

Carlos Eduardo Martins

O Geossistema do Córrego do Couto, PETAR, Iporanga - SP: Uma
Contribuição ao Levantamento do Patrimônio Espeleológico



Cachoeira do Córrego do Couto, PETAR, Iporanga - SP

Dissertação apresentada ao Programa de
Estudos Pós-Graduados em Geografia,
Departamento de Geografia como
exigência parcial para obtenção do título de
mestre em Geografia.

PONTIFÍCA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO – PUC/SP

Área de concentração: Urbanização, Meio Ambiente e Novas Tecnologias

Orientação: Prof. Dr. Edson Cabral

São Paulo – 2014

Errata

Página 16 – 19ª e 20ª linha. Correto: **A SP193 liga os núcleos urbanos das sedes municipais de Apiaí, a 25 km...**

Página 23 – 12ª linha. Em vez de: Correto: **No capítulo 5 será apresentado...**

Página 27 – 12ª linha. Correto: **...coisas podendo realizar todas as intencionalidades possíveis...**

Página 32 – 2ª linha. Correto: **...feições subterrâneas e superficiais de forma integrada e associadas a um...**

Página 34 – 3ª linha. Correto: **Cvijic dá grande importância...**

Página 38 – 14ª linha. Considerar: **...ou planície costeira, em repouso, sofre um soerguimento rápido.**

Página 39 – 18ª linha. Considerar: **...as limitações da época às quais, segundo ele, limitavam a Geografia a nada mais...**

Página 42 – 7ª linha. Considerar: **Penck (1903, p. 05), por exemplo, fez questão de destacar que, nos...**

Página 44 – 2ª linha. Considerar: **...fluxo hídrico vertical em relação ao horizontal (ROGLIĆ, 1981. p. 16).**

Página 47 – 9ª linha. Considerar: **...1918, p. 381).**

Página 58 – 9ª linha. Considerar: **...cárstico” existente na tese de Cvijić (1981). Para aquele, os vales cársticos...**

Página 62 – 14ª linha. Considerar: **...formulada por Jennings...**

Página 79 – 25ª linha. Desconsiderar: subitem “3.1”

Página 82 – 23ª linha. Desconsiderar: subitem “3.1.1”

Página 82 – 30ª linha. Considerar: **...do parque e após a remoção das famílias ocupantes, sucede a eliminação do uso...**

Página 83 – 2º parágrafo. Considerar: **...Figura 3-1 e Figura 3-2...**

Página 84 – Legenda da Figura. Considerar: **Figura 3-1**

_____ – Legenda da Figura. Considerar: **Figura 3-2**

Página 85 – 4ª linha. Considerar: **...Agricultura e Abastecimento, realizado em 1972 (Figura 3-3), pode-se inferir...**

_____ – 12ª linha. Considerar: **Em contraste, na Figura 3-4 é possível observar que, devido à implementação...**

_____ - 15 linha. Considerar: **...pontuais de capoeira, marcadamente áreas de descanso e roça, da Figura 3-3...**

_____ – 18ª linha. Considerar: **...nessas áreas é facilmente perceptível devido à maior homogeneidade...**

Página 86 – Legenda da Figura. Considerar: **Figura 3-3**

_____ – Legenda da Figura. Considerar: **Figura 3-4**

_____ - Desconsiderar subitem “3.1.2”

Página 87 – 5ª linha. Considerar: **...do Córrego do Couto (Figura 3-5) e é exatamente o caminho que foi construído...**

Página 87 – Legenda da Figura. Considerar: **Figura 3-5**

Página 119 – 5ª linha. Considerar: **Tal hipótese é baseada em movimentos isostáticos regionais, em função de...**

Página 120 – 7ª linha. Faltam "" (aspas) na citação.

Página 127 – 11ª linha. Considerar: **...item 1.9, resultou na proposta de Zoneamento do Carste do Córrego do Couto...**

Página 128 26ª linha. Considerar: **...vários níveis de terraços sedimentares (Figura 3-1). Junto ao sumidouro...**

Página 129 4ª linha. Considerar: **...análise de imageamento multiespectral (Figura 3-3 e 3-4) e base altimétrica...**

Página 133 – 26ª linha. Considerar: **...vários níveis de terraços sedimentares (Figura 3-1). Junto ao sumidouro...**

Página 137 – 3ª linha. Considerar: **...estruturais e fluviais, as visitas ao campo propiciaram a verificação de que, de...**

_____ - 7ª linha. Considerar: **...foram agrupadas e descritas conforme a terminologia definida por Karmann...**

Página 148 – 18ª linha. Considerar: **...5-1, é grande a inter-relação entre os lineamentos reconhecidos e inferidos...**

Página 153 – 17 linha. Considerar: **...fenômeno natural que tem funcionalidades e finalidades socioeconômicas e...**

Página 154 – 11ª linha. Considerar: **...análise de imageamento multiespectral (Figura 3-3 e 3-4) e base altimétrica...**

_____ - 24ª linha. Considerar: **...verificados na análise comparativa entre as figuras 3-3 e 3-4. O...**

Página 159 - 10ª linha. Incluir: BÖGLI, A. A. Solution of Limestone and Karren Formation. Translated from Zeitschr. Geomorphologie Supplement 2, 1960, p. 4-21. In Sweeting, M. M. (Ed). **Karst Geomorphology**. Hutchinson Ross Publishing Company: Benchmark Papers in Geology. P. 12-22. Oxford, 1981.

Página 161 – 8ª linha. Incluir: GÊZE, B. **La Espeleologia Científica**. Ediciones Martínez Roca. 191 p. Barcelona, 1968.

Página 164 – 3ª linha. Incluir: JENNINGS, J. N. **Karst. An Introduction to Systematic Geomorphology**. Vol. 7. 253 p. M.I.T. Press. London. 1971.

Página 166 – 30ª linha – Incluir: MOURÃO, R. R. F. **Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica**. Editora Nova Fronteira. Rio de Janeiro. 1987.

Página 168 – 4ª linha. Incluir: SHAW, T. The Classical Karst and its Caves as known to the Rest of the World Before 1914. **Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"**. Vol. 41, p. 47-64. Trieste, 2007.

Banca examinadora

Dedico este trabalho a Daisy, minha companheira de todos esses anos, a quem dedico todo o meu amor.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Edson Cabral, pela orientação na execução deste trabalho.

Aos professores do programa de pós-graduação em Geografia da PUC/SP.

Aos professores da graduação e licenciatura em Geografia da PUC/SP.

Aos colegas de programa com quem convivi e pude trocar ideias para o aperfeiçoamento deste trabalho.

À Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

Ao Grupo Pierre Martin de Espeleologia, especialmente a Alfredo Bonini, Gilson Tinen, Francisco S. Lima pela ajuda na revisão do texto; ao Ericson C. Igual, pela ajuda nas pesquisas bibliográficas; ao Ericson e ao Gilson, um agradecimento especial pela valiosa ajuda nas saídas a campo; à Maria Cristina Albuquerque, pelo abrigo em sua casa no Bairro da Serra, Iporanga nas tantas visitas a campo e pelo companheirismo ao longo de tantos anos; ao Dennys Corbo pela confecção do mapa de fundo para o GPS e pela cessão de recursos materiais; ao David Cardoso e ao Danilo Martines Duarte, monitor do PETAR, pela cessão de fotos; à Vanessa Rodrigues Mota; aos demais colegas de grupo que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

Ao Sr. Joaquim Justino dos Santos e aos Srs. Oides Rodrigues Andrade (Seu Didi), Vândir de Andrade, Benedito Rodrigues (in memoriam).

À comunidade do Bairro da Serra, Iporanga.

Ao Jose Antonio Ferrari.

À Fundação Florestal/SMA.

À equipe PETAR.

Ao COTEC/IF/SMA pela autorização à pesquisa nas dependências do PETAR.

A Anna Romea Martins.

Ao Pedro Martins Martins (in memoriam).

Ao Augusto, Maria, Rosana, Carlos, Claudia, Fabio e Letícia.

A todos, meu muito obrigado.

La Fuente¹

(...)

La fuente, el punto donde el chorro de agua, oculto hasta allí, se manifiesta repentinamente, es el paraje encantador hacia el cual nos sentimos invenciblemente atraídos; que ésta parezca adormecida en un prado como simple balsa entre los juncos, que salga a borbotones de la arena arrastrando laminitas de cuarzo o de mica, que suben y bajan arremolinándose en un torbellino sin fin, que brote modestamente entre dos piedras, a la sombra discreta de los grandes árboles, o bien que salga con estrépito de una abertura de la roca ¿cómo no sentirse fascinado por el agua que acaba de salir de la obscuridad y tan alegremente refleja la luz? Gozando nosotros del espectáculo encantador que el manantial nos ofrece, nos es fácil comprender por qué los árabes, los españoles, los campesinos de los Pirineos y otros muchos hombres de todas las razas y de todos los climas han creído ver en las fuentes «ojos» de seres encerrados en las tenebrosas entrañas de las rocas, con los cuales contemplan el espacio y la verdura. Libre de la cárcel que la aprisionaba, la ninfa alegre mira el cielo azul, los árboles, las hierbas, las cañas que se balancean; refleja la inmensa naturaleza en el hermoso zafiro de sus aguas, y, sugestionados por sus límpidas miradas, nos sentimos poseídos de misteriosa ternura.

(...)

Elisée Reclus

¹ El Arroyo (Traduzido do original *Histoire d'un Ruisseau* - 1869)

Índice de figuras

Figura 1.2-1. PETAR: localização e acesso.....	17
Figura 1.4-1. Entrada da Caverna do Morro Preto, ou paleorressurgência do Córrego do Couto.....	19
Figura 1.4-2. Conjunto Morro Preto/Couto.....	20
Figura 2.2-1. Representação de paisagem preenchida por dolinas nas proximidades de Sežana, na Eslovênia, 1:20.000. As linhas do mapa mostram a estrutura viária regional.....	34
Figura 2.3-1. Modelo simplificado de W. M. Davis, 1899.....	39
Figura 2.4-1. À esquerda: circulação <i>normal</i> em meio poroso equivalente. À direita: o aquífero cárstico entre as fissuras pré-existentes.....	42
Figura 2.4-2. O ciclo cárstico segundo Grund.....	44
Figura 2.4-3. Sistema hídrico cárstico de Grund, 1903.....	46
Figura 2.4-4. Sistema hídrico cárstico de Katzer, 1909 aceita por Cvijić.....	47
Figura 2.4-5. O ciclo cárstico segundo Cvijić (1918, p. 414).....	48
Figura 2.6-1. Modelos espeleogenéticos na primeira metade do século XX. A) as cavernas se formam sobre o lençol freático na zona vadosa ou aérea; B) as cavernas se formam a grandes profundidades independentes de nível de base e C), na interface do lençol freático com a zona vadosa.....	54
Figura 2.6.2-1. Modelo evolutivo de epicarste ou zona subcutânea.....	60
Figura 2.7-1. Modelo dos quatro estados de Ford.....	69
Figura 2.11-1. Teoria da carstogênese/espeleogênese subaquática oceânica.....	78
Figura 3.1-1. Sumidouro do Córrego do Couto. À direita da foto ocorrem terraços sedimentares.....	84
Figura 3.1-2. Conduto intermitente ("ladrão") do Córrego do Couto.....	84
Figura 3.1-3. Aerofotografia da área de estudo, 18/08/1973.....	86
Figura 3.1-4. Imageamento multiespectral obtido em 2008, correspondente à área de estudo.....	86
Figura 3.1-5. Trecho inicial da Trilha do Continuum no contexto da área de estudo ...	87
Figura 3.2-1. Climas locais para o Vale do Ribeira.....	91
Figura 3.2-2. Chuvas fortes (+50 mm) em datas selecionadas.....	93
Figura 3.3-1. Sumidouro do Córrego do Couto sob o "Paredão da Onça Parda".....	95
Figura 3.3-2. Ressurgência do Córrego do Couto a cerca de 15 metros do Rio Betari95	
Figura 3.3-3. Bacia do Córrego do Couto.....	96
Figura 3.3-4. Bacia do Rio Ribeira do Iguape.....	97
Figura 3.3-5. UGHRI 11 do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH.....	98
Figura 3.4-1. Lineamentos de delimitação da Faixa Dobrada de Apiaí e do Bloco Lajeado.....	100
Figura 3.4-2. Geologia, geomorfologia e lineamentos do Bloco Lajeado e adjacências.....	101

Figura 3.4-3. Corte esquemático NW-SE do Bloco Lajeado.....	102
Figura 3.5-1. Corte transversal sem escala do Grupo Lajeado com estruturas falhadas	106
Figura 3.7-1. Composição de imagem multiespectral da área de estudo	110
Figura 3.7-2. Composição de imagem multiespectral da área de estudo com lineamentos fotointerpretados.....	110
Figura 3.7-3. Estruturas identificadas e projetadas sobre levantamento altimétrico do IGC (2001) na escala 1:10.000.	111
Figura 4.2.1-1. Teto da paleorressurgência do Córrego do Couto, ou, Caverna do Morro Preto.....	117
Figura 5-1. Geossistema do Córrego do Couto.....	128
Figura 5.4.3-1. Polje de Contato do Paredão da Onça Parda.	135
Figura 5.4.6.1-1. Corte transversal do Carste do Couto com posicionamento do Abismo Collet. O mergulho dos planos de estratificação é de 35°	142
Figura 5.4.6.2-1. Cavernas verticais vadosas. a) Abismo Ossadas; b) Abismo Bauru; c) Abismo do Dito 1 e d) Abismo da Batalha.....	144
Figura 5.4.7-1. Corte transversal esquemático do perfil longitudinal do curso do afluente que entra no sumidouro da Caverna Onça Parda. O mergulho dos planos de estratificação nessa porção é de 38°	146
Figura 5.4.10-1. Lapié, ou, Karren	149
Figura 5.4.10-2. Macrokarren, ou, Macrolapié, sobre zona de karrens do Carste do Couto.....	149
Figura 5.4.11-1. Zona de ressurgência, ou, descarga, do Carste do Couto.	151

Índice de quadros

Quadro 2.1-1. Ocorrências de afloramentos carbonáticos e participação em diferentes regiões do mundo	31
Quadro 3.2-1. Parâmetros atmosféricos do mesoclima do tipo IIC5.....	92
Quadro 3.7-1. Inventário das cavernas verificadas na área do Carste do Couto.....	112
Quadro 3.7-2. Ocorrência de cavernas	113
Quadro 4.8-1. Parâmetros físicos do Geossistema do Córrego do Couto	126

Índice de tabelas

Tabela 3.2-1. Clima de Iporanga. Lat. 24 21'S, Long. 48 20'S. Altitude 80 m	93
Tabela 3.2-2. Clima de Apiaí. Lat. 24 17', Long. 48 30'. Altitude 1.040 m.....	93
Tabela 4.1-1. Dados médios mensais de chuva 1973-2003.....	115

Índice de anexos

Anexo 9-1. Classificação Taxonômica dos Fatos Geomorfológicos. A. Cailleux e J. Tricart (1956).....	169
Anexo 9-2. Classificação das unidades de relevo de J, Ross (1990)	170
Anexo 9-3. Estrutura da Geomorfologia, segundo o IBGE (2009)	171
Anexo 9-4. Depoimento de José E. P. Guimarães a favor da criação do PETAR, de 1956	172
Anexo 9-5. Gruta Quatá.....	173

Sumário

RESUMO	14
ABSTRACT	15
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objeto da pesquisa	16
1.2. Acesso e localização	16
1.3. Contexto ambiental	18
1.4. Mais que um simples fenômeno	18
1.5. Justificativa.....	21
1.6. Objetivo	22
1.7. Referencial teórico	22
1.8. Reposicionamento racional do objeto de estudo	23
1.9. Procedimentos metodológicos.....	23
1.9.1. Bases cartográficas	24
1.9.2. Delimitação da Bacia do Córrego do Couto e Cartografia Temática da área de estudo	25
1.9.3. Análise da base cartográfica e visitas ao campo	25
1.9.4. Lineamentos, contatos litológicos e compartimentação do relevo.....	25
1.9.5. O zoneamento do Carste do Córrego do Couto.....	27
2. GÊNESE, EVOLUÇÃO E O ATUAL ESTADO DO CONCEITO DE CARSTE	28
2.1. Origem e evolução científico-acadêmica geográfica do conceito de carste ..	29
2.2. O Carste como modelo de referência para a Geografia vienense.....	31
2.3. O impacto do modelo davisiano sobre os estudos geográficos dos fenômenos cárstico-espeleológicos	37
2.4. Penck, Grund, Cvijić: os pioneiros dos estudos científicos dos fenômenos cárstico-espeleológicos e o modelo davisiano	41
2.5. Positivismo e estudos cárstico-espeleológicos	51
2.6. O carste normal de Davis	51
2.6.1. A aplicação da modelagem matemática aos estudos cárstico-espeleológicos	55
2.6.2. A crise da síntese davisiana e a emergência da visão sistêmica	56
2.7. O advento das novas abordagens sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos	65
2.8. Espeleogênese hipogênica.....	70
2.9. Carste e Geossistema	73
2.10. O (supra) conceito de carstosfera.....	74
2.11. Carstogênese-espeleogênese submarina	76
3. OS ELEMENTOS COMPONENTES DA PAISAGEM DO CARSTE DO CÓRREGO DO COUTO	79

3.1.	PETAR: conservação, turismo e dinâmicas socioeconômicas	79
3.1.1.	As dinâmicas naturais e humanas registradas na paisagem	82
3.1.2.	Além dos lugares, a resignificação do caminho	86
3.1.	Vegetação	88
3.2.	Clima	89
3.3.	Hidrografia	94
3.4.	Geologia	99
3.5.	Geomorfologia	103
3.6.	Solos	107
3.7.	Lineamentos	108
4.	O GEOSSISTEMA DO CÓRREGO DO COUTO	114
4.1.	O trabalho da água	114
4.2.	Importância da estrutura e da dinâmica geológica	116
4.2.1.	Oscilações no nível de base e o carste	117
4.2.1.1.	Hipótese isostática	119
4.2.1.2.	Hipótese eustática	119
4.3.	Dissolução do carbonato	121
4.4.	Desagregação física do carbonato	122
4.5.	Incasão	123
4.6.	A paleodrenagem	124
4.7.	O paleocarste e o ciclo davisiano	125
4.8.	Parâmetros geométricos da área de estudo	125
5.	ZONEAMENTO DO CARSTE DO CÓRREGO DO COUTO	127
5.1.	Drenagem alogênica	129
5.2.	Drenagem autogênica	129
5.3.	Zona fluviocárstica	130
5.4.	Classificação morfológica das modalidades de entrada	131
5.4.1.	Zona de contato	131
5.4.2.	Vales Cegos	132
5.4.3.	Poljes de contato	134
5.4.4.	Depressões alongadas intercaladas a sumidouros	135
5.4.5.	Depressões fechadas ou dolinas	136
5.4.5.1.	Depressões simples, ou, cockpits	137
5.4.5.2.	Depressões compostas, ou uvalas	138
5.4.5.3.	Zonas deprimidas	138
5.4.5.4.	Depressões menores	139
5.4.6.	Cavernas verticais	139

5.4.6.1.	Abismos de borda ou crista de dolina	140
5.4.6.2.	Abismos de fundo de dolina.....	143
5.4.7.	Cavernas sub-verticais	145
5.4.8.	Cavernas sub-horizontais	147
5.4.9.	Morros e morrotes cársticos	148
5.4.10.	Campo de Lapiés.....	148
5.4.11.	Zona de descarga, ou, ressurgência do Córrego do Couto	149
6.	Síntese do Geossistema do Carste do Córrego do Couto	152
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
8.	REFERÊNCIAS	158
9.	ANEXOS.....	169

RESUMO

Este trabalho trata sobre a importância de uma fonte cárstica, a Cachoeira do Córrego do Couto que é um dos atrativos turísticos do Parque Estadual e Turístico do Alto Ribeira – PETAR, Iporanga – SP. O local é a ressurgência de um aquífero cárstico existente em uma faixa de rocha carbonática deprimida entre serras de superfícies impermeáveis mais elevadas. O aquífero mencionado é composto por sistemas de recarga alogênicos e autogênicos, caracterizando-se por este motivo como um carste misto.

Como o objeto de estudo é um componente de uma paisagem que mantém relações históricas e bastante dinâmicas com a sociedade guardando aspectos da história natural e até mesmo humana regional, julgou-se que a melhor forma de abordagem para o desenvolvimento deste trabalho seria o conceito de Geossistema.

O conceito de Geossistema é bastante empregado em estudos de objetos que tenham origem natural, mas que sejam influenciados pelas atividades humanas.

O resultado dos levantamentos levados a efeito é um mapa de zoneamento do carste estudado no qual as feições são, ao mesmo tempo, resultantes do e interação no processo morfogenético responsável pelo ordenamento da paisagem que no contexto do PETAR tem a finalidade de proporcionar a recreação dos visitantes por seus atributos estéticos.

Palavras-chave: carste, cavernas, PETAR, espeleologia, patrimônio espeleológico, espeleogênese, Geossistema.

ABSTRACT

This text deals with the importance of a karst spring. The Cachoeira do Córrego do Couto is one of the attractions of the Parque Estadual e Turístico do Alto Ribeira - PETAR, Iporanga - SP. The site is a resurgence of existing karst aquifer in a range between depressed carbonate rock saws higher impervious surfaces. The aquifer is composed of autologous and allogeneic systems water recharge, characterized for this reason as a mixed karst.

As the object of study is a component of a landscape that remains dynamic relationships with society and also presents aspects of natural and human history, it is believed that the best approach for implementation of this work is the concept of geosystem.

The concept is quite geosystem employed in studies of objects that have a natural origin, but are influenced by human activities.

The results of the surveys carried out are a zoning map of the karst. In this map, the features are at the same time, resulting from and interact in the morphogenetic process responsible for landscape planning in the context of PETAR aims to provide recreation visitors for their aesthetic attributes.

Keywords: karst caves, PETAR, caving, speleology, karst heritage, speleogenesys, geosystem.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objeto da pesquisa

Este trabalho trata sobre a fonte d'água subterrânea da Cachoeira do Córrego do Couto (foto da folha de rosto), situada no Núcleo Santana do Parque Estadual e Turístico do Alto Ribeira - PETAR, Iporanga – São Paulo (Figura 1.2-1). O presente trabalho é a tentativa de responder sob o ponto de vista da Geografia, a uma pergunta feita na primeira visita ao PETAR e à Cachoeira do Córrego do Couto em 1986, após vários minutos de contemplação daquela maravilhosa cena de movimento da água em queda a partir de uma pequena abertura na parede de rocha em meio à vegetação densa: que água é esta que sai desta montanha?

Trata-se de um considerável volume de água perene que despenca de uma altura de aproximadamente 5 metros após eclodir do interior de um afloramento calcário com aproximadamente 110 metros de altura e cerca de 400 metros de largura.

1.2. Acesso e localização

O acesso (Figura 1.2-1) ao local onde se encontra o objeto do estudo é feito por rodovia pavimentada pelas vias BR116, SP193 e SP165, a partir de São Paulo ou Curitiba e vias SP270, SP127 e SP165 a partir de São Paulo. Esta última liga os núcleos urbanos das sedes municipais de Apiaí, a 25 km, ao leste e Iporanga, distante 13 km ao sudeste da localização do objeto desta pesquisa. A coordenada geográfica do ponto de acesso ao objeto deste trabalho encontra-se na latitude 24°32'18.99" Sul e longitude 48°41'49.41" Oeste. A altitude do ponto é de 392 metros sobre o nível do mar. O PETAR, que abrange o objeto deste estudo, atualmente ocupa uma área de 35.884,28 ha, ou 358.840 m².

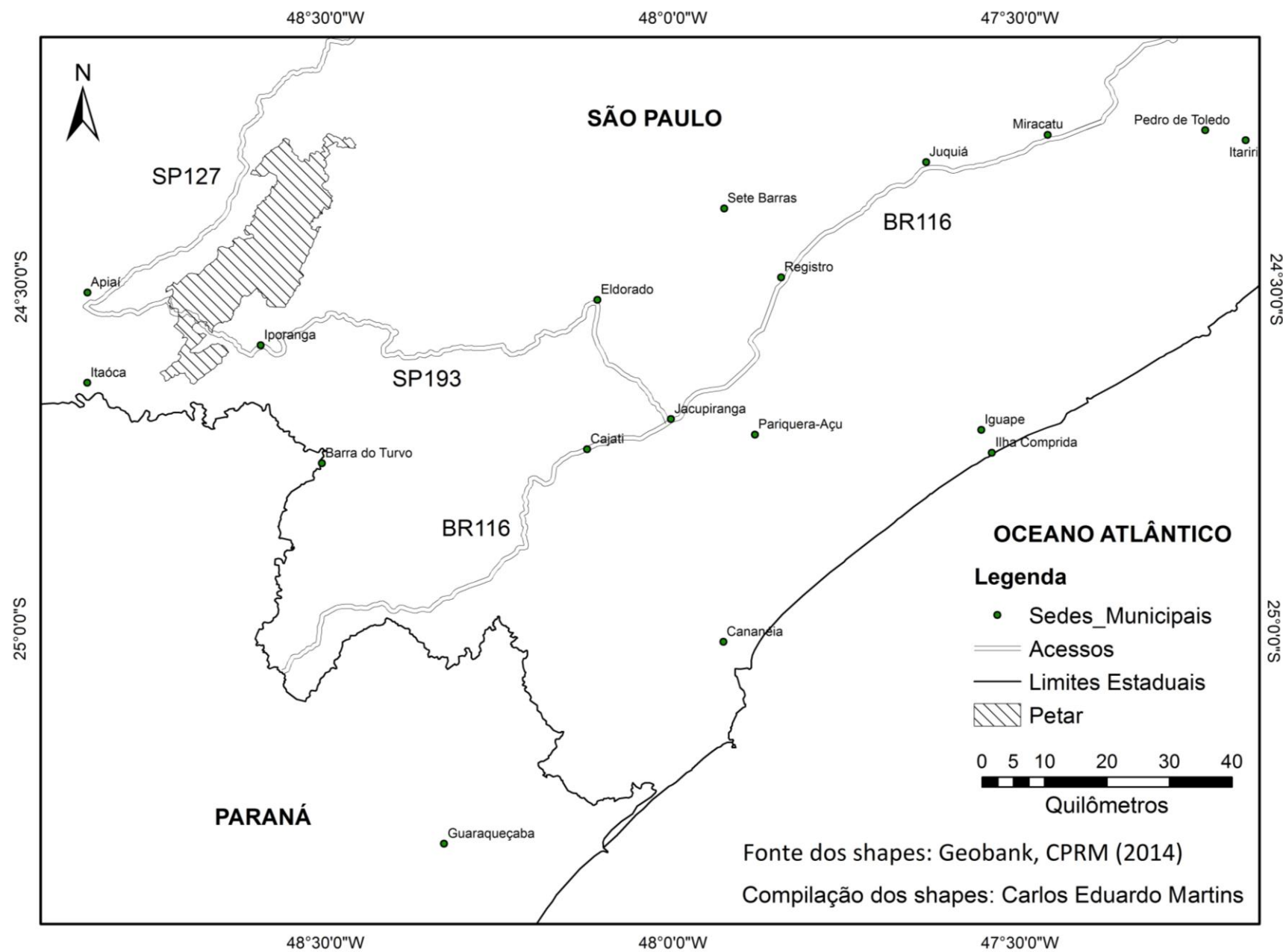


Figura 1.2-1. PETAR: localização e acesso.

1.3. Contexto ambiental

Tanto o objeto deste estudo quanto o seu entorno encontram-se em um continuum de Floresta Atlântica mais ou menos bem preservada, sendo considerado o último remanescente de maior extensão desse domínio vegetal existente no Brasil. Com mais de 120.000 ha de florestas, o contínuo ecológico é composto pelos parques estaduais Carlos Botelho, Intervales, Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e pela Estação Ecológica de Xitué. Se considerado o entorno ainda florestado destas áreas, a Área de Proteção Ambiental da Serra do Mar e outras UCs próximas, como o Mosaico de Unidades de Conservação de Jacupiranga, esse total sobe para mais de 400.000 ha de florestas. As UCs ocupam áreas dos municípios de São Miguel Arcanjo, Capão Bonito, Ribeirão Grande, Guapiara, Tapiraí, Iporanga, Sete Barras, Apiaí e Eldorado.

O contínuo também possui importância cultural reconhecida pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado de São Paulo (CONDEPHAAT) da Secretaria de Estado da Cultura, através da Resolução nº 40 de junho de 1985, que tomba as serras do Mar e de Paranapiacaba devido ao seu grande valor paisagístico, incluindo o tombamento no “Livro do Tombo Arqueológico, Etnográfico e Paisagístico”.

Em 1991, a área foi declarada pela UNESCO como Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado de São Paulo e, posteriormente, reconhecido como Sítio do Patrimônio Natural Mundial da Humanidade. Assim, a Mata Atlântica juntou-se à rede internacional formada por 360 outras áreas de todo mundo, contempladas com o título Reserva da Biosfera (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

1.4. Mais que um simples fenômeno

Com relação ao objeto, alguns metros acima da Cachoeira do Córrego do Couto ocorrem dois pontos de acesso a um amplo espaço subterrâneo formado por um conjunto de cavidades naturais subterrâneas² ou cavernas calcárias, a

² De acordo com o Decreto Federal nº 6.640, de 7 de novembro de 2008. *Entende-se por cavidade natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, fuma ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido*

saber, as cavernas do Couto e do Morro Preto, fenômenos integrados ao bojo dos atrativos turísticos dos mais visitados do PETAR. A Caverna do Morro Preto (Figura 1.4-1), além dos seus atuais atributos estéticos contemplativos, é considerada um importante sítio arqueológico apresentando remanescentes de detritos alimentares (sambaqui) de ocupação indígena antiga. O mesmo ambiente que hoje atrai o público por seu apelo estético, outrora foi abrigo para os primeiros habitantes do Vale do Ribeira (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).



Figura 1.4-1. Entrada da Caverna do Morro Preto, ou paleorressurgência do Córrego do Couto³ Tanto a Caverna do Couto quanto a do Morro Preto são também componentes dos roteiros de visitação. Embora na relação entre os receptores e os visitantes essas feições sejam tratadas como objetos em si mesmos, elas são conectadas por um complexo conjunto de condutos truncados por amontoados de blocos decimétricos a métricos, em diversos pontos ao longo de cerca de 250 metros de desenvolvimento subterrâneo (Pontos 6, 6' e 6'' da Figura 1.4-2).

formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante.

Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm. Acessado em 01/07/2014.

³ Disponível em http://www.cprm.gov.br/gestao/ppga_valedoribeira/Atributos%20tur%EDsticos%20e%20cient%EDficos/Fotos/FOTO0263_2.JPG. acessado em 20/06/2014

A uma distância de aproximadamente 250 metros da entrada de visitantes, as duas cavernas se entrelaçam. Um espaço entre o teto e um abatimento de blocos em plano inclinado leva ao sifão (Ponto 5” da Figura 1.4-2) que separa a porção de condutos espeleológicos em ambiente vadoso, a ate bem pouco tempo, aberta à visitação e que tem seu limite a jusante na Cachoeira do Córrego do Couto (Ponto 2 da Figura 1.4-2) e a porção a montante em que este percorre os espaços freáticos do ambiente subterrâneo. Entre outros aspectos a serem salientados mais a frente, a diferenciação supracitada é o motivo pelo qual este conjunto de feições é tratado como fenômeno cárstico-espeleológico.

1.5. Justificativa

A definição pela Cachoeira do Córrego do Couto como objeto de investigação para este trabalho e do Geossistema como referência de abordagem se deram pelo fato de que o primeiro é percebido como um fenômeno socioeconômico e cultural, pois constitui-se de um atrativo turístico do PETAR para um público que busca contato com a natureza. Por outro lado, o turismo é amparado por uma rede de hospitalidade instalada nos arredores do parque e que se transformou em um dos pilares da geração de renda das comunidades do entorno.

Se, de um lado, a Cachoeira do Córrego do Couto é percebida como um fenômeno turístico em si mesmo, pelos seus atributos estéticos, como um local de recreação e contemplação. Por outro lado, ela é concebida neste trabalho como um componente de uma totalidade que é o que se denominou Carste do Córrego do Couto, ou seja, um aquífero subterrâneo e que engloba uma faixa de rocha carbonática contendo inúmeras outras feições associadas a ele apresentando evidências de processos geomórficos e evolutivos. A necessidade de abranger aspectos humanos e físicos implicou a opção pela abordagem geossistêmica, como uma alternativa a ser utilizada para abordar fenômenos naturais influenciados por fatores socioeconômicos.

1.6. Objetivo

O objetivo principal foi responder a uma questão inicial sobre do que se tratava aquele fenômeno e se haveria informações que poderiam explicá-lo de forma que fosse possível compreender seu significado para aqueles que o percebem de modo diverso. Havendo condição de responder a primeira questão, que tipo de abordagem permitiria esta explicação?

Por meio da aplicação do referencial teórico adquirido na análise da bibliografia, partiu-se para explicar a relação existente entre os aspectos naturais e humanos por meio da abordagem geossistêmica.

1.7. Referencial teórico

A busca por dados e informações a respeito da Cachoeira do Córrego do Couto mostrou que tal fenômeno é uma fonte, ou, ressurgência de um prolongado sistema de circulação hídrica subterrânea por meio rochoso predominantemente dissolvido pela água, comumente caracterizado pelo conceito de carste. Por meio disto, foi possível estudar de forma mais coesa tanto a Cachoeira do Córrego do Couto quanto o conjunto de feições a ela associado como fenômenos cársticos, ou seja, aqueles predominantemente resultantes da dissolução pela água.

O conceito de carste, que explica o fenômeno aqui tratado, tem origem nos trabalhos sobre a Geografia da Península Balcânica, onde o mesmo tipo de fenômenos foram estudados de forma pioneira, em fins do século XIX, consolidando-se, a partir daí, como uma das principais ferramentas teóricas da institucionalização e legitimação da Geografia acadêmica do século XX.

O capítulo 2 tem por finalidade apresentar o conceito de carste. Surgido há pouco mais de 100 anos, este conceito veio à tona no momento da institucionalização-legitimação da Geografia germânica do fim do século XIX, a partir do momento em que foi proposto como um paradigma pela escola de Viena. Entretanto, o estabelecimento definitivo somente ocorreu a partir do instante em que Davis (1931) converteu os fenômenos cársticos e espeleológicos concretos e os inúmeros processos decorrentes dos diversos

condicionantes ambientais no modelo de *carste normal*⁵, ou seja, um modelo geral e legitimamente científico para a Geografia.

O capítulo 2 apresenta a evolução do conceito de carste normal até os dias atuais. O presente trabalho busca adequar a experiência empírica às formas de explicação mais ajustadas possíveis ao fenômeno. Desta forma, o dedutivismo esperado em relação à base teórica existente se funde ao tratamento fenomênico das feições observadas e racionalizadas como parte de uma tentativa de dar um tratamento integrado àquelas.

1.8. Reposicionamento racional do objeto de estudo

O funcionamento do Geossistema Carste do Córrego do Couto será descrito no capítulo 4. Neste também será apresentado o zoneamento no qual são propostas as morfologias resultantes das interações externas e internas ao geossistema.

1.9. Procedimentos metodológicos

Todo o desenvolvimento do trabalho se deu, como já mencionado, a partir de um primeiro contato empírico com o objeto constituído pela Cachoeira do Córrego do Couto. A partir deste primeiro contato iniciou-se tanto a busca na literatura técnico-científica por conceitos, dentro e fora da Geografia, que pudessem explicar do que se tratava tal fenômeno. Esta busca culminou na adoção do conceito de carste e nas referências da literatura espeleológica, ou, Espeleologia (dos gregos *spelaiou*, ou, caverna e *logos*, ou, estudo. GÉZE, 1968, p. 05). Cada um, ao seu modo, trata dos fenômenos subterrâneos e da paisagem integrada a eles.

Basicamente o trabalho foi dedicado à análise dos aspectos responsáveis pela gênese, dinâmica e morfologia da Cachoeira do Córrego do Couto, todas as feições e ao aquífero subterrâneo a ela associados, ou seja, aos aspectos físicos e socioeconômicos que se inter-relacionam como fatores responsáveis pela concepção do objeto deste trabalho. Como o objeto do trabalho é um fenômeno natural percebido como um fenômeno socioeconômico e cultural optou-se pela abordagem geossistêmica que, em síntese, avalia exatamente o

⁵ Ajustado ao princípio de *erosão normal* (DAVIS, 1899).

papel que a sociedade desempenha quanto ao estado de um fenômeno natural.

Tradicionalmente, seja na Geografia Física ou nas Geociências, objetos como o que foi estudado neste trabalho são abordados a partir da forma. Desta, deduz-se a gênese e os diversos estágios representados pelas evidências espaço-temporais identificados no levantamento em campo. Na literatura geográfica há uma gama considerável de propostas para a análise da forma do terreno. Como exemplos mais recentes, podemos citar Tricart (1956, p. 451-470) que classificou os cones cársticos residuais, os lapiés, cavernas e outras formas menores, da região de Belo Horizonte na ordem de grandeza VI e VII (Quadro 7-1 do Anexo), respectivamente, da sua *Classification Taxonomique des Faits Géomorphologiques* (CAILLEUX E TRICART, 1965, p. 93). Na classificação de Ross (1992, p. 22), a área de estudo estaria situada entre o 4º e o 6º táxon (Quadro 7-2 do Anexo), respectivamente, correspondendo às formas individualizadas, tipos de vertentes e formas lineares ou areolares recentes. De acordo com a metodologia do IBGE, o Carste do Córrego do Couto pode ser acomodado na categoria “modelado de dissolução” (Quadro 7-3 do Anexo), ou, um táxon de 4ª ordem de grandeza, do tipo “Kc”, ou, Carste Coberto (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2009, p. 51-51).

Como o objeto de estudo é um fenômeno hídrico, a unidade territorial de referência será a bacia hidrográfica a ele associada, denominada de Bacia do Córrego do Couto, delimitada a partir da consulta e análise da base cartográfica descrita a seguir.

1.9.1. Bases cartográficas

Do ponto de vista cartográfico, foram consideradas as seguintes opções disponíveis:

- IBGE, Levantamento planialtimétrico 1:50.000, Folha Iporanga, 1987.
- DAEE, Levantamento planialtimétrico 1:10.000, Folhas U12 e V12, 1957.
- IGC, Plano Cartográfico do Estado de São Paulo 1:10.000, Folhas Serra da Onça Parda e Betari, 2001.

1.9.2. Delimitação da Bacia do Córrego do Couto e Cartografia Temática da área de estudo

A base planialtimétrica do IGC (2001), por ser mais moderna e ter parâmetros cartográficos e geodésicos mais atuais, foi utilizada para a delimitação da Bacia do Córrego do Couto, como unidade de análise e a confecção da cartografia temática do presente trabalho, elaborada por meio da ferramenta ArcMap do pacote ArcGIS. Os mapas temáticos com a localização dos afloramentos carbonáticos foram elaborados a partir dos *shapes* obtidos em <http://web.env.auckland.ac.nz/>, acessado em 08/01/2014 e em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>, acessado em 16/01/2014.

1.9.3. Análise da base cartográfica e visitas ao campo

A associação da base altimétrica do IGC (2001) e dos *shapes* dos afloramentos carbonáticos, serviram à elaboração de um mapa de fundo, com o uso dos aplicativos GPS Trackmaker, Mapsource e Mapdekode para o receptor GPS, utilizado nas visitas ao campo. Foram realizadas oito visitas técnicas ao campo nas quais foram rastreados todos os trajetos e foram posicionadas as coordenadas de todas as feições consideradas como componentes do Geossistema do Carste do Couto.

