63	7,15	8,69	11,34	11	10,94	11,04	21,21	4,57	0,41	0
	20-60	C12	0,83	3,2	7,17	9,24	12,62	12,72	11,12	11,53	12,66	15,75	1,76	0,81	0
	60-130	C13	0,42	6,42	6,83	8,01	9,51	12,34	11,59	10,44	9,89	14,85	3,57	4,12	1,31
	130-160	C14	0,01	3,04	4,9	9,59	12,01	11,38	13,59	11,89	9,84	14,06	3,78	4,31	1,11
P5	0-20	C15	1,43	4,26	6,94	10,71	14,24	18,57	16,43	11,59	7,51	6	1,02	0,25	0,05
	20-80	C16	1,02	3,39	3,97	5,8	7,87	11,07	10,17	8,87	8,31	16,23	5,83	4,56	12,62
	80-170	C17	0,04	0,67	2,65	6,2	16,7	13,58	16,21	10,76	7,6	10,33	2,44	5,05	7,34
P6	0-20	C18	0,56	1,93	3,39	6,8	18,55	23,24	19,59	10,89	5,59	5,7	0,88	1,7	0,75
	20-85	C19	0,66	4,16	6,89	14,89	13,51	17,61	15,14	10,99	7,29	5,64	0,84	1,17	0,6
	85-120	C20	0,3	0,8	3,04	5,75	15,01	19,23	20,95	11,57	7,09	8,8	1,57	3,13	2,06
P7	0-20	C21	0,57	2,22	3,71	7,61	20,98	20,22	15,94	10,09	5,82	6,27	1,14	2,71	2,11
	20-65	C22	0,61	1,99	7,22	9,06	13,45	15,77	15,49	11,57	8,14	8,49	1,1	1,82	4,76
	65-140	C23	0,14	1,12	3,26	6,21	11,41	12,92	12,39	9,85	6,74	10,11	3,57	11,24	10,58
P8	0-80	C24	2,6	3,55	5,04	8,04	12,99	19,17	17,69	12,07	7,04	6,64	1,07	2	1,44

	80-100	C25	0,26	3,19	5,7	7,3	10,01	10,1	13,32	11,2	8,8	12,78	2,91	6,15	3,15
P9	0-20	C26	0,8	2,66	5,41	5,22	8,22	11,4	12,23	12,46	11,06	15,66	3,58	7,37	3,67
	20-40	C27	0,51	2,77	6,22	5,92	6,9	8,49	8,39	8,97	10,34	22,43	4,54	9,73	4,05
	40-100	C28	1,12	3,75	5,88	8,86	9,11	10,87	8,58	7,98	11,03	20,21	3,99	6,47	1,31
	100-185	C29	0,66	3,39	7,54	6,59	7,42	8,32	8,49	8,53	9,98	24,07	5,74	7,52	1,15
P10	0-130	C30	3,39	2,72	4,97	3,6	5,97	8,32	8,66	9,33	10,28	20,28	5,55	11,31	4,93
	>130	C31	0,73	0,89	0,84	1,29	1,66	2,41	2,67	3,58	4,26	8,42	1,89	3,27	1,8