Foi realizada a fotointerpretação em fotografias aéreas e analisada a imagem multiespectral sobre a área nas seguintes fontes⁶:

- Levantamento aerofotogramétrico da VASP Aerofotogrametria S/A para a Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1973.
- Google Earth, disponível em <http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acessado de janeiro de 2013 a janeiro de 2014.

1.9.4. Lineamentos, contatos litológicos e compartimentação do relevo

A interpretação das fotografias aéreas e imageamento multiespectral permitiu a realização de inferências a respeito dos lineamentos existentes e que são, em grande parte, responsáveis pelos processos geomórficos instalados na área do presente estudo. A partir destes foi possível inferir com mais acurácia e

⁶ O projeto Mapeia São Paulo, disponibilizado no segundo semestre de 2013 em <http://www.mapeiasp.sp.gov.br/Mapa>, por uma questão de cumprimento do cronograma de qualificação, não foi considerado na fotointerpretação realizada.

precisão os contatos litológicos entre o metacarbonato da Formação Bairro da Serra e as litologias terrígenas das formações Betari e Água Suja, nas quais são encontrados os interflúvios da Bacia do córrego do Couto.

Os procedimentos para a tomada de medidas do terreno, existentes no texto, foram baseados em cálculo de extensão cartográfica de polígonos e linhas elaborados nos aplicativos ArcMap/ArcGIS e GPS Trackmaker-Pró.

Os dados e as informações sobre fenômenos espeleológicos constantes neste trabalho foram obtidos a partir do acervo do Grupo Pierre Martin de Espeleologia e dos índices de cavernas públicos e de associações nacionais de espeleologia. O posicionamento geográfico dos fenômenos cárstico-espeleológicos utilizado neste trabalho foram obtidos em campo, por meio de coletas efetuadas com receptor GPS. Preferiu-se o posicionamento em campo à morfometria das feições devido às dimensões reduzidas da área de estudo devido à baixa resolução dos recursos cartográficos e de sensoriamento remoto disponível e da densa cobertura vegetal que impede a melhor visualização das feições. Igualmente, entende-se que o conhecimento dos pontos de entrada de água no sistema cárstico-espeleológico, por posicionamento geográfico pode servir à gestão futura dos recursos hídricos subterrâneos.

A abordagem geossistêmica para o Carste do Córrego do Couto decorre da consideração de diversos aspectos teóricos que foram, na medida do possível, verificados em campo ou em resultados obtidos em outros trabalhos. Trata-se de um conjunto que associa a litologia metacarbonática, um fluxo hídrico cársticos, abastecido por múltiplas fontes de recarga (entrada) autogênicas e alogênicas difusas oriundas de superfícies impermeáveis marginais que, após reunirem-se em meio cárstico, são despejadas em uma única fonte de descarga (saída) concentrada. (SANCHEZ, 1992, p. 03-14; FERRARI, HIRUMA, e ARMANI, 2010). Esta peculiaridade auto-organizativa esperada sobre o comportamento do carste, considerada como resultante da inter-relação dos componentes internos denota a importância da estrutura sistêmica do Carste do Córrego do Couto. A fim de verificar a tal peculiaridade auto-organizativa, entendeu-se, como supracitado, que a visão (geo)sistêmica contempla, ao mesmo tempo, a categoria de referência proposta para os

estudos espeleológicos (SANCHEZ, 1992, p. 3-14) e aquela utilizada com mais frequência para caracterizar fenômenos naturais sob a influência de fatores socioeconômicos (KLIMCHOUK, 2007, p. 28).

Tanto os componentes internos particulares quanto a totalidade do Carste do Córrego do Couto são aqui denominados fenômenos cárstico-espeleológicos. Este critério se deve ao fato de que o mesmo é composto de pontos acessíveis ao homem e, por tanto, empiricamente representáveis, entretanto, a maior parte do espaço ocupado pelo sistema ocorre exclusivamente em meio cárstico representado apenas por meio de abstrações geométricas sendo dedutível somente a partir de estudos hidrogeológicos. Já o espaço espeleológico existente abriga as representações humanas a cerca das significações das coisas podem realizar todas as intencionalidades possíveis.

1.9.5. O zoneamento do Carste do Córrego do Couto

O zoneamento do Carste do Córrego do Couto foi definido, então, após a sistematização da literatura, aerofotointerpretação e análise de produto de sensoriamento remoto, combinadas com as visitas ao campo e posicionamento geográfico das feições reconhecidas com base na terminologia utilizada por Karmann (1994) quanto às suas funcionalidades para o sistema cárstico-espeleológico.

2. GÊNESE, EVOLUÇÃO E O ATUAL ESTADO DO CONCEITO DE CARSTE

Este capítulo é dedicado à investigação do conceito de carste. Embora os fenômenos cársticos sejam percebidos e estejam integrados ao conhecimento humano há muito tempo, o arcabouço científico considerado cientificamente válido para abordar os fenômenos cárstico-espeleológicos, teve início em fins do século XIX. Ao longo desse período as bases conceituais fundamentais sofreram inúmeras transformações, visto que, a cada nova abordagem geográfica sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos particulares, o conceito de carste normal tanto incorporou as singularidades daqueles quanto foi ajustada à subjetividade do pesquisador.

A racionalidade científica relacionada aos fenômenos cárstico-espeleológicos, baseada na concepção de que o calcário é gradualmente dissolvido em vez de ser erodido pela água, começa a aparecer no século XIX proveniente da análise mais pormenorizada e mais analítica de tais fenômenos. Em alguns casos, a origem podia estar ligada à água aquecida ou, ainda, ser resultado de uma água ferozmente ácida diante da presença de dióxido de carbono da chuva, sobre a qual se pensava anteriormente que fosse pura e nada mais que água (GUNN, 2004, p. 1426).

Na Geografia, apesar das tentativas anteriores em criar uma estrutura universalizante e sistemática de análise e de formulação das representações do espaço, tanto as experiências empíricas quanto a multiplicidade de culturas contribuíram de forma decisiva para a multiplicidade modelos de espaço geográfico. Quanto ao tema deste trabalho, é no contexto do positivismo comtiano⁷ que nascem as primeiras tentativas de se sistematizar os estudos e

⁷ De forma sintética, o positivismo elaborado por Isidoro Auguste Marie François Xavier Comte (1798 – 1857) apresenta as seguintes características, levantadas por CAPEL (1983, p. 225):

- Rejeita a metafísica;
- Tem uma estrutura empírica, indutiva, racionalista e reducionista e
- Funda-se sobre o tripé
 - A verdadeira observação é a única base possível dos conhecimentos;
 - Toda proposição que não pode reduzir-se estritamente ao mero enunciado de um fato particular ou geral, não pode oferecer nenhum sentido real e inteligível e
 - Cabe ao pensamento positivo substituir a busca pela inacessível determinação das causas propriamente ditas pela mera investigação das leis (das relações constantes que existem entre os fenômenos observados); há a necessidade do reducionismo ao fenômeno (relativismo); deve-

modelar os fenômenos cárstico-espeleológicos. Do ponto de vista metodológico, para o positivismo o estudo científico deve adotar as seguintes premissas: o objeto deve ser desmembrado, por meio da seleção, da sua realidade concreta; deve ter suas propriedades decompostas e analisadas por meio de procedimentos experimentais válidos; deve ser classificado segundo as respostas aos estímulos e, por fim, simplificado segundo as leis gerais ou normais. A formação e consolidação das escolas nacionais de Geografia acontecem concomitantemente ao sucesso do positivismo como concepção filosófica, metodológica e científica. Dessa forma seria necessário que os geógrafos adotassem um modelo universal que justificasse a existência científica da Geografia perante as outras ciências já consolidadas.

É justamente na fase de adoção do sistema positivista comteano⁸ que aparece a figura de William Morris Davis, decisiva para a Geografia, e mais ainda para a abordagem sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos.

2.1. Origem e evolução científico-acadêmica geográfica do conceito de carste

O interesse científico da Geografia pelos fenômenos cárstico-espeleológicos, entre o século XIX e XX não foi casual. As grandes transformações no espaço geográfico europeu tiveram repercussão na infraestrutura de transporte, das comunicações, de energia e de outros serviços complementares às estruturas urbano-industriais em expansão naquele período. Em meio a esse contexto foram inventariadas as características geológicas e geomorfológicas do território continental, a fim de que se resolvessem o limite impostos pela natureza à engenharia da época, principalmente de superação das amplitudes de relevo alpino (ROGLIĆ, 1981.p. 12-13).

Pode-se considerar que, com base nos inúmeros trabalhos surgidos entre meados e o fim do século XIX, a percepção sobre a inter-relação entre os fenômenos cárstico-espeleológicos subterrâneos e a morfologia superficial do terreno era cada vez maior. Como exemplo, embora pesquisando locais distintos, Virlet (1834) e Fournet (1852), na França; Owen (1856) e Cox (1874),

se postular a previsibilidade racional, ou, leis positivas (dos fenômenos), entendendo-se por previsão a consequência necessária das relações constantes descobertas entre os fenômenos.

8 Relativo à aplicação do método positivo de Comte.

nos EUA; Sawkins (1869), na Jamaica; e Hacquet (1778) e Gruber (1781), na Eslovênia, concordaram que as dolinas tinha relação com colapsos subterrâneos (ROGLIĆ, 1981.p. 12-13). Muito embora em diversos campos científicos o modelo positivista já se encontrasse inteiramente integrado ao trabalho dos pesquisadores e produzindo os resultados esperados, na Geografia a questão que se colocava a partir desse momento também tinha como foco o estabelecimento de uma lei geral, para o conjunto que englobasse e definisse de forma inequívoca, os objetos geográficos enquanto partes de um todo, da forma como recomendava o método científico positivista àquela altura. A saída para o problema da definição da lei geral seria a escolha de um conjunto teórico-prático que fosse universal para legitimar cientificamente as investigações geográficas. Outro ponto importante para a nova teoria era que ela deveria trazer consigo o princípio evolucionista emergente que, desde Lamarck e Darwin, fazia parte da estrutura procedimental das pesquisas científicas em geral (CAPEL, 1987, p. 273-278).

Todo esse reordenamento intelectual e os debates decorrentes dele pela recém-criada cadeira de Geografia na Universidade de Viena, da qual faziam parte Albrecht Penck, Alfred Grund, o doutorando Jovan Cvijić e muitos outros que se juntam ao grupo, fizeram surgir uma conjunção de fatores favoráveis entre sujeito e objeto que permitiram alguns movimentos na direção do aprofundamento sobre os estudos cárstico-espeleológicos, tais como: aglutinar o maior número possível de praticantes; manter a coerência da prática a partir de regras e procedimentos parametrizados ou normatizados, capazes de gerar uma representação conceitual única e, finalmente, a autoafirmação e reconhecimento público da teoria e, por consequência, da Geografia. Esta fase do desenvolvimento científico da Geografia vienense está diretamente relacionada à busca pelo reconhecimento acadêmico profissional e, tecnicamente, envolta pelo cenário filosófico-científico do positivismo lógico.

Contextualmente a grande extensão de superfície carbonática, somada às estruturas geológicas dobradas alpinas, de grande parte da porção centro-sul do continente europeu (Quadro 2.1-1), são determinantes para a formação de fenômenos cárstico-espeleológicos e, principalmente, de aquíferos cársticos subterrâneos - considerados como fluxos através de rochas carbonáticas

levando à formação de redes de canais auto-organizados e de fluxo de águas subterrâneas rápidas (WORTHINGTON e FORD, 2009, p. 224 apud GUNN in ANDREO et al, 2010, p. 73) – que, em comparação às outras partes do mundo, estão entre as principais fontes de água para grande parte da população.

Assim sendo, esse componente geológico-geomorfológico que sempre fez parte da paisagem e por sua vez do arcabouço cultural europeu, no período em questão, ganha o status de objeto de ciência.

Quadro 2.1-1. Ocorrências de afloramentos carbonáticos e participação em diferentes regiões do mundo⁹

Regionalização	Países considerados	Área km ²	Afloramento carbonático (km ²)	%
Mundo	Excluindo Antártica, Groenlândia e Islândia	133448089	17655024	13,2
Federação russa	Armênia, Azerbaijão, Geórgia, Cazaquistão, Quirguistão, Rússia, Turcomenistão,	20649781	3993639	19,3
América do Sul	Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Falkland Islands (Malvinas), French Guiana, Guayana, Paraguai, Peru, South Georgia and the South Sandwich Island, Suriname, Uruguai, Venezuela	17792882	370809	2,1
África	Argélia, Angola, Benin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Camarões, Cabo Verde, República Centro Africana, Chade, Comores, Congo, Congo democrático da a, Costa do Marfim, Djibuti, Egito, Guiné Equatorial, Eritreia, Etiópia, Gabão, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné-Bissau, Quênia, Lesoto, Libéria, Líbia, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritânia, Maurícias, Mayotte, Marrocos, Moçambique, Namíbia, Níger, Nigéria, Reunião, Ruanda, São Tomé e Príncipe, Senegal, Seychelles, Serra Leoa, Somália, África do Sul, Sudão, Suazilândia, Tanzânia, Togo, Tunísia, Uganda, Saara Ocidental, Zâmbia, Zimbábue	30001574	3041664	10,1
América do Norte excluindo a Groenlândia	Anguilla, Antigua e Barbuda, Bahamas, Barbados, Belize, Bermuda, Canadá, Ilhas Cayman, Costa Rica, Cuba, Dominica, República Dominicana, El Salvador, Guadalupe, Guatemala, Haiti, Honduras, Jamaica, Martinica, México, Monsterrat, Nicarágua, Panamá, Porto Rico, Saint Kitts e Nevis, Santa Lúcia, São Vicente e Granadinas, Ilhas Turks e Caicos, EUA, Ilhas Virgens, Ilhas Virgens (EUA)	22229293	4076077	18,3
Leste e Sudeste da Ásia	Brunei, Camboja, China, Timor Leste, Indonésia (excluindo Papua), Japão, Coreia (norte e sul), Laos, Malásia, Mongólia, Mianmar, Filipinas, Cingapura, Taiwan, Tailândia, Vietnã	15638629	1688219	10,8
Oriente Médio e Ásia Central	Afeganistão, Bangladesh, Butão, Chipre, Índia, Irã, Iraque, Israel, Jordânia, Kuwait, Líbano, Maldivas, Nepal, Omã, Paquistão, Palestina, Qatar, Arábia Saudita, Sri Lanka, Síria, Tajiquistão, Turquia, Emirados Árabes Unidos, Uzbequistão, Iêmen	11129677	2554380	23,0
Europa excluindo Rússia e Islândia	Albânia, Andorra, Áustria, Belarus, Bélgica, Bósnia e Herzegovina, Bulgária, Croácia, República Checa, Dinamarca, Estónia, Ilhas Faroe, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letónia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Macedónia, Malta, Moldávia, Mónaco, Holanda, Noruega, Polónia, Portugal, Roménia, San Marino, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Suécia, Suíça, Ucrânia, Reino Unido, Cidade do Vaticano, Iugoslávia	6125842	1337635	21,8
Australásia	Samoa Americana, Austrália, Baker-Howland-Jarvis, Ilha Christmas, Ilhas Cook, Fiji, Polinésia Francesa, Guam, Kiribati, Ilhas Marshall, Micronésia, Nova Caledónia, Nova Zelândia, Niue, Ilha Norfolk, Ilhas Marianas do Norte, Palau, Nova Guiné (Papua Nova Guiné e Papua), Ilhas Salomão, Tonga, Tuvalu, Vanuata, Wallis e Futuna, Irã, Samoa Ocidental	9611377	592601	6,2

2.2. O Carste como modelo de referência para a Geografia vienense

O ponto de partida dos estudos científicos dos fenômenos cárstico-espeleológicos por parte da Geografia é a tese de doutorado de Jovan Cvijić, intitulada *Das Karstphanomen*, apresentada na Universidade de Viena em 1893. O texto trata, de forma descritiva, sobre a morfologia do terreno nos

⁹ Fonte: Adaptado de http://web.env.auckland.ac.nz/our_research/karst/. Acessado em 10/01/2014.

Bálcãs continentais. A inovação que pode se atribuir a ele está no fato tratar as feições subterrâneas e superficiais de forma integrada e associados a um conjunto de processos estruturados esquematicamente e mensuráveis matematicamente, como será tratado mais adiante. Cvijić é reconhecido como autor de uma proposta modelar universalizante, de classificação morfogenética do chamado Carste Dinárico¹⁰, uma porção dos Bálcãs continentais, considerada pelos seus seguidores como modelo ideal clássico a ser utilizado com referência para análise geográfica.

A definição de Kranjc empregada neste trabalho considera especificamente a terminologia utilizada por Cvijić e o local de ocorrência da morfologia dinárica ou clássica. Para o autor

“O termo internacional carste deriva do nome do planalto cárstico no fundo da baía de Trieste (Mar Adriático), na fronteira esloveno-italiano, chamado de Kras em esloveno, Carso em italiano e em alemão Karst¹¹. Abrange cerca de 440 km² (40 km de comprimento e 13 km de largura) e encontra-se a 45°45'N e 14°L. A altitude está entre 200 e 500 m. (...) O planalto em si consiste de rochas carbonáticas do Cretáceo e do Terciário”. (KRANJC, 2001, p. 01)

Segundo Travassos (2010, p. 28) o uso do termo carste (“karstes”) aparece primeiramente no trabalho de Franc Jozef Hanibal Hohenwart em 1830. É de se pressupor que, desde a sua origem aos dias atuais, o conceito tenha sofrido diversas modificações, aperfeiçoamentos e até questionamentos quanto à sua aplicação em situações diversas daquelas onde foi utilizado de forma pioneira. O propósito deste item é justamente analisar essa evolução do ponto de vista contextual regional e global.

¹⁰ O Carste Dinárico é um aquífero cárstico que se estende do NE Itália através da Eslovénia, Croácia, Bósnia e Herzegovina, Montenegro e Albânia. Ramificações estendem-se pela Sérvia, Macedônia, e, possivelmente, sobre o noroeste da Grécia. Fonte: <http://www.twrm-med.net/>. Acessado em 08/01/2014.

¹¹ A germanização e posterior internacionalização das palavras krass ou carso se deve ao fato de que a escola geográfica alemã em fins do século XIX exercer grande influência na produção literária na época (grifo nosso).

A evolução das ideias determinou o progresso das ciências de modo geral e as diversas técnicas de observação, bem como colaborou para que procedimentos experimentais fossem incorporados aos estudos sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos. Com isso, a abordagem tem sido convertida, de forma mais ou menos bem sucedida, dependendo do local, em especialidade científica. A chamada Carstologia, ou, o estudo do carste, já reconhecida em algumas escolas, dedica-se a sistematizar, dependendo do caso, de modo transdisciplinar, os aspectos do modelado da superfície direta e, ou, indiretamente ligados aos fenômenos cárstico-espeleológicos permitindo uma interpretação multidimensional ao fenômeno.

Abordagens mais recentes também têm mostrado que o conceito de carste tem sido utilizado para identificar terrenos não calcários, permitindo, assim uma maior amplitude de abordagens, inclusive sobre morfologias até então marginalizadas, sob a alcunha de pseudocarste¹², mais bem discutido a seguir. Estas iniciativas produziram um efeito devastador naquelas visões mais conservadoras e fixistas que somente admitem as formas cársticas clássicas ou tradicionais.

A grande problemática enfrentada pelos estudos que envolvem feições de relevo e seus atributos físicos na Geografia é a delimitação das bases teóricas e práticas específicas em relação às outras ciências que se dedicam aos mesmos fenômenos da superfície terrestre. Isso por que entre elas há percepções e objetivos muito diferentes. A tese de Cvijić (1893), de tão abrangente para os padrões da época, parece aos seus leitores que dela se pode extrair a totalidade de elementos referenciais para promover o entendimento geográfico geral sobre os fenômenos da natureza dos carste. Seus os padrões, regularidades e caracteres de imutabilidade intrínseca permitiriam, enfim, representar geograficamente a verdade científica dos fatos que conferem a esse ambiente sua especificidade territorial. A proposta de Cvijić pareceu suprir, inicialmente, a necessidade de um modelo lógico-

¹² Essa marginalização já havia sido sugerida por Roglic, quando o mesmo se referia ao conceito de carste, afirmando que (...) *“é preciso excluir do carste os terrenos onde se desenvolvem algumas formas parecidas com as formas cársticas, mas onde não se efetua a circulação subterrânea das águas.”* (1965, p. 12, nota 2).

matemático vigoroso, abstrato e verificável em todas as circunstâncias para os estudos geográficos do carste.

Cvijić da grande importância à representação das formas como elemento apriorístico para, a partir dele, intuir os processos ou leis causais dos carstes particulares. Tanto que, atribui às feições chamadas de dolinas,¹³ o caráter, a identidade, ou, ainda, a evidência do estágio em que se encontram os terrenos carbonáticos, dentro de uma perspectiva histórica, ou, evolutiva. Tal importância fica evidenciada na divulgação de um dos primeiros mapas temáticos (Figura 2.2-1) de feições cársticas da história da Geografia. Neste é possível observar a densidade de dolinas do Carste Dinárico estudado pelo autor. No texto da tese *Das Karstphänomen* em que trata sobre o tema, Cvijić lembra que

“Nós, assim, compreendemos sob o nome de "dolina" todas as formas de depressões afuniladas, relativamente pequenas que são a paisagem especialmente característica das áreas cársticas” (1981, p. 24).

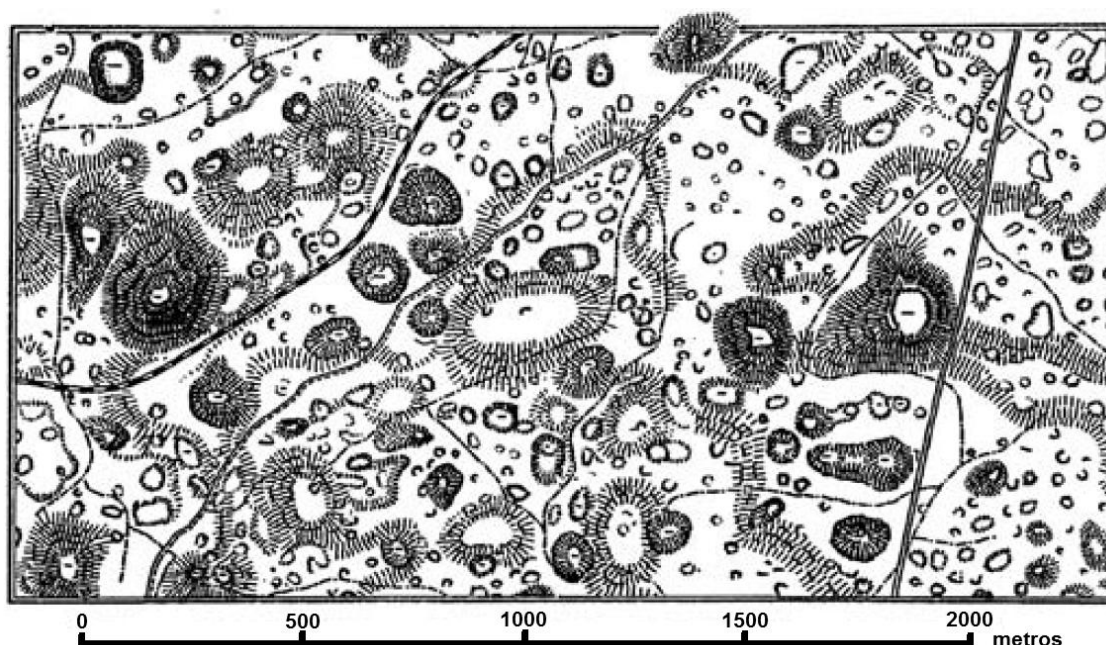


Figura 2.2-1. Representação de paisagem preenchida por dolinas nas proximidades de Sežana, na Eslovênia, 1:20.000. As linhas do mapa mostram a estrutura viária regional¹⁴

¹³ A conceituação atual para dolina será tratada no capítulo 3 deste trabalho.

¹⁴ Fonte: Cvijić, 1893 p. 261 apud SHAW, 2007, p. 58.

Para Cvijić, uma estratégia de controle metodológico sobre o conceito de dolina foi o uso restrito dessa palavra eslovena, exclusivamente, às depressões pequenas, já que, mesmo semelhante a elas em termos de forma, as depressões maiores por estarem, segundo ele, em outro estágio do ciclo devem ser denominadas de forma específica. Sua maior preocupação é superar a multiplicidade de sinônimos diminuindo ou eliminando ambiguidades conceituais em relação ao fenômeno onde e em qualquer escala que venha a ocorrer. A fim de normalizar a sua proposta conceitual o autor afirma que

“As formas mais amplamente distribuídas em todas as regiões cársticas são as dolinas pequenas de forma afunilada, circular ou elíptica, com uma profundidade de 2 a 20 m (média de 7 a 8 m) e um diâmetro de 10 a 120 m (média 50). Os valores apresentados são médias trabalhadas a partir de 300 medições que eu fiz das dolinas pequenas no leste da Sérvia e na região cárstica Adriático, nomeadamente na Carniola, Ístria, Montenegro e Herzegovina” (CVIJIĆ, 1981, p. 24).

À época da apresentação de sua tese, Cvijić participava ativamente do debate que ocorria em torno da explicação para a ocorrência de dolinas, no qual, de um lado, estavam autores como: Stache, Tietze, Schmidl, Fruwirth, Kraus e Putick, aos quais Cvijić, após uma análise cuidadosa dos respectivos trabalhos, classificou de tradicionais, pela visão catastrofista que tinham em relação à gênese das dolinas, atribuída única e exclusivamente a colapsos efêmeros. Tietze (1880), um dos maiores representantes dessa linha, questiona

“Onde as cavidades são formadas tais como as que foram efetivamente comprovadas, a existência de colapsos deve eventualmente ocorrer. E onde mais os efeitos que estes colapsos têm na superfície devem ser procurados, se não nas dolinas? Se não, a quais outras características da superfície seriam possíveis correlacionar tais colapsos?” (Tietze, 1880, p. 743 apud CVIJIĆ, 1893, p. 33).

Em oposição ao grupo anterior estão Mojsisovics, Diener, Martel, Cox, Sawkins, Prestwich, Van den Broeck e Lyell, aos quais Cvijić se juntou na constatação empírica de que a maior parte das dolinas não tem ligação com caverna alguma e que o aparecimento de dolinas está ligado à dissolução do calcário através das fissuras na rocha. Na visão de Cvijić, esse modelo, embora apresentasse traços teleológicos, além de representar o movimento de oposição à visão catastrofista da gênese das dolinas, a ser superada, estava mais próximo às tendências às quais a Geografia se aproximara ao considerar o fenômeno a um processo mais gradual e que integrasse o meio subterrâneo ao meio externo, no qual

“A água atmosférica que forma os córregos tem uma tendência a juntar-se à água subterrânea ou ir aos vales mais profundos. Ela procura juntas e fissuras e, através delas infiltra-se ou flui. Como uma consequência da dissolução do calcário pela água que contém CO₂ nesses pontos, formam-se sumidouros”. (CVIJIĆ, 1981, p. 32).

Cvijić descarta inclusive o argumento de que os abismos que levam às cavernas e aos fluxos subterrâneos seriam inequivocamente produtos de colapsos, refutando essa tese pela simples falta, ou, fragilidade nas provas de que os cones de detrito acumulados na base das dolinas poderiam ter ocasionado uma sobrecarga no teto e causado o desabamento. Ele afirma que esses detritos poderiam ter inúmeras outras origens possíveis como, p.ex., acúmulos no contato da dolina com a caverna, resultantes de inundações ocorridas previamente. Para Cvijić, a dolina de colapso é a exceção à regra e não o contrário, por uma simples questão de lógica empírico-dedutiva: não há cavernas suficientes para o montante de dolinas existentes no mundo (CVIJIĆ, 1981, p. 32).

Considerando mais detidamente o trabalho de Cvijić percebe-se a preocupação com a lógica positivista, pela necessidade de normatização e a procedimental e terminológica e de uma estruturação teórica e prática capaz de lidar com a dinâmica genética e evolutiva da natureza do carste de maneira plena e inquestionável. Essa percepção tem a ver, como veremos a seguir, com dois

aspectos existentes na proposta do modelo davisiano para o relevo: a adesão ao princípio positivista como concepção filosófica e metodológica e à racionalidade evolucionista lamarquista-darwinista. Ambas são articulações explicativas gerais da origem causal dos fenômenos particulares e permitem realizar previsões de tendências atribuídas a estes em função das relações constantes e imutáveis obtidas a partir da análise de seus componentes (MENDOZA, JIMÉNEZ e CANTERO 2002, p. 84).

2.3. O impacto do modelo davisiano sobre os estudos geográficos dos fenômenos cárstico-espeleológicos

A figura de William Morris Davis está intimamente associada a essa fase de grandes mudanças na Geografia de modo geral e, de forma específica, nos estudos geográficos dos fenômenos cárstico-espeleológicos. Davis impulsionou a institucionalização da Geografia acadêmica nos EUA a partir de diversas iniciativas¹⁵, como, por exemplo, a proposta teórico-metodológica que se tornou uma das mais relevantes contribuições à Geografia: trata-se do conceito de Ciclo Geográfico, um modelo teorizante e geral para abordar e classificar o relevo. Este, na visão de Abreu (1983, p. 11), contrapunha-se ao contemporâneo modelo de Von Richthofen, que diferia daquele por ser mais um guia para observações de campo.

O artigo *The Geographical Cycle*, de William Morris Davis, publicado no *The Geographical Journal*, da Royal Geographical Society, em novembro de 1899, é uma proposição para universalizar o papel da erosão no modelado da superfície terrestre. Um artigo pequeno, mas que gerou um sério e perene debate no pensamento geográfico das décadas que se seguiram.

¹⁵ Entre as suas principais realizações, Davis

- Inaugurou as bases metodológicas da Geografia enquanto ciência positivista do meio físico, o que para ele definia-se pela questão temporal balizada pelo presente e pela inclusão do homem na constituição da morfologia da superfície;
- Contribuiu com a formação de professores para o ensino básico, nos cursos de verão oferecidos por ele durante o período em que lecionava em Harvard;
- Colaborou assiduamente com a Sociedade Geográfica Americana;
- Fundou, em 1904, a Associação dos Geógrafos Americanos;
- Foi autor de grande parte da literatura de referência de uma Geografia para o ensino, primeiramente utilizada nos EUA, mas depois espalhada para diversos outros países onde sua linha teórico-metodológica foi bem aceita.

O Ciclo Geográfico é um conceito afinado com a lógica positivista. É uma ferramenta simplificadora para a de classificação de relevo, que relaciona três fatores morfogenéticos considerados universais: estrutura, processo e tempo. Se num dado relevo a combinação dos três parâmetros apresenta um grau de determinação baixo, chama-se o relevo de jovem; naquele onde o grau é médio, o relevo é maduro e onde esses fatores tenham atuado de forma a reduzir a superfície a um aplainamento quase que total, o terreno é classificado como senil. A estrutura é a configuração geológica, as rochas, seus arranjos e sua relação com o nível de base. Já o processo se refere aos agentes de desgaste, erosão e deposição sobre a superfície. Quanto ao fator tempo, Davis utilizou o termo "estágio" em vez de "época ou era", permitindo ao observador caracterizar a paisagem, de modo lógico, como parte da totalidade, ou, recorte na evolução espaço-temporal.

No modelo de Davis (Figura 2.3-1), o ciclo (re)inicia-se quando a peneplanície ou planície costeira, em repouso, sofre um soerguimento rápido, estágio este. A partir desse ponto, estabelecem-se os fluxos fortes e rápidos sobre a superfície recém-erguida, encarregados de deteriorar esta mesma superfície até o nível de base¹⁶. Com o tempo, os fluxos desenvolvem uma rede de canais principais e seus tributários gerando vales cada vez mais largos e profundos, com vertentes, inicialmente íngremes, que são rebaixadas e recuadas a taxas cada vez mais lentas sob o efeito da erosão remontante e decrescente. Isto decorre, segundo Davis, da perda de força dos fluxos que passam a serpentear cada vez mais lentamente pelo relevo cada vez mais e mais aplainado, na maturidade. Ao fim do ciclo, a paisagem será desnudada quase que completamente formando uma superfície de baixo relevo próxima ao nível de base onde a água corrente teria pouquíssimo poder para mover sedimentos dando lugar ao desenvolvimento de solos profundos por sedimentação. Esse seria o estágio de senilidade ou de transição para um novo Ciclo Geográfico, visto que os processos geológicos também são cíclicos no tempo e, portanto, por tendência, uma nova orogenia acarretaria maior declividade e poder erosivo à água reiniciando o processo.

¹⁶ Aqui fica evidente uma perceptível identificação de Davis com o princípio das tendências naturais de Aristóteles.

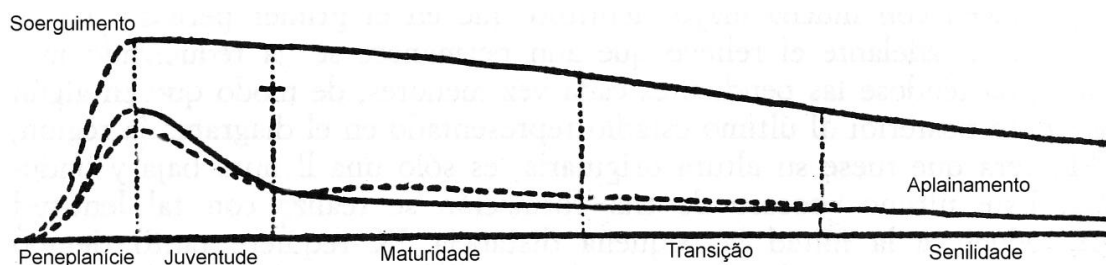


Figura 2.3-1. Modelo simplificado de W. M. Davis, 1899¹⁷

Conceitualmente, o estágio diz respeito à quantidade de trabalho realizado em relação ao que há por vir, quanto ao rebaixamento do terreno até o nível de base (BECKINSALE, CHORLEY e DUNN, 2005, p. 153-165) posto que, por tendência, o relevo deve ser rebaixado por completo. Cabe ao geógrafo, então, a tarefa de, após uma análise cuidadosa dos elementos da paisagem, deduzir o quadro em que a mesma se encontra no plano do devir, ou seja, o reconhecimento das formas ou o estágio¹⁸ de “vida” do relevo associando-o aos processos e às taxas de erosão que sofre. Esse método seria suficiente para determinar os fatores causais das formas existentes e predizer as tendências do modelado, visto que os processos são regulares e imutáveis, permitindo ao geógrafo estabelecer o ordenamento territorial de forma inquestionável e verdadeira.

Davis buscou modelar a paisagem como bloco-diagrama matemático e tridimensional, abstrato e simplificado, ou, *normal*¹⁹ que permitisse uma abordagem geográfica suficientemente válida, rigorosa, sistemática e unificadora em termos de teoria e prática, à luz das teorias vigentes, quais fossem o positivismo e o evolucionismo. Sua proposição tinha por fim superar as limitações da época às quais, segundo ele, limitavam a Geografia a mais que observação, descrição e generalização pura e simples²⁰. Entre as suas

¹⁷ Fonte: Adaptado a partir de Mendoza, Jiménez e Cantero 2002, p. 181.

¹⁸ A revisão dos textos mostrou que foi muito importante para Davis estabelecer bem esse aspecto, uma vez que, para ele a história do que acontece na superfície da Terra está a cargo da Geologia.

¹⁹ Na acepção de KUHN (1994, p. 30) sobre práticas paradigmáticas exercidas a partir de regras e padrões compartilhados por uma comunidade de pesquisadores.

²⁰ “É evidente que um esquema de classificação geográfica que é baseado na estrutura, no processo e no tempo deve ser dedutivo em um alto grau. Isso é clara e intencionalmente o caso no presente caso. Consequentemente, o esquema ganha um conteúdo muito “teórico” que não agrada a alguns geógrafos, cujo trabalho implica que a geografia, diferente de todas as outras ciências, deveria ser desenvolvida pelo uso de somente algumas certas faculdades mentais, principalmente a observação, a descrição e generalização. Mas nada me parece mais

preocupações centrais está a legitimação de um discurso científico genuinamente geográfico.

Da forma como foi idealizado por Davis para se ajustar ao evolucionismo emergente à época, o Ciclo Geográfico é visto como um modelo espaço-temporal análogo ao ciclo da vida, ajustado à ordem do pensamento evolucionista emergente à época. A certeza de Davis de que o seu modelo pode atender às necessidades teórico-práticas da Geografia, provém dos exemplos bem-sucedidos da aplicação do evolucionismo da Zoologia e da Botânica. Sua referência é a própria Geologia de Thomas C. Chamberlin, na qual o desenvolvimento das montanhas depende de um processo similar ao que regula as fases da vida (BECKINSALE, CHORLEY e DUNN, 2005, p. 153-165).

As formas utilizadas por Davis para defender seu modelo encontram-se tão submersas no evolucionismo que, ao tratar sobre o Ciclo Geográfico afirma que

“a sequência no desenvolvimento das transformações das formas do terreno é tão sistemática como a sucessão das mudanças no mais conhecido desenvolvimento das formas orgânicas” (In: MENDOZA, JIMÉNEZ e CANTERO 2002, p. 180).

Inúmeros questionamentos surgidos após a publicação do seu modelo levaram Davis a considerar situações em que durante o decorrer do Ciclo Geográfico, novos e inesperados soerguimentos poderiam ocorrer. Para Davis o controle que o modelo cíclico proporciona permite considerar que, em havendo uma orogênese, o ciclo anterior é interrompido e tem início um novo processo, ou, o rejuvenescimento da erosão mais a montante, responsável pelo aparecimento

claro que o fato de que a geografia já sofreu por muito tempo pelo desuso da imaginação, da invenção, da dedução e de várias outras faculdades mentais que contribuem para a obtenção de uma explicação bem testada. É como caminhar com um pé, ou ver com um olho só, a geografia excluir a metade "teórica" do poder cerebral, à qual as outras ciências requerem, assim como à metade "prática". Com efeito, só pode ser resultado de um mal entendido pressupor-se que haja uma antipatia entre teoria e prática, pois, na geografia, bem como em todo trabalho que soa científico, as duas avançam mais amigável e efetivamente juntas. Certamente o desenvolvimento mais completo da geografia não será alcançado até que todas as faculdades mentais que são de alguma forma pertinentes ao seu cultivo sejam bem treinadas e exercitadas na investigação geográfica". (DAVIS, 1899, p. 483-484)

de evidências testemunhais ao longo do vale a jusante (FORD e WILLIAMS, 2007, p. 434-435).

A consolidação das ideias de Davis vai influenciar decisivamente os estudos dos fenômenos cárstico-espeleológicos em nível internacional e mais especificamente na Europa. Particularmente nos territórios em que os fenômenos cárstico-espeleológicos estavam diretamente relacionados ao cotidiano da sociedade tanto na dimensão cultural como nos aspectos socioeconômicos e políticos. Áustria e Sérvia, implicadas diretamente no contexto do Império Austro-húngaro e devido a todos os pressupostos anteriormente citados, tornaram-se os centros dos estudos dos fenômenos cárstico-espeleológicos na Europa. Ao longo dos anos que se seguiram à publicação de *The Geographical Cycle*, as relações diretas ou indiretas mantidas com Davis permitiriam aos geógrafos Albrecht Penck, Alfred Grund e Jovan Cvijić, ao mesmo tempo, absorver as críticas ao modelo evolutivo davisiano e, cada qual à sua maneira, aplicá-lo aos fenômenos cárstico-espeleológicos tão abundantes no centro-sul do continente europeu.

2.4. Penck, Grund, Cvijić: os pioneiros dos estudos científicos dos fenômenos cárstico-espeleológicos e o modelo davisiano

Albrecht Penck é considerado um dos primeiros geógrafos acadêmicos a utilizar o Ciclo Geográfico como instrumento de abordagem dos fenômenos cárstico-espeleológicos. Penck buscava estabelecer ao mesmo tempo o ajuste do princípio davisiano e a identificação de importantes processos que mostravam a distinção entre a erosão *normal* e a carstificação. Para isto, escolheu o Carste Dinárico, considerado pela literatura produzida a partir daí como um carste modelar. Cvijić é o autor, assim como Penck, de uma das primeiras aproximações ontológicas do conceito de carste, elaborando um amplo levantamento dos fenômenos cárstico-espeleológicos do Carste Dinárico. O fato de que boa parte da região dos Balcãs encontrava-se sob o domínio austro-húngaro, o exercício da pesquisa científica nesse território por parte dos geógrafos de Viena, intuitivamente legitimava essa subordinação geopolítica e, ao mesmo tempo, inventariavam-se os recursos naturais que o solo continha. Essa temática conecta-se ao objetivo deste trabalho na medida em que, um dos temas de grande relevância no âmbito da Geografia científica,

é a água e neste caso específico, a água subterrânea associada aos fenômenos cárstico-espeleológicos.

As afirmações de Ford (2003, p. 03) dão conta de que até a década de 1950, a maioria dos trabalhos dedicados a discutir a espeleogênese tinham como pressuposto a existência de um lençol freático e que a água percolava isotópica e homogêneamente o meio subterrâneo fissurado, de modo geral. Penck (1903, p. 05), por exemplo, fez questão de destacar que, nos os fenômenos cárstico-espeleológicos, o processo de desgaste dependia do lençol freático, frisando também que nos terrenos calcários o processo de corrosão prevalece à erosão. Isso reafirmou a tese de que os fenômenos cárstico-espeleológicos resultariam da solubilidade de minerais às águas, principalmente as saturadas de gás carbônico.

Quanto ao papel da água na corrosão da rocha, Penck (1903 p. 11) nota que, diferentemente com o que ocorre com as águas superficiais, a drenagem cárstica está voltada para baixo e, por seu turno, as articulações entre as fissuras da rocha aflorada transformam-se em pontos de subtração d'água dando início à formação de caneluras, ou, *lapiés* (*karrens*²¹). Estes evoluem para dolinas à medida que a água promove o alargamento e o aprofundamento as primeiras perfurações, até que toda a água passe a circular em meio subterrâneo fissurado na montanha calcária. A comparação penckiana entre o arranjo do fluxo d'água cárstico (*karstwasser*) e o da água subterrânea típica (*grundwasser*) pode ser observado na Figura 2.4-1.

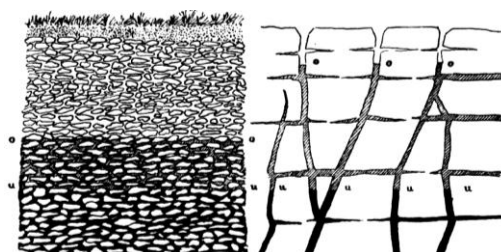


Figura 2.4-1. À esquerda: circulação *normal* em meio poroso equivalente. À direita: o aquífero cárstico entre as fissuras pré-existentes²²

²¹ O termo germânico *karren* começou a ser utilizado no final do século XIX e início do século XX (Sachs, 1865; Favre, 1867; Eckert, 1898, 1902; Chaix, 1894, 1905; Chaix e Chaix Jr., 1907 e Chaix Jr., 1913) decorrente dos estudos sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos na região dos Alpes Suíços, Austríacos e Dináricos. Durante certo tempo os *karrens* foram vistos como uma morfologia independente dos outros elementos do carste, tendo sido estudado e classificado de forma específica por diversos autores como, por exemplo, Bögli (1981, p. 64-89).

²² Fonte: adaptado de PENCK, 1903, p. 14.

Nos terrenos carbonáticos, o modelo de lençol freático idealizado por Penck, abrange unilateralmente todas as estruturas da rocha como as fissuras, diáclases, falhas etc. de forma regular, homogênea e, portanto, estatisticamente constatável. Esse foi um dos pontos em que o modelo proposto por Penck foi colocado em dúvida, pois em outros trabalhos desenvolvidos à época, como o de Katzer²³, acreditava-se que a hidrologia subterrânea era compartimentada em canais independentes e não numa única massa d'água como afirmava Penck (ROGLIĆ, 1981, p. 16; FORD, 2003, p. 01 e WILLIAMS e FORD, 2007, p. 07). Martel, na sua “teoria dos condutos” (BOURGIN, 1945, p. 99) e mais tarde Cvijić, compartilharão essa modo de entendimento das águas cársticas.

Para Penck ao contrário do que ocorre no processo de incisão dos vales, no carste a água corrente superficial não tem importância para o modelado. Quanto mais elevada for a área calcária em relação ao mar, maior o poder de infiltração da água da chuva e mais intensa é a carstificação, tornando mais profundas e mais amplas as dolinas, até que estas sejam separadas umas das outras apenas por cristas estreitas formando as uvalas, identificadas por Cvijić (PENCK, 1903, p. 17). De forma especulativa, Penck sugeriu, inclusive, que seriam necessários 10.000 anos para que um volume de 1 m³ de chuva dissolvesse 1 metro de altura de calcário, visto que esse mesmo total de chuva dissolve a cada ano 1 milímetro de rocha. Isso se explica pelo fato de nesse período boa parte dos trabalhos desprezavam a importância do CO₂ atmosférico e, por esse motivo a dissolução seria um processo muito lento (FORD, 2003, p. 04). Fruto da identificação empírica dos estudos da época, Penck também chamou a atenção para o fato de que o calcário não seria totalmente puro, mas que, ao contrário, haveria nele traços de impureza, dada a ocorrência de material residual do trabalho de corrosão pela água (PENCK, 1903, p. 19).

Esse tema também apresenta controvérsias, uma vez que Sawicki (1909), ao observar os terrenos carbonáticos da atual Eslováquia, alimentava a ideia que a “terra rossa” remanescente da dissolução das camadas superiores do calcário, permanece como uma cobertura contínua e fecha as juntas e fissuras

²³ Karl Friedrich Katzer. Karst und karsthydrographie. Ed. D.A Kajon, Sarajevo. 94 p. 1909.

da rocha impedindo a infiltração da água, conseqüentemente, isso diminuiria o fluxo hídrico vertical em relação ao horizontal (op cit. p. 16). Em resumo, diferentemente do que se acreditava, haveria outra forma de circulação subcutânea e horizontal no carste. Essa tese será retomada mais à frente, na discussão sobre o carste hipogênico.

A evolução da paisagem cárstica é reafirmada na tese de Grund (1914) na qual o autor aborda os fenômenos cársticos por meio do Ciclo Geográfico, como sendo o resultado do processo de denudação em que a base é a corrosão. O carste seria, segundo Grund em sua “teoria do nível de base”, (BOURGIN, 1945, p. 99), uma forma peculiar de denudação, em que a destruição química da rocha está associada com a drenagem subterrânea, pois a água penetra a superfície através de fissuras até se reunir no contato com a base impermeável, formando um reservatório e determinando um nível de base. A precipitação, ao penetrar lentamente na rocha, produz a corrosão inicial, formando a partir daí, progressiva e unidirecionalmente e hierarquicamente crescente, os poços, as dolinas, as uvalas e os poljes. Ao contrário dos relevos superficiais que são paisagens erodidas, o carste seria definido como uma paisagem resultante de corrosão química (GRUND, 1914, p. 54-55). A Figura 2.4-2 simplifica a evolução da morfologia cárstica na visão de Grund desde os primeiros sinais de corrosão até o aplainamento e quase que completa eliminação da paisagem cárstica.

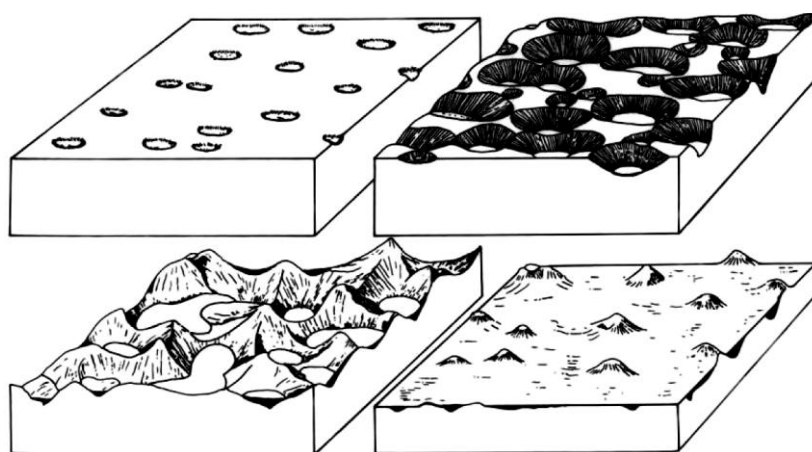


Figura 2.4-2. O ciclo cárstico segundo Grund²⁴

O modelo de Grund está ajustado à circulação subterrânea *normal* ou Lei de Darcy usualmente empregada, à época, aos aquíferos porosos ou fissurados

²⁴ Fonte: FORD e WILLIAMS, 2007, p. 392.

equivalentes. O problema em adaptar a Lei de Darcy ao fluxo cárstico é devido ao comportamento das rochas solúveis em que a porosidade/permeabilidade utilizada pela dissolução não está limitada ao meio intergranular ou fissural, mas apresenta, além dos dois anteriores, a permeabilidade por conduto, o que, portanto, torna o meio cárstico triplamente poroso e de difícil parametrização (FORD, 2003, p. 02).

Por outro lado, a circulação cárstica passa do fluxo laminar ao turbulento em condições bastante variáveis, potencializando seu caráter transmissivo e dificultando mais ainda a aplicação do método darciano. Em climas frios, a passagem de um para o outro é bem mais rápida que em carstes sob o efeito de climas tropicais. Ford e Ewers (1978) sugeriram aplicar-se Lei de Darcy somente a situações em que os proto-condutos individualmente abertos nas fissuras tenham até 1 milímetro de diâmetro. Por outro lado, tanto Mangin (1975) quanto White (2002) concordam que a Lei de Darcy somente pode ser aplicada a fluxos de baixíssima velocidade associados a aberturas relativamente pequenas e de baixo gradiente hidráulico. Por fim, o que se pode observar é que a Lei de Darcy conta com fatores isotrópicos e homogêneos apriorísticos, mas, estes estão ausentes no carste que é reconhecidamente, anisotrópico e heterogêneo (Swinerton, 1932 apud FORD, 2003, p. 05), o que torna o seu uso ainda mais restrito, ou, aplicável apenas pontualmente nesse tipo de terreno (FORD e WILLIAMS, 2007, p. 136-140).

Para Grund, a corrosão age segundo a evolução da zona saturada de água. As superfícies solúveis que se encontrem acima das rochas impermeáveis, acima do nível do mar, ou, de base e abaixo da zona vadosa, ou seja, no lençol freático, estão sob o efeito da carstificação, pois é aí que tem início a corrosão química pela drenagem subterrânea (Figura 2.4-3). A combinação desse processo em juntas e fissuras gera as dolinas. Sendo assim as dolinas são evidências de processos de evolução cárstica, como são os vales para a erosão normal. O estágio, particular, de evolução cárstica seria, então, determinado pelas dimensões das dolinas em relação ao estágio morfológico final da paisagem que é a planície corrosional (FORD e WILLIAMS, 2007, p. 391).

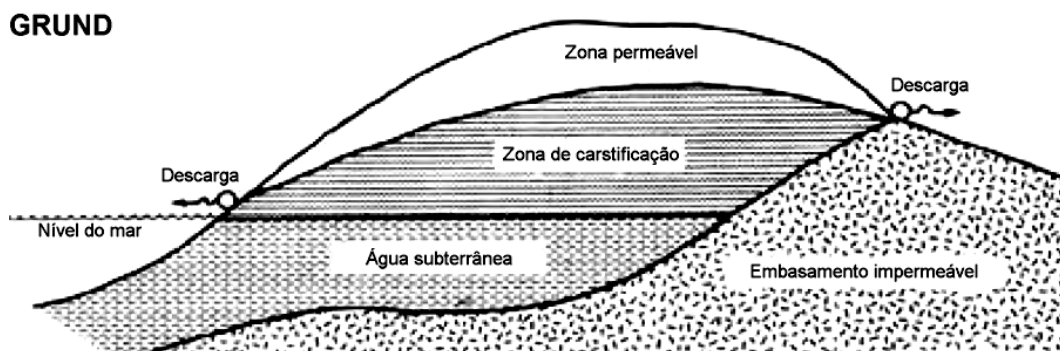


Figura 2.4-3. Sistema hídrico cárstico de Grund, 1903²⁵

Do conjunto das propostas anteriores que empreenderam tentativas de abordagem geográfica conceitual mais rígida e menos subjetiva sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos, a proposta de evolução (cíclica) cárstica de Cvijić é a que teve maior alcance no século XX, ao adotar explicitamente o princípio evolutivo de Davis (1899) para explicar a morfologia cárstica.

Em *Hydrographie Souterraine et Évolution Morphologique du Karst*²⁶ (1918 p. 375-426), Cvijić faz questão de esclarecer que há diferenças significativas entre o conceito geral de evolução proposto por Davis e a evolução dos relevos cársticos que, diferentemente do primeiro, não apresenta o vale como elemento característico. Ao contrário disso, a drenagem superficial só seria observada no início do processo e, em vez de erosão, a dinâmica que leva à morfogênese cárstica, corroborando a tese de Grund, é a corrosão. Outra diferença básica está no fato de que nos terrenos carbonáticos, a drenagem não flui pela superfície em direção ao mar, mas segue uma trajetória preferencialmente vertical ao nadir²⁷, penetrando na rocha solúvel através das fissuras pré-existentes. O percurso que a água faz através das fissuras tende a atrair cada vez mais fluxos d'água que tornam o processo de corrosão cada vez mais agressivo contribuindo com o alargamento das fissuras e o surgimento de um sistema hídrico subterrâneo.

Em concordância com seus antecessores e deixando clara a sua convicção evolutiva, Cvijić assegura que o processo de corrosão da massa solúvel finda apenas sobre as rochas impermeáveis, ou seja, até a dissolução completa do

²⁵ Fonte: Adaptado de Ford e Williams, 2007, p. 07.

²⁶ Publicada pela Recueil des Travaux de l'institut de Géographie Alpine e editada eletronicamente por Revues Scientifiques en Sciences Humaines et Sociales – Persée.

²⁷ “Interseção inferior da vertical do lugar com a esfera celeste; é o ponto diametralmente oposto ao zênite” (MOURÃO, 1987, p. 557).

calcário. Defende que processo cárstico ocorre verticalmente em conexão com água de percolação, através de toda a massa calcária, mas independentemente do nível do mar discordando, neste caso, de Grund em relação ao ponto em que a dissolução acontece (ROGLIĆ, 1981.p. 19) negando, assim, a tese de Grund quanto ao limite estabelecido à corrosão ao nível de base. Por outro lado, Cvijić concorda com Katzer (Figura 2.4-4) de que a pressão hidrostática da água cárstica pode, em certos casos, superar a do nível do mar permitindo àquelas ressurgirem em fontes submarinas (CVIJIĆ 1918, p. 381). O autor também.

KATZER

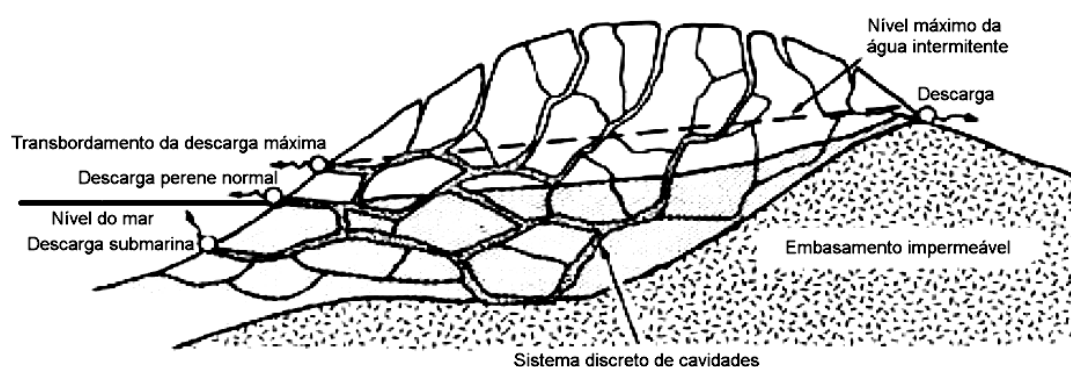


Figura 2.4-4. Sistema hídrico cárstico de Katzer, 1909 aceita por Cvijić²⁸

Cvijić convencionou a sequência *normal* (Figura 2.4-5) do carste utilizando como parâmetro os relevos cársticos da península balcânica, ou, Carste Dinárico, de onde, praticamente, toda a terminologia utilizada para identificar as formas provém. A obra em questão, publicada em francês, é considerada aquela que proporcionou reconhecimento internacional a Cvijić (BECKINSALE, CHORLEY e DUNN, 1991, p. 187-188).

Ao estabelecer um recorte espaço-temporal da evolução da morfogênese cárstica mais ou menos madura, Cvijić estabelece, de forma pioneira, ao mesmo tempo, as quatro fases morfológicas da topografia cárstica, na legenda da Figura 2.4-5, e as três zonas hídricas subterrâneas (1918, p. 395-398), quais sejam:

²⁸ Fonte: Adaptado de Ford e Williams, 2007, p. 07.

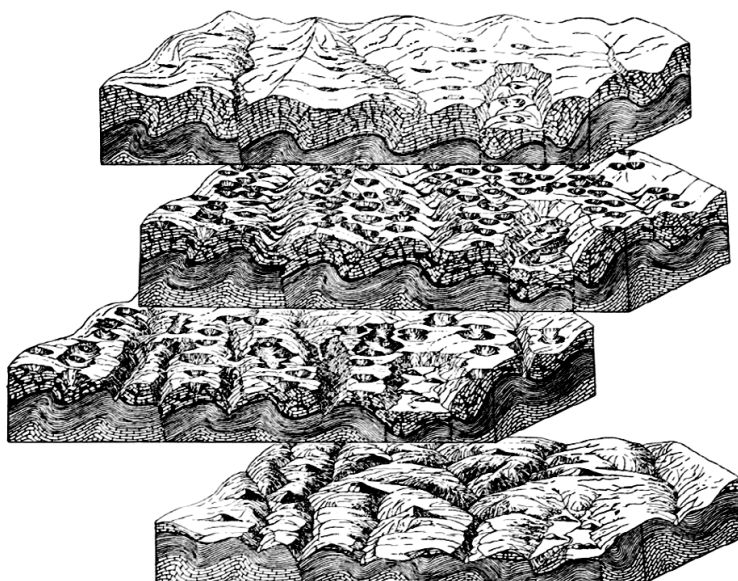


Figura 2.4-5. O ciclo cárstico segundo Cvijić (1918, p. 414).

Legenda da figura (traduzido do original)

1ª Fase (carste jovem)	Terreno cárstico primitivo. Tem início o desenvolvimento de vales normais; começam a aparecer dolinas; um afundamento tectônico dá lugar a um polje; tem início a drenagem subterrânea nas fissuras.
2ª Fase (carste maduro)	Os leitos superficiais estão completamente secos e toda a água corre para dolinas e ponors; as fissuras da 1ª fase são alargadas formando cavernas, ou aquíferos subterrâneos; suas águas aparecem em fontes vaclusianas ou nas bordas dos poljes; os vales da 1ª fase são interrompidos por dolinas e uvalas; fora dos vales, aumentou muito a quantidade de dolinas e uvalas em pontos de articulação entre fissuras e diáclases; o fundo do rebaixamento tectônico foi aprofundado e transformado pela erosão cárstica, as águas desaparecem e reaparecem no fundo das uvalas.
3ª Fase (carste em transição)	Inicia-se o desaparecimento da topografia cárstica. Os vales normais crescem novamente, seja no lugar dos vales primitivos por causa do colapso do teto das cavernas, seja por ataque da erosão regressiva da borda do planalto cárstico, onde muitas dolinas e uvalas afetadas por esta erosão desaparecem. As grandes uvalas desenvolvem-se por meio da junção de dolinas. A parte inferior do polje está sujeita a grandes inundações e de tão achatada apresenta poucas evidências da antiga superfície cárstica existente.
4ª Fase (carste senil)	Ocorre o desaparecimento das formas e da hidrografia cárstica. Permanecem apenas resíduos testemunhais do carste repousando sobre o terreno impermeável.

- A zona permanentemente seca, que ocupa o topo do conjunto cárstico, em que prevalece a infiltração;
- A zona de transição, onde tanto a sazonalidade do clima quanto as variações nos processos de carstificação vão repercutir em oscilações úmido/seco;
- E a zona permanentemente preenchida por água em que os canais, ou galerias estão completamente submersos ou entremeados por sífões, que se encontra exatamente acima da massa impermeável.

Diante desses resultados, Cvijić acredita estar contribuindo para a aplicação do princípio evolutivo na abordagem geográfica em relação aos fenômenos cárstico-espeleológicos. Após ter feito diversas investigações empíricas no Carste Dinárico concluiu sobre a evolução do conjunto, abstraindo que este obedecia sempre à mesma lógica, dando, assim, legitimidade impar ao seu

modelo de análise. Em resumo, se, ao seu turno, Davis propôs que o relevo, de modo geral, fosse univocamente identificado por estágios segundo uma evolução partindo da juventude, passando pela maturidade e chegando à senilidade na fase de denudação final e formação da peneplanície.

Da mesma forma, Cvijić entende que a lógica cíclica deve explicar os terrenos carbonáticos, já que o processo que faz coalescerem as dolinas e ponors levando-as a evoluírem para as uvalas e posteriormente a poljes, ou, superfícies rebaixadas residuais, e, finalmente, à extinção quase total da morfologia cárstica (op cit), é idêntico, em princípio, ao que promove a denudação superficial que leva à peneplanície. A superfície cárstica senil é caracterizada por Cvijić como a conclusão da progressão de colapso do teto de cavernas e de erosão regressiva, que ocorre tanto nas bordas do planalto e nas laterais dos desfiladeiros onde os riachos cortam e capturam as dolinas e uvalas, durante o período de maturidade cárstica. Sua forma assemelha-se à estrutura da colmeia, denominada por Cvijić de "hums", ou, maciços residuais com restos de cavernas (SANDERS, 1921, p. 604).

Em uma reflexão posterior à conjuntura criada por Penck, Grund e particularmente por Cvijić, Nicod (1961, p. 82-86) afirma que as ideias deste último, embora muito ricas e valiosas, devem ser vistas apenas como frutos de investigações limitadas aos fenômenos cárstico-espeleológicos sob certas condições geológicas, geomorfológicas e climáticas observadas por ele. A fragilidade da proposta de Cvijić está no fato de que o carste é um modelo elaborado a partir da observação empírica de um fenômeno específico, mas tornado geral por indução metafísica, sem os devidos cuidados de verificação sob as diferentes perspectivas experimentais.

Após inúmeras críticas recebidas quanto à fragilidade do conceito de carste para a aplicação em outras paisagens, em uma última tentativa de preservar sua proposição, Cvijić (1925) acrescentou a esta mais dois conceitos:

- Holocarste: utilizado para os casos em que a morfologia cárstica apresentava-se em calcário puro, espesso e estendendo-se bem abaixo do nível de base, bem como dispendo de todo o rol de feições típicas do Carste Dinárico, ou, clássico; e

- Merocarste: para as ocorrências cársticas desenvolvidas em sequências finas de calcários intercalados com outras litologias ou em carbonato menos puros, em síntese, um carste transitório ou diverso.

A morfologia do merocarste pode conter tanto morfologias fluviais (vales), como os cárstico-espeleológicos (cânions, vales cegos, vales secos, dolinas, ponors etc.) podendo também ser densamente coberta por resíduos insolúveis (FORD e WILLIAMS, 2007, p. 06). Possíveis variações, que podem acontecer até em escalas locais, ocorrem em função das diferenças encontradas quanto à maior ou menor quantidade de estruturas (fissuras, falhas, diáclases), granulação do calcário, clima e outros fatores que podem facilitar ou dificultar acelerar ou retardar o processo de carstificação do calcário (op cit, p. 415).

Por outro lado, a síntese de Cvijić e todo o debate ocorrido em função dela, são indicativos do que Vakhrushev (2008, p. 48) identifica como o nascimento da Geomorfologia Cárstica, ou Carstologia. Uma especialidade que alia os princípios das ciências exatas aos da Geografia para abordar os fenômenos cárstico-espeleológicos. Da mesma forma como ocorreu com a institucionalização das ciências em geral, desde então, intuitivamente, a meta passou a ser a delimitação coerente do campo ou objeto de estudo da especialidade, bem como dos parâmetros metodológicos necessários à sua concretização no âmbito da pesquisa. Nesse contexto intensificaram-se os debates em torno da proposta de Cvijić, incluindo questionamento sobre as bases davisianas que estruturam o modelo evolutivo. É o caso, por exemplo, do ponto de vista de Walther Penck (1953) a respeito de tal modelo.

Muito embora W. Penck tenha, assim como Davis, a preocupação em forjar as bases da Geografia como ciência dos objetos físicos inanimados que delineariam a paisagem, seu pensamento e sua prática são caracteristicamente distintos das de Davis, refletindo a forte influência filosófico-científica alemã. O choque entre a postura penckiana e a davisiana está concentrado no método. Penck, diferentemente de Davis, defende que a descrição, classificação e interpretação da origem e evolução do relevo, não devam partir de um modelo ideal para se deduzir o estágio em que o relevo se encontra no processo evolutivo, mas, ao contrário, é a partir da observação direta das formas e da relação destas com o clima e a vegetação, que se pode deduzir a taxionomia

das formas de relevo. A crítica mais efusiva feita ao modelo davisiano está no fato de Penck entender tanto a orogenia quanto a denudação como processos concomitantes, embora descontínuos ao longo do tempo, e não sucessivos ou episódicos, como propunha Davis (PAZZAGLIA, 2003, p 252). As críticas de Penck ao modelo davisiano tiveram papel decisivo na acentuação dos debates internos à comunidade de estudiosos do carste.

2.5. Positivismo e estudos cárstico-espeleológicos

Não obstante, logo após a Primeira Guerra Mundial, as investigações sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos convergiram para a aceitação das teses evolucionistas do relevo e diminuiu a frequência nos avanços teóricos a partir das observações concretas (ROGLIĆ, 1981, p. 20). Nesse ínterim, após absorver as críticas proferidas ao seu modelo de erosão normal, Davis conseguiu adaptar seu modelo de forma que este também pudesse ser aplicado indubitavelmente aos fenômenos cárstico-espeleológicos particulares, repercutindo as experiências advindas do grupo de Viena formado por A. Penck, A. Grund e J. Cvijić.

2.6. O carste normal de Davis

As tentativas de Davis em aplicar seu modelo teórico de evolução do relevo às cavernas foram elaboradas em duas passagens, com as publicações de *The Origin of Limestone Caverns*. A primeira no *Geological Society of America Bulletin*. Nº 41, p. 475-628, em 1930 e, posteriormente, na *Science*. Vol. 73, Nº 1891, p. 327-331, no ano seguinte. Nestes trabalhos, Davis descreve a evolução das cavernas de calcário a partir de um processo que envolve ao mesmo tempo a escavação da rocha e o preenchimento dos vazios escavados. Ele acredita que apenas a partir do rebaixamento do nível de base regional, ao qual o lençol freático da rocha calcária está ajustado, é que o processo de corrosão tem início, devido à percolação vadosa da água que, dada a saturação ácida adquirida durante a dissolução do calcário e liberação de mais carbono, vai promover o alargamento das fissuras pré-existentes (DAVIS, 1931, p. 327-331).

Segundo Davis, após a orogênese a água que desce em direção ao fundo do maciço, à medida que as dimensões das fissuras são alargadas dando lugar a

galerias e condutos, forma um único canal bidimensional que passa a exercer a erosão mecânica, dado que o gradiente hidráulico foi aumentado. O processo é essencialmente físico devido ao conteúdo particulado sedimentar e abrasivo presente no fluxo d'água. Como consequência, o entalhamento vertical substitui à corrosão do estágio anterior de transição no processo de formação das cavernas calcárias. No modelo normal de Davis, o sistema ou padrão de drenagem subterrânea pode, durante estágio de maturidade cárstica, ser comparado aos vales subaéreos, posto que, à montante, este é formado por diminutos canais que vão se avolumando até formarem à jusante um único fluxo (1931, p. 327-331). Esse movimento é mais acentuado no estágio de maturidade do relevo cárstico quando o gradiente hidráulico é maior, decrescendo no estágio senil, quando a caverna é preenchida de sedimentos insolúveis, principalmente argilas, dos solos sobrejacentes (Bretz, 1942 apud FORD, 2003, p. 04-05).

À medida que o processo avança as galerias abandonadas pelo fluxo passam a ser preenchidas ao mesmo tempo pela deposição da calcita e por blocos desprendidos do teto por colapso. Assim, tanto a deposição da calcita e liberação do carbono no ar, quanto a diminuição das taxas de carbono na água da chuva, diminuem o poder corrosivo da água. Em contrapartida a erosão mecânica continua devido à manutenção do transporte de sedimentos. Nesse ponto, Davis duvida do papel atribuído em outros estudos ao processo de corrosão que, para ele, é exagerado.

Na superfície, o desgaste das paredes das dolinas irá converter o planalto original em uma superfície com declividades abruptas intercaladas umas às outras e cavidades profundas separadas por bordas finas entre si que, ao serem completamente entalhadas resultam em uma peneplanície quase inexpressiva (DAVIS, 1931, p. 327-331). Seguindo a mesma lógica atribuída à superfície de erosão, Davis considerava a hipótese de que o ciclo que leva à formação das cavernas também pode ser interrompido. Nestes casos, quando a caverna apresenta evidências de mais de um ciclo duplo. Davis atribui a causalidade disto à uma gênese policíclica. Entretanto, até aquele momento ainda não se considerava a hipótese de que movimentos de regressão e transgressão marinha, causadas por grandes mudanças climáticas, poderiam

conferir mudanças no processo de erosão e sedimentação, tanto à superfície de erosão quanto às cavernas (FORD e WILLIAMS, 2007, p. 435).

Os anos que se seguiram à Publicação *The Origin of Limestone Caverns* (1931), foram marcados pelas inúmeras reformulações, ampliações, adaptações e refutações do modelo davisiano de evolução cíclica, aplicado às cavernas. Para Bretz (1942), por exemplo, a formação das cavernas calcárias depende inequivocamente da porosidade pré-existente que dão à água a permeabilidade necessária para que esta dê início ao processo de expansão subterrânea que, para ele, acontece sob o nível freático, em ambiente calmo ou acima deste em ambiente vadoso, sendo que a forma assumida pelo fluxo subterrâneo assemelha-se aos galhos de uma árvore (CORBEL, 1951, p. 67-70). Entre o início e meados do século XX as maiores atenções estão voltadas para a tentativa de explicar a gênese das cavernas calcárias em relação ao lençol freático, como já observado anteriormente, tentativas essas que se mostraram controversas. A Figura 2.6-1 apresenta uma síntese dos modelos mais utilizados nesse período.

Enquanto alguns teóricos da modelagem cárstica (Davis, 1931, e Bretz, 1942, 1953) entendiam e defendiam a pré-existência de um lençol freático profundo instalado em maciço rochoso com elevado gradiente hidráulico, através do qual os condutos vão se formar, para outros autores, Swinnerton (1932), por exemplo, o lençol freático tem relação direta com a formação de uma circulação preferencial no maciço rochoso para a qual toda a água ira gradualmente fluir. Já a espeleogênese, ou, a carstogênese ocorrerá desde o baixo gradiente em direção ao elevado gradiente hidráulico.

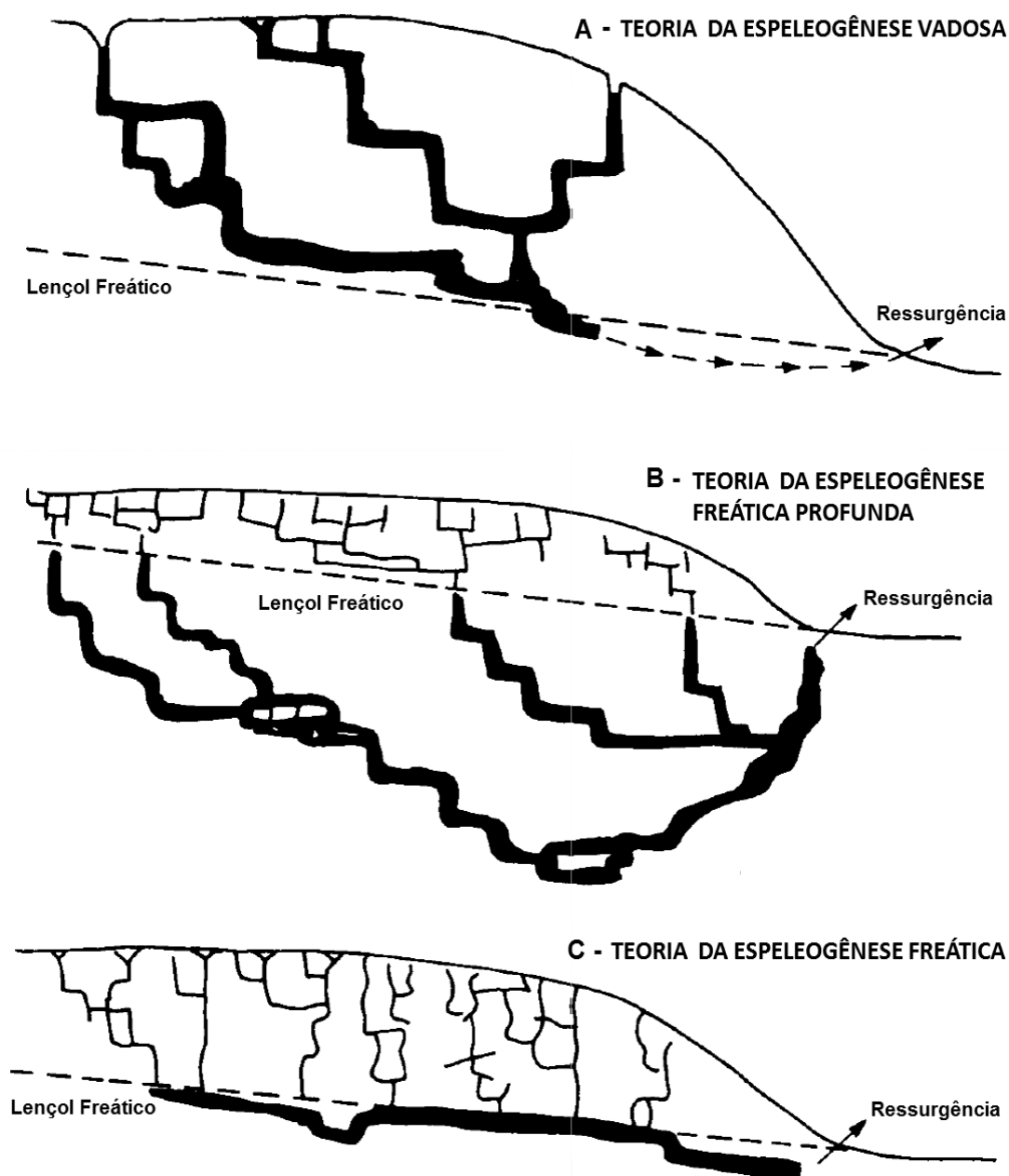


Figura 2.6-1. Modelos espeleogenéticos na primeira metade do século XX. A) as cavernas se formam sobre o lençol freático na zona vadosa ou aérea; B) as cavernas se formam a grandes profundidades independentes de nível de base e C), na interface do lençol freático com a zona vadosa²⁹

A disputa implícita nesse debate, mais uma vez, tem a ver com o fato de que, de um lado, considera-se que a água flua por um meio fissurado isotópico e homogêneo, à moda darciana, estatisticamente mensurável e, de outro, que o meio seja anisotrópico e heterogêneo e impossível de ser modelado (FORD, 2003, p. 1-12). Essas disputas têm relação com as próprias transformações pelas quais a Geografia passou desde as primeiras décadas do século XX ao transitar do positivismo comtiano, como já foi tratado anteriormente, ao

²⁹ Fonte: adaptado de Ford e Williamns, 2007, p.224.

neopositivismo ou positivismo lógico difundindo o que ficou conhecido como “revolução científica”, a ser analisada em seguida.

2.6.1. A aplicação da modelagem matemática aos estudos cárstico-espeleológicos

Neopositivismo, positivismo lógico e revolução científica são termos que a história da ciência mais recente atribui ao chamado pós-guerra, quando os princípios difundidos pelo Círculo de Viena³⁰ passaram a ser difundidos de maneira mais abrangente. Tal movimento intelectual repercutiu na Geografia com o advento da chamada Geografia Quantitativa, ou, Nova Geografia que adota como estrutura metodológica a aplicação dos modelos matemáticos para representar os objetos geográficos. As obras de Harvey³¹ e de Chorley e Haggett³² são um marco referencial de consolidação quanto à aplicação das técnicas matemáticas à Geografia. Três aspectos convergiram para que o neopositivismo tivesse tal penetração na Geografia:

- A emergência da ciência da computação;
- A demanda por respostas mais eficazes aos problemas emergentes;
- A capacidade de predição inerente aos modelos matemáticos.

A questão de ordem passa a ser o método que permitisse à Geografia superar as limitações ou ambiguidades do regionalismo substituindo-o pela elaboração de leis pautada na explicação dos processos atuantes nos objetos, subordinada à verificação das teorias e leis gerais (LAMEGO, 2006, p. 33-34).

À medida que os métodos quantitativos foram aplicados na modelagem dos fenômenos cárstico-espeleológicos nos trabalhos produzidos da metade do século XX em diante que persistiam em aplicar o conceito de carste normal,

³⁰ O Círculo de Viena (Wiener Kreis) era um grupo de filósofos da Universidade de Viena que entre 1922 a 1936 formou a Sociedade Ernst Mach (Verein Ernst Mach) para discutir possibilidades de reconceitualizar o empirismo e negar a Metafísica através de novos métodos científicos-filosóficos baseados nas proposições de Ludwig Wittgenstein, expostas em seu *Tractatus Logico-Philosophicus*. As conjecturas do Círculo ficaram conhecidas na ciência como Positivismo Lógico, ou, Empirismo Lógico, ou, ainda, Neopositivismo. Fonte: Stanford Encyclopedia of Philosophy, disponível em: <http://plato.stanford.edu/entries/vienna-circle/>

³¹ *Explanation in Geography* (Edward Arnold Ed.1969),

³² *Modelos Integrados em Geografia* (1974); *Modelos Físicos e de Informação em Geografia* (1975) e *Modelos Socio-Econômicos em Geografia* (1975), foram publicados pela editora Livros Técnicos e Científicos Editora da USP.

teve início uma nova fase de debates repercutindo a diversidade de resultados, decorrente das seguintes contingências:

- Os tipos de usos antrópicos nos terrenos carbonáticos e os impactos sobre o carste;
- As implicações dos fatores estruturais na porosidade da rocha solúvel;
- As diferentes concentrações de “impurezas” da rocha solúvel;
- O comportamento específico dos regimes hídricos cársticos;
- As especificidades climáticas;
- Os procedimentos metodológicos;
- A formação dos sujeitos por trás dos estudos.