ANEXO 6: Tabela granulométrica do Transecto C – Sedimentação

Amostra	Cadinho Argila	Cadinho + Argila	Argila	Cadinho Areia	Cadinho + Areia	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Areia %	Argila %	Silte %
C1	22,0212	22,1199	0,0987	59,13	63,27	2,88	1,26	4,14	20,70	19,74	59,56
C2	20,3905	20,404	0,0135	31,87	34,28	1,2	1,21	2,41	12,05	2,7	85,25
C3	19,797	19,8456	0,0486	54,96	56,82	0,8	1,06	1,86	9,30	9,72	80,98
C4	26,9278	26,9707	0,0429	37,82	43,18	3,53	1,83	5,36	26,80	8,58	64,62
C5	30,8866	30,8977	0,0111	63	66,62	1,9	1,72	3,62	18,10	2,22	79,68
C6	22,631	22,6562	0,0252	34,53	41,92	4,16	3,23	7,39	36,95	5,04	58,01
C7	28,9267	28,981	0,0543	57,71	64,44	3,9	2,83	6,73	33,65	10,86	55,49
C8	32,073	32,0871	0,0141	29,99	34,84	3,62	1,23	4,85	24,25	2,82	72,93
C9	31,5764	31,597	0,0206	27,85	36,98	5,98	3,15	9,13	45,65	4,12	50,23
C10	30,3848	30,4016	0,0168	39,35	51,44	8,47	3,62	12,09	60,45	3,36	36,19
C11	20,4353	20,4431	0,0078	28,92	35,43	3,47	3,04	6,51	32,55	1,56	65,89
C12	21,1558	21,1935	0,0377	29,24	33,76	2,34	2,18	4,52	22,60	7,54	69,86
C13	22,0245	22,0542	0,0297	57,37	63,38	3,05	2,96	6,01	30,05	5,94	64,01
C14	19,4328	19,4581	0,0253	59,01	66,53	3,7	3,82	7,52	37,60	5,06	57,34
C15	20,9232	20,9278	0,0046	55,63	65,32	5,07	4,62	9,69	48,45	0,92	50,63
C16	21,9881	22,0341	0,046	56,98	65,95	4,75	4,22	8,97	44,85	9,2	45,95
C17	26,019	26,0444	0,0254	58,12	68,33	5,54	4,67	10,21	51,05	5,08	43,87
C18	22,3374	22,353	0,0156	32,98	45,45	7,23	5,24	12,47	62,35	3,12	34,53
C19	21,2159	21,2627	0,0468	57,4	67,83	5,74	4,69	10,43	52,15	9,36	38,49
C20	19,9677	20,0167	0,049	57,22	67,39	5,56	4,61	10,17	50,85	9,8	39,35
C21	29,7011	29,7172	0,0161	51,91	64,06	6,03	6,12	12,15	60,75	3,22	36,03
C22	19,4407	19,4775	0,0368	38,54	49,32	5,9	4,88	10,78	53,90	7,36	38,74
C23	19,5019	19,5663	0,0644	61,8	72,67	6,45	4,42	10,87	54,35	12,88	32,77
C24	19,9069	19,9413	0,0344	44,95	56,73	7,09	4,69	11,78	58,90	6,88	34,22
C25	19,4585	19,5068	0,0483	61,48	72,13	5,97	4,68	10,65	53,25	9,66	37,09

C26	20,5596	20,5737	0,0141	38,73	44,24	3,74	1,77	5,51	27,55	2,82	69,63
C27	20,2211	20,2669	0,0458	57,69	60,32	1,11	1,52	2,63	13,15	9,16	77,69
C28	31,9966	32,0183	0,0217	33,83	36,48	0,87	1,78	2,65	13,25	4,34	82,41
C29	32,2591	32,3086	0,0495	36,13	38,36	0,84	1,39	2,23	11,15	9,9	78,95
C30	19,4966	19,5787	0,0821	48,02	50,58	2,18	0,38	2,56	12,80	16,42	70,78
C31	29,2734	29,3141	0,0407	43,06	44,67	0,88	0,73	1,61	8,05	8,14	83,81

ANEXO 7: Resultados das análises de difratometria de raios X

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



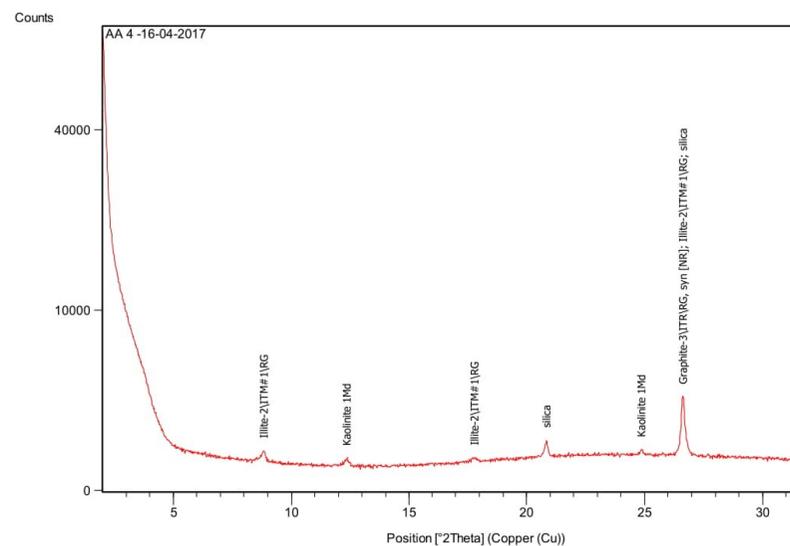
Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Main Graphics, Analyze View