A título de exemplo, pode-se tomar por base a taxa de desnudação cárstica de Corbel (1959, apud PILÓ, 2000, p. 90), estimada a partir da precipitação e da medida de dureza dos cursos d'água. A fórmula original foi falseada por diversas outras pesquisas que descobriram variações na dureza da água ao longo das estações climáticas, no tipo de rocha e nas drenagens de bacias adjacentes não-cársticas que resultaram em grande inconsistência nos valores finais das medidas de desnudação cárstica.

2.6.2. A crise da síntese davisiana e a emergência da visão sistêmica

Em um relatório à Karst Commission da International Geographical Union – IGU, Lehmann (1964, p. 81-83) anunciara os progressos nos estudos dos fenômenos cárstico-espeleológicos ocorridos nos dez anos anteriores, constatando que as investigações estavam centradas em tentativas de quantificação dos processos de corrosão química em condições específicas. Uma das investigações mais debatidas no contexto, segundo ele, foi o conceito de *mischungskorrosion*, ou, corrosão por mistura, em que Bögli (1960) apresenta um modelo *normal* da agressividade de corrosão hídrica de CaCO_3 na zona saturada do carste. Em consonância com essa percepção, Swinnerton (1946) afirmou que enquanto a agressividade das águas pode ser mais forte em climas frios, a taxa de solução de calcário real é maior em regiões tropicais úmidas. Sobre o mesmo tema, é arrolado o papel dos micro-organismos na

corrosão da rocha calcária e formação de cavernas, levantado por Drzal (1964) que investigou o efeito do azoto do microrganismo *Arthrobacter SP* no calcário em diferentes zonas climáticas visto que o trabalho microbiológico varia de acordo com a temperatura.

Segundo Lehmann (1964, p 81-83), um dos temas mais recorrentes nos estudos dos fenômenos cárstico-espeleológicos é o contraste entre o conceito de carste desnudo e o de carste coberto. Como exemplo, cita o trabalho de Gvozdetkii (1964) que elabora uma ampla síntese dos estudos cárstico-espeleológicos na Rússia identificando que havia àquela altura uma tendência nacional a se distinguir muito bem o significado do termo “coberto” que, na visão de muitos deveria ser aplicado apenas aos casos em que houvesse sedimentos alogênicos sobrejacentes ao carste. Em situações em que o carste fosse sobreposto por material autóctone ele deve ser chamado de carste “coberto de solo”. Segundo Lehmann, pesquisas em paleocarste no leste da Europa Central identificaram quatro grandes ciclos cársticos na região. Lehmann cita também trabalhos sobre carstificação crionival, destacando a importância desse mecanismo para o estudo de carste em regiões periglaciais.

Um sintoma do estado de coisas que os estudos sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos sob influência do neopositivismo havia gerado, pode ser observado em *La terminologie classique du karst sous l'aspect critique de la morphologie climatique moderne* (1960), no qual Lehmann faz duras críticas à forma pela qual os fenômenos cárstico-espeleológicos vinham sendo tratados desde que o modelo evolutivo normal foi proposto como conceito indutivo por Cvijić, Penck e Grund. Para Lehmann, as particularidades geológicas, geomorfológicas e, principalmente climáticas, que caracterizam regionalmente ou localmente os fenômenos cárstico-espeleológicos eram sistematicamente negligenciadas em detrimento de deduções simplistas da morfologia dos terrenos pelo modelo normal e por aplicações descuidadas da terminologia do Carste Dinárico clássico às mais variadas paisagens particulares. Como exemplo, o autor fez uso de diversos modelos de carste em climas tropicais nos quais as formas divergiam significativamente das clássicas e mesmo assim haviam sido identificadas com a mesma terminologia (1964, p. 01-06).

O debate sobre o papel do clima na carstificação também teve seu auge nesse contexto. Para Corbel, os climas mais frios são mais aptos à corrosão pelo fato de que a água fria dispõe de maior poder de absorver CO₂. Já para Lehmann, ao contrário, é nos climas tropicais que o processo tem maior desenvolvimento, pois há maior quantidade de CO₂ disponível no solo (PILÓ, 2000, p. 90).

Essa temática passa a ter maior importância na medida em que avançam as pesquisas sobre a interface rocha-solo entre as décadas de 1950 e 1970. Roglić (1964, p. 113-116), apresentou revisão crítica do conceito de “vale cárstico” existente na tese de Cvijić (1893). Para aquele, os vales cársticos (Karsttal), são subdivididos em *sacktäler*, ou, *blindetäler*; *halbblindetäler*; *trockentäler*, respectivamente, temos: vales cegos, que apresentam bordas altas e o leito do rio que desaparece à certa altura; vales semi-cegos, os quais, de tão entalhados, vez ou outra a água cárstica transborda; e os vales secos, que tem cursos d’água intermitentes. Para Roglić, toda essa distinção não tem correspondência com a realidade já que o vale cortado pelo rio é uma feição normal em rochas impermeáveis e, ao contrário do que ocorre nestes, nas rochas permeáveis como o calcário, os rios vão formar cânions pouco antes de penetrarem definitivamente na rocha. A essas áreas, em oposição ao que Cvijić denomina de merocarste, Roglić dá o nome de fluviocarste, acreditando ser este mais adequado ao uso em geral.

Em um estudo publicado sobre o Carste Dinárico em que foram elaboradas diversas análises da química da água cárstica, do regime pluviométrico e termométrico atual e pretérito, da cobertura vegetal e das particularidades topográficas do terreno, Corbel (1956, p. 303-317) fez diversas observações sobre o ritmo do processo de carstificação atual. Seu parecer foi o de que o ambiente cárstico encontra-se amplamente ajustado às condições atuais dos elementos analisados e que no caso de o mesmo carste encontrar-se em condições ambientais distintas, apresentaria um ritmo de carstificação completamente diferente. Sua equação de denudação cárstica compreende

$$D_C \text{ (mm/year)} = \frac{(P - E)H}{1000 \cdot \rho} f$$

e é descrita por Gabrovšek (2007, p.01) como sendo a taxa de denudação - D_c , calculada em mm/ano, resultado da diferença entre a precipitação P e a evapotranspiração E . Sendo H a dureza em mg/L de rocha dissolvida, a densidade do calcário P e calculada em g/cm^3 e f a porção mineral solúvel da rocha, sobre **1000**. Em síntese, dividindo-se o volume removido pela superfície da área pelo intervalo de tempo chega-se à taxa de desnudação cárstica.

Embora tenha sido elaborada para responder às particularidades do carste em climas temperados, a equação de Corbel tem por finalidade a busca de uma regularidade ou uniformidade no processo de dissolução do carste, capaz de reduzi-lo à superfície de denudação. Dessa forma, a equação é uma tentativa de aprimoramento dos mesmos objetivos existentes por trás do Ciclo Geográfico, buscando a determinação de uma lei geral do carste e, como na maioria dos casos já analisados, a necessidade de dar legitimidade científica ao estudo dos fenômenos cárstico-espeleológicos, agora, sob a égide do neopositivismo.

A anteriormente mencionada interface cárstica rocha-solo foi pioneiramente estudada, praticamente ao mesmo tempo, por Williams (1972), Mangin (1973 e 1975) e Bakalowicz et al, (1974). Mais recentemente, diversos outros autores (WILLIAMS, 2008 p. 01) deram contribuições ao papel do epicarste ou zona subcutânea no processo de carstificação das rochas. Segundo Williams (op cit), quando presente, o epicarste consiste em uma zona próxima da superfície de calcário intemperizado, com porosidade secundária entre 10 a 30 %, aflorada ou abaixo do solo. A elevada porosidade e permeabilidade se devem ao fato de que há mais dissolução perto da superfície devido à proximidade com as fontes de produção de CO_2 . Esse aspecto resulta em diminuição gradual da trama e consequente concentração de fissuras conforme a profundidade aumenta, tornando o dolinamento do terreno cada vez mais expressivo (Figura 2.6.2-1). Aos poucos o epicarste dá lugar à zona vadosa de rocha não intemperizada com porosidade cada vez menor chegando a densidades menores que 2%. Outro fator que caracteriza o epicarste é o seu elevado poder de armazenamento em relação ao resto da zona vadosa, ao passo que esta funciona mais como faixa de transmissão (BAKALOWICZ, 1995 apud WILLIAMS, 2008 p. 02) e com armazenamento reduzido das águas de

recarga. Nesse sentido, com a diminuição da permeabilidade em profundidade há um aumento na condutividade hidráulica entre a faixa próxima à superfície e a subsuperfície além dela.

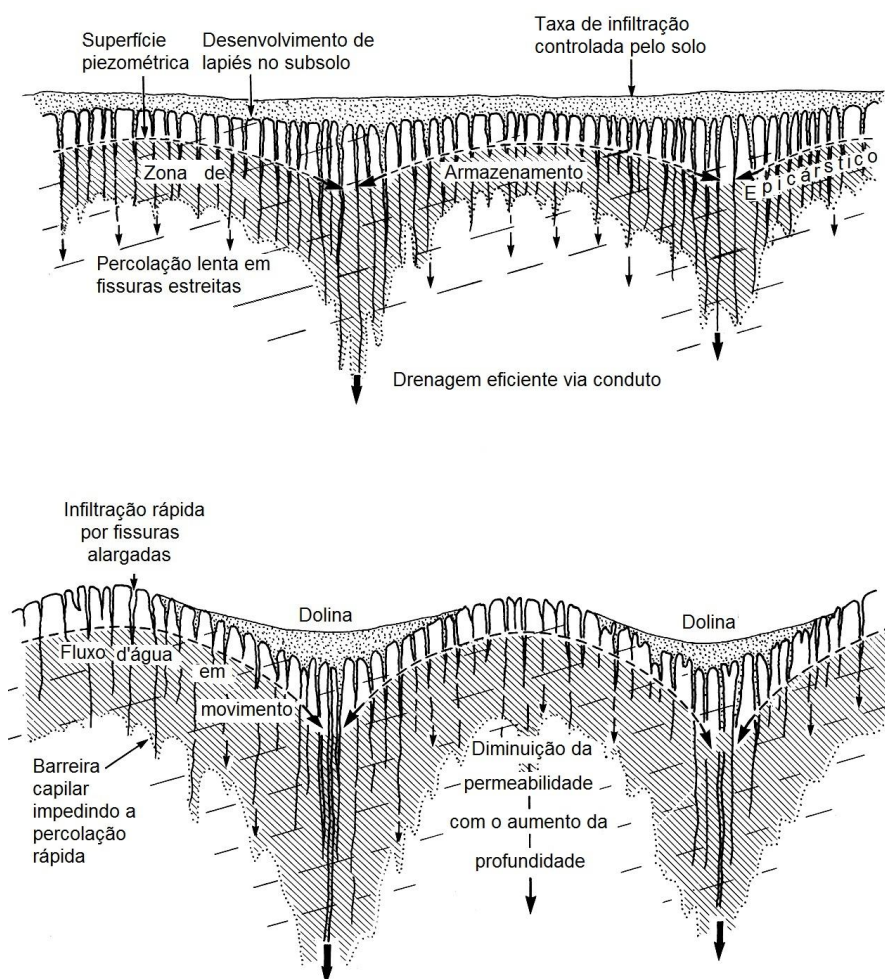


Figura 2.6.2-1. Modelo evolutivo de epicarste ou zona subcutânea³³

A espessura do epicarste varia muito de acordo com diversos fatores, alternando também o padrão das fissuras e, conseqüentemente, da permeabilidade. Como resultado, em alguns casos, para um potencial de armazenagem elevada pode haver uma drenagem rápida e vice-versa. Em situações ideais, como as da Figura 2.6.2-1, as fissuras mais extensas transformam-se aos poucos em uma estrutura de drenagem centrípeta promovendo um “efeito gargalo”³⁴. A água tende a acumular-se na base da zona epicárstica, pois a capacidade de infiltração sobrejacente é superior à taxa de infiltração da zona de transmissão subjacente. Nesse caso o epicarste

³³ Fonte: Williams, 1983 apud WILLIAMS, 2008 p. 04.

³⁴ A expressão foi traduzida do original.

funciona como um repositório de água de recarga, constituindo-se em um aquífero epicárstico que pode abastecer o carste ao longo de um período que vai muito além daquele em que ocorrem as chuvas, permitindo que haja certa regularidade na recarga, inclusive em períodos de seca (WILLIAMS, 2008, p. 04-07).

Atualmente muitos aspectos importantes da função do epicarste são amplamente reconhecidos e bem aceitos, incluindo o fato de que, para alguns autores, ele pode ser considerado como a terceira dimensão do carste, ficando então o epicarste, ou, zona subcutânea, entre o exocarste, ou, zona subaérea, e o endocarste, ou, zona subterrânea (GOLDSCHIEDER e DREW, 2007, p 19). No entanto, do ponto de vista conceitual a noção de epicarste ainda é discutível e numerosas definições variam consideravelmente principalmente quanto à espessura e função dessa dimensão do carste. Em parte, isso é resultado da enorme variabilidade espacial do epicarste nas escalas local, regional e global, mas também de suas condições evolutivas ainda pouco compreendidas (KLIMCHOUK, 2004, p. 02).

Mais recentemente, Fabre, (1978, p. 355-356) elencou diversos estudos sobre o papel da estrutura no processo de carstificação em diversas regiões da Europa e África, mostrando a importância da porosidade secundária na orientação dos processos de corrosão calcária e gênese de feições cársticas. Durante a fase de levantamento das referências literárias, foram examinados trabalhos nos quais os planos de estratificação, juntas e falhas são tratados, de forma generalizada, como fraturas e feições pós-diagenéticas, ou porosidade secundária responsável pela circulação hídrica subterrânea. Entretanto, segundo Ford e Williams (2007, p. 31) esta não é a forma mais correta de abranger estes elementos visto que os planos de estratificação, quando tratados num contexto de carstificação, são características deposicionais primárias da rocha sem relação alguma com fraturas. Diferentemente das juntas que são fraturas sem deslocamento significativo resultantes de deformação da rocha devido, principalmente, à pressão tectônica. Por outro lado, os planos de estratificação separam as camadas de rochas sedimentares podendo ser fenômenos estratigráficos e tectônicos, respectivamente (Pollard e Fletcher, 2005, apud GOLDSCHIEDER e DREW, 2007, p. 16). Nos estudos

efetuados no Alto Vale do Ribeira, em grande parte, influenciado por estruturas disruptivas em rochas deformadas, os planos de estratificação são tratados como superfícies primárias e as juntas e falhas, como secundárias (Ramsay e Huber apud KARMANN, 1994, p. 61).

À medida que avançam os estudos de fenômenos cárstico-espeleológicos nas mais diversas condições ambientais e em praticamente todos os continentes, outra problemática também teve início a partir do pós-guerra. Se até meados do século XX só se admitia a possibilidade de haverem fenômenos cárstico-espeleológicos em rochas calcárias, a descoberta, documentação e início dos estudos de feições originadas em diversos outros tipos de rochas consideradas até então “insolúveis” ou “impermeáveis”, suscitou dúvidas sobre o modelo fixista de morfologia cárstica vigente. Uma das abordagens mais consistentes é a distinção entre os fenômenos cárstico-espeleológicos e os pseudocársticos formulada Jennings³⁵ (1971, p. 05; 1987, p. 02 a 04).

Para Jennings (1987, p. 02 a 04), as feições que guardam certa semelhança com os fenômenos cárstico-espeleológicos, mas que tenham como morfogênese processos distintos da corrosão/dissolução predominante no carste não devem ser identificadas com essa terminologia, dada a sua efemeridade ou excentricidade quando se trata de feições como:

- Cavernas e dolinas surgidas em glaciares parcialmente derretidos (incluindo feições modernas esculpturadas em climas glaciais ou periglaciais);

³⁵ Joseph Newell Jennings (1916-1984) nasceu em Wortley, Leeds, Yorkshire, Inglaterra, fez Geografia no St. Catharine's College, em Cambridge. Seu trabalho de doutorado em Biogeografia na Islândia foi interrompido em 1938 devido à sua convocação pelo exército para lutar na 2ª Guerra Mundial, no Royal Regiment of Artillery, em 1941. Dispensado em 1946, Jennings aceitou um cargo de professor assistente em Geografia Física na University of Leicester. Em 1952, transferiu-se para a Austrália tendo sido nomeado responsável pela área de Geomorfologia no Departamento de Geografia da School of Pacific Studies, at the Australian National University, em Canberra. Sua carreira foi dedicada aos levantamentos da diversidade paisagística australiana, mais especificamente sobre as formas de relevo, nas quais se descobriu um praticante de espeleologia nas horas vagas, o que o levou, posteriormente, a se tornar um dos maiores especialistas do mundo em fenômenos cársticos, sob o viés da Geomorfologia. Jennings foi um dos fundadores da Australian Speleological Federation – ASF, em 1956, tendo ocupado a presidência da instituição entre 1958 e 1960. Estendeu suas pesquisas aos territórios de Papua e Nova Guiné, Malásia, China, Nova Zelândia, Canadá e EUA. Jennings foi eleito presidente do Institute of Australian Geographers - IAG, em 1975 e, posteriormente foi laureado com as medalhas Clarke da Royal Society of New South Wales e Victoria da Royal Geographical Society de Londres. Em 1983, um ano antes de sua morte, a National Speleological Society – NSS (EUA) concedeu-lhe o título de membro vitalício honorário. Extraído e adaptado de <http://adb.anu.edu.au/biography/jennings-joseph-newell-joe-531>

- Pequenas cavidades surgidas em sedimentos recentes, fruto da abrasão, solapamento e demais formas de desagregação³⁶;
- Longas cavidades originadas após o arrefecimento e compressão da lava em zonas vulcânicas, o que pode produzir, inclusive, cavidades de diferentes dimensões em basaltos amigdaloidais mais recentes;
- Na faixa costeira, a ação abrasiva das ondas nos costões rochosos ou falésias pode produzir cavidades de dimensões variáveis durante o solapamento da base escarpada em contato direto com a água abrasiva;
- Os *tafoni* (sing. *tafone*) são cavidades de dimensões consideráveis produzidas por múltiplos processos intempéricos.

Segundo Jennings (1987, p. 02 a 04), se comparados em termos de forma aos fenômenos cárstico-espeleológicos, deve-se atribuir àqueles o termo pseudocarste, visto que, embora haja semelhança em termos morfológicos, o papel da dissolução, essencial nos processos cársticos, tem relevância secundária, já que a participação de minerais carbonatados é pequena, o que torna a erosão mecânica o elemento predominante na morfogênese. Na tentativa de dar uma argumentação definitiva para a problemática, Jennings recorre aos produtos modelares das reações dos minerais silicáticos em comparação aos carbonáticos frente à ação erosional. Afirma o autor que, no caso das rochas carbonáticas, o processo em que se resume a essência da carstificação geomórfica é a carbonatação. Já o intemperismo químico de rochas como o granito produzem relevos que lembram o carste, mas a reação entre a água e minerais como a olivina e o feldspato produzem muitos resíduos insolúveis limitando a permeabilidade e o desenvolvimento de uma drenagem subterrânea e dificultando a sua remoção como solutos no sistema de drenagem, que é o modo operante característico no carste. Assim, essas manifestações, segundo ele, devem ficar de fora da tipologia cárstica.

Parece claro que a resistência de Jennings está no fato de que a desestabilização do paradigma cárstico pode ser mais prejudicial à Geografia do que parece aos críticos. Na raiz do seu pensamento o modelo

³⁶ Dutos naturais formados pelo fluxo d'água decorrente de dissolução e carreamento mineral em ambiente subsuperficial (Adaptado de GUERRA & GUERRA, 2006, p. 217).

morfogenético cárstico clássico é uma fórmula conhecida, segura e viável quanto à abordagem aos fenômenos cárstico-espeleológicos típicos e adotá-la para as feições similares, mas que, segundo ele, tenham o seus processos genéticos fora do controle modelar, repercutiria em crise para a geomorfologia cárstica como especialidade acadêmica em formação desde o início do século XX.

Se, de um lado, Jennings tenha dedicado boa parte das suas pesquisas para justificar a diversidade, segundo ele, entre carste e pseudocarste, de outro lado, a caracterização dos processos cársticos singenéticos será uma de suas maiores contribuições aos estudos cárstico-espeleológicos. Em ampla revisão não só dos levantamentos de Jennings, mas de um grande número de pesquisas sobre o tema, Grimes (2006, p. 27-38) analisa uma grande quantidade de ocorrências de fenômenos cárstico-espeleológicos gerados em sedimentos porosos e solúveis de formação recente (dunas calcareníticas costeiras quaternárias, calcarenitos marinhos terciários rasos, gesso e halita, por exemplo), ou seja, em paralelo aos processos litogenéticos.

Em geral, as feições cársticas singenéticas têm relação com a interface entre o sedimento carstificável, um embasamento impermeável subjacente e uma faixa de rocha capeadora ou solo endurecido sobrejacente. Todos sob o efeito do intemperismo da água meteórica em ambiente subaéreo. O que distingue essas feições em termos evolutivos, segundo o autor, é o fato de serem consideradas eogenéticas, formadas em rochas pouco consolidadas, das telogenéticas, formadas em rochas maciças soterradas. Além disso, durante o processo diagenético e eogenético ocorrem a cimentação e a solução (formação de brecha) por águas meteóricas e substituição da aragonita e da calcita altamente magnesianas por calcita. Paralelamente a isso a permeabilidade primária intergranular (da matriz) pode ser obstruída pela cimentação e substituída pela porosidade solucional (condutos) pela dissolução, ou mesmo, por fraturas. O amadurecimento desse processo pode gerar feições como dolinas, cavernas e pequenos abismos (GRIMES, 2006, p. 27-38).

Recentemente, as análises das bases conceituais e práticas dos estudos cárstico-espeleológicos desde Cvijić e seus sucessores, têm revelado

percepções bem singulares. Segundo Cucchi et al (2000, p. 55-78), embora o ambiente cárstico denote uma visão multidimensional, a produção do conhecimento voltado a ele desde o início do pós-guerras vem apresentando elevado grau de especialização e consequente fragmentação da complexidade intrínseca dos fenômenos cárstico-espeleológicos. Os estudos cárstico-espeleológicos são classificados por ele como temáticos, bi-temáticos ou, no máximo tri-temáticos, tendo resultado em limitações significativas. Essa fragmentação, segundo o autor, também é resultado da falta de integração entre as escolas de estudos cársticos acadêmicos e entre estas e os espeleólogos, com consequentes abordagens compartimentadas dos ambientes exocárstico e endocárstico, respectivamente.

Sob essa problemática, a análise crítica de Klimchouk e Andreychouk, (2010, p. 23) é mais enfática em afirmar que há pouca integração e grandes diferenças práticas entre a pesquisa sobre o carste nos EUA e na Europa e nenhuma entre estas e as realizadas pela tradicional escola russa. Esta última ainda lida com uma defasagem conceitual em relação aos demais polos, devido à crise decorrente das grandes transformações políticas e econômicas ocorridas durante os anos 1990 nos países da ex-URSS, considerada como responsável pela interrupção, diminuição e até extinção da produção científica constituída durante as décadas de 1970 a 1980. Dessa análise crítica cuidadosa, somada ao acúmulo de conhecimento herdado da escola russa e ao adquirido das ciências correlatas mais recentes que têm apresentado resultados bastante animadores à cerca da compreensão da hidrogeologia. Principalmente em relação à hidrodinâmica que tem contribuído com diretrizes bastante audaciosas ressoadas em outras comunidades de estudiosos dos fenômenos cárstico-espeleológicos, especialmente as de língua inglesa. Os próximos itens analisam essas proposições mais recentes que têm contribuído enormemente ao progresso da Geografia em termos gerais e dos estudos dos fenômenos cárstico-espeleológicos de modo específico.

2.7.O advento das novas abordagens sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos

Para Klimchouk e Andreychouk (2010), o maior problema a ser considerado atualmente, gira em torno do conceito de carste, ou seja, da referência

fundamental dos estudos cárstico-espeleológicos no plano científico. Segundo os autores, a multiplicidade de definições do termo carste é em parte explicada e, neste sentido, justificada pelo fato de o carste ter sido percebido e, posteriormente, racionalizado em diferentes escolas nacionais ou regionais por vários ângulos a partir da Geologia, da Geomorfologia, da Hidrogeologia, da Geologia de Engenharia, além da própria Geografia. Devem-se considerar também em cada um dos casos, as especificidades litológicas carbonáticas ou não-carbonáticas de referência, além, é claro, dos contextos culturais e filosófico-científicos aos quais os especialistas dos estudos cárstico-espeleológicos estão vinculados. A esse respeito, Klimchouk e Andreychouk identificam algumas classes de abordagem mais comuns:

- A abordagem fenomenológica: o carste é visto como propriedade inerente e exclusiva do calcário, visão esta, predominante no meio;
- A ideia processual: entende o carste como forma específica (particular/parte) de uma realidade maior do relevo terrestre (geral/todo);
- A visão geomorfológica regional observa o carste como um conjunto de feições resultantes de aspectos físico-químicos espacialmente combinados;
- A abordagem sistêmica: os elementos constituintes estão interligados e em estado de equilíbrio tornando-os distintos na paisagem (KLIMCHOUK E ANDREYCHOUK, 2010, p. 24).

Independentemente da diversidade de abordagem que caracterizaria tradicionalmente o carste do ponto de vista geológico, a tendência natural é a desintegração, a destruição, e a simplificação das formas cárstico-espeleológicas demonstrando a carga positivista sobre o conceito (KLIMCHOUK E ANDREYCHOUK, 2010, p. 29).

Os autores entendem que, do ponto de vista processual, o que define o carste é a solução. Esta tem papel mediador entre o poder corrosivo da água e o grau de solubilidade das rochas. Defendem, ainda, que muito embora a maioria dos trabalhos chame a atenção para a necessidade de se abordar os fenômenos cárstico-espeleológicos de maneira sistêmica e integrada, isto ainda não teria ocorrido de forma satisfatória. Outro aspecto evidenciado por Klimchouk e Andreychouk é o fato de que a água tem sido tratada como um elemento

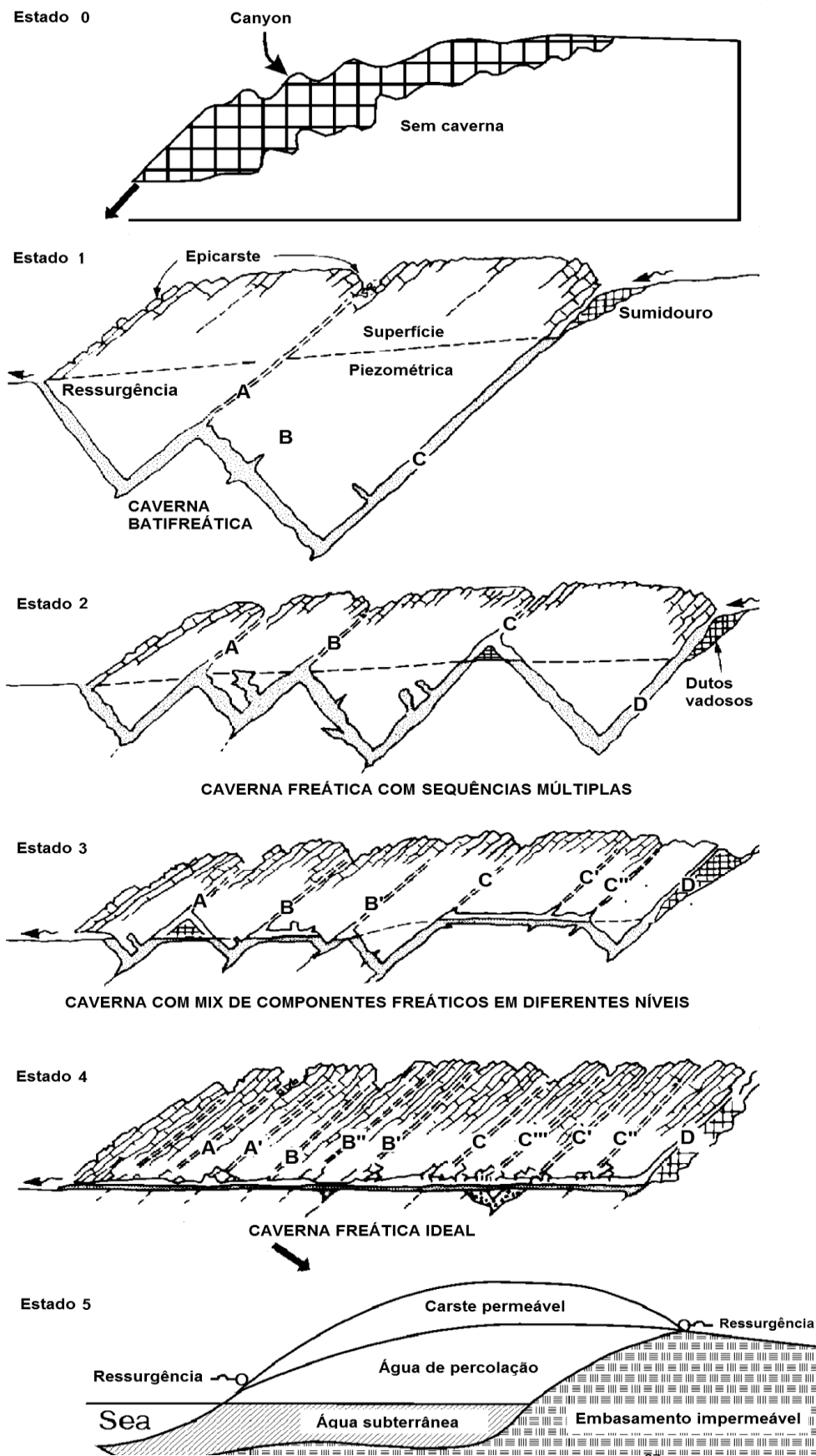
axiomático na definição do conceito de carste. Para estes autores, ao contrário, apesar de a água desempenhar papel importante no processo de carstificação, este não é exclusivo e nem suficiente para definir o conceito de carste. Ressaltam, ainda, concordando com Davis, a importância exagerada que é dada à dissolução, vista como “o processo que leva ao carste”. Segundo Klimchouk e Andreychouk (2010, p. 24), tal importância pode ser aceitável no início da morfogênese cárstica, mas ao longo da sua evolução aparecem outros elementos atuantes, o que tem levado alguns estudiosos a reconhecer a natureza do carste como resultado de uma evolução poligenética. Nos casos em que, por exemplo, o carste encontra-se, durante a sua morfogênese, sob a influência de um regime climático, havendo qualquer mudança no regime atmosférico, não só a descontinuidade, mas, também as condições anteriores ficarão gravadas no carste (FORD E WILLIAMS, 2007, p. 435).

Objetivamente, na visão de Klimchouk e Andreychouk (2010, p. 26), o entendimento de que o carste define-se pelo processo de dissolução química, apesar de muito difundido, é reducionista para a Geografia, pois a dissolução química, em qualquer proporção, é elemento fundamental das relações mineralógicas com o seu ambiente em toda a superfície terrestre. Sendo assim, tem importância para a Química, já que ocorre em nível atômico e molecular, na matéria como um todo. Nesse mesmo nível da abordagem, dependendo da temperatura e da pressão, a solubilidade das rochas, algumas delas sequer consideradas no rol das rochas carstificáveis, varia enormemente. Em síntese, identificar o conceito de carste como sendo efetivamente o processo de dissolução da rocha e vice-versa torna o tratamento do tema tautológico e, portanto, inadmissível do ponto de vista da explicação da paisagem.

Tratando sobre outro tema controverso, Ford (2003, p. 06) afirma que, ao contrário do que se acreditava até a década de 1950, não se pode admitir a pré-existência do lençol freático com agente indutor da espeleogênese ou da carstogênese. Ao contrário disto, admite que o lençol freático vai sendo delineado conforme a inter-relação entre diversos fatores vai evoluindo para diferentes estados. O autor dá como exemplo quatro situações, ou, estados (Figura 2.7-1) em que, dependendo da frequência com que a porosidade ocorra, o lençol freático apresentar-se-á de forma diversa. Após uma revisão

dessa proposta, Ford acrescentou uma situação inicial zero, com baixíssima frequência e uma quinta de altíssima frequência. Em ambos os estágios acrescentados, por motivos inversos, a formação de cavernas é inibida.

O debate sobre os fenômenos cárstico-espeleológicos e o conceito de carste normal tem prosseguido de forma intensa na literatura geográfica mundial. Se, para alguns a segurança propiciada por uma fórmula, ao mesmo tempo, simplificada, abrangente e abstrata, como é o caso do modelo cárstico clássico, é satisfatória e cientificamente plausível, para outros, o discurso sobre a gênese, evolução e forma do carste, está longe de ser considerado uníssono, particularmente após a intensificação das pesquisas em torno da espeleogênese hipocárstica. Sobre esse tema, Klimchouk (2007) elabora uma contundente análise crítica que tem por base, ao mesmo tempo fragilizar o modelo estático do carste clássico e provocar a desestabilização e o debate sobre o que, em sua opinião, tornará o discurso sobre o carste bem mais próximo do ambiente concreto e apartado da metafísica do carste normal davisiano-cvijiciano.



³⁷ Fonte: Ford 2003, p. 06; apud Ford e Williams, 2007, p. 224.

2.8. Espeleogênese hipogênica

Para Klimchouk a quase totalidade dos estudos do carste tem sido dedicada aos casos mais evidentes à experiência empírica, de rocha aflorada, ou não-confinada, relacionados à precipitação meteórica ou à drenagem alogênica, chamados de carste epigênicos ou hipergênicos. Estes formariam o sustentáculo nuclear do “paradigma hegemônico atual” (KLIMCHOUK, 2007, p. 03). Para o autor a razão disso se deve a dois aspectos básicos:

- O carste aflorante, raso ou exposto faz parte do cotidiano, ou, das demandas da comunidade do seu entorno; e
- A água alogênica produz os acessos aos subterrâneos do carste o que, de certa forma, impulsionou os estudos pioneiros tanto na Europa como na América do Norte.

Essa convergência forjou a crença de que os sistemas cársticos epigênicos não confinados predominariam de maneira esmagadora. Nesse ponto, o retardo na consideração da espeleogênese hipogênica se deu muito em função do fato de que, devido à sua profundidade, ela não apresenta morfologia superficial absoluta. Cavernas hipogênicas passam a integrar o carste já em um estágio bem avançado da elevação-denudação do terreno, já apresentando características relictas amplamente distintas e dissociadas do seu ambiente formativo profundo. Um aspecto detectado por Klimchouk (2007, p. 03) é o de que muito embora nos últimos 20 anos diversos casos de espeleogênese hipocárstica tenham sido documentados, não obstante, boa parte deles, incluindo enormes de sistemas de cavernas bem conhecidos e estudados, ainda é descrita como exemplo, ou variante do paleocarste epigênico.

Na análise de Klimchouk, a espeleogênese hipogênica está intimamente relacionada à noção de espeleogênese artesianas ou confinada em que, a água subterrânea encontra-se sob a pressão de rochas ou sedimentos menos permeáveis acima dela. Acima de tudo, o carste hipogênico não tem relação alguma com a água de recarga a partir das superfícies sobrejacentes, como é o caso do epicarste. Segundo Klimchouk (2007, p. 06), há diversas formas de se compreender a espeleogênese hipogênica: para Ford e Williams (1989) e Worthington e Ford (1995) o carste hipogênico é formado por águas

hidrotermais ou por água contendo sulfeto de hidrogênio (S_2H). Para Hill (2000), este último composto e seus processos de interação no meio subterrâneo são os maiores responsáveis pela espeleogênese hipocárstica. Palmer (1991), afirma que o carste hipogênico deve sua existência aos ácidos de origem profunda ou epigênicos, mas que pode ser rejuvenescido por processos em grande profundidade que tornam a água agressiva independentemente do CO_2 ; já para Ford (2006) as cavernas hipogênicas formam-se graças à água de recarga impulsional para cima pela pressão hidrostática ou outras fontes independentes de energia, da superfície adjacente.

Klimchouk (2007, p. 04) também faz questão de lembrar o papel da dissolução na espeleogênese. Para o autor, há uma tendência a se rotular a espeleogênese hipogênica como totalmente dependente da dissolução, mas, embora este seja um componente indispensável, o principal elemento no processo espeleogenético é o fluxo d'água subterrânea. Considerando ser essa uma inversão na lógica que embasa a compreensão clássica sobre o carste, Klimchouk elenca alguns elementos que norteiam a sua racionalidade formulando este conceito como um

“sistema de transferência de matéria em rocha solúvel com a permeabilidade formada por condutos dissolvidos e organizados no sentido de aumentar e acelerar a circulação dos fluidos” (HUNTOON, 1995 E KLIMCHOUK E FORD, 2000, apud KLIMCHOUK, 2007, p. 05).

A espeleogênese por ácido sulfúrico também aparece nas pesquisas sobre fenômenos cárstico-espeleológicos nos EUA, desde o início do século XX, com as primeiras especulações sobre a história das cavernas das Guadalupe Mountains, New Mexico, principalmente, da Carlsbad Cavern e da Lechuguilla Cave, com atuais 44.305 e 217.261 metros de extensão³⁸, respectivamente. Desde a tese freática de Bretz (1949) acompanhado posteriormente por Black (1954), Gale (1957), Good (1957), Sanchez (1964), Bullington (1968), diversas

³⁸ Disponível em: <http://www.caverbob.com/usalong.htm>. Acessado em 04/08/2014.

etapas de pesquisas espeleogenéticas se seguiram até que Egemeier (1971) afirmasse que os espaços subterrâneos de Carlsbad haviam sido dissolvidos por ácido sulfúrico. Essa tese foi verificada por Jagnow (1973, 1977, 1978 e 1979), Queen (1973), Davis (1979, 1988, 1990), Hill (1979, 1980, 1987), Kirkland (1982), Palmer (1988, 1991), Palmer e Palmer, Spirakis e Cunningham, (1992), Cunningham et al. (1994), Duchene (1996, 1997), Mosch (1995), Polyak e Provencio (1998), a partir do reconhecimento de que diversos minerais, entre eles o enxofre, precipitados nos condutos, eram produtos da espeleogênese por ácido sulfúrico em Carlsbad, Lechuguilla e em outras cavernas do Novo México (JAGNOW, p. 54-59, 2000).

Expandindo o horizonte conceitual, a espeleogênese seria a criação de estruturas de permeabilidade em uma rocha, desenvolvidas como resultado do alargamento dissolucional da porosidade pré-existente (Klimchouk e Ford, 2000, apud KLIMCHOUK, 2007, p. 05), sendo esta, então, a parte mais essencial do conceito de carste. Em uma clara inversão da racionalidade, no início do século XXI a maioria dos carstes descritos pode ser associada ao merocarste de Cvijić, e que o seu conceito central de holocarste corresponde, atualmente, a um caso muito específico da região dos Balcãs. A variedade de ocorrências de carstes sob a influência de climas úmidos abriu um leque enorme de possibilidades de pesquisas nas mais diversas especialidades da Geografia, além de denotar categorias e estrutura conceitual mais adequada às novas demandas dos estudos desse objeto (FORD e WILLIAMS 2007, p. 06). É importante ressaltar que as explicações para o processo de carstificação pautadas no confronto entre as visões ou teorias freática e vadosa estão cada vez mais enfraquecidas dando lugar às noções de formação de cavernas em condições hidrogeológicas de ambientes confinados e, ou, não confinados (FRUMKIN e FISCHHENDLER, 2004, p. 01).