Measurement Conditions

Dataset Name AA 4 -16-04-2017
File name C:\X'Pert Data\difratometro\Cristina Augustin\AA 4 -16-04-2017.xrdml
Sample Identification AA 4 -16-04-2017
Comment Configuration=Flat Sample Stage, Owner=User-1, Creation date=4/26/2006 12:03:52 PM
2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001
Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size
Sample stage=PW3071/xx Bracket
Diffractometer system=XPRT-PRO
Measurement program=Geral até 90, Owner=User-1,
Creation date=1/21/2009 3:15:37 PM
Measurement Date / Time 7/17/2017 8:54:20 AM
Operator Kacia MonteiroRaw Data Origin XRD measurement
Scan Axis Gonio
Start Position [°2Th.] 2.0100
End Position [°2Th.] 31.9900
Step Size [°2Th.] 0.0200
Scan Step Time [s] 0.8000
Divergence Slit Type Fixed
Divergence Slit Size [°] 0.9570
Specimen Length [mm] 10.00
Receiving Slit Size [mm] 0.3800
Measurement Temperature [°C] 25.00
Anode Material Cu
K-Alpha1 [Å] 1.54060
K-Alpha2 [Å] 1.54443
K-Beta [Å] 1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000
Generator Settings 45 mA, 40 kV
Diffractometer Type 0000000011011436



Pattern List

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-026-1079	Graphite-3\ITR\RG, syn [NR]	C
00-006-0221	Kaolinite 1Md	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
00-026-0911	Illite-2/ITM#1\RG	(K, H ₃ O) Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂
00-033-1161	silica	Si O ₂

OBS: Amostras preparadas pelo Laboratório de Raios X do CPMTC.

Método: Desenvolvimento da Metodologia Difratométrica da argilominerais no centro de Pesquisa da Petrobrás.

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



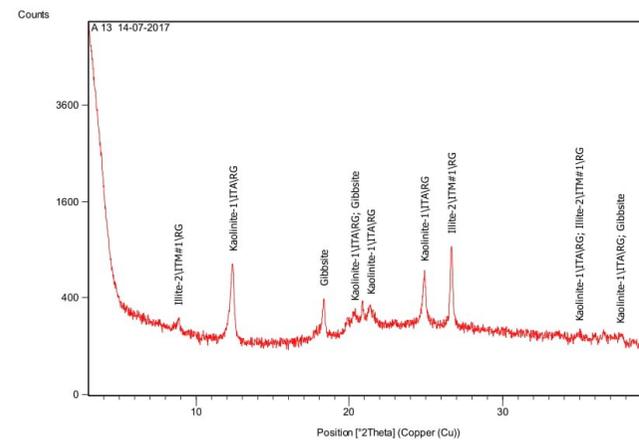
Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.8286	235.16	0.0984	10.01637	9.82
12.3459	130.34	0.1574	7.16953	5.44
17.7981	92.36	0.2362	4.98363	3.86
20.8593	507.65	0.0787	4.25865	21.21
24.8822	221.41	0.1181	3.57849	9.25
26.6196	2393.91	0.1181	3.34875	100.00

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Main Graphics, Analyze View



Pattern List

Ref. Code	Compound Name
00-014-0164	Kaolinite-1\ITA\RG
00-007-0324	Gibbsite
00-026-0911	Illite-2\ITM#\1\RG