Ao longo das décadas de 1970 a 1990, um elemento a mais foi agregado às perspectivas dos geógrafos dedicados aos estudos dos fenômenos cárstico-espeleológicos. A chamada Planificação Central dos Países Socialistas, em especial a ex-URSS, somada às seguidas crises que se abateram sob o regime capitalista, acabaram reorientando as práticas científicas, principalmente aquelas mais pragmáticas, na direção do planejamento, do ordenamento

territorial, da conservação ambiental, do aproveitamento de recursos naturais e de seus respectivos prognósticos, no âmbito da Geografia Física. Esta, por sua vez, voltou-se aos aspectos antrópicos do ambiente fortalecendo a ciência Geografia perante os outros campos do conhecimento, especialmente no que diz respeito ao desenvolvimento de uma categoria, ou tipo de unidade espacial, que permite estudar os elementos da natureza na sua interação com os aspectos socioeconômicos e o *feedback* que essa interação produz: é o Geossistema, ou classe peculiar de sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados (BERTALANFFY, 1973 apud SOTCHAVA, 1977 p. 09). A diferenciação espacial se dá pela diferenciação do grau, ou, índice de antropização a que as formações naturais foram (são) submetidas e segundo a hierarquia entre os próprios geossistemas, segundo os resultados dos modelos aplicados. Sua delimitação abrange o território onde são encontrados os elementos que asseguram a unidade desse sistema (SOTCHAVA, 1977, p. 05-21). A seguir poder-se-á observar de que forma o carste pode ser entendido como uma expressão geossistêmica.

2.9. Carste e Geossistema

A categoria de referência escolhida para os estudos dos fenômenos cárstico-espeleológicos deve representar a interação imanente existente entre a água superficial e a originalidade da rocha, ambos dotados da categoria Geossistema, dada a sua integridade definida espacial e evolutivamente, gerada por interações específicas de seus elementos, com base no princípio da auto-organização e sob as premissas da hidrogeologia moderna (KLIMCHOUK, 2007, p. 28). O conceito sistêmico pode ser, então, a referência para abordar o carste do ponto de vista da Geografia, já que um aquífero cárstico pode ser visto como um sistema aberto, com os limites definidos pelos pontos de captação, pelos mecanismos de controle e transferência e pelas saídas, ou descargas. O sistema pode ser simples, funcionando apenas a partir da entrada de água da chuva diretamente através da rocha, neste caso a recarga é autogênica, ou mais complexo, com a água entrando a partir do escoamento superficial de rochas não-cársticas vizinhas ou de recobrimento drenando para dentro do calcário. Neste caso a recarga é chamada de alogênica e produzirá efeitos bem diferentes que o primeiro caso (FORD e WILLIAMS, 2007, p. 117).

Essa reflexão converge para o sentido de que o Geossistema tenha aceitação como categoria de abordagem ou de referência para os estudos cárstico-espeleológicos. Segundo Andreychouk, não há outra possibilidade de se considerar os fenômenos cárstico-espeleológicos, ou o carste, a não ser como uma totalidade sistêmica. Seus elementos interconectados e interdependentes, que divergem completamente em relação à paisagem circundante conferem ao carste, em qualquer lugar do mundo, um caráter de relevância tal que, para o autor, excetuando-se algumas atividades que não exponham esses elementos a potenciais vulnerabilidades e que sejam socialmente relevantes ou tradicionais, o carste deve ser conservado na sua integralidade (ANDREYCHOUK, 2009, p. 47-69).

2.10. O (supra) conceito de carstosfera

Em publicação conjunta entre a *University of Silesia*, Polônia e o *Ukrainian Institute of Speleology and Karstology*, da Ucrânia, Andreychouk et al (2009) criaram as bases para a renovação do conceito de carste, sob uma nova perspectiva escalar: a da carstosfera. Se, de modo geral, o conceito de carste pode ser definido como o processo de interação entre as rochas solúveis e a água, tendo como resultado o desenvolvimento de aspectos característicos, ou, peculiares sobre e sob a superfície e, vez ou outra, envolvendo relações de causa e efeito, o papel hegemônico da dissolução, modo de circulação da água e até o grau de intervenção das ações antrópicas. O carste é um sistema de processos e fenômenos em desenvolvimento, resultante das interações (transporte, dissolução e deposição de matéria) das águas naturais com as rochas que são solúveis em uma dada situação (Andreychouk, 1991 apud ANDREYCHOUK et al, 2009, p. 07-08). Essa definição teria como finalidade abranger todas as formas de carste e processo de carstificação incluindo os chamados não tradicionais como é o caso do carste silicático, hidrotermal, endocarste, e carste desenvolvido em minério. Essa abrangência se justifica segundo os autores, pois tais formas:

- São menos abundantes;
- Tem distribuição limitada;
- Não tem sido estudadas de maneira satisfatória;

- São relacionadas genética, ou, parageneticamente a processos "exóticos" o que pode ocultar sua natureza cárstica; e
- Desenvolvem-se em rochas que são genericamente avaliadas como "não-carstificáveis".

Após terem citado uma série de trabalhos anteriores em que são relatadas inúmeras identificações das formas peculiares do carste tradicional em outras rochas, variando segundo as características mineralógicas topográficas e climáticas, os autores passam à descrição da carstosfera, utilizada pioneiramente por Maruashvili (1970). Originalmente, esse conceito diz respeito à camada espacialmente descontínua formada por áreas globais de rochas carstificáveis, esse conceito acabou sendo estendido por Maximovich (1979) para as rochas magmáticas e metamórficas, como os quartzitos, mármore e carbonatitos. Mais recentemente, Andreychouk (1986), realçou o caráter dinâmico da carstosfera ao defini-la como um geossistema terrestre de rochas solúveis que, ao mesmo tempo, estão se formando nos oceanos e sendo desgastados em terra firme. Para o autor, esse progresso em relação aos conceitos é elucidativo quanto ao fato de que, virtualmente, em condições específicas, qualquer rocha pode sofrer carstificação. De posse de todas essas evidências, Andreychouk et al (2009, p. 36) definem que a carstosfera compreende descontinuamente a parte superior da crosta terrestre, limitada a 10 ou 15 km de profundidade, na qual os processos cársticos pretéritos, presentes e futuros manifestam-se via ação da água no estado líquido. Considerando esses pré-requisitos, podem-se acrescentar:

- Os fatores que determinam as variantes que demarcarão as especificidades do processo de carstificação;
- Os zoneamentos, regionalizações e tipologias de carste existentes na superfície terrestre.

Considerando as proposições anteriormente tratadas, depreende-se que o conceito de carste, estabelecido no início do século XX, após uma série de refutações e reformulações, pois tratava-se de um modelo baseado em uma experiência singular ocorrida no caso o Carste Dinárico e tornada lei geral, perdeu o seu propósito inicial que foi o de dar à Geografia uma ferramenta

lógica que funcionasse como paradigma ao qual se pudesse recorrer indubitavelmente a todos os fenômenos cárstico-espeleológicos. Em seu lugar, apareceu uma formulação metafísica de carste que leva em conta os processos físico-químicos resultantes da interação entre a rocha e o seu entorno, incluindo o próprio homem.

Desde as primeiras críticas ao modelo Penck-Grund-Cvijić, elaboradas sobre estudos empíricos de fenômenos cárstico-espeleológicos em condições geológicas, climáticas e até antrópicas distintas, até os últimos parágrafos, de forma mais aguda, se pôde perceber uma mudança de postura em relação ao conceito clássico de carste que, passa da posição de uma pretensa lei geral para a condição de contingência³⁹. Isso porque tanto a experiência adquirida, quanto a dimensão que os estudos cárstico-espeleológicos alcançaram, permitiram entender o carste como resultado de processos heterogêneos e anisotrópicos, além de estender a possibilidade de carstificação a, praticamente, todas as litologias, em condições específicas. Condições estas que incluem, como elemento componente no e não somente o sujeito pensante do processo, o próprio homem.

A necessidade de adoção de um princípio geral para abordar um aspecto, como já mencionado anteriormente, de natureza anisotrópica e heterogênea, como é um aquífero cárstico, tratando-o mais como um sistema interligado de condutos e fraturas incorporados a uma matriz mais ou menos porosa no qual prevalece a transmissividade, afasta-o cada vez mais da Lei de Darcy. Essa equação, segundo Ford e Williams (2007, p. 136-140), seria aplicável apenas à modelagem de aquíferos em meios porosos equivalentes. Em vez disso, os aquíferos cársticos estariam mais próximos da Lei de Hagen-Poiseuille⁴⁰.

2.11. Carstogênese-espeleogênese submarina

Mais recentemente, Radulović (2013, p. 1-14) cogitou que os fenômenos cárstico-espeleológicos podem ter se formado nos carbonatos submarinos,

³⁹ (...) Acontecimento do qual não podemos reduzir o aparecimento a um feixe de causalidades; é um acontecimento (como uma emergência) de ocorrência possível, mas incerta (...). Fonte: JAPIASSÚ e MARCONDES, 2001.

⁴⁰ Permite estabelecer a vazão de um fluido por um tubo segundo a diferença de pressão entre as extremidades de um tubo; o comprimento do tubo; o diâmetro do tubo e a viscosidade do fluxo. Disponível em <http://www2.eesc.usp.br/netef/Oscar/Aula14>. Acessado em 30/01/2014.

abaixo da Lisoclina, sob a qual a calcita é parcialmente dissolvida e abaixo da Profundidade de Compensação de Calcita – PCC, na qual a calcita é totalmente dissolvida. Perfurações petrolíferas e topografia batimétrica do assoalho oceânico têm se deparado com feições como dolinas, lapieés e cavernas similares às encontradas em terrenos carbonáticos em terras emersas. As condições às quais possivelmente se formaram estas feições não teriam nenhuma relação com os processos atmosféricos nem os freáticos, da forma como propõe a teoria cárstica clássica. Em vez disso, tiveram sua carstogênese inicial, ou seja, o alargamento de fraturas em condutos, em meio subaquático oceânico e sob baixíssima temperatura e elevada pressão de CO₂.

As suspeitas de carstificação hipogênicas têm sido afastadas pela ausência de H₂S nos materiais coletados para análise. Outro aspecto a considerar é que são áreas que foram atingidas no passado por fenômenos orogenéticos e que, portanto, essas cavernas estão postas acima de sua profundidade de origem. Dessa forma tem-se cogitado que as feições cárstico-espeleológicas atualmente em terras secas tenham se formado sob estas condições e somente após a regressão marinha ou soerguimento costeiro a ação da água atmosférica e fluvial de alargamento e aprofundamento teria ocorrido. Oscilações na profundidade tanto da Lisoclina quanto do PCC teriam provocado a sazonalidade de sedimentação e dissolução do carbonato subaquático. Isso também explicaria as feições paleocársticas. (RADULOVIC, 2013, p. 1-14).

Na Figura 2.11-1 é possível observar a evolução da carstogênese/espeleogênese à luz dessa nova proposta. Em *a.* ocorre o desenvolvimento do carste afetado tectonicamente e localizado em grandes profundidades oceânicas, ou, abaixo da Lisoclina; em *b.* surgem dolinas e uvalas por dissolução subaquática, a ampliação de fraturas e início da rede de condutos de dissolução; em *c.* mantém-se a continuidade da dissolução, a ampliação das uvalas e criação de poljes; em *d.* ocorre o recuo das águas oceânicas, a instalação de um gradiente hidráulico elevado, a formação da rede fluvial nas depressões cársticas, a instalação de sumidouros, cavernas fluviais e início de esvaziamento das depressões por ressurgências a jusante; em *e.* ocorre o completo esvaziamento da superfície do carste, a formação do horizonte

freático cárstico, a deposição de sedimentos nos poljes e, finalmente, a infiltração de água de precipitação através dos condutos previamente formados, compondo o estágio moderno do aquífero cárstico hipotético.

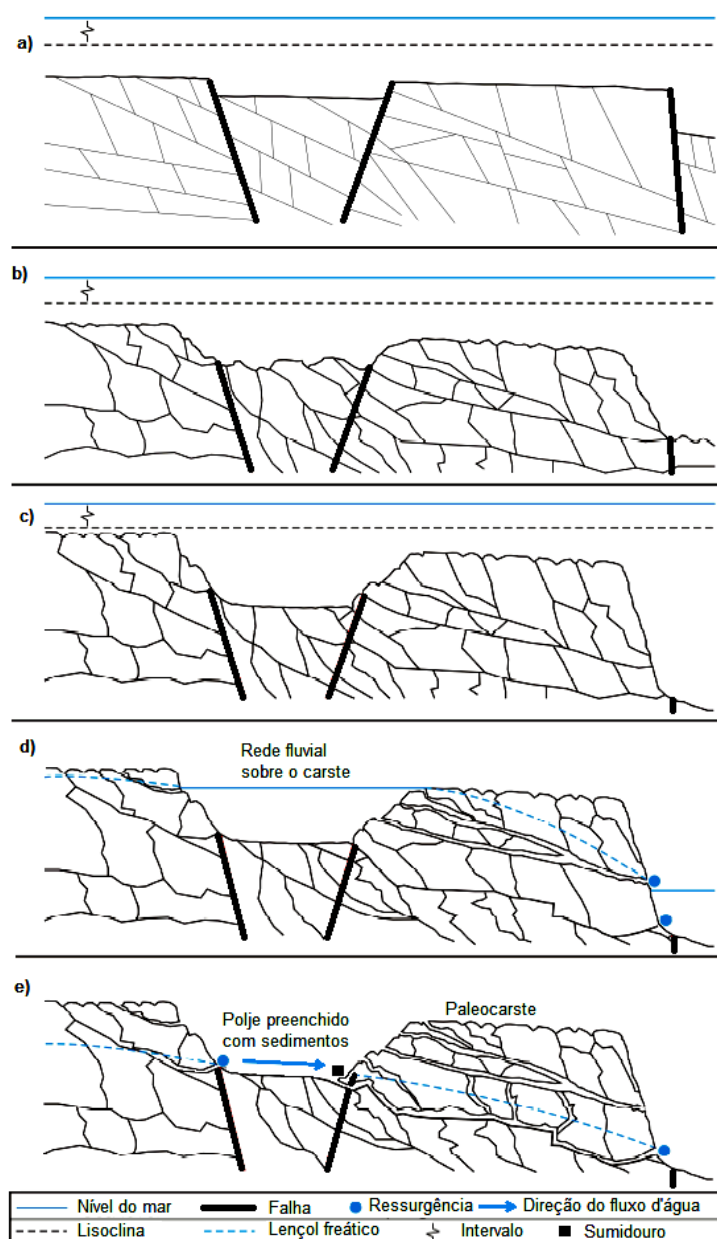


Figura 2.11-1. Teoria da carstogênese/espeleogênese subaquática oceânica⁴¹

É inquestionável que as pesquisas sobre a carstogênese/espeleogênese têm apresentado avanços consideráveis, especialmente quando auxiliadas por técnicas utilizadas em outras áreas da engenharia. No entanto este é um exemplo de que as técnicas têm servido também ao conhecimento e devem prestar esse serviço sociocultural concomitantemente ao aproveitamento econômico para o qual foram criadas.

⁴¹ Fonte: adaptado de Radulović, 2013, p. 12.

3. OS ELEMENTOS COMPONENTES DA PAISAGEM DO CARSTE DO CÓRREGO DO COUTO

Este capítulo tem por finalidade estabelecer a relação entre o objeto do estudo, a Cachoeira do Córrego do Couto, compreendido como um fenômeno cárstico-espeleológico, vez que, é a ressurgência de um curso d'água subterrâneo, com múltiplas modalidades de recarga, delimitado topologicamente pela Bacia do Córrego do Couto, considerada a unidade sistêmica na qual se realizam as condições físicas responsáveis pela existência do tal objeto.

Como já mencionado no item 1.5, o fato de o conjunto estudado ser percebido pelo seu significado estético dentro do conjunto de atributos turísticos do PETAR, faz dele um fenômeno socioeconômico e cultural. Por este motivo, entende-se que a melhor abordagem para o objeto deste estudo seja adequá-lo à noção de Geossistema. Este capítulo alinhava aspectos socioeconômicos e culturais que justificam a escolha deste modelo de abordagem.

Como já mencionado no item 1.1 da introdução, a Cachoeira do Córrego do Couto corresponde a um considerável volume de água perene que despenca de uma altura de aproximadamente 5 metros após eclodir do interior de um afloramento calcário. Alguns metros acima da Cachoeira do Córrego do Couto ocorrem dois pontos de acesso a um amplo espaço subterrâneo formado por um conjunto de cavidades naturais subterrâneas ou cavernas calcárias, a saber, as cavernas do Couto e do Morro Preto (Figura 1.4-2). Este conjunto, entre outras cavernas existentes, também forma o arcabouço turístico oferecido à visitação pública no PETAR, principal finalidade da existência deste e justificam o volume de visitas recebidas anualmente pelo parque.

3.1. PETAR: conservação, turismo e dinâmicas socioeconômicas

Segundo o relatório final do Plano de Manejo Espeleológico (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010), enquanto o PETAR recebe 27.228 visitantes/ano, o Núcleo Santana, onde está localizada a Cachoeira do Córrego do Couto, abarca 79% deste total, ou seja, 21.511 visitantes/ano⁴². Por outro lado, em uma pesquisa simples da palavra “petar” na ferramenta de busca Google, são

⁴² Os valores dizem respeito à coleta de dados de visitação entre 2006 e 2008. Disponível em <http://fflorestal.sp.gov.br/>. Acessado em 01/07/2014.

apresentados 5.150.000 resultados. Estes números dão a dimensão da significância socioeconômica e cultural da área que envolve o objeto desta pesquisa, ao menos nos últimos anos.

A certa altura, o desenvolvimento do trabalho ora apresentado passou a suscitar a necessidade de se delimitar o contexto em que a Cachoeira do Córrego do Couto passou da dimensão de significância dada apenas e tão somente pelas famílias ocupantes, dimensão esta pautada pelas necessidades de sobrevivência, abrigo e autoafirmação cultural, para os mais diferentes extratos da sociedade paulista e brasileira que, de certa forma, usurpam para si, agora, a partir da institucionalização das políticas de proteção ambiental, a “potencialidade” turística que busca o “belo”, o “bucólico” e a religação do humano com a natureza que a sociedade moderna passou a ter.

Voltando à necessidade de delimitação sobre o contexto da mudança de significado do objeto deste trabalho. Definiu-se que o marco para esta reviravolta é o depoimento (Anexo 8-4) do Eng. José E. P. Guimarães a favor da criação do PETAR, de 1956. Nesta carta enviada às autoridades do governo do Estado de São Paulo, Guimarães, à época chefe do Instituto Geográfico e Geológico, ressalta as “belezas naturais” que poderiam ser contempladas por muito mais gente do que os esparsos ocupantes daquelas terras rurais. Pode-se dizer que os ideais deste documento iam ao encontro dos mesmos pressupostos do discurso de D. João VI ao criar o Jardim Botânico, em 1808 e de Rebouças e Hubmayer durante o processo que levou à criação do Parque Nacional de Itatiaia, em 1937. Todos eles ressaltam, cada um ao seu modo e contexto, o aspecto recreacional voltado ao público do meio urbano, que as áreas protegidas representavam a exemplo do que ocorreu nos EUA, a partir de Yellowstone, de onde o modelo havia sido importado (DIEGUES, 2001 p. 113-114).

Embora tenha sido fundado em 1958, o PETAR passou a despertar interesse turístico muito tempo depois. Enquanto a regulamentação do parque não ocorria, a vida transcorria normalmente tanto para as famílias ocupantes, quanto para os empreendimentos minerários e extrativistas em geral.

No entanto, ao longo da década de 1990 e início de 2000, uma série de políticas de gestão foram implementadas pelo governo do Estado de São

Paulo, resultando na regulamentação à visitação, expropriação dos antigos ocupantes e dos empreendimentos minerários seguido da suspensão das atividades produtivas dentro e próximas ao parque (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010, p. 246) ⁴³. É o mesmo contexto no qual assumem grande importância as lutas ambientais, representadas, por exemplo, pela Eco-92 e outros fóruns ambientais subsequentes, assim como as práticas educacionais ambientais nas escolas e o aumento do público interessado em atividades ao ar livre. É o momento em que a visitação pública ao PETAR passou a aumentar significativamente culminando, inclusive, em impactos ambientais e acidentes devido à ausência de um manejo adequado ao volume de visitantes até então inédito.

Tanto o volume de visitação quanto a forma como esta era praticada até então, levaram o IBAMA, em 2008, a suspender a visitação em cavernas dos parques paulistas, incluindo o PETAR. A justificativa foi exatamente a ausência de um plano de manejo espeleológico que ordenasse a visitação às cavernas. Esta tomada de decisão que em qualquer outra instância da vida social poderia ser vista como acertada, gerou controvérsias em diversas esferas no âmbito regional, e uma situação bastante crítica nas comunidades que vivem no entorno do PETAR.

Com as dificuldades decorrentes da já mencionada implantação da política ambiental nos parques da região, aquelas famílias que conseguiram se articular minimamente, passaram a, de uma forma ou de outra, disponibilizar uma série de serviços aos visitantes das cavernas⁴⁴. Como os pioneiros que criaram as primeiras estruturas de hospitalidade foram razoavelmente bem-sucedidos, inúmeras outras famílias, em especial os jovens, passaram a criar vínculos com o círculo econômico criado pelo turismo, gerando uma significativa dependência da comunidade àquele. Com a proibição às visitas

⁴³ Como a comunidade moradora dentro dos limites do PETAR tradicionalmente se dedicava à prática da agricultura, pastoreio, caça, pesca e o extrativismo de recursos da floresta e que devido a esta tradição atribuía às cavernas uma importância secundária no seu cotidiano, no mesmo contexto em que o turismo se expande, as famílias são removidas e relocadas para os núcleos de povoamento no entorno do parque.

⁴⁴ Este ímpeto também foi induzido pelo trabalho da Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, ONGs e universidades fomentando a capacitação ao turismo, incluindo cursos de formação de monitores ambientais (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

em 2008, o volume de visitantes que anteriormente se dirigiam em grande número às pousadas, restaurantes e bares, nos fins de semana, deixou de existir. Isto trouxe enormes dificuldades para a comunidade.

Após um longo debate que envolveu a comunidade e os órgãos ambientais e judiciais, no mesmo ano de 2008, as atividades de visitação foram retomadas e mantidas graças a um Termo de Ajuste de Conduta – TAC (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010). O Plano de Manejo Espeleológico, objeto da ação, teve início no mesmo ano, tendo sido concluído e entregue à avaliação dos órgãos ambientais em 2010.

Este episódio pode ser considerado como o segundo marco no qual o significado do lugar se altera. Desta vez, a comunidade que anteriormente se viu excluída de suas relações de associação (vital) com a natureza à qual atribuía um valor de uso e que estabelecia uma relação de repulsa com as cavernas, mediada pelos tabus, agora, dentro de um circuito econômico-monetarista-financista no qual o turismo às cavernas é a fonte de ganhos que regula a vida, vê-se atribuindo outro tipo de valor à mesma natureza, um valor de troca, sem vínculos objetivamente vitais de manutenção de vida. No lugar disto, o turismo reposiciona a significância do lugar representado, ao mesmo tempo, como ambiente de trabalho para a comunidade, no exercício da condução ou monitoramento de grupos e, de outro lado, um ambiente de recreação e de prazer, remunerado, aos visitantes de fins de semana.

Foram verificados diversos indícios que representam diferentes dinâmicas ocorridas no contexto da área do objeto desta pesquisa.

3.1.1. As dinâmicas naturais e humanas registradas na paisagem

As visitas ao campo constataram que em muitos pontos encontram-se densamente recobertos por capoeira e bambu indicando o uso anterior em atividades rurais. É de se deduzir que se originalmente o solo residual do carste fora recoberto pela floresta densa, durante algumas décadas de uso agrícola, esta mesma superfície permaneceu desnuda. Durante a implantação do parque e após a remoção das famílias ocupantes que põe fim ao solo agrícola do solo, também é de se supor que tenha início tanto o processo de

regeneração da cobertura vegetal tropical, quanto o espalhamento das espécies exóticas introduzidas pelos antigos moradores.

As variantes qualitativas do parágrafo acima podem ter repercutido sobre os processos erosivos e de sedimentação subterrânea no espaço cárstico-espeleológico. Supostamente, em períodos nos quais a superfície tenha permanecido desnuda, durante as fases de uso agropastoril, diminui a interceptação de chuva, entre outros fatores, aumentando a velocidade do escoamento superficial. Levando-se em conta o fato de que o escoamento sobre o carste acontece em grande parte na direção vertical (item 2.4, p 45), outro efeito possível é o maior carreamento de sedimentos em direção ao epicarste. Como consequência do soterramento das fissuras e condutos, é possível admitir-se alterações no ritmo de carstogênese-espeleogênese.

A Figura 3.1-1 e a Figura 3.1-2 são, respectivamente, imagens do sumidouro e o conduto “ladrao” do Córrego do Couto. É possível observar na Figura 3.1-1 terraços sedimentares posicionados no flanco à direita do canal do Córrego do Couto. Já na Figura 3.1-2 é possível constatar que o piso do conduto “ladrao” é recoberto por sedimentos clásticos de espessuras consideráveis, de calhaus a matacões que tem origem na drenagem alogênica, ou seja, externa ao carste. Ambas as imagens são consideradas hoje, locais de visitação pública. É possível notar na Figura 3.1-1, que os terraços sedimentares apresentam marcas de pisoteio devido à circulação dos grupos de visitantes.

O que se pretende é demonstrar que, de um lado, a carstogênese-espeleogênese que atua no Carste do Córrego do Couto apresenta fatos que evidenciam processos naturais ocorridos no tempo geológico, de outro lado, o uso público ou a apropriação para fins de recreação, deixa suas próprias “marcas” produzindo a superposição da temporalidade humana em relação à geológica, inserindo, novamente, a presença humana como indutora da carstogênese-espeleogênese. O que é perceptível na própria paisagem.



Figura 3.1-1. Sumidouro do Córrego do Couto. À direita da foto ocorrem terraços sedimentares⁴⁵



Figura 3.1-2. Conduto intermitente ("ladrão") do Córrego do Couto⁴⁶

⁴⁵ Foto: Danilo Martines Duarte

⁴⁶ Foto: Danilo Martines Duarte

Outra situação que representa a dinâmica da paisagem foi observada a partir da fotointerpretação da área ocupada pelo objeto deste estudo, conseguida a partir das fotos aéreas do Levantamento Aerofotogramétrico da Secretaria da Agricultura e Abastecimento, realizado em 1972 (Figura 3.1-3), pode-se inferir que os tons de cinza claro imprimem as marcas da ocupação agropastoril na faixa central da Bacia do Córrego do Couto e a montante do sumidouro do Córrego do Couto. Esta ocupação deve-se ao fato de aí ocorrem terrenos menos íngremes e de cobertura de solo residual mais profunda e úmida devido ao fato de que o epicarste armazena as águas de escoamento superficial e subsuperficial por mais tempo em comparação às áreas impermeáveis adjacentes com maior declividade e solo menos espesso.

Em contraste, na Figura 3.1-4 é possível observar que, devido à implementação das medidas de proteção com consequências diretas sobre a remoção das instalações minerárias, extrativistas e das famílias ocupantes, as manchas pontuais de capoeira, marcadamente áreas de descanso e roça, da Figura 3.1-3 praticamente desaparecem da cena, em parte, devido à capacidade de resiliência da vegetação. A recomposição da cobertura vegetal nessas áreas são facilmente perceptíveis devido à maior homogeneidade textural e de tons de cinza.⁴⁷

A fotointerpretação permitiu ainda o reconhecimento preliminar da forma lenticular que a morfologia superficial da Formação Bairro da Serra apresenta. Esta delimitação é bastante perceptível na diferenciação entre as texturas das formações vegetais existentes sobre o carbonato em contraste com as rochas adjacentes. Este traçado foi de grande importância na delimitação das zonas de recarga a serem mais bem descritas nos itens 5.1 e 5.2.

⁴⁷ Nas visitas ao campo foi observado que esta aparente regeneração da cobertura vegetal percebida com o recurso de sensor remoto opõe-se à situação verificada em campo. A atividade de extração clandestina da polpa do *Euterpe edulis* (Palmito Jussara), produziu uma paisagem rarefeita sob os extratos das copas das espécies arbóreas mais altas e evidencia o empobrecimento da biodiversidade, embora, aparentemente através do recurso de aerofoto e sensor remoto, a recomposição possa parecer concreta.

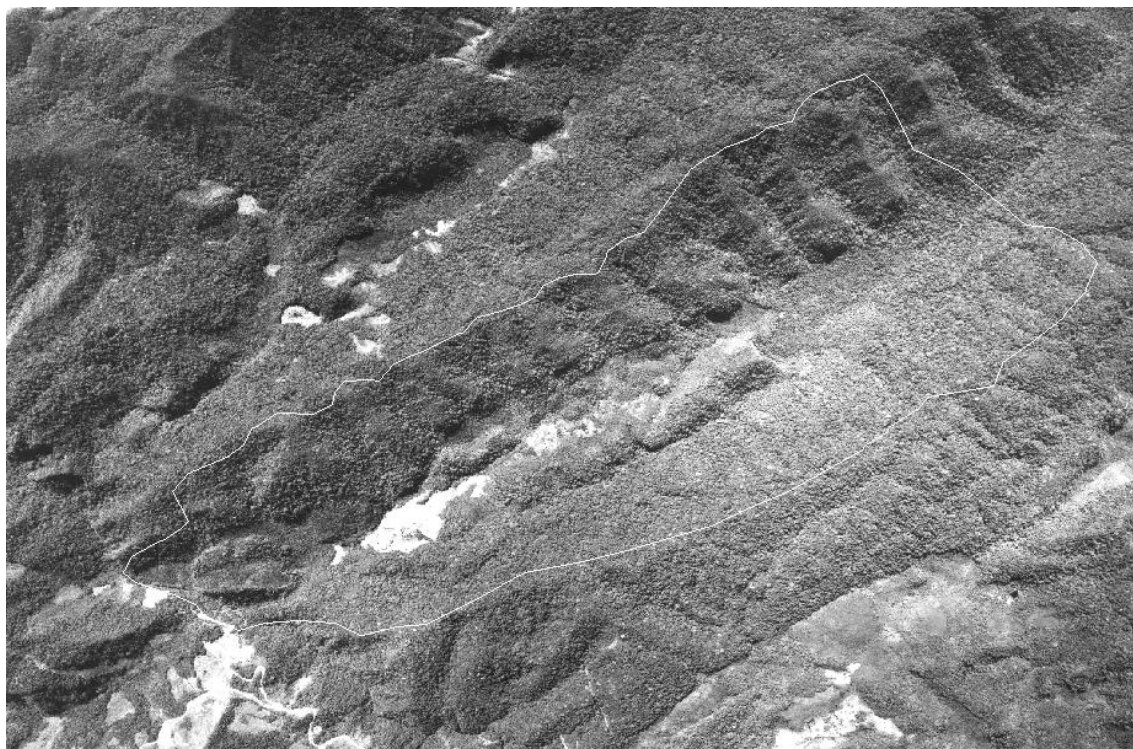


Figura 3.1-3. Aerofotografia da área de estudo, 18/08/1973⁴⁸



Figura 3.1-4. Imageamento multiespectral obtido em 2008, correspondente à área de estudo⁴⁹

3.1.2. Além dos lugares, a resignificação do caminho

Um aspecto de grande relevância para o papel sociocultural que o Carste do Córrego do Couto apresenta é a recente iniciativa da Fundação Florestal de

⁴⁸ Fonte: Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo (1973).

⁴⁹ Fonte: Digital Globe/Cnes Spot Image, 2013.

São Paulo de implementar a chamada Trilha do Continuum. Este caminho tem no total 72 km e liga o Núcleo Santana, no PETAR ao PE Intervalos⁵⁰ e tem por finalidade oferecer ao público um percurso de longa duração pela Mata Atlântica existente em tais áreas protegidas. Sem entrar no mérito deste propósito, a trilha em seus primeiros 4 km percorridos totalmente sobre o carste do Córrego do Couto (Figura 3.1-5) e é exatamente o caminho que foi construído e utilizado pelas primeiras famílias de ocupantes destas terras, anteriormente à instalação das políticas de conservação, sobre a topografia menos declivosa que representa a superfície do carbonato em relação às formações adjacentes de relevo mais acentuado.



Figura 3.1-5. Trecho inicial da Trilha do Continuum no contexto da área de estudo⁵¹

Não por acaso, a trilha também foi utilizada como via de acesso aos locais de interesse para este trabalho, da mesma forma que vem sendo utilizada pelos pioneiros da espeleologia paulista. Em resumo, o que se pode perceber da análise dos eventos mencionados é que a área que compreende o Carste do Córrego do Couto apresente uma dinâmica paisagística que integra natureza e sociedade. Esta integração é bastante evidente na vegetação que cobre a área.

⁵⁰ Fonte: Blog do GPME. Disponível em <http://www.blog.gpme.org.br/?p=5971>. Acessado em 10/08/2014

⁵¹ Fonte da imagem: Cnes Spot/Image, 2014; Digital Globe, 2014; Google, 2014. Compilação dos polígonos: Carlos Eduardo Martins.

3.1. Vegetação

O PETAR tem aproximadamente 65% (23.218,37 hectares) da sua área coberta por Floresta Ombrófila Densa e 13,3% (4.774,57 hectares) por Floresta Ombrófila Aberta. Cerca de 17% (6.112,24 hectares) da área do parque é ocupada por vegetação secundária e o restante por campo antrópico, pastagem e silvicultura (IVANAUSKAS, 2012, p. 150). A formação predominante do parque é a Floresta Ombrófila Densa. Uma floresta perenifólia que ocorre em clima de elevadas temperaturas e alta precipitação, bem distribuída durante o ano (Veloso et al. 1991 apud IVANAUSKAS, 2012, p.173) que é o caso do clima que ocorre predominantemente na Região Sul e no litoral do Brasil. Na porção extremo-norte do PETAR, já sobre o domínio geomorfológico do Planalto Atlântico, o Planalto da Guapiara constitui-se um dos principais ecótonos tropicais atlânticos apresentando a Floresta Estacional Semidecidual, típica das áreas planálticas. (IVANAUSKAS op cit).

Foram registradas 680 espécies de plantas nativas, pertencentes a 357 gêneros e 120 famílias. As famílias mais ricas em espécies foram *Myrtaceae* (65 espécies), *Fabaceae* (46), *Melastomataceae* (39), *Rubiaceae* (35) e *Asteraceae* (31). Entre as espécies listadas, 40 estão presentes em uma ou mais listas de espécies ameaçadas de extinção, das quais cinco são avaliadas como presumivelmente extintas, 21 ameaçadas de extinção, ou seja, figuram na lista nacional ou são pertencentes às categorias criticamente em perigo, em perigo ou vulneráveis, 11 com baixo risco de extinção, isto é, dependentes de conservação, quase ameaçadas, ou, com risco mínimo e três espécies encontram-se sem dados suficientes para categorização (IVANAUSKAS op cit). Considerando-se que na Floresta Atlântica há registro de 15.782 espécies de plantas vasculares, distribuídas em 2.257 gêneros e 348 famílias, correspondentes a cerca de 5% da flora mundial, estimada em 300.000 espécies de plantas, mais da metade da riqueza (60%) e a maior parte dos endemismos (80%) da flora atlântica, foram encontrados na Floresta Ombrófila Densa (Stehmann et al. 2009, apud IVANAUSKAS, 2012, p.174).

Segundo o Plano de Manejo – PL/PETAR (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010, p. 260), a situação geográfica de cada formação obedece às variações de altitude e de latitude. Entretanto, a relação solo-vegetação pode ser observada em

especial sobre as superfícies calcárias cobertas de solo. Ocorrem florestas menos densas, com árvores de maior porte, e uma substituição de espécies de *Melastomataceae* e outras famílias típicas de trechos secundários da Floresta Ombrófila Densa Atlântica por espécies de *Fabaceae*. Os solos sobre calcário podem apresentar maior disponibilidade de nutrientes para a vegetação, já que as raízes das árvores encontram-se sobre o epicarste, rico em cálcio e magnésio e, com certa capacidade de reter a água.

Sobre os afloramentos calcários com *lapiés*, ver item 5.4.9, as árvores (rupícolas) se fixam diretamente sobre as rochas ou nas fendas entre as mesmas (saxícolas). Trata-se então de um ambiente específico, pois a água disponível para a vegetação é proveniente única e exclusivamente da recarga autogênica, ver item 5.2. Devido à sazonalidade das chuvas, ver item 3.3 a seguir, pode haver deficiência hídrica, mesmo que por curtos períodos de tempo. Isto promove a predominância de espécies decíduas ou semidecíduas como as leguminosas (*Fabaceae*), formadas por indivíduos de grande porte como a caviúna (*Machaerium scleroxylon*), o pau-d'alhos (*Gallesia integrifolia*) e hemiepifítico como as figueiras que conseguem se estabelecer nessas condições (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010, p. 261).

De forma geral, além de contribuir com a produção de CO₂ orgânico, fundamental para o processo de espeleogênese/carstogênese, essa mesma cobertura florestal se integra ao carste beneficiando-se da cobertura pedológica residual proveniente do intemperismo do calcário, além de participar dos processos biogeoquímicos que se desenvolvem no epicarste.

3.2. Clima

Segundo o levantamento executado pela equipe do Plano de Manejo Espeleológico do PETAR, o clima regional é predominantemente subtropical úmido, controlado por massas tropicais e polares, sendo que, ao longo do ano, a Massa Polar Atlântica (mPa) atua durante mais de 60% do tempo. Nos outros 40% restantes, o clima é predominantemente influenciado pela Massa Tropical Atlântica (mTa). A atuação desta pode ser deduzida pela predominância da direção dos ventos SE e S, respectivamente, 55% e 25% dos dias do ano (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

Sistemas formadores de tempo como ciclones extratropicais e as frequentes frentes polares conferem ao domínio climático em questão, taxas de umidade muito altas o ano inteiro (88% na média anual). Como as taxas de evaporação são menores que as de precipitação total mensal, supõe-se que haja excedente hídrico na maior parte do tempo, à exceção do inverno quando os valores se aproximam. A nebulosidade elevada devida às altas taxas de umidade reduz a insolação (*sunshine bright*) diária a uma média de 4,3 h/dia. Nos períodos mais úmidos a média cai para apenas 3,1 h/dia (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

No trabalho mencionado, o clima regional foi subdividido em três classes de climas locais:

- Clima Local I – Subtropical Superúmido da Serra André Lopes e do Jaguari;
- Clima Local II – Subtropical Úmido do Vale do Rio Ribeira de Iguape;
- Clima Local III – Subtropical Úmido da Serra de Paranapiacaba e Planalto Atlântico.

Por sua vez, cada clima local foi subdividido, segundo as suas variações de temperatura e precipitação resultando em 6 faixas térmicas e hídricas ou mesoclimas interiores aos climas locais.

A área que compreende o objeto deste estudo encontra-se sob a influência do Clima Local II – Subtropical Úmido do Vale do Rio Ribeira de Iguape, que compreende as altitudes mais modestas do vale do rio Ribeira de Iguape, que apresentam elevada umidade devido à proximidade com o oceano e temperaturas elevadas devido às altitudes abaixo dos 500 m.

A Figura 3.3-1 apresenta a proposta de divisão climática oriunda dos levantamentos necessários à execução do Plano de Manejo Espeleológico do PETAR. Neste, não apenas é possível observar que a áreas deste estudo, mas o PETAR como um todo, encontra-se inseridos no mesoclima do tipo IIC5. Neste, as médias térmicas são mais baixas e as taxas de precipitação são mais elevadas que as outras subclasses do clima local. Para a finalidade daquele estudo, foram obtidos os seguintes parâmetros para o mesoclima do tipo IIC5, apresentados no Quadro 3.3-1.

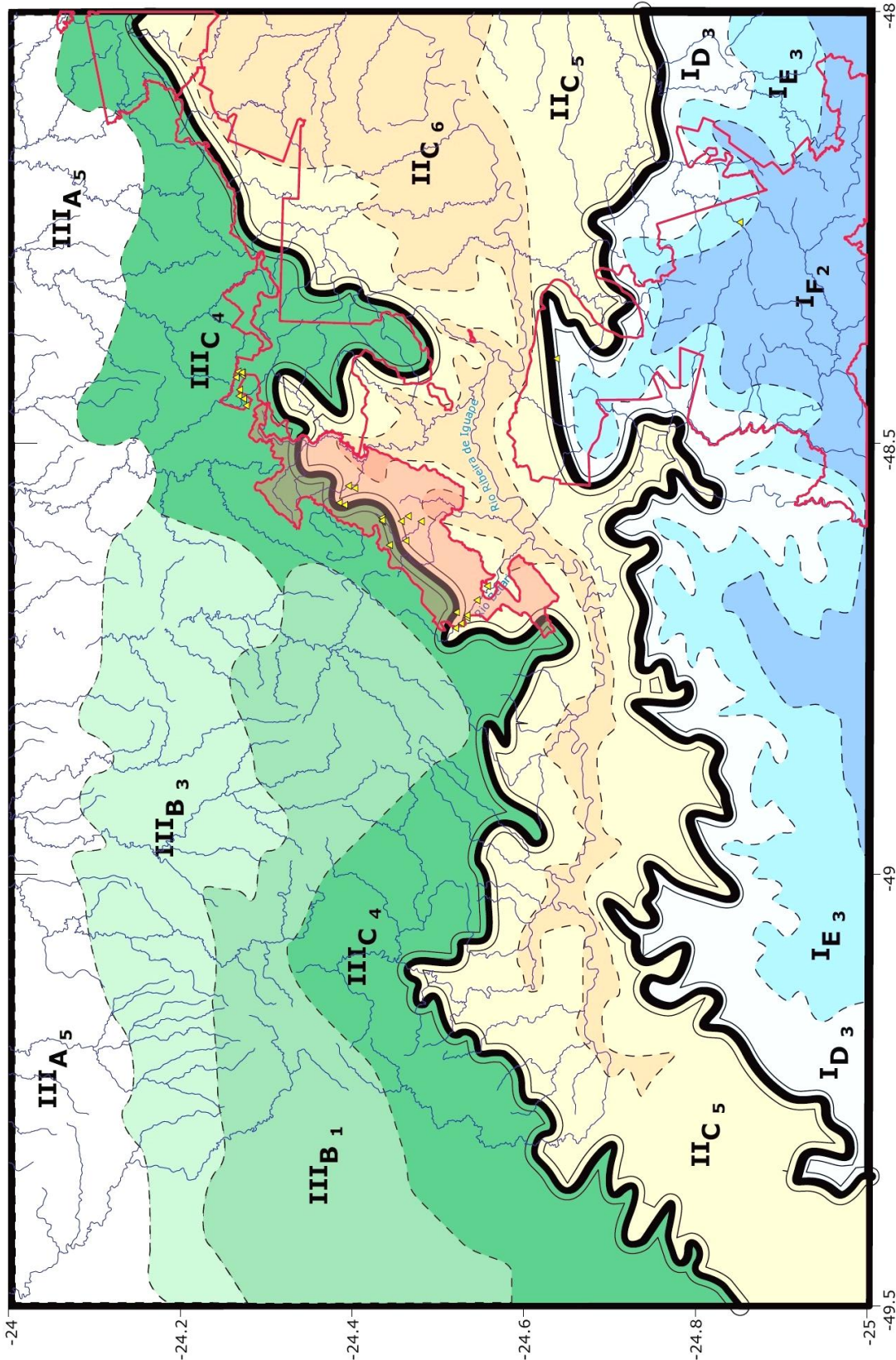


Figura 3.2-1. Climas locais para o Vale do Ribeira⁵²

⁵² Fonte: Fundação Florestal, 2010.

Quadro 3.2-1. Parâmetros atmosféricos do mesoclima do tipo IIC5⁵³

(C) Estrutura Hídrica (em mm)	
Total de pluviosidade do mês mais chuvosos	190 - 210
Total de pluviosidade do mês menos chuvosos	57 - 61
Total de pluviosidade anual médio	1400 - 1500
Excedente Hídrico	700 - 1000
(5) Estrutura Térmica (em C°)	
Temperatura média do mês mais quente	22 - 24
Temperatura média do mês mais frio	14 - 16
Temperatura média anual	18 - 20
Evapotranspiração total média anual (em mm)	950 - 1050

Sob outra perspectiva baseada em parâmetros atmosféricos fundados no método de classificação climática de Köppen, foram utilizadas as séries temporais das estações do CEPAGRI/UNICAMP de Apiaí, a 1.040 metros de altitude, e de Iporanga, a 80 metros (Tabelas 3.2-1 e 3.2-2). Segundo este modelo, o clima de Apiaí é classificado como *Cfb*, correspondendo às áreas serranas da Mantiqueira e do Mar, no qual as médias do mês mais quente não ultrapassam os 22°C com verões amenos, sendo chuvoso o ano inteiro. Já o clima que abrange Iporanga é classificado como *Af*, idêntico à faixa litorânea, que é o tropical chuvoso, sem estação seca e com a precipitação média do mês mais seco superior a 60 mm.

A observação dos componentes atmosféricos, considerando que ambas as estações encontram-se a latitudes muito próximas, indicam a maior influência do ar úmido marinho em Iporanga que apresenta os totais de precipitação (2.033,8 mm/ano) mais elevados quando comparados aos de Apiaí (1.383,9 mm/ano). Já em Apiaí, nota-se uma considerável influência da altitude, 1.040 metros contra 80 metros de Iporanga, nas médias térmicas anuais de 17,5°C, mais baixas quando comparadas às médias de Iporanga, de 23,8°C.

Além dos parâmetros básicos supracitados, o clima regional apresenta extremos eventuais de precipitação, ou chuvas fortes a muito fortes. A Figura 3.2-2 apresenta a seleção dos registros de precipitação forte a fortíssima ocorrida ao longo dos anos entre 1963-2003, no pluviômetro Serra dos Motas do DAEE.

⁵³ Fonte: Fundação Florestal, 2010.

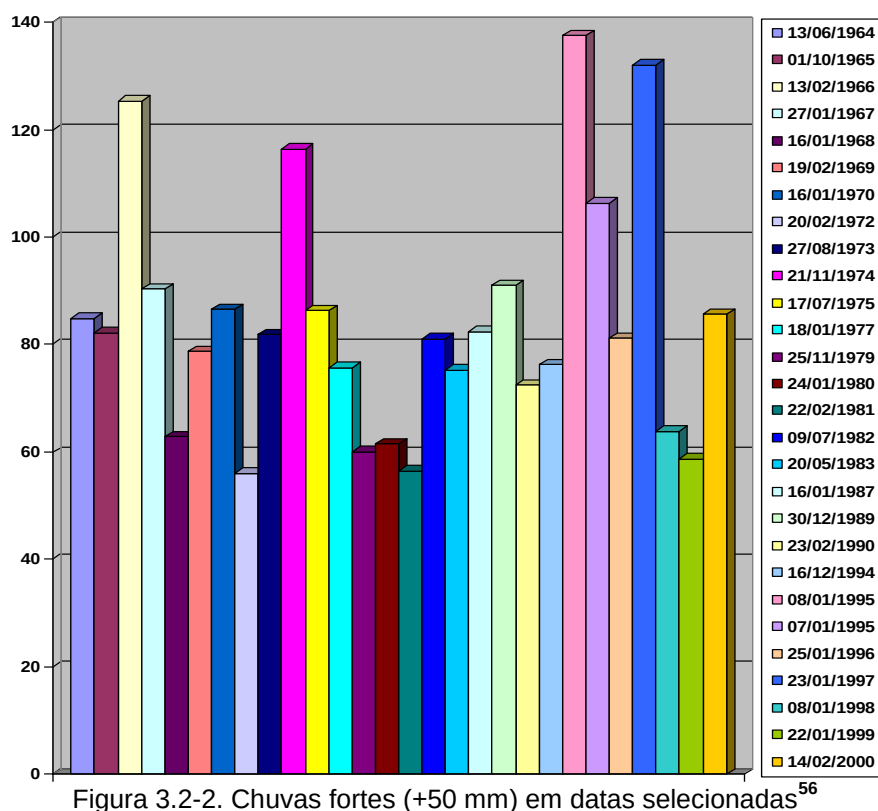
Tabela 3.2-1. Clima de Iporanga. Lat. 24 21'S, Long. 48 20'S. Altitude 80 m⁵⁴

TEMPERATURA DO AR (C)				CHUVA (mm)
MÊS	mínima média	máxima média	média	
JAN	21.2	33.4	27.3	287.3
FEV	21.5	33.7	27.6	245.9
MAR	20.6	33.0	26.8	225.6
ABR	17.7	30.5	24.1	116.9
MAI	15.0	28.0	21.5	125.7
JUN	13.3	26.6	19.9	104.0
JUL	12.6	26.8	19.7	105.3
AGO	14.0	28.7	21.3	92.1
SET	15.9	28.9	22.4	165.4
OUT	17.3	30.4	23.8	171.7
NOV	18.6	32.0	25.3	178.3
DEZ	20.3	32.3	26.3	215.6
Ano	17.3	30.4	23.8	2033.8
Min	12.6	26.6	19.7	92.1
Max	21.5	33.7	27.6	287.3

Tabela 3.2-2. Clima de Apiaí. Lat. 24 17', Long. 48 30'. Altitude 1.040 m⁵⁵

TEMPERATURA DO AR (C)				CHUVA (mm)
MÊS	mínima média	máxima média	média	
JAN	15.6	26.3	20.9	203.9
FEV	15.9	26.2	21.0	157.5
MAR	15.0	25.6	20.3	132.4
ABR	12.3	23.4	17.8	81.5
MAI	9.4	21.3	15.4	92.3
JUN	7.7	20.1	13.9	92.4
JUL	7.2	20.1	13.6	68.7
AGO	8.2	21.5	14.8	61.7
SET	10.0	22.6	16.3	104.1
OUT	11.9	23.4	17.7	130.7
NOV	13.1	24.5	18.8	105.1
DEZ	14.7	24.9	19.8	153.5
Ano	11.7	23.3	17.5	1383.8
Min	7.2	20.1	13.6	61.7
Max	15.9	26.3	21.0	203.9

No gráfico da figura 3.2-2, foi relacionado apenas um único valor de precipitação igual ou superior a 50 mm em 24 horas para cada ano. Aqueles anos em que os valores não chegaram a esta marca foram descartados.



⁵⁴ Fonte: CEPAGRI. Acessado em 10/01/2014.

⁵⁵ Fonte: CEPAGRI. Acessado em 10/01/2014

⁵⁶ Fonte: adaptado a partir de DAEE, disponível em <http://www.daee.sp.gov.br/>. Acessado em 05/04/2014.

A análise dos resultados mostrou que, embora chuvas fortes possam ocorrer em qualquer época, incluindo os meses de estiagem mais prolongada entre maio a setembro, o mês de janeiro, com média de precipitação mensal da ordem de 190,3 mm⁵⁷, além de ser o mês que apresenta os fenômenos extremos mais significativos, tem alguns valores de chuva em 24 horas relativamente próximos dos valores esperados para o mês inteiro, como foi o caso do dia 08/01/1995, entre outros, quando a precipitação totalizou 137,5 mm. A torrencialidade das chuvas fortes é responsável pela erosão mecânica que pode chegar a se equivaler à ação química (ver item 4.4). A precipitação, por tanto, é grande responsável pelo volume d'água perene que alimentam o carste e a rede hidrográfica superficial.

3.3. Hidrografia

O carste objeto deste estudo é um componente hídrico da ora chamada Bacia do Córrego do Couto (Figura 3.3-3). Tanto os limites da bacia enquanto unidade territorial, quanto às feições consideradas componentes da paisagem caracterizada como o Carste do Córrego do Couto, foram dispostas por meio de inferência por interpretação da base cartográfica, de foto aérea e pela análise de imageamento multiespectral, além de posicionamento geográfico por meio do receptor GPS nas visitas ao campo.

O Córrego do Couto escoar, predominantemente, por meio subterrâneo por uma faixa NE-SO de rocha solúvel com cerca de 600 metros de largura por 3,06 km de comprimento. O comprimento abrange o sumidouro (Figura 3.3-1), ou, ponto de recarga mais distante, no Polje de Contato do Paredão da Onça Parda, a nordeste, e a sua ressurgência, ou ponto de descarga, na Cachoeira do Couto (Figura 3.3-2), a 15 metros de distância e 5 metros de altura da margem esquerda do Rio Betari.

O Córrego do Couto é afluente da margem esquerda do Rio Betari, afluente da, também, margem esquerda do Rio Ribeira de Iguape (Figura 3.3-4) correspondente à Unidade Hidrográfica – UGHRI 11 do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (Figura 3.3-5).

⁵⁷ Disponível em <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acessado em 05/05/2014.



Figura 3.3-1. Sumidouro do Córrego do Couto sob o "Paredão da Onça Parda"⁵⁸

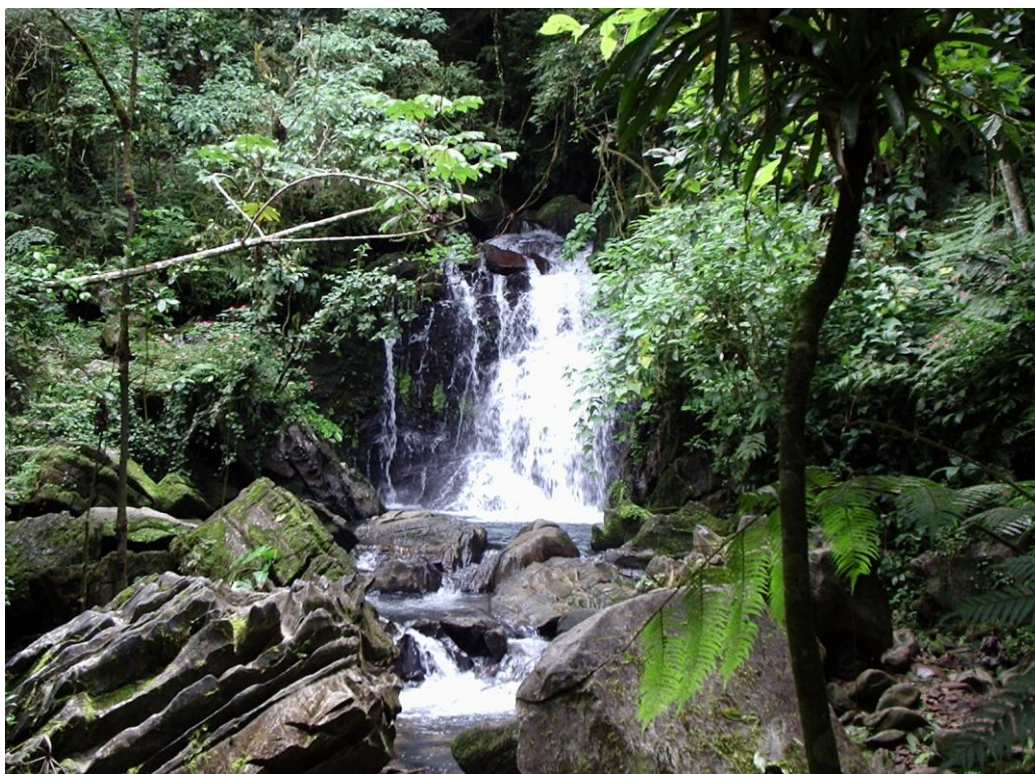


Figura 3.3-2. Ressurgência do Córrego do Couto a cerca de 15 metros do Rio Betari⁵⁹

⁵⁸ Foto: Carlos Eduardo Martins, 2009.

⁵⁹ Foto: David Cardoso, 2003.

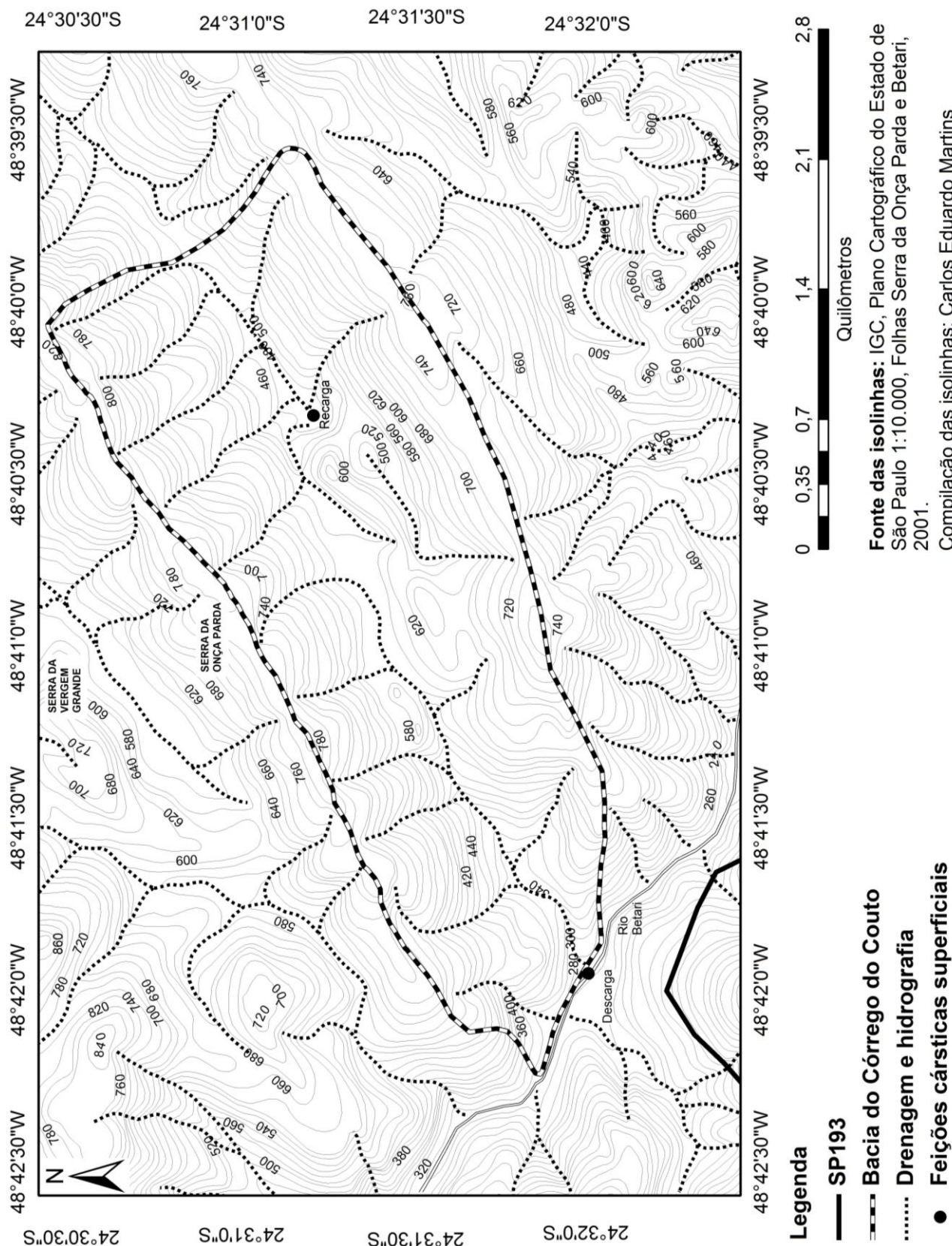


Figura 3.3-3. Bacia do Córrego do Couto

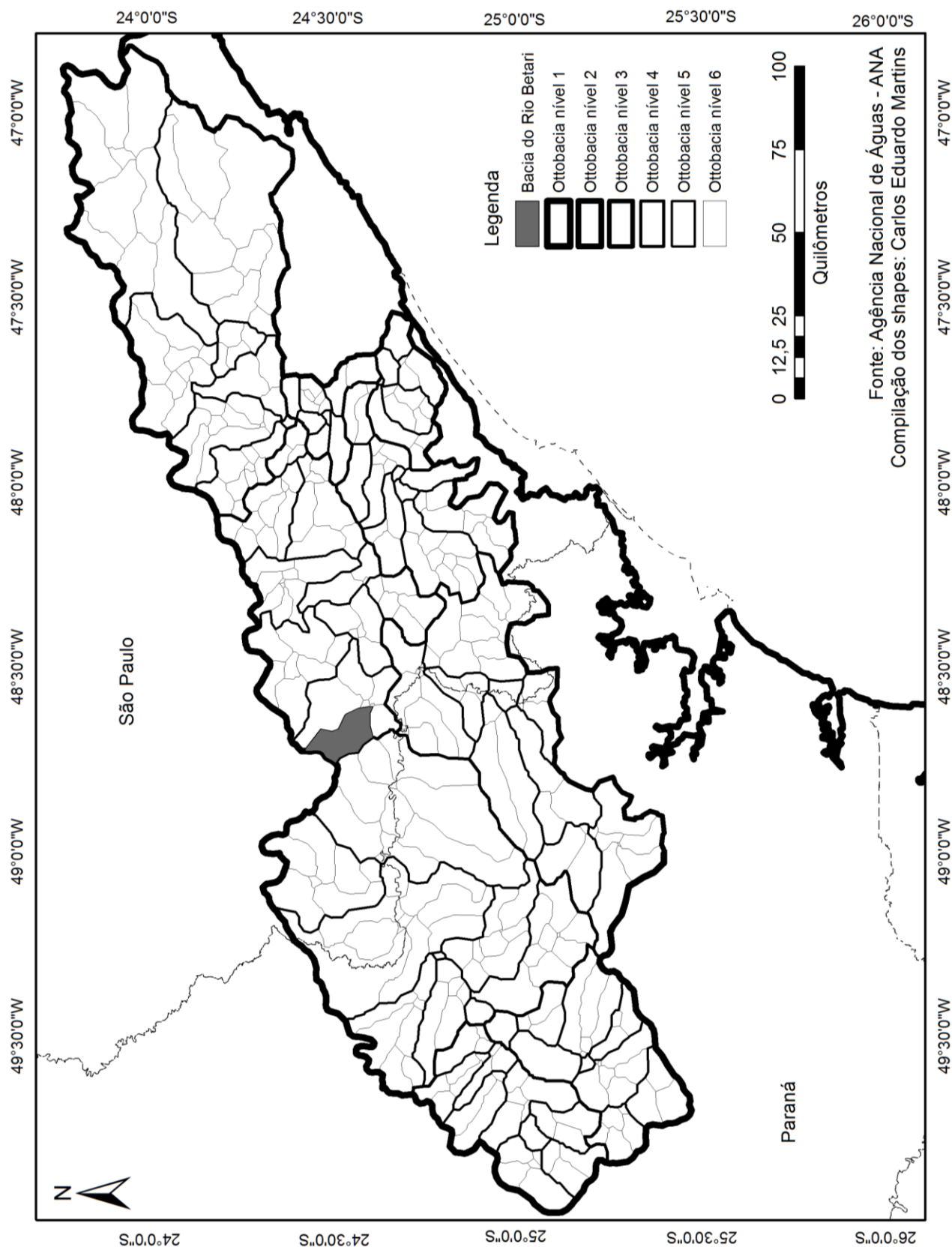


Figura 3.3-4. Bacia do Rio Ribeira do Iguape

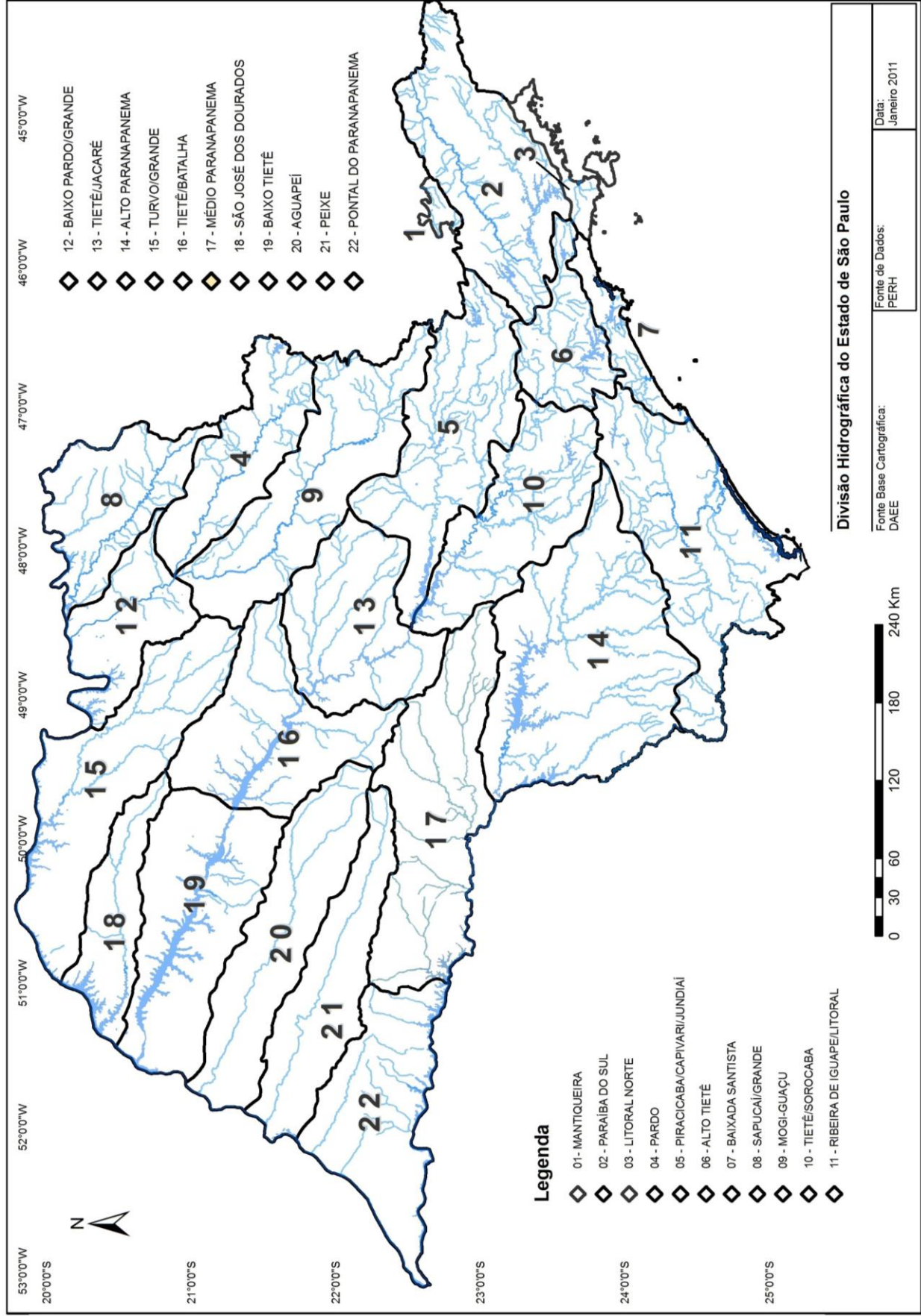


Figura 3.3-5. UGHRI 11 do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH

3.4. Geologia

O significativo gradiente hidráulico que caracteriza os cursos d'água do Alto Ribeira é fundamental para os processos geomórficos carstogenéticos-espeleogenéticos, paralelo à própria incisão dos vales superficiais é, independentemente do porte. Essa particularidade se deve em grande parte à morfologia dos terrenos fortemente associada à herança geológica marcada por grandes movimentações de ordem regional e global à qual o presente texto passa a tratar.

A área deste estudo compreende uma fração do Escudo Atlântico do Estado de São Paulo, do Proterozóico Superior (1 bilhão a 570 milhões de anos), porção da superfície da Plataforma Sul-Americana (Almeida et al, 1976, apud CARNEIRO E PONÇANO, in ALMEIDA et al, 1981, p. 04), denominada de Cinturão Ribeira (Cordani e Brito Neves apud KARMANN, 1994, p. 08). Tal área compreende o setor central da Faixa de Dobramentos Apiaí (Hasui e Oliveira apud CARNEIRO E PONÇANO, in ALMEIDA et al op cit e KARMANN, op cit), inserida no Grupo Açungui, segundo Marini et al (1967), primeiramente identificada como Série Assunguy por Derby (1878), segundo Almeida et al (op cit). O Grupo Açungui está estruturado em zonas de cisalhamento anastomosado transcorrente, vertical e sub-horizontal, dúctil e rúptil, tendo sido movimentado na direção NE-SW e compartimentado em blocos tectônicos lenticulares, alongados, na mesma direção (CAMPANHA, 1991, p. 44, apud KARMANN, op cit).

Campanha (1991, p. 48, apud KARMANN, 1994, p. 09-10) promoveu uma compartimentação tectônica em blocos, baseada nos grandes lineamentos regionais. O Carste do Córrego do Couto, objeto deste trabalho, está contextualizado no compartimento denominado Bloco Lajeado (Figura 3.4-1), constituindo-se de uma sequência sedimentar (composto por sete formações litoestratigráficas, alternadamente de origem terrígena e carbonática, com um corpo de rocha intrusiva básica no topo da sequência) de grau metamórfico baixo na sua porção mais central, sendo limitada ao norte-noroeste com o Bloco Apiaí, pelo Lineamento Quarenta Oitavas e ao sul-sudeste é separado do Bloco Ribeira pelo Lineamento da Figueira. Nestes, o metamorfismo foi mais intenso e as deformações são mais significativas.

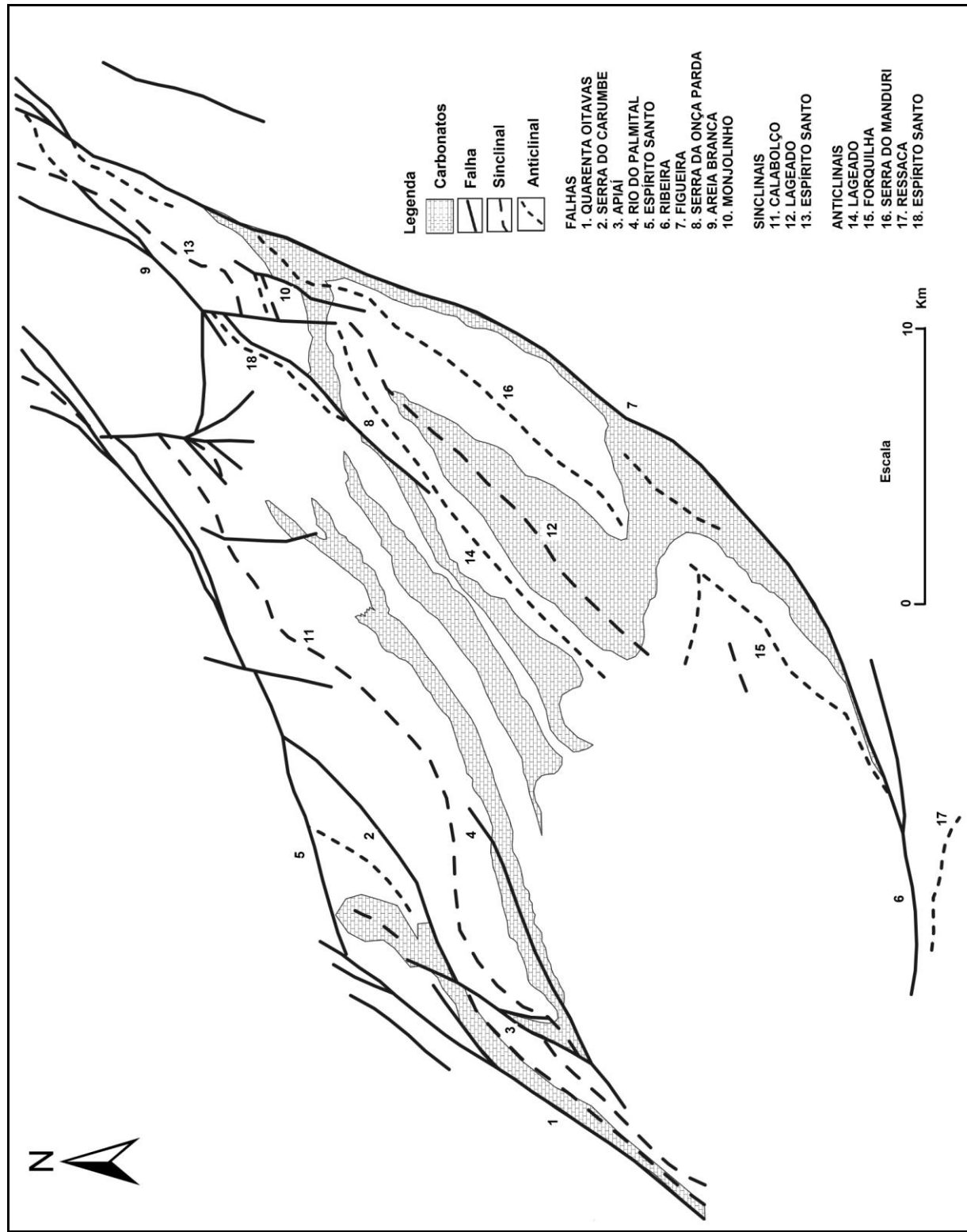


Figura 3.4-1. Lineamentos de delimitação da Faixa Dobrada de Apiaí e do Bloco Lajeado⁶⁰

⁶⁰ Fonte: adaptado de MMA/JICA, 1983, apud Campanha, 1986, p. 1.070; Karmann, 1994, p. 07.

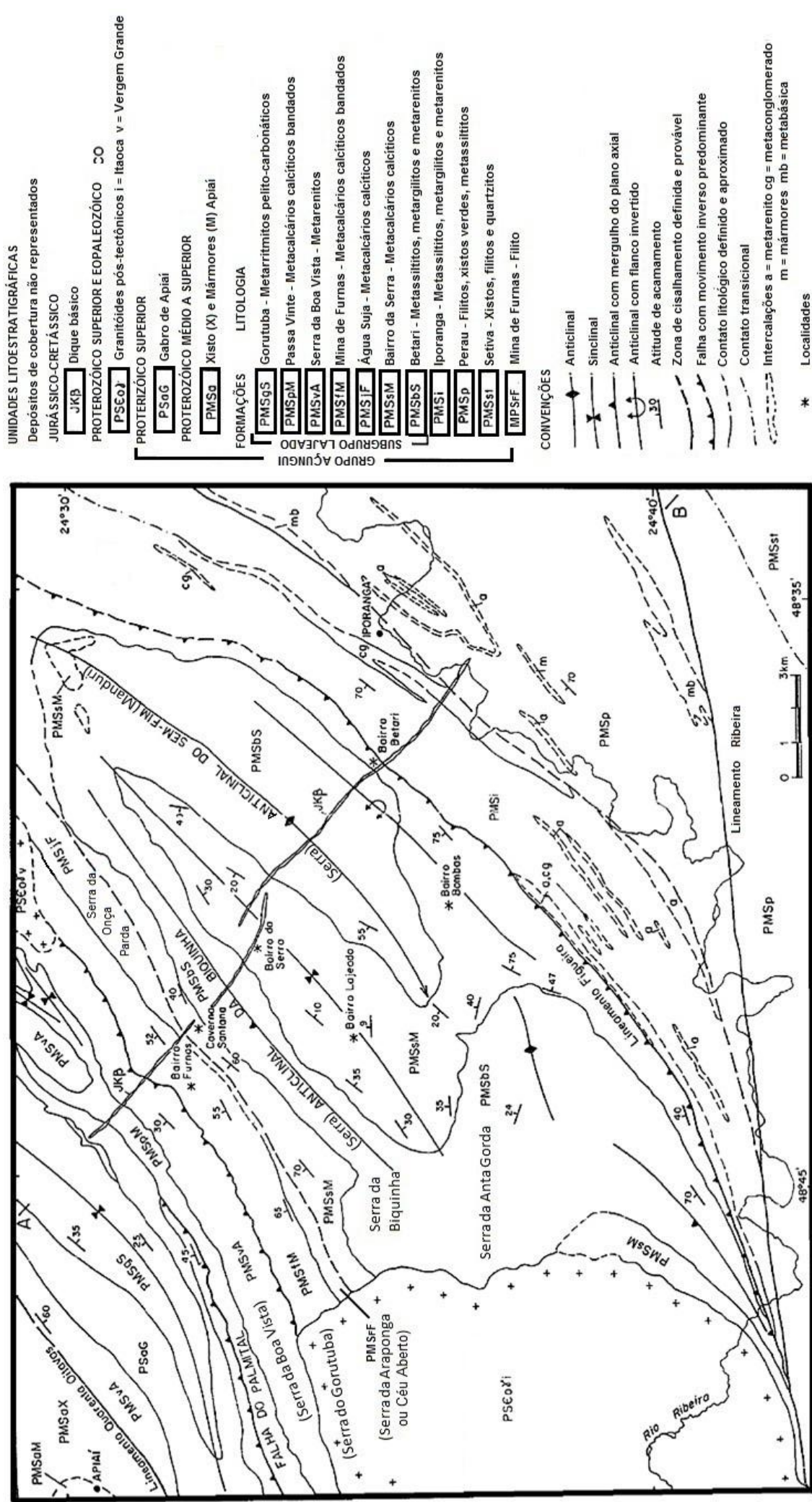


Figura 3.4-2. Geologia, geomorfologia e lineamentos do Bloco Lajeado e adjacências⁶¹

⁶¹ Fonte: CAMPANHA, 1991, apud KARMANN, 1994, p. 09.

As unidades constituintes do Bloco Lajeado (Figura 3.4-2) são as formações Betari, Bairro da Serra, Água Suja, Mina de Furnas, Serra da Boa Vista, Passa Vinte, Gorutuba e Gabro de Apiaí (Barbosa, 1941; MMAJ/JICA, 1983; Campos Neto, 1983; Hasui et al, 1984; Campanha et al, 1985, 1986 apud CAMPANHA, 1991, p. 53).

A estrutura do Bloco Lajeado caracteriza-se, segundo Karmann (1994, p. 09-10) por uma sequência de sinclinais e anticlinais localmente falhados, com eixos NE-SW e plano axial subvertical inclinado a NW, com vergência para SE (Figura 3.3-3). O fato de o grau de deformação na zona central do Bloco Lajeado, correspondente às formações Betari e Bairro da Serra ser baixo, favoreceu a preservação de estruturas primárias como gradações normais, estratificações cruzadas e onduladas (KARMANN, op. cit.).