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



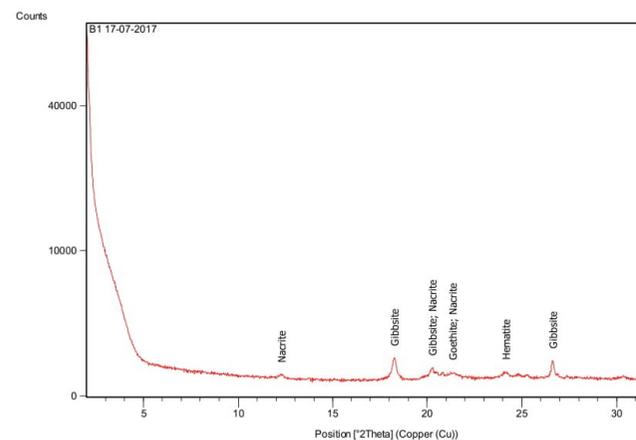
Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.8559	88.76	0.1181	9.98553	10.98
12.3808	620.89	0.1181	7.14937	76.84
18.3224	269.12	0.1181	4.84217	33.31
20.3512	153.94	0.2362	4.36381	19.05
20.8603	230.43	0.0984	4.25847	28.52
21.3824	195.50	0.3149	4.15564	24.19
24.8919	481.53	0.1378	3.57712	59.59
26.6633	808.04	0.1181	3.34337	100.00
34.9594	38.87	0.4723	2.56665	4.81
37.6429	35.19	0.4723	2.38961	4.36

Main Graphics, Analyze View:



Pattern List:

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-024-0072	Hematite	Fe ₂ O ₃
00-029-0041	Gibbsite	Al(OH) ₃
00-017-0536	Goethite	FeO(OH)
00-013-0002	Nacrite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



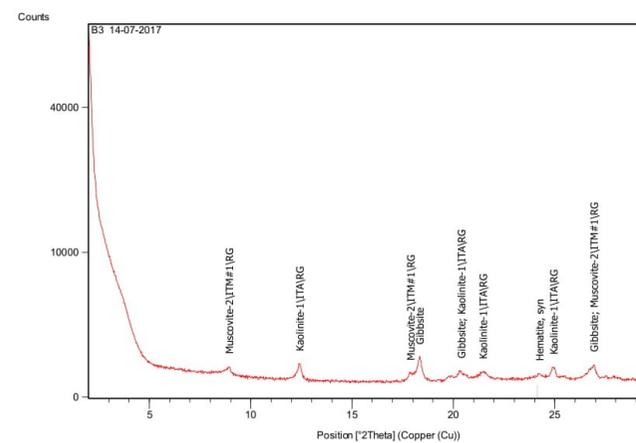
Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.2767	72.24	0.2362	7.20977	12.94
18.2826	558.12	0.1771	4.85264	100.00
20.2627	237.83	0.1574	4.38268	42.61
21.3485	118.74	0.3149	4.16217	21.28
24.1523	126.49	0.2362	3.68496	22.66
26.6181	458.95	0.0984	3.34893	82.23

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Main Graphics, Analyze View:



Pattern List

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-007-0324	Gibbsite	Al (O H) ₃
00-013-0534	Hematite, syn	Fe ₂ O ₃
00-014-0164	Kaolinite- 1\ITA\RG	Al ₂ Si ₂ O ₅ (O H) ₄
00-006-0263	Muscovite- 2\ITM#1\RG	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (O H , F) ₂

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



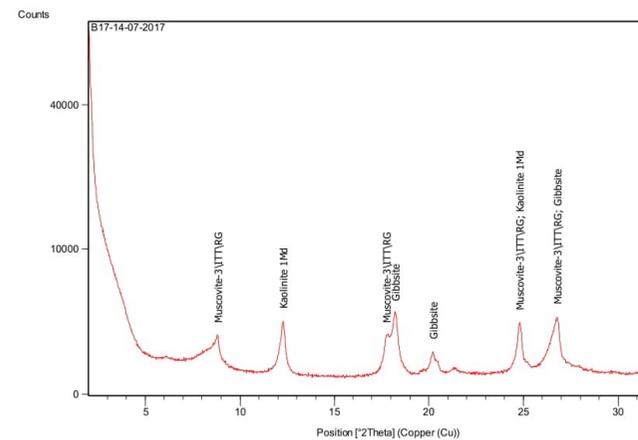
Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.9162	255.92	0.1181	9.91812	36.22
12.4009	450.03	0.1181	7.13782	63.69
17.8682	229.40	0.1181	4.96424	32.46
18.3347	706.64	0.1378	4.83897	100.00
20.3657	271.95	0.1378	4.36075	38.49
21.4490	247.06	0.2755	4.14290	34.96
24.2299	195.37	0.2362	3.67334	27.65
24.9345	363.63	0.1574	3.57111	51.46
26.9221	433.16	0.0787	3.31181	61.30