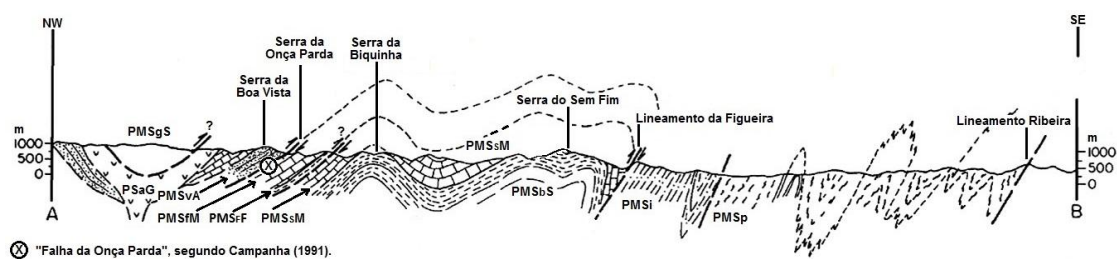


Figura 3.4-3. Corte esquemático NW-SE do Bloco Lajeado⁶²

Das unidades geológicas que constituem o Bloco Lajeado, a que interessa diretamente a este trabalho é a Formação Bairro da Serra. Essa unidade tem espessura estimada entre 600 a 800 metros (CAMPANHA, 1991, p. 153) e é composta por

(...) “mármore cinza-escuro impuros, margosos, apenas localmente bandados, em geral calcíticos, localmente dolomíticos, de granulação fina, ocorrendo ainda níveis de filitos carbonáticos, filitos sericíticos e metassiltitos. Presença de sulfetos disseminados é por vezes observada. Abriga mineralizações sulfetadas filoneanas. A estratificação é normalmente plano-paralela, podendo-se observarem alguns locais estratificações cruzadas acanaladas centimétricas a decimétricas. Nesses locais, a textura da rocha sugere um calcoarenito. Feições semelhantes a estruturas de deslizamento subaquático também ocorrem”. (CAMPANHA et al, 1986, p. 1.063).

⁶² Fonte: adaptado de KARMANN, 1994, p. 10.

A Formação Bairro da Serra tem o seguinte ordenamento geoespacial:

- Faixa Norte: formada pelo flanco homoclinal dos sistemas cárstico-espeleológicos Santana e do Córrego do Couto, respectivamente, a sudeste e nordeste do Rio Betari, estruturados pelo Anticlinal da Biquinha, ou do Lajeado (Campanha, 1986 p. 1.071). O contato deste flanco com as formações vizinhas é brusco sendo que, ao NO, a Formação Água Suja encontra-se sobreposta à Formação Bairro da Serra, que por sua vez sobrepõe-se à Formação Betari, ao SE, considerada a unidade basal do Subgrupo Lajeado (CAMPANHA, 1986, p. 1.062 apud KARMANN, 1994, p. 11);
- Faixa Central: compreendida pelo Sinclinal do Bairro da Serra, ou Lajeado, no qual estão situados grandes sistemas cárstico-espeleológicos como o do Córrego das Areias e Córrego Alambari, respectivamente ao sudoeste e nordeste do Rio Betari;
- Faixa Sul: formada pelo flanco do Anticlinal do Sem-Fim, ou Serra do Manduri, percorrida pelo sistema espeleológico/cárstico Bombas, ao sudeste do Rio Betari.

A Formação Bairro da Serra, assim como as demais, tem idade Pré-Cambriana situada entre 600 a 650 milhões de anos (KARMANN e SANCHEZ, 1979, p 17-24), apresenta caráter rítmico, estratificação gradacional que representam sucessão de sistemas turbidíticos, com leques submarinos e pode ter sido depositada

(...) “na transição entre uma plataforma continental e um talude, sob condições de tectônica ativa, durante o Proterozóico Médio a Superior”. (Pires, 1988, 1989 apud KARMANN, 1994, p. 13)

3.5. Geomorfologia

Oficialmente, segundo o Mapa de Unidades de Relevo do Brasil, a superfície correspondente a este estudo ocupa trechos das unidades Serra do Mar e

Planalto de Paranapiacaba (IBGE, 2010)⁶³. Para Almeida et al (1981), a área esta inserida entre o Planalto de Guapiara e a Província Costeira, onde ocupa trecho das subzonas Serrania do Ribeira e Planaltos Interiores, localmente, representado pelo Planalto de Lajeado.

Anteriormente, a área havia sido classificada como Domínio Morfoclimático das Regiões Serranas, tropicais úmidas, ou dos “Mares de Morros” extensivamente florestados (AB’SABER, 1970 e 1973).

Mais recentemente, Ross (2002) identificou na Bacia do Ribeira de Iguape, a partir da análise efetuada na escala de 1:250.000, sete unidades ou macrocompartimentos de relevo, sendo quatro em terras altas e três em terras baixas. Essas unidades foram organizadas sob duas grandes morfoestruturas:

- A Morfoestrutura da Faixa de Dobramentos do Atlântico, subdividido em três Unidades Morfoesculturais denominados de Planalto e Serra de Paranapiacaba, Serra do Mar e Morros Litorâneos, Planalto de Guapiara e Planalto do Alto Ribeira-Turvo;
- A Unidade Morfoestrutural da Depressão Tectônica do Baixo Ribeira, é subdividida em três Unidades Morfoesculturais, quais sejam, Depressão Tectônica do Baixo Ribeira, Planície Costeira Cananéia-Iguape e Planícies e Terraços Fluviais do Baixo Ribeira.

Geomorfologicamente, a área na qual está o objeto deste estudo situa-se na porção nordeste do Planalto do Lajeado e é segmentada pelo Rio Betari. O Planalto do Lajeado é caracterizado por topos nivelados a 700 metros, mais ou menos, abaixo do nivelamento da borda do Planalto Atlântico, localmente denominado de Planalto de Guapiara, entre 900 e 1.100 metros, onde estão as nascentes do Rio Betari. Já os vales encontram-se a cerca de 450 metros (ALMEIDA 1981, p. 27, apud KARMANN, 1994, p. 13).

Karmann (1994, p. 25) ressalta a capacidade erosiva e de transporte adquirida pelo Rio Betari a certa altura do seu curso em que atravessa a faixa carbonática, incluindo a Formação Bairro da Serra. Segundo o autor, a uma altitude de 285 metros e com o gradiente bem mais reduzido

⁶³ Disponível em ftp://geoftp.ibge.gov.br/atlas/atlas_nacional_do_brasil_2010/2_territorio_e_meio_ambiente/atlas_nacional_do_brasil_2010_pagina_73_unidades_de_relevo.pdf. Acessado em 02/07/2014

(...) “formou um vale fluvial entrincheirado, com encostas fortemente inclinadas, do tipo through valley, segundo a classificação de Ford e Williams (1989). Com uma vazão média de aproximadamente 1,2 a 2 m³/s junto à borda do calcário, o Betari nunca foi absorvido por condutos subterrâneos. Isto é interpretado, como sendo consequência de um favorecimento ao entalhamento superficial em competição com a taxa de abertura de condutos subterrâneos. A causa deste favorecimento é a combinação dos seguintes fatores: alta descarga fluvial (2m³/s), situação estrutural desfavorável para injeção de água, (sentido do gradiente hidráulico contrário ao do mergulho da estratificação) e a presença de fraturas extensivas subverticais, com traço NW, paralelas à direção regional de entrincheiramento do Rio Betari”. (...) “Isto implica numa importante redução de velocidade e capacidade de transporte de carga detrítica pelo rio, o que causa a deposição de cascalho e areia grossa. Estes depósitos fluviais isolam parcialmente o leito fluvial carbonático, protegendo-o da abrasão e corrosão. Durante eventos de alta vazão, a carga de fundo, previamente depositada, é arrastada ao longo do canal, erodindo e rebaixando o talvegue”. (...) (KARMANN, 1994, p. 25).

A 2,8 km a jusante da área correspondente a este estudo, o Rio Betari transforma-se em um canal de padrão meandrante, de talvegue largo e gradiente baixíssimo, com aluviões mais proeminentes ao longo de uma planície de inundação. Nesta, instalou-se um sistema em leque aluvial com depósitos de cascalheiras sustentados por clastos de dimensões variáveis. O alargamento do talvegue e consequente retração das encostas promoveu uma inversão de relevo, no qual as antigas depressões fechadas tornaram-se cristas, graças ao entalhamento remontante provocado pelo escoamento superficial (KARMANN, 1994, p. 27).

As evidências estruturais observadas na morfologia do terreno são de grande importância para conceber o comportamento sistêmico da paisagem cárstica. Segundo Karmann (1994, p. 14), a sequência de contatos entre as rochas, quando observadas em perfil, sugerem que os contatos caracterizam-se por falhas inversas, ou, de cavalgamento entre as formações Mina de Furnas e Água Suja sobre a Formação Bairro da Serra. Campanha (1991, p. 90) creditou

a este contato um movimento de empurrão e o denomina de “Falha da Onça Parda”. Já o limite sudeste, entre as formações Bairro da Serra e Betari é caracterizado como um contato normal e regular com os metapelitos e psamitos, que mergulham sob o calcário (Figura 3.6-1).

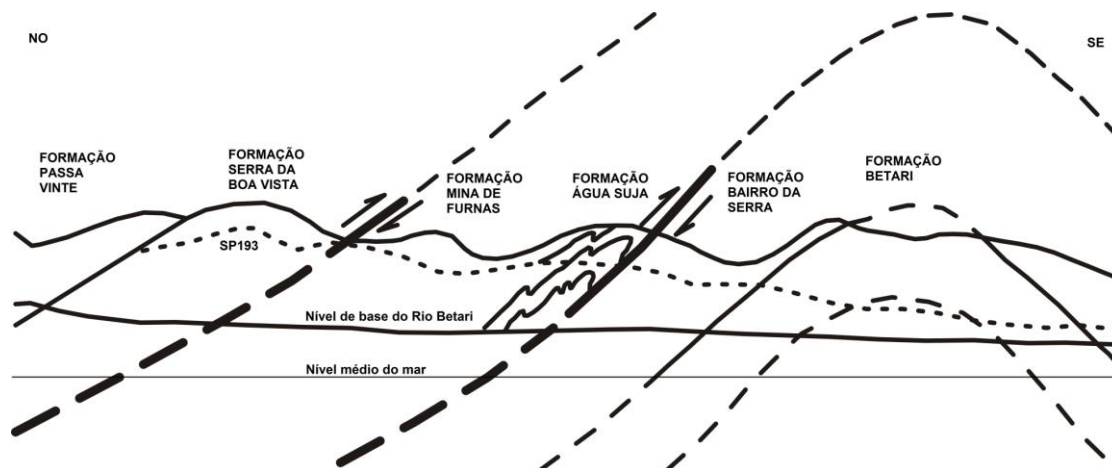


Figura 3.5-1. Corte transversal sem escala do Grupo Lajeado com estruturas falhadas⁶⁴

O segmento preferencial do Rio Betari apresenta um padrão retilíneo, bem encaixado sobre fraturas de direção NW-SE e tanto o Córrego do Couto, quanto os outros afluentes, boa parte deles provenientes de descargas de sistemas cárstico-espeleológicos, têm traçados ortogonais à direção preferencial do Rio Betari, formando um padrão de drenagem do tipo treliça.

O fato de as nascentes do Rio Betari estarem a altitudes entre 900 e 1100 metros e da foz, no Rio Ribeira, encontrar-se a cerca de 80 metros de altitude implica que seus afluentes tenham um elevado gradiente longitudinal, implicando características fortemente erosivas e intenso entalhamento vertical tanto dos vales, quanto das cavernas. Por sua vez, o Rio Betari, do médio para o baixo curso, tem diminuído seu gradiente hidráulico, passando a apresentar feições de agradação, com vales mais largos de fundo aplainado a suavemente ondulado, preenchido por sedimentos aluviais e coluviais (KARMANN, 1994, p. 14).

O relevo sobre os metacalcários se destaca pela sua maior irregularidade em comparação às serras e morros alongados das superfícies terrígenas. Por outro lado, da mesma forma que foi reconhecido por Karmann (1994) em relação ao carste regional, foi constatado, por meio da fotointerpretação, que

⁶⁴ Fonte: Adaptado de CAMPANHA, 1991, ANEXO 2.

sobre os terrenos carbonáticos ocorre certo alinhamento dos morros e morrotes cársticos, ver item 5.4.8. Este alinhamento é compreendido como resultado do maior desgaste ocorrido na intersecção entre a direção dos planos de estratificação, fortemente dobrados e as fraturas transversais a estes.

Em relação ao carste do Alto Ribeira, Karmann afirma ainda que, de modo geral, os terrenos de rochas carbonáticas são mais baixos em relação às superfícies de rochas menos solúveis. Estas, então, proveem o carste de água alogênica, permitindo denominá-lo, em concordância com Ford e Williams (2007, p. 117, apud KARMANN, 1994, p. 16), de carste alogênico.

A categorização do Carste do Córrego do Couto como alogênico pôde, de fato, ser verificado, a partir da consulta e vetorização da base topográfica 1:10.000. Nesta constatou-se que os interflúvios situados ao noroeste, sobre a Formação Água Suja encontram-se a altitudes entre 639 e 827 m. Já os topos sobre a Formação Betari, ao sudeste, encontram-se a altitudes entre 728 e 744 m. Enquanto isto, a superfície carbonática carstificada apresenta variações entre 230 e 597 metros de altitude, por tanto, deprimida em relação às formações vizinhas.

Considerando os aspectos anteriormente descritos, pode-se afirmar que a área das investigações de campo escolhida para este trabalho é uma faixa deprimida de carbonatos com alinhamento NE-SW denominada de *Zona de Cisalhamento da Onça Parda* (CAMPANHA, 1991, p. 50, apud KARMANN, 1994, p. 07) em contato brusco sugerido com a Formação Água Suja, composta de filitos e metassiltitos, e com a Formação Betari, composta de metassiltitos e filitos.

Ao nordeste e ao sudoeste, a delimitação ficou a cargo dos pontos de recarga e descarga, respectivamente, sendo que o ponto de descarga deste sistema, é a fonte, ou, ressurgência cárstica correspondente à Cachoeira do Córrego do Couto, localizada a cerca de 15 metros do Rio Betari e aproximadamente 5 metros acima deste.

3.6. Solos

São dois os trabalhos disponíveis de mapeamento dos solos ao nível regional nas escalas 1:500.000 (Oliveira, 1999) e 1:250.000 (Lepsch et al, 1999).

Na escala 1:250.000 foram relacionados: BV2 - Chernossolo (anteriormente, Brunizem Avermelhado); Ca - Cambissolos álicos; Cd - Cambissolos distróficos; Ce - Cambissolos eutróficos; Ga - Gleissolos álicos; Gd - Gleissolos distróficos; LAa - Latossolos Amarelos álicos; LVa - Latossolos Vermelhos álicos; PBe - Luvisolo (Podzólico Bruno Acinzentado eutrófico); PVa - Argissolos Vermelhos álicos; PVd - Argissolos Vermelhos distróficos; Ra - Neossolos Litólicos álicos; TBd - Nitossolo (Terra Bruna Estruturada).

Na escala 1:500.000 aparecem: CX - Cambissolos Háplicos; GX - Gleissolos Háplicos; LA - Latossolos Amarelos; LVA - Latossolos Vermelho-Amarelos; LB - Latossolos Brunos; PV - Argissolos Vermelhos; PVA - Argissolos Vermelho-Amarelos e RL - Neossolos Litólicos.

Apesar das condições favoráveis à formação de espessos mantos de alteração, há uma constante remoção dos solos formados, devido à alta declividade do terreno. Assim, espessuras maiores de solo e horizonte de alteração ocorrem limitadas ao topo dos interflúvios, nas acumulações ao longo das encostas e nos depósitos associados à drenagem.

Os solos da área do estudo e do seu entorno são cobertos pela Mata Atlântica, ou seja, são ácidos, de baixa fertilidade e apresentam pouca profundidade, situações estas agravadas pela declividade elevada. Em contrapartida, sobre os calcários e sobre áreas mais aplainadas representam maior fertilidade sendo, por este motivo, explorados para a atividade agropastoril extensiva (Castro, 2004). Fato importante a ser salientado é que são poucos os afloramentos da rocha calcária. A grande parte está capeada por um manto de alteração residual recoberto pela floresta tropical, (KARMANN, 1994, p. 21).

3.7. Lineamentos

Tanto a aerofotointerpretação da Figura 3.1-3, quanto a observação de imageamento multiespectral (Figura 3.7-1) e a comparação entre ambas permitiram reconhecer e inferir diversos lineamentos (Figura 3.7-2) de origem tectônica, elementos considerados determinantes na definição da morfologia do Carste do Córrego do Couto. O produto deste exercício (Figura 3.7-3) apresentou os seguintes resultados:

- Delimitação dos contatos litológicos com as formações Água Suja e Betari e, conseqüentemente, maior precisão na definição da zona de captação autogênica do Carste Do Córrego do Couto;
- No alinhamento morfológico entre morros e morrotes cársticos tendo em vista que os lineamentos assumem duas direções preferenciais corroborando as teses de Campanha, 1991 e Karmann, 1994. São elas:
 - Sudoeste/Nordeste e Sul-sudoeste/Nor-nordeste: ocorrem juntas simples, preenchidas, de cisalhamento, falhas inversas e direcionais mais alongadas e seguindo os planos de estratificação da rocha carbonática;
 - Noroeste/Sudeste e Nor-noroeste/Sul-sudeste: ocorrem juntas simples, juntas preenchidas, falhas direcionais a indeterminadas e falha inversas, mais curtas e em maior número.

A relevância que os lineamentos têm em relação à morfologia cárstica pode ser expressa quantitativamente pela densidade de fraturamento (DAVIS, 1984) – à qual Karmann (1994, p. 72) prefere chamar de *densidade de descontinuidade* - que é a razão entre o comprimento total dos fotolineamentos e a área onde estes estão contidos. Considerando que a área horizontal total observada mediu 6,5 km², ao longo desta área foram identificados, pelos métodos já descritos, 23,8 km de lineamentos. Considerada apenas a área de superfície carbonática, que mede 2,05 km², o total de lineamentos medidos sobre esse terreno foi de 14,8 km. Desta forma, a densidade de descontinuidade correspondente a esta última é de 7,25 km⁻¹, o que significa que a cada km² ocorrem 7,25 km de lineamentos orientando a morfologia do terreno nas direções preferenciais nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste.



Figura 3.7-1. Composição de imagem multiespectral da área de estudo⁶⁵



Figura 3.7-2. Composição de imagem multiespectral da área de estudo com lineamentos fotointerpretados⁶⁶

⁶⁵ Fonte: adaptado de Digital Globe/Cnes Spot Image, 2013.

⁶⁶ Fonte: adaptado de Digital Globe/Cnes Spot Image, 2013.

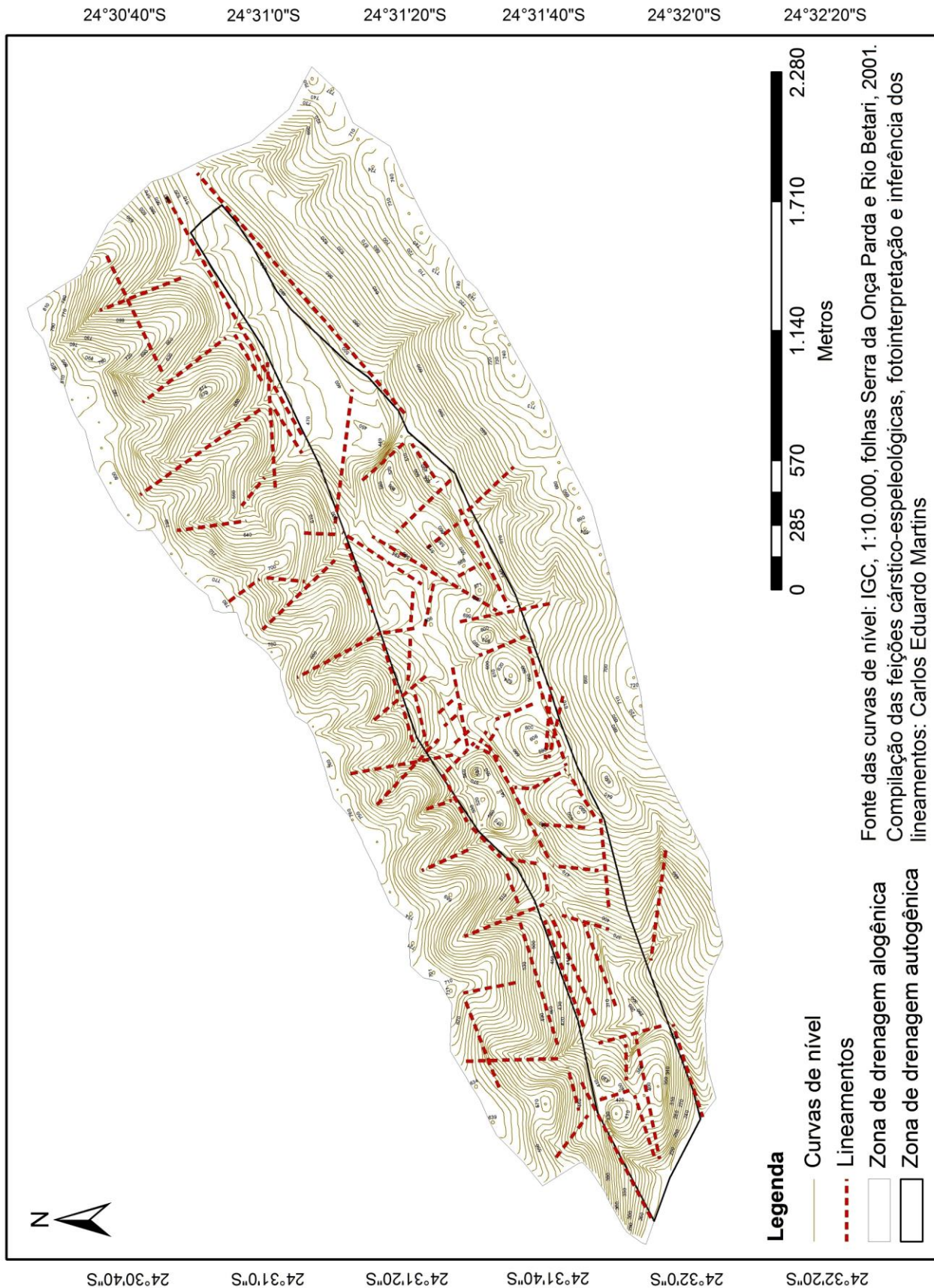


Figura 3.7-3. Estruturas identificadas e projetadas sobre levantamento altimétrico do IGC (2001) na escala 1:10.000.

O caminhamento das 8 campanhas executadas produziu o posicionamento geográfico de 54 cavernas (Quadro 3.7-1) verticais, subverticais e sub-horizontais, relacionadas direta ou indiretamente a tais estruturas e sua orientação. Em parte, estas cavernas já faziam parte de bases de dados espeleológicos e pesquisas anteriores, entretanto, estes levantamentos foram feitos em bases analógicas, sendo a partir do presente trabalho atualizados sob as bases digitais do sistema GPS.

Quadro 3.7-1. Inventário das cavernas verificadas na área do Carste do Couto⁶⁷

Nº	Nome	Latitude	Longitude	Altitude	Proj Horiz.	Desnív.	Hidrol.	Litologia	Autores Descoberta / Referencia Inicial
1	13 de Agosto	-24 31' 17"	-48 40' 57"	510	213	56	Não	Calcário	GPME
2	Batalha	-24 31' 14"	-48 40' 48"	540	62	45	Não	Calcário	CEU
3	Bauru	-24 31' 24"	-48 40' 1"	585	0	23	Não	Calcário	Sebastião B.M.P.Martins
4	Bico de Machado						Não	Calcário	GPME
5	Cachoeira do Couto	-24 31' 51"	-48 41' 56"	260	40	2	Sim	Calcário	GPME
6	Calango	-24 31' 8"	-48 40' 23"	460	190	30	Não	Calcário	GPME
7	Caramujo	-24 31' 48"	-48 41' 33"	335	103	26	Não	Calcário	CEU
8	Cego							Calcário	GPME
9	Cipó	-24 31' 18"	-48 40' 58"	540	12	3	Não	Calcário	GPME
10	Crysostomo	-24 31' 19"	-48 41' 2"	530	279	75	Não	Calcário	GPME
11	Dentão	-24 31' 29"	-48 41' 6"	520	17	7	Não	Calcário	GPME
12	Didi Menino						Não		GPME
13	Dito I	-24 31' 11"	-48 40' 41"	535	10	23	Não	Calcário	Sr Dito
14	Dito II	-24 31' 11"	-48 40' 41"	535	6	21	Não	Calcário	Sr. Dito
15	Embueiro	-24 31' 16"	-48 40' 56"	510	26	18	Não	Calcário	GPME
16	Fratuza	-24 31' 27"	-48 40' 31"	546			Não	Calcário	GPME
17	Gambá	-24 31' 42"	-48 42' 18"	315	56	10	Sim	Calcário	CEU
18	Grutinha						Não	Calcário	GPME
19	Joaquim Bento	-24 30' 38"	-48 39' 38"	390	73	3	Sim	Calcário	Krone
20	Moringa	-24 31' 19"	-48 40' 33"	520	66	55	Não	Calcário	GPME
21	Morro do Couto	-24 31' 14"	-48 41' 43"	290	471	26	Sim	Calcário	Krone
22	Morro Preto I	-24 31' 19"	-48 41' 54"	290	832	61	Sim	Calcário	Krone
23	Morro Preto II	-24 31' 50"	-48 41' 59"	253	47	13	Não	Calcário	Krone
24	Morro Preto Um e Meio	-24 31' 50"	-48 41' 57"	205	117	3	Não	Calcário	GPME
25	Onça Parda	-24 31' 24"	-48 41' 17"	440	60	102	Não	Calcário	Krone
26	Paredão da Onça Parda I	-24 31' 5"	-48 40' 23"	490	172	82	Não	Calcário	GPME
27	Paredão da Onça Parda II	-24 31' 4"	-48 40' 24"	495	25	13	Não	Calcário	GPME
28	Phoenix	-24 31' 27"	-48 40' 52"	551			Não	Calcário	GPME
29	Pitoco/Quati	-24 31' 18"	-48 40' 44"	561			Não	Calcário	Sr. Luizinho
30	Porteira						Não	Calcário	
31	Quadrinho						Não	Calcário	GPME
32	Quatá	-24 31' 11"	-48 40' 25"	500	382	52	Não	Calcário	GPME
33	Queixada						Não	Calcário	GPME
34	Quipeña	-24 31' 14"	-48 40' 43"	540		23	Não	Calcário	GPME
35	Sanhaço	-24 31' 14"	-48 40' 42"	535		5	Não	Calcário	GPME
36	Sete Léguas	-24 31' 32"	-48 40' 43"	557			Não	Calcário	GPME
37	Tabaca	-24 31' 32"	-48 40' 45"	586			Sim	Calcário	GPME
38	Tapa no Peru						Não	Calcário	Sr. Luizinho
39	Tiriquá	-24 31' 24"	-48 41' 3"	570	12	3	Não	Calcário	GPME
40	Tonel						Não	Calcário	GPME
41	Truco	-24 31' 40"	-48 41' 34"	310	15	9	Não	Calcário	GPME
42	Fim do Dia	24 31' 36'	-48 41' 12'	531			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
43	Discos	-24 31' 31'	-48 41' 08'	516			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
44	Mais Um	-24 31' 32"	-48 41' 07"	574			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
45	Chuveiro	-24 31' 30"	-48 41' 06"	574			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
46	+20	-24 31' 30"	-48 41' 05"	563			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
47	Sombra	-24 31' 30"	-48 41' 04"	576			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
48	Paula	-24 31' 28"	-48 41' 05"	539			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
49	Boca de Barro	-24 31' 25"	-48 41' 01"	547			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
50	Flor	-24 31' 25"	-48 41' 02"	544			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
51	Árvore	-24 31' 25"	-48 40' 58"	587			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
52	Hino perdido	-24 31' 26"	-48 40' 55"	539			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
53	Lábios	-24 31' 23"	-48 40' 54"	534			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins
54	Seis metros	-24 31' 15"	-48 40' 37"	531			Não	Calcário	Carlos Eduardo Martins

⁶⁷ Além do cadastramento na Sociedade Brasileira de Espeleologia, as cavernas verificadas nas atividades de campo foram somadas às já existentes no banco de dados do Grupo Pierre Martin de Espeleologia GPME (2013).

Para que se tenha uma dimensão da densidade de feições cárstico-espeleológicas, especificamente, de cavernas na área da Bacia do Córrego do Couto, no Quadro 3.7-2 estão as ocorrências de cavernas na área do estudo e nos três níveis político-administrativos do Brasil.

Quadro 3.7-2. Ocorrência de cavernas⁶⁸

Unidade	Nº de cavernas
Carste do C. Couto	54
Iporanga	398
São Paulo	677
Brasil	6.028

A análise combinada dos lineamentos com os dados obtidos em campo mostrou a relação intrínseca entre aqueles e as depressões mais expressivas e as cavernas verticais. Considerou-se, a partir destas evidências, que tais feições são respostas à pré-existência de pontos preferenciais de absorção do escoamento superficial, ou seja, com maior condutividade hidráulica, instalados nas intersecções entre fraturas, falhas e fissuras com os planos de estratificação. Essa inter-relação é considerada responsável por incrementar a permeabilidade secundária que, por sua vez, expandiu a condutividade hidráulica contribuindo para o rebaixamento do lençol freático em relação às linhas de percolação subterrânea (Lattman e Parizek, 1964; Kiraly et al, 1971; Parizek, 1976; Williams, 1985 apud KARMANN, 1994 p. 74).

Em parte, o reconhecimento da inter-relação supracitada também é visto como evidência de que a atual morfologia cárstica ocupa o lugar de uma paleodrenagem fluvial já oclusa.

⁶⁸ Fonte: SBE, 2014. Disponível em <http://www.cavernas.org.br/cnc/Home/Index>. Acessado em 11/08/2014.

4. O GEOSSISTEMA DO CÓRREGO DO COUTO

Este capítulo é dedicado à descrição dos fatores responsáveis pelos processos e dos elementos que foram considerados como componentes da paisagem cárstica percebidos sob a perspectiva geossistêmica. Tal perspectiva se deve ao fato de que o objeto da pesquisa é composto por aspectos naturais, sob a influência de fatores humanos.

4.1. O trabalho da água

Partindo-se do pressuposto de que os processos que desencadeiam a carstogênese-espeleogênese⁶⁹ são devidos à entrada e circulação d'água pelo maciço carbonático, entende-se que a chuva seja a principal fonte material determinante da paisagem que caracteriza o Carste do Córrego do Couto.

A fim de caracterizar o comportamento da chuva, componente material fundamental do objeto tratado neste trabalho, foi considerada a série de dados de precipitação de 1973 a 2003, obtidos a partir do pluviômetro do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo – DAEE, instalado no Bairro da Serra (“Serra dos Motas”), distrito de Iporanga (Tabela 4.1-1).

⁶⁹ O processo que leva à espeleogênese é fragmentado espaço-temporalmente por Karmann (1994), sem correspondência nos modelos espeleogenéticos analisados no capítulo 2 deste trabalho, em três estágios:

- Fase de pré-iniciação (*inception phase*, Lowe, 1992, apud KARMANN, 1994 p. 88): na qual uma dada rocha carbonática não possui cavernas, mas apresenta um conjunto de descontinuidades planares, potencialmente favorável à penetração e percolação de solventes. Nesta fase, a superfície da zona freática, quando presente, é rasa e a zona vadosa quase inexistente. O fluxo de água é muito lento através de finos capilares ao longo de descontinuidades com abertura em torno de 0,1 mm;
- Fase de iniciação: caracteriza-se pela instalação de uma rede de condutos freáticos interconectados ao longo de descontinuidades. A dimensão e distribuição destes condutos será condicionada pelos padrões estruturais, características litológicas e composicionais, gradiente hidráulico e disponibilidade de água (Kastining, 1984 apud Lowe, 1992, apud KARMANN, 1994 p. 88). Esta fase é marcada pelo início e incremento, com o tempo, da chamada permeabilidade secundária. Tanto nesta, quanto na fase anterior, predominam o processo de corrosão, ou, dissolução;
- A fase de desenvolvimento (*breakthrough*) tem início com a instalação do fluxo turbulento ao longo de parte dos condutos, com a queda rápida do lençol freático e ampliação da zona vadosa. Nesta fase os condutos freáticos conectam-se com a superfície, ou à intersecção de condutos pelo entalhamento da topografia externa. É a fase mais avançada da espeleogênese na qual, além da dissolução, inicia-se também a abrasão mecânica, captura de rios alogênicos por parte do sistema subterrâneo de drenagem. No estágio mais avançado de desenvolvimento, com a queda do lençol freático e abandono de níveis superiores de condutos, a incasão, ou, abatimentos de blocos, inicia um papel importante na modificação do padrão primário de condutos.

Tabela 4.1-1. Dados médios mensais de chuva 1973-2003⁷⁰

Município	Prefixo DAEE			Nome	Altitude		Latitude		Longitude		Bacia	Prefixo ANA	
Iporanga	F5-042			Serra dos Motas	240 m		24°33'		48°41'		Betari	2448057	
CHUVA MENSAL (mm)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Totais
1973	198,8	139,9	104,2	153,8	68,9	87,9	124,8	178,4	138,5	85	67,4	222,3	1569,9
1974	289,2	133,7	174,2	34,6	39,3	133,8	30,6	65,3	32,9	178,2	81,5	154	1347,3
1975	148,6	298,6	177,7	21,8	70,2	49,5	95,1	83,8	69,3	133	149,7	250,4	1547,7
1976	374,8	277,9	182,9	59,6	135,2	70,8	143,6	85,1	126,8	146,8	115,9	138,2	1857,6
1977	372,4	198,6	107,8	123,1	10,8	42,5	29,1	55,8	58,3	189,7	82,4	190,7	1461,2
1978	177,8	94,2	270,1	21,6	76,8	54,8	99,7	56,3	124,4	55,3	266,3	123,1	1420,4
1979	181,5	140,1	133,7	74,8	169,1	31,7	54,5	69,2	124,2	245,6	142,5	123,2	1490,07
1980	300,9	164,8	72,8	89,3	28,2	69,6	150,1	109,4	102,1	120,5	90,7	249,2	1547,6
1981	308,9	92,8	203	77,5	54,1	55,4	92,1	47	53,2	126	120,7	168,3	1399
1982	97	202,4	167,5	72	127,5	153,5	137,5	69,7	17,1	249,6	341,8	248,9	1884,5
1983	395,4	191,8	170,5	131,9	315,8	331,6	91,1	8,4	277,5	116,6	134,6	236,9	2402,1
1984	144,5	104,7	112,5	125,6	89	40,1	61,3	126,3	110	31,5	143,7	263,5	1352,7
1985	132,1	235,7	164,2	73,2	53,1	11,3	14,2	7,6	92,9	85	141,6	57,9	1068,8
1986	398,2	312,8	175,3	46,5	97,4	13,6	71,5	134,5	59,5	83	152,6	314,7	1859,6
1987	187,7	154,3	57,5	111,8	223,8	184,2	20	36,3	118,3	124,9	51,7	92	1362,5
1988	285,7	131,9	174,5	129,1	284,4	70,1	19,5	3,5	109,9	148,3	33	198,8	1588,7
1989	297,4	286,1	203,3	128	94,9	100,5	175	31,9	118,3	47,7	152	191,3	1826,4
1990	356,4	186,3	180	91,8	62	34,6	184,6	91,2	122,8	140,4	119,2	212,7	1782
1991	114	192,1	225,6	59,7	61,6	114,3	19,5	52,2	64,9	179,1	68,6	170,8	1322,4
1992	82,4	242,6	266,1	72,3	180,2	12,1	83,4	76,7	102,8	149	124,7	65,9	1458,2
1993	327,8	281,4	209,2	38,6	75,4	152,7	58,2	53,7	230,9	144,4	55,6	175,9	1803,8
1994	208,2	205,7	204	162	119,2	83	44	17,8	14,5	110,1	207,8	197,6	1573,9
1995	467,4	202,7	178,6	102,2	44,5	55,9	109,1	54,6	180,3	186,6	114,5	190,9	1887,3
1996	406,6	316,2	211,9	80,3	29,6	111,8	55,9	59,2	134,5	174,6	101,5	286,5	1968,6
1997	386,7	172,2	72,2	46,4	72,6	194,7	37,9	98,3	161,7	117,4	255,9	189,3	1805,3
1998	314,3	256,1	298,1	149,2	47	110,7	57,4	138	284,2	229	47,8	174,1	2105,9
1999	392,2	453,1	352	67	79,8	78,5	150,2	15,1	99,6	64	30,8	94,6	1876,9
2000	114,7	284,8	98,7	4,2	8,5	67,6	28,1	52	32,5	30,9	45,4	39,3	806,7
2001	177,3	92,3	83	42,2	150,7	77,9	107	22,8	64,9	133,6	129,2	73,5	1154,4
2002	143,2	86,9	90,5	7,8	60,4	1,8	39,7	36,2	45,1	43,3	66,6	112,7	734,2
2003	412	228,7	122,9	156	152,4	40,9	124,1	41,9	143,5	133	96,9	176,3	1828,58
Média da série	264,3	205,2	169,2	82,38	99,43	85,08	80,93	63,81	110,2	129,1	120,4	173,7	1583,69

A observação dos dados permite inferir que a taxa média de precipitação para a série foi de 1.583,69 mm. No período, o ano mais chuvoso (1983), de dezembro a fevereiro, registrou 2.402,1 mm de precipitação, ao passo que no ano menos chuvoso (2002), de junho a agosto, a precipitação total foi de apenas 734,2 mm. Esse comportamento atmosférico atípico em relação ao comportamento geral da atmosfera local foi atribuído aos efeitos do fenômeno

⁷⁰ Disponível em

http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=30.
Acessado em 29/03/2014.

El Niño nos anos mencionados quando o fenômeno teve intensidade, respectivamente, forte e moderada⁷¹.

Considerando os dados supracitados, conjecturar sobre a existência de água para a manutenção dos processos atuantes é desnecessária. A questão que pode ser colocada a esta altura diz respeito às condições climáticas e hídricas reinantes no contexto da instalação dos processos que levaram à carstogênese-espeleogênese do Carste do Córrego do Couto. Em análise sobre o papel da corrosão de mistura na espeleogênese da Caverna de Santana, Karmann (1994, p. 123-124) repercute a hipótese de Ab'Saber (1977) e Brown e Ab'Saber (1979) de que o clima regional é predominantemente quente e úmido, com intercalações de períodos semiúmidos do tipo que ocorre no Cerrado, há aproximadamente 1 milhão de anos, abrangendo, por tanto, o período de iniciação da carstogênese-espeleogênese do Alto Ribeira, incluindo o Carste do Córrego do Couto.

4.2. Importância da estrutura e da dinâmica geológica

Em um sistema aberto como é o caso do Carste do Córrego do Couto, além da água de precipitação, a carstogênese-espeleogênese também depende do aumento da energia potencial, ou elevado gradiente hidráulico. Tal energia necessária ao funcionamento do sistema é fornecida pelos movimentos isostáticos e eustáticos regionais e globais, responsáveis pelo aumento no gradiente hidráulico e consequente dissecação e entalhamento do relevo ao longo do tempo geológico.

Regionalmente, a ascensão tectônica desde o Triássico/Devoniano promoveu a intrusão de diques básicos alinhados na direção NW-SE (Figura 3.5-2), entre o Jurássico e o Cretáceo (KARMANN, 1994, p. 13). No plano regional, praticamente todas as rochas são penetradas por um grande número de corpos granitoides e afetadas por um denso cisalhamento anastomosado, dúctil e dúctil-rúptil, responsável pelo comportamento lenticular e pela estratigrafia tectônica das litologias existentes (CAMPANHA, 1991).

Localmente, o entalhamento do vale do Rio Betari iniciou-se durante o Mioceno Inferior (24 milhões de anos) a Médio (13,3 milhões de anos). Supostamente, a

⁷¹ Disponível em <http://www.inema.ba.gov.br/>. Acessado em 29/03/2014.

morfologia fluvial deu lugar às formas cársticas por volta de 2 milhões de anos atrás, prevalecendo até os dias atuais. Analogamente ao entalhamento da Caverna de Santana, o desenvolvimento tanto das cavernas, quanto das morfologias de insurgências e ressurgências cársticas em geral, pode ter ocorrido entre 1,7 e 1,2 milhões de anos. (KARMANN, 1994, p. 153-155).

4.2.1. Oscilações no nível de base e o carste

Entre a instalação e o atual estágio do processo de carstogênese-espeleogênese, há evidências de oscilações no nível de base regional com repercussões no plano local e até pontual. Como exemplo, podem-se citar:

- A existência de espeleotemas parcialmente erodidos sobre remanescentes de sedimentos aluviais em cavernas;
- A jusante da área de estudo, o curso atual do Rio Betari reentalha terraços sedimentares que haviam sido depositados sobre o seu próprio vale anteriormente entalhado;
- A Caverna do Morro Preto contém um importante remanescente de cascalheira fluvial já cimentado em pontos específicos do teto (Figura 4.2.1-1) próximo à entrada de visitantes, ou paleorressurgência do Córrego do Couto. Tal feição representa indícios da importância anterior que teve a injeção alogênica para deste conjunto. O ponto a partir do qual a foto foi tirada, encontra-se a 7 metros do piso da entrada de visitantes e a cerca de 80 metros do talvegue atual do Rio Betari. Outra concentração abundante encontra-se a cerca de 50 metros deste local.



Figura 4.2.1-1. Teto da paleorressurgência do Córrego do Couto, ou, Caverna do Morro Preto⁷²

⁷² Fonte: Adaptado de <http://www.flickr.com/photos/medau/5352606769/in/photostream/>. Acessado em 12/01/2014.

Os terraços residuais (Figura 3.1-1) existentes junto ao sumidouro do afluente do Córrego do Couto podem ser a evidência de que no estágio em que o nível de base representado pelo Rio Betari subiu e depositou a cascalheira fluvial na paleorressurgência superior, apresentada na Figura 4.2.1-1, a pressão hidrostática adquirida por este em relação ao fluxo do Córrego do Couto e seus afluentes, tenha eliminado a competência de transporte destes e feito do sumidouro um ambiente sedimentar de material particulado mais fino. Posteriormente, com a queda do nível de base, o afluente do Córrego do Couto passou a entalhar uma das extremidades do sedimento acumulado, até alcançar o atual talvegue.

Em várias cavernas, em nível local, ocorrem exemplares de estalagmites e escorrimentos calcíticos sobre depósitos fluviais ou sobre o fundo rochoso do canal subterrâneo, nas proximidades do leito fluvial atual, cerca de 0,5 metro acima do nível normal do rio atual e com evidências de intensa redissolução. Esta redissolução é causada pela exposição do espeleotema ao fluxo de água corrosivo, o qual erode a calcita entalhando, ou, afinando a estalagmite, expondo suas linhas de desenvolvimento. Sobre estas estalagmites observadas Karmann (1994, p. 156) definiu três estágios correspondentes às oscilações tratadas:

- Fase de crescimento acima do nível de variação do rio
- Fase de erosão intensa, ou seja, abaixo do nível de variação do rio;
- Fase atual a cerca de 1/2 metro acima do nível do rio, são atingidas por este, somente com vazões altas de enchentes.

Em síntese, associa-se tanto o entalhamento da planície do Rio Betari, no Bairro da Serra abaixo do nível atual, assim como a deposição de calcita secundária, sobre o leito exposto sobre o nível de água de canais subterrâneos, ao período de nível de base local rebaixado em função da queda do nível do mar durante a última fase glacial (entre 20 e 10 mil anos). Com a retração da glaciação e ascensão do nível médio do mar, o nível de base local teria retornado aos níveis anteriores, diminuindo o gradiente hidráulico do sistema de drenagem, causando a agradação da planície aluvial do Rio Betari, assim como, a submersão e redissolução de espeleotemas, antes, formados

sobre os leitos fluviais subterrâneos (KARMANN, 1994, p. 157). Segundo o autor, duas hipóteses são possíveis para explicar a variação no nível de base e nos processos de entalhamento e agradação local e pontualmente observados.

4.2.1.1. Hipótese isostática

A segunda hipótese é baseada em movimentos isostáticos regionais, em função de tectônica vertical de blocos crustais. Sob este ponto de vista, o entalhamento do Rio Betari, assim como, a deposição de espeleotemas em trechos do leito fluvial, estariam relacionados ao soerguimento tectônico seguido por um período de subsidência da área, sendo este o responsável, então, pela agradação do vale fluvial e erosão dos espeleotemas. Posteriormente, substituído por uma retomada do soerguimento, atuante até o presente, é reinstalado o processo de entalhamento dos sedimentos de agradação e os canais subterrâneos, expondo os espeleotemas erodidos acima do nível do rio (KARMANN, 1994, p. 157).

4.2.1.2. Hipótese eustática

A hipótese de influência eustática na dinâmica de entalhamento e agradação de vales fluviais e condutos subterrâneos se deve ao fato de que durante o último máximo glacial (em torno de 15 mil anos), o nível do mar recuou, atingindo a cota batimétrica atual de cerca de -130 metros. Isto incrementou o potencial hidráulico regional e local, com consequente aumento na capacidade erosiva do sistema fluvial e rebaixamento dos fundos de vales, induzindo o incremento do gradiente hidráulico de sistemas de circulação cársticos e, naturalmente, a aceleração no entalhamento subterrâneo. Após o término da fase glacial e volta às condições normais de nível de base, com redução do potencial hidráulico na área, a capacidade de erosão e transporte do sistema de drenagem diminuiu, condicionando o assoreamento de fundos de vales e segmentos de condutos subterrâneos, previamente entalhados (KARMANN, 1994, p. 155).

Independentemente da hipótese considerada, o fato é que a explicação para a cascalheira cimentada da paleorressurgência do Córrego do Couto, atual Caverna do Morro Preto, requer a consideração de uma sequência de

rebaixamento-elevação-rebaixamento do nível de base local, que influencia diretamente o processo erosivo-sedimentar também ao nível local.

Historicamente, a hipótese sobre o papel das oscilações na disponibilidade de energia potencial estariam regulando os processos erosivos e sedimentares em cavernas, também havia sido sugerida por Krone⁷³ em relação aos sedimentos da Caverna do Monjolinho

Uma prova que galerias, durante millenios abandonadas pelas águas, podem tornar ás suas antigas funções, acha-se em um ducto lateral, cujo solo formado por uma crosta stalagmitica de 10 cm de espessura, soffreu uma interrupção de Continuidade numa extensão de 3 metros. Durante o tempo de descanço tinha-se formado uma camada de 2 metros de terra cavernaria, que ficou cobeta finalmente com o auxilio de águas estagnadas pelo calcito, fingindo ser este o verdadeiro solo da caverna. Quando depois a corrente das águas novamente se dirigiu por este caminho, rompeu sua impetuosidade essa camada postiça em parte, formando revessas que tornaram a translocar a argila descoberta e a carregaram para diante, deixando livre o espaço entre o verdadeiro solo do conducto e a stalagmite interposta. Como confirmação desta asseveração acha-se na embocadura desta galeria na caverna principal possante derrubada dos stalagtites que em tempo já a haviam fechado e que foram forçados pelas águas. (KRONE, 1898, p. 484)

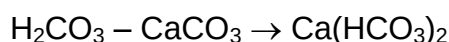
Além dos fatores supracitados é de extrema importância, apesar de já ter sido esclarecido que este aspecto não deve ser visto como exclusivo, considerar o papel da dissolução na carstogênese-espeleogênese.

⁷³ Nascido em Dresden, Alemanha, ali se formou Engenheiro Geógrafo e aos 23 anos emigrou para o Brasil para trabalhar como engenheiro e agrimensor na expansão de Companhia Estrada de Ferro Sorocabana. A crise financeira que se abateu sobre o empreendimento em 1880, fez com que Krone viajasse a Iguape, no Vale do Ribeira, onde fixou residência e passou a trabalhar como farmacêutico e agrimensor para o cartório de registros de imóveis local. Sua paixão pelas ciências naturais rapidamente o conduziram ao levantamento da paleontologia, arqueologia e espeleologia no Vale do Rio Ribeira de Iguape e arredores, onde desenvolveu diversos levantamentos para sociedades científicas e museus de diversos países, mas sua maior contribuição foi para o acervo do Museu Paulista.

Os registros de Krone subsidiaram a desapropriação, ocorrida em 1910, das grutas Arataca, Arataca Mirim, Chapéu Grande, Chapéu Mirim, Monjolinho, Pescaria, Pescaria Mirim e Tapagem, por parte da Procuradoria do Patrimônio Imobiliário – PPI, da Procuradoria Geral do Estado de São Paulo (GUIMARÃES, 1966, p. 05), através da Lei Estadual nº 1083 de 30/12/1906 (KRONE, 1909, p. 142)

4.3. Dissolução do carbonato

A água de precipitação tem um pH geralmente ácido (cerca de 5,6) decorrente da reação precedente entre o vapor d'água e o CO₂ atmosférico. Ao atravessar a cobertura vegetal e os primeiros centímetros do solo que contem grande quantidade de matéria orgânica em decomposição e, por tanto, liberando CO₂, a água pode tornar-se saturada em CO₂ aumentando sua potencialidade corrosiva⁷⁴. Em contato com o calcário, a água ácida dá início à dissolução da rocha transformando o carbonato de cálcio em bicarbonato de cálcio, ou calcita dissolvida. O esquema a seguir apresenta a reação clássica



No capítulo 2 foram discutidas as noções de carstogênese-espeleogênese mais aceitas. Em todas elas está embutida a noção de equilíbrio, mediante a qual na medida em que a solução penetra nas fissuras da rocha a saturação e a acidez diminuem na mesma proporção em que aumenta o teor de Ca da solução. Entretanto quando a solução passa a fluir por condutos mais volumosos nos quais já se pode considerar que haja a formação de uma atmosfera, o CO₂ da solução, em muito maior quantidade que o da atmosfera da caverna, é liberado pelo composto, fazendo precipitar e cristalizar parte da calcita, como é possível observar na reação a seguir



A calcita cristalizada no teto, nas paredes ou mesmo no piso das cavernas dá origem a uma enorme gama de formas genericamente denominadas de

⁷⁴ Karmann considera que atualmente há certa diversidade de opiniões quanto à velocidade e intensidade de corrosão da rocha carbonática. São três as possibilidades:

- As reações lentas de dissolução de calcita (CaCO₃), onde soluções próximas do equilíbrio são capazes de percolar a rocha por grandes distâncias sem atingir a saturação total em carbonato (Dreybrodt, 1981a e 1990 apud KARMANN, 1994 p. 88);
- A corrosão de mistura, na qual duas soluções saturadas em calcita (CaCO₃), com concentrações de saturação e pressões parciais de CO₂ muito contrastantes que, ao se misturar, formam uma solução agressiva (Bogli, 1964, 1978 e Dreybrodt, 1981, apud KARMANN, 1994 p. 88) e
- Modelos atuais de geração de condutos em profundidade consideram que a agressividade da água de percolação causada somente pelo CO₂ não seria suficiente para gerar grandes vazios, no tempo disponível para tal.

espeleotemas. O restante de calcita não cristalizada permanece em solução até, finalmente, ser despejada na ressurgência. É por este motivo que as águas cársticas que são descarregadas nas fontes, como a Cachoeira do Couto, são consideradas águas duras, devido o elevado teor de cálcio dissolvido no fluxo.

Quanto maiores as taxas de CaCO_3 na rocha, maiores as condições para a carstogênese-espeleogênese ocorrer. Em análise microscópica, Campanha (1991) identificou que a Formação Bairro da Serra é composta de 90% de carbonato, além de quartzo, muscovita, e pirita. Esta última pode, em menor proporção, ser responsável pela liberação de enxofre para a formação de ácido sulfúrico para a dissolução.

A dissolução de carbonato de cálcio (CaCO_3) é diretamente proporcional à quantidade de água saturada de gás carbônico. Considerando-se que a pressão parcial de CO_2 na água de infiltração é influenciada pelo clima. Ainda que em boa parte da literatura clássica se tenha pensado ao contrário, as condições ideais para corrosão de rochas carbonáticas são encontradas em áreas quentes e úmidas, nas quais a disponibilidade de água com alta produção de CO_2 atmosférico e biogênico no solo combinam-se favoravelmente à carstogênese-espeleogênese (Swinnerton, 1946; Ford e Williams, 1989 apud KARMANN, 1994, p. 89). Uma síntese do debate sobre a importância do clima para o carste foi exposto no item 2.6.2.

4.4. Desagregação física do carbonato

Dentre os aspectos a serem levados em conta para o entendimento do Carste do Córrego do Couto como um geossistema, um dos mais relevantes é o papel exercido pela ação abrasiva da água sobre a rocha. Há significativas diferenças entre esta ação e a ação solvente pelos solutos. Enquanto que esta decompõe quimicamente a rocha, a abrasão desagrega os minerais por abrasão, choque ou pressão.

Quanto à ação desagregadora da água especificamente sobre o carbonato de cálcio

“A erosão mecânica é um importante processo de denudação em fases avançadas da espeleogênese, quando condições fluviais são estabelecidas principalmente em cavernas cruzadas por rios alogênicos. Newton (1971)

determinou que no caso dos rios subterrâneos, tabletes de calcário expostos à ação dos rios perdem praticamente a mesma massa, tanto por abrasão mecânica, como por química. O efeito abrasivo do transporte de sedimentos clásticos alóctones torna-se importante, principalmente durante vazões catastróficas associadas a tempestades” (KARMANN, 1994 p. 88).

Karmann denomina este estágio de “fase de desenvolvimento” (*breakthrough*). Neste, tem início a instalação do fluxo turbulento nos condutos mais desenvolvidos, com a queda rápida do lençol freático e a ampliação da zona vadosa, acima do lençol freático. É também nesta fase que os condutos freáticos, cada vez mais aprofundados e alargados pela dissolução, que chega à ordem de 0,003 a 0,1cm/ano (Dreybrodt, 1990 apud KARMANN, 1994, p. 128) e pelo entalhamento por abrasão que, segundo cálculos de Karmann (op cit) chega à ordem de 0,0029 a 0,0052 cm/ano, podem ser interligados à superfície, inclusive com a captura de rios alogênicos para dentro do sistema subterrâneo de drenagem. É nesta fase que, a partir da queda do lençol freático e abandono de níveis superiores de condutos, tem início um novo elemento carstogenético-espeleogenético que modifica significativamente o padrão primário dos condutos: a incasão, ou, o abatimentos de blocos.

4.5. Incasão

Para Bögli (1980), a incasão é a denominação de todos os processos que levam à ruptura natural de paredes e tetos de cavernas. Para ele, ao contrário do que acreditava Davis, a incasão não é um estágio do ciclo cárstico, mas um “sintoma” da idade. Ocorre quando há grande sobrecarga na rocha devido à extensão ou volume dos espaços vazios da caverna. Para o autor, a incasão é considerada um fator de degeneração da caverna. Karmann sintetiza o papel deste processo da seguinte forma

Com o desenvolvimento de vazios por dissolução e rebaixamento do lençol freático, o campo de tensões no maciço rochoso tende a um novo estado de equilíbrio, o qual é alcançado através de redistribuição de massa no maciço, por meio de abatimentos e movimentação de blocos (Ford e Williams, 1989). Conforme ressaltado por Waltham (1981), o processo de colapso de cavidades não forma cavernas, mas, ao contrário, devido ao aumento de volume de uma pilha de fragmentos em relação à rocha não fragmentada, este processo tende

a preencher o espaço vazio previamente formado e, portanto, deve ser relacionado somente a um fator de modificação ou rearranjo do espaço durante o desenvolvimento de cavernas". (KARMANN, 1994 p. 88)

4.6.A paleodrenagem

Segundo Sotchava (1977, p. 10), a temporalidade dos geossistemas é calculada em eras, sendo que sua mutabilidade seja devida inicialmente à dinâmica geológica, além de que, nas eras mais recentes a atividade humana deva produzir seus efeitos sobre eles, permitindo, desta forma, racionalizar os fenômenos naturais sob a perspectiva evolutiva. Sobre esta problemática, Karmann (1994, p. 21-47) sugeriu uma série de feições que atestam a existência de uma paleodrenagem que antecedeu o conjunto de feições cársticas que definem atualmente a paisagem do Alto Vale do Ribeira e que foram verificadas como determinantes naturais do Carste do Córrego do Couto.

Segundo o autor, a drenagem pretérita teria sido instalada nas zonas de fraqueza do calcário representadas pelas juntas, fraturas, diáclases e planos de estratificação, sendo que a mesma teve o seu direcionamento orientado graças à instalação do gradiente hidráulico. Karmann relaciona diversas evidências da pré-existência de uma paleodrenagem fluvial anterior ao início da carstogênese-espeleogênese ao nível regional e local, com reflexos verificados na área estudada no presente trabalho. Segundo o autor, são indicadores da paleodrenagem:

- A existência de um alinhamento estruturalmente condicionado de morros e morrotes, que no caso do carste, caracterizam-se por cones assimétricos, isolados pela dissecação das estruturas pré-existentes e do acamamento, devido à maior dissolução nestes pontos;
- A disposição subparalela entre o alinhamento de cumes de cones cársticos e dos fundos de depressões maiores indicam a herança fluvial parcialmente preservada, ou seja, o traçado aproximado da antiga rede de drenagem superficial sobre os calcários;
- Os cones cársticos representam testemunhos dos interflúvios, já bastante dissecados e os fundos de dolinas correspondem, de forma aproximada, à superfície rebaixada dos paleotalvegues do sistema fluvial;

- A superfície residual dos cones cársticos estão cobertas por arenitos devonianos, sedimentos detríticos e sedimentos colúvio-aluvionares de idade terciária.

4.7. O paleocarste e o ciclo davisiano

O princípio evolutivo também pode ser percebido na concomitância esperada entre o amadurecimento dos sistemas de cavernas e o rebaixamento do nível de base, já mencionado nos itens 4.2.1.1 e 4.2.1.2 e lembrado por Karmann (1994), em relação à constante relocação tanto dos pontos de sumidouros quanto de ressurgências para cotas inferiores da topografia superficial. As evidências deste processo ficam por conta de feições “abandonadas”⁷⁵ (Karmann, 1994, p. 104) pelo processo carstogênético-espeleogenético como, por exemplo: paleocondutos, paleorressurgências e paleossumidouros a serem descritos no item 5.4.2, hoje, superpostos às feições ativas e ajustadas ao nível de base contemporâneo, às quais pode-se atribuir a noção de equilíbrio entre entrada e saída ao qual o geossistema encontra-se contextualizado.

Além das afirmações anteriores que podem dar a entender que o processo leva ao aplainamento esperado na perspectiva davisiana, estas feições “abandonadas” são evidências que corroboram com as concepções mais recentes quanto ao papel do lençol freático na carstogênese/espeleogênese, considerado, dialeticamente, um elemento que evolui em conjunto com o entalhamento geral do relevo, ao contrário do que se pensava até as décadas de 1950/60, quando o lençol freático era visto como fator pré-existente ao processo carstogenético-espeleogenético. (FORD, 2003, p. 06).

4.8. Parâmetros geométricos da área de estudo

O Geossistema do Carste do Córrego do Couto pode ser expresso por meio dos seguintes parâmetros geométricos (Quadro 4.8-1)

⁷⁵ Diz se das feições cárstico-espeleológicas que já não são mais o *locus* de dissolução/erosão pelo rio subterrâneo de origem alogênica, embora estejam permanentemente sob a influência da dissolução decorrente das águas de infiltração autogênica no epicarste.

Quadro 4.8-1. Parâmetros físicos do Geossistema do Córrego do Couto

Parâmetros	Medidas
Área total do polígono ^a	6,5 km ²
Área da superfície de recarga alogênica	4,4 km ² ou 68,4% ^b
Área da superfície de recarga autogênica ^c	2,05 km ² ou 31,6% ^b
Comprimento horizontal total da bacia do Córrego do Couto ^d	4.367,08 metros
Comprimento horizontal da drenagem cárstico-espeleológica total ^e	3.060 metros
Amplitude vertical ^e	209 metros
Declividade ^e	6,83%
Gradiente hidráulico ^e	0,068
Condutores subterrâneos topografados ^f	3.286 metros
Tempo entre a recarga ^g e descarga (em caso de chuva)	4 horas

^aDa bacia do Córrego do Couto; ^breferente à área total; ^csobre a Formação Bairro da Serra; ^dmedido em plano cartográfico 1:10.000 do IGC (2001); ^eentre o sumidouro do Paredão da Onça Parda, 449 m de altitude e a Cachoeira do Couto, 240 m de altitude; ^ffonte: <http://www.gpme.org.br/>, acessado em 01/02/2014 e <http://www.sbe.com.br/>, acessado em 01/02/2014; ^gsegundo Ferrari, Hiruma e Armani (2010).

5. ZONEAMENTO DO CARSTE DO CÓRREGO DO COUTO

Este capítulo trata da representação geométrica das feições do Geossistema do Carste do Córrego do Couto. Tal representação foi elaborada após o trabalho de interpretação da base cartográfica na qual foi delimitada a Bacia do Córrego do Couto; das visitas ao campo, nas quais foi possível o reconhecimentos e a percepção do papel funcional e morfológico das feições para o conjunto e, finalmente, da adequação conceitual a partir da literatura apresentada no capítulo 2, da qual foram deduzidos os conceitos para o fenômeno considerado objeto inicial desta pesquisa e para o conjunto de feições associadas. A aplicação dos procedimentos metodológicos expostos no item 1.9, resultou na proposto o Zoneamento do Carste do Córrego do Couto (Figura 5-1).

O Zoneamento do Carste do Córrego do Couto é um modelo geométrico associado tanto ao fenômeno considerado objeto inicial desta pesquisa: a Cachoeira do Córrego do Couto, quanto ao conjunto de feições que estão direta e indiretamente relacionadas àquela. No zoneamento proposto foram identificados:

- As superfícies de recarga de drenagem alogênica, sobre rochas impermeáveis e a de drenagem autogênica, sobre a rocha carbonática;
- Os tipos de cavernas existentes, no caso, cavernas verticais, sub-verticais e sub-horizontais;
- Os tipos e depressões fechadas existentes;
- O sistema de descarga do curso subterrâneo do Córrego do Couto.

Os próximos itens trazem uma descrição das feições reconhecidas, suas atribuições e suas funções e modos de integração ao conjunto do geossistema.

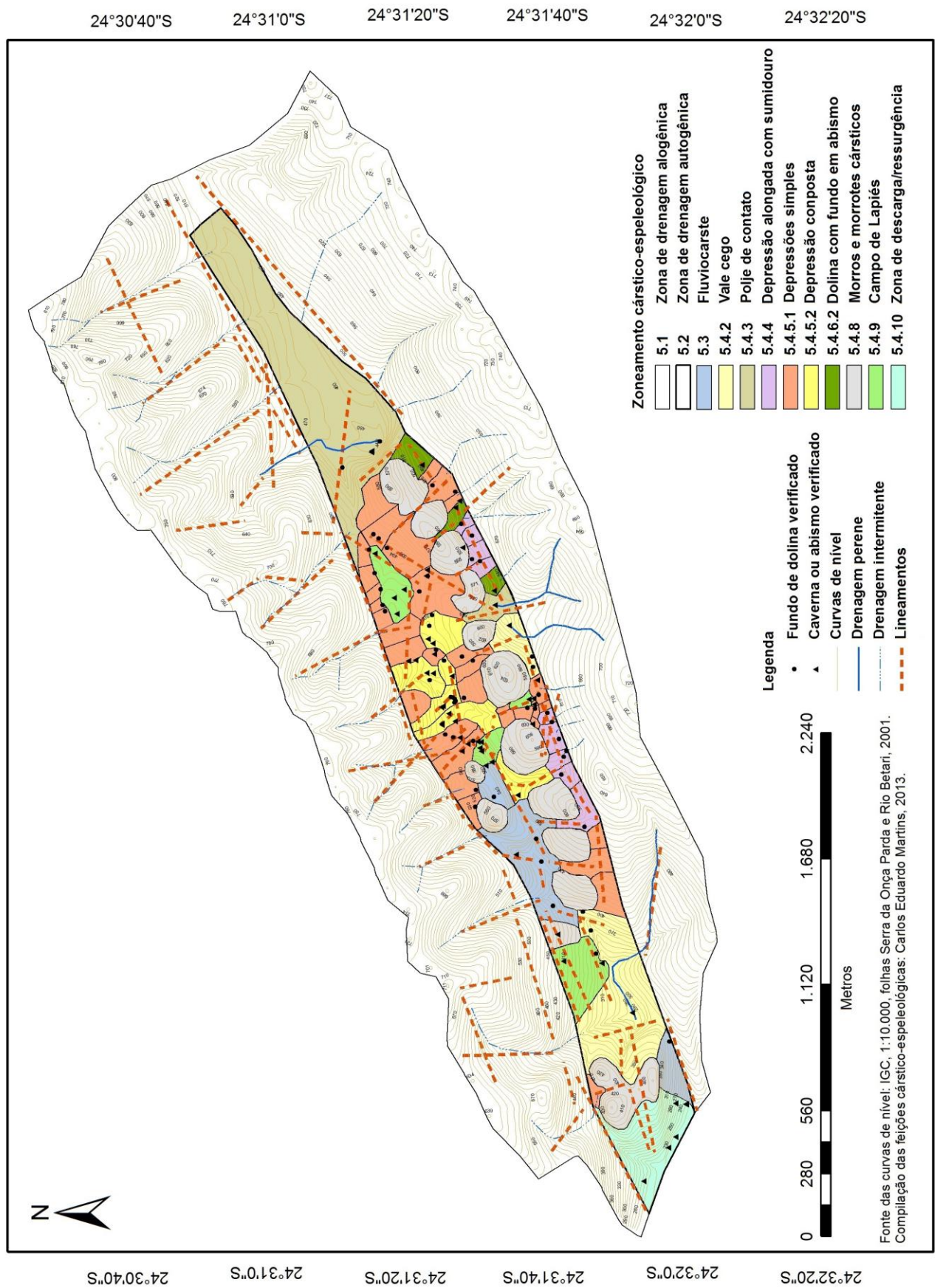


Figura 5-1. Geossistema do Córrego do Couto

5.1. Drenagem alogênica

A demarcação das cabeceiras e dos sulcos correspondentes à drenagem alogênica da área de estudo foi feita com base na aerofotointerpretação, análise de imageamento multiespectral (Figura 3.1-3 e 3.1-4) e base altimétrica 1:10.000 (IGC, 2001). A bacia de captação alogênica estende-se por 4,44 km², perfazendo 68,4% da área total da bacia do Córrego do Couto. A drenagem alogênica escoar ortogonalmente à direção predominante do Córrego do Couto e à faixa carbonática mais rebaixada e central, tanto ao noroeste quanto ao sudeste, por terrenos impermeáveis marginais e mais elevados. Ao escoar sobre o carbonato da Formação Bairro da Serra, com maior solubilidade, a drenagem penetra⁷⁶ de forma difusa por fissuras e condutos alargados, passando, então, ao domínio do meio cárstico, após atravessar o solo residual e adentrar ao epicarste ou diretamente no meio espeleológico, ou nas cavernas, pelos sumidouros existentes.

O conjunto de procedimentos metodológicos aplicados, também permitiu a diferenciação da drenagem alogênica intermitente e perene, sendo que esta última foi verificada com base no reconhecimento de campo, em quatro pontos específicos no zoneamento proposto. São eles:

- O Polje de Contato do Paredão da Onça Parda;
- O Sumidouro da Caverna da Onça Parda;
- O Vale Cego da Caverna do Couto;
- O Polje de Contato da Tabaca.

5.2. Drenagem autogênica

A drenagem autogênica compreende a água exclusivamente originada por precipitação e absorvida em toda a superfície correspondente à faixa carbonática que tem área plana de 2,05 km², ou 31,6% do total da Bacia do Córrego do Couto. A captação desta modalidade de recarga ocorre por meio de:

⁷⁶ A recarga alogênica não ocorre exatamente a partir do contato entre as rochas impermeáveis e o carbonato. A morfologia fluvial pode percorrer de metros a dezenas de metros sobre a zona autogênica até migrar para o meio subterrâneo propriamente dito.

- Infiltração difusa no solo residual que recobre morros e morrotes cársticos até o epicarste, a partir do qual passa a percolar entre fissuras ou pequenos condutos;
- Infiltração concentrada em condutos (cavernas) verticais, sub-verticais e sub-horizontais;

A verificação e delimitação das áreas de recarga das drenagens alogênica e autogênica foi feita a partir das visitas ao campo utilizando-se o caminhar sobre o contato litológico. A confirmação de que o regime do Carste do Córrego do Couto combina as duas formas de recarga permitiu deduzir-se que o mesmo pode ser denominado como carste epigênico ou hipergênico misto. Ao contrário deste tipo, muitos outros casos, em particular em muitas zonas cársticas da província Bambuí, que abrange os estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Tocantins, entre outros. Nestes, a massa carbonática, em muitas zonas já extensivamente dissecada, deu lugar a maciços isolados, cobertos geralmente por cerrado, “abandonados” pelos cursos d’água subterrâneos, restando apenas os paleocondutos cárstico-espeleológicos sob influência da captação pluvial de verão.

5.3. Zona fluviocárstica

A combinação entre a análise do imageamento multiespectral, da fotointerpretação, e das visitas ao campo propiciou a verificação, na escala de abrangência deste trabalho, do tipo de feição denominada por Karmann (1994, p. 45) de fluviocarste⁷⁷. Segundo o autor, são os setores das áreas carbonáticas onde a drenagem superficial ainda é predominante, apesar de importante infiltração, juntamente com feições cársticas bem definidas. No Carste do Córrego do Couto, essa feição ocorre de forma difusa por todo o polígono da captação autogênica.

⁷⁷ Segundo Karmann (1994, p 45), a morfologia que caracteriza esta paisagem é formada por:

- Drenagem superficial parcialmente ativa com escoamento superficial reduzido. Córregos alogênicos seguem seu curso sobre o calcário perdendo gradativamente sua vazão. Às vezes exibem vales entalhados, contemporaneamente inativos.
- Vales secos que apresentam canais com sedimentos fluviais alóctones, interrompidos por depressões rasas.
- Divisores de água entre sumidouros, ao longo dos vales, pouco desenvolvidos.

Se considerada apenas a planialtimetria e o imageamento multiespectral, a Bacia do Córrego do Couto (Figura 3.3-3) admite associar-se o conceito de fluviocarste à totalidade de formas. No entanto, a atividade de campo e os outros procedimentos já relatados propiciaram a verificação de diversas feições particulares em um nível subordinado à morfologia fluviocárstica. Isto pode ser ilustrado pelas particularidades topográficas das zonas de contato, além das próprias condições em que as modalidades de recarga estão fundadas. Os próximos itens serão dedicados a uma descrição pormenorizada destas modalidades.

5.4. Classificação morfológica das modalidades de entrada

A partir do caminhar em campo, foi possível o reconhecimento de inúmeras formas cársticas, às quais foi atribuída, ou ao menos adaptada, a terminologia utilizada por Karmann (1994, p. 28-49) no intuito de se buscar manter a coerência sobre o mesmo objeto, ainda que sob perspectivas distintas.

5.4.1. Zona de contato

As zonas de contato encontram-se situadas entre os limites noroeste, sobre os filitos/metassiltitos e sudeste, sobre os metassiltitos/filitos, consideradas as superfícies de drenagem alogênica e a faixa carbonática ou, a superfície de drenagem autogênica, de altitudes mais modestas. Aquelas têm a função de absorver a drenagem superficial alogênica perene ou intermitente das formações Água Suja, no qual o contato ocorre por cavalcamento e Betari, onde o contato é normal (Figura 3.5-1).

Nas zonas de contato, o fato de as vertentes impermeáveis serem mais alongadas e mais inclinadas que a superfície carbonática, implica decisivamente para uma quebra de declividade que se reflete quase que diretamente no comportamento da drenagem. A drenagem sobre a zona de captação alogênica, sobre terrenos mais declivosos, tem uma ação erosiva e de transporte mais efetiva o que é verificado nos talwegues dos sulcos e ravinas existentes nestas vertentes.

Por outro lado, sob a superfície carbonática deprimida de morfologia mais suavizada ocorre a queda da competência e capacidade da drenagem quanto

ao carreamento de sedimentos coluviais e aluviais que são depositados ao longo das feições fluviocársticas, fundos de dolinas ou das cavernas verticais sub-verticais e sub-horizontais a elas associadas e responsáveis pela captura da drenagem alogênica.

A delimitação da zona de contato foi inferida pela descontinuidade morfológica existente entre os terrenos impermeáveis com vertentes alongadas e retilíneas, por vezes atravessadas por sulcos ou ravinas bem definidas e a sua continuidade obliterada sobre o calcário. Além desta evidência, os lineamentos inferidos e representados pela Figura 3.7-3, auxiliaram o mapeamento da zona de contato. Embora tenha-se considerado um limite físico arbitrário entre a drenagem alogênica e a autogênica, o desaparecimento da drenagem alogênica na porosidade do carbonato não ocorre de maneira imediata. A drenagem superficial percorre a superfície por alguns metros a dezenas de metros antes de infiltrar.

As visitas ao campo permitiram o reconhecimento de diversas formas de infiltração de água no ambiente subterrâneo cárstico. Como há uma gama consideravelmente grande de termos aplicáveis aos tipos identificados em trabalhos precedentes, no presente trabalho optou-se pela adoção ou adaptação da terminologia utilizada por Karmann (1994). Os termos foram ajustados na medida da necessidade e compatibilizados ao comportamento das feições morfológicas cárstico-espeleológicas reconhecidas em campo. Os próximos itens trazem a tipologia de feições, bem como uma descrição das funcionalidades destas para o geossistema como um todo.

5.4.2. Vales Cegos

Os vales cegos são incisões no carbonato que resultam em morfologias do tipo anfiteatros com padrão semicircular a triangular com encosta fortemente inclinadas e escarpadas. O fundo destes anfiteatros é coberto por depósitos residuais e de tálus dos calcários, com blocos e matacões, além de cascalheiras e calhaus fluviais de origem alogênica. A maioria destes vales cegos apresenta cavernas de abatimento com desnível elevado, cujas entradas localizam-se acima dos sumidouros atuais. Estas cavernas de abatimento são interpretadas como sendo testemunhos de um antigo nível superior de sumidouros (KARMANN, 1994, p. 28-30).

O Vale Cego do Couto (Figura 5.1) é abrangido por uma bacia medindo 1,4 km² que envolve tanto superfície de fluxo alogênico quanto autogênico. O curso d'água que banha esta feição tem origem alogênica a partir do contato sudeste sobre os metassiltitos e filitos da Formação Betari. Esse afluente do Córrego do Couto percorre uma distância de cerca de 900 metros desde as cotas próximas a 550 metros adentrar o maciço rochoso pelo sumidouro atual do Córrego do Couto (Ponto 1 da Figura 1.4-2). Cerca de 30 metros após adentrar ao ambiente espeleológico, o fluxo perde sua vazão gradativamente entre os sedimentos clásticos (Ponto 2 da Figura 1.4-2), indicando, a partir do comportamento deste curso d'água, que o conduto principal esteja sendo abandonado pela drenagem alogênica perene em função do rebaixamento do lençol freático acompanhando o progresso do nível de base. A existência de depósitos clásticos indiferenciados e restos vegetais do leito do canal principal, indica que este seja ativado apenas como descarga intermitente nos períodos de precipitação mais intensa. Testes com corantes traçadores (José Antonio Ferrari⁷⁸, por informação verbal) constataram que, após percorrer 300 metros em meio cárstico (Ponto 4 da Figura 1.4-2), em conduto distinto do sistema aquífero iniciado no sumidouro sob o Paredão da Onça Parda, o aquífero que entra pelo Vale Cego do Couto ressurgem em uma descarga subterrânea independente, na Gruta da Cachoeira do Couto (Ponto 10 da Figura 1.4-2), descoberta pelo Grupo Pierre Martin de Espeleologia, 4,5 metros abaixo da ressurgência do Córrego do Couto, na cachoeira homônima.

O sumidouro do Córrego do Couto (Ponto 1 da Figura 1.4-2) dá acesso ao conduto espeleológico da caverna de mesmo nome apresenta um pórtico com aproximadamente 22 metros de altura. O piso deste trecho é recoberto por vários níveis de terraços sedimentares (Figura 3.1-1). Junto ao sumidouro, essas bancas atingem nos pontos mais elevados 14 metros de altura, tendo diminuído seu volume à medida que a profundidade avança. O leito intermitente que caracteriza o piso desse conduto apresenta, desde a base do pórtico de entrada, deposição colúvio-aluvial de espessura diversificada, intercalados por bancas de sedimentos mais finos, estes concentrados junto à

⁷⁸ Geógrafo e pesquisadores do Instituto Geológico, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

parede direita, até interceptar, após 380 metros, o conduto do aquífero sumido sob o Paredão da Onça Parda. Em diversos pontos, encontram-se as conexões para as galerias fósseis superiores, correspondentes ao espaço da Caverna do Morro Preto (Pontos 6, 6' e 6" da Figura 1.4-2), a ser descrita a seguir.

O aquífero sumido sob o Paredão da Onça Parda, após 3 km de fluxo em ambiente cárstico, ressurge (Ponto 5 da Figura 1.4-2) em meio espeleológico primeiramente, em um sifão a 300 metros da paleorressurgência do Córrego do Couto, correspondente à Caverna do Morro Preto. Tentativas de transposição do sifão através de técnica de espeleomergulho feitas pelo GPME atestam profundidades superiores a -40 metros. Alguns metros após esta ressurgência subterrânea, o aquífero atravessa um longo percurso em meio espeleológico caracterizado por incasão proveniente do abatimento do piso dos paleocondutos acima (Pontos 6, 6' e 6" da Figura 1.4-2). A partir daí, o leito segue em meio vadoso até o ponto de descarga do sistema, na Cachoeira do Córrego do Couto (Ponto 9 da Figura 1.4-2).

5.4.3. Poljes de contato

Segundo Karmann (1994, p. 30), os poljes de contato são similares aos vales cegos, só que mais entalhados, além de estarem associados aos rios alogênicos de baixo gradiente e a uma superfície suavemente ondulada e coberta por material colúvio-aluvial de origem alogênica. Estas particularidades diferem esta feição dos vales cegos, somente pela maior área da superfície plana colúvio-aluvial presente nos primeiros. O que sugere uma transição entre vales cegos e poljes, na qual certos vales cegos, com a drenagem subterrânea