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Main Graphics, Analyze View



Pattern List:

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-007-0042	Muscovite-3\ITT\RG	(K , Na) (Al , Mg , Fe) ₂ (Si _{3.1} Al _{0.9}) O ₁₀ (O H) ₂
00-007-0324	Gibbsite	Al (O H) ₃
00-006-0221	Kaolinite 1Md	Al ₂ Si ₂ O ₅ (O H) ₄

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



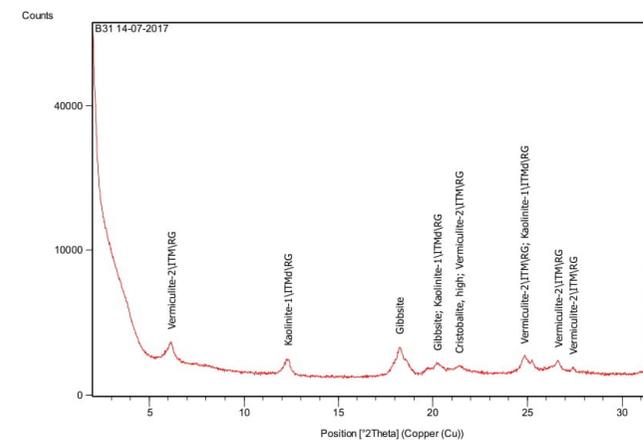
Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.1633	818.41	0.0787	14.34055	83.31
12.3298	486.66	0.2362	7.17881	49.54
18.2480	982.40	0.0984	4.86176	100.00
20.2445	339.05	0.1968	4.38658	34.51
21.3863	253.33	0.3936	4.15490	25.79
24.8226	527.57	0.1968	3.58695	53.70
25.2631	385.05	0.1181	3.52541	39.20
26.6253	394.52	0.1181	3.34805	40.16
27.4215	181.90	0.1181	3.25262	18.52
31.3911	111.45	0.3149	2.84977	11.34

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Main Graphics, Analyze View:



Pattern List:

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-007-0324	Gibbsite	Al (OH) ₃
00-034-0166	Vermiculite-2/ITMARG	(Mg, Al) ₃ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ · 4 H ₂ O
00-029-1488	Kaolinite-1/ITMdARG	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



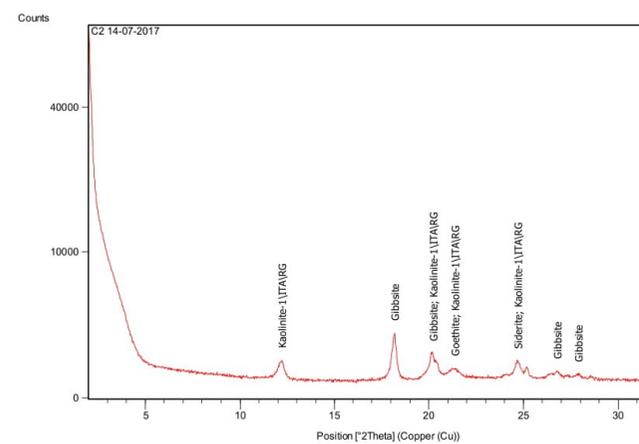
Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
8.8260	1246.64	42.44
12.2896	2265.84	77.13
17.7562	1460.39	49.71
18.2471	2937.58	100.00
20.2316	679.42	23.13
21.3824	135.23	4.60
24.8101	2224.89	75.74
26.7939	2640.97	89.90

Main Graphics, Analyze View:



Pattern List:

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-029-0041	Gibbsite	Al (OH) ₃
00-029-0713	Goethite	Fe O (OH)
00-029-0696	Siderite	Fe C O ₃
00-014-0164	Kaolinite-1\1T\A\RG	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



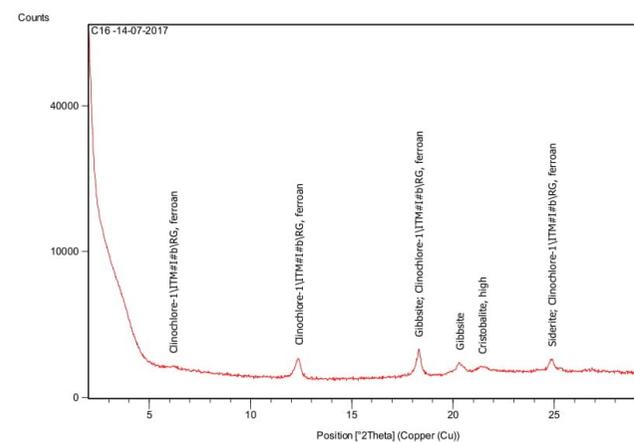
Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.2098	485.71	0.2755	7.24911	26.55
18.2106	1829.65	0.1574	4.87166	100.00
20.2203	772.09	0.1574	4.39177	42.20
21.3695	242.87	0.4723	4.15812	13.27
24.6869	469.66	0.1378	3.60637	25.67
25.2051	266.50	0.1378	3.53338	14.57
26.7961	171.95	0.1574	3.32709	9.40
27.9256	109.96	0.2362	3.19504	6.01

Main Graphics, Analyze View:



Pattern List:

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-007-0324	Gibbsite	Al (O H) ₃
00-008-0133	Siderite	Fe C O ₃
00-016-0351	Clinocllore-1\1TM#\#b\RG, ferroan	(Mg , Al) ₆ (Si , Al) ₄ O ₁₀ (O H) ₈
00-004-0359	Cristobalite,	Si O ₂

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



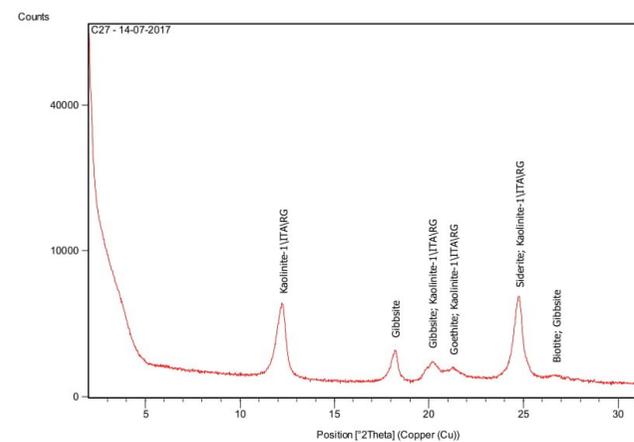
Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
3.8302	155.09	0.5510	23.06886	18.18
6.1560	76.49	0.4723	14.35756	8.97
12.3565	541.09	0.1771	7.16340	63.44
18.2974	852.86	0.0984	4.84875	100.00
20.3070	340.09	0.1574	4.37322	39.88
21.4278	206.38	0.4723	4.14694	24.20
24.8687	419.87	0.2362	3.58041	49.23

Main Graphics, Analyze View:



Pattern List:

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-008-0133	Siderite	Fe C O3
00-003-0835	Biotite	2 (Mg , Fe) O ! (K , H) 2 O (Al , Fe) 2 O3 ! Si O2
00-029-0041	Gibbsite	Al (O H) 3
00-017-0536	Goethite	Fe O (O H)
00-014-0164	Kaolinite-1\TARG	Al2 Si2 O5 (O H) 4

Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências
CPMTC – Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa
Laboratório de Raios X



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.2909	3620.01	0.2755	7.20148	85.65
18.2442	904.35	0.1181	4.86276	21.40
20.2078	475.59	0.1574	4.39447	11.25
21.3026	278.58	0.3149	4.17103	6.59
24.8081	4226.42	0.2558	3.58902	100.00
26.7340	116.54	0.3936	3.33469	2.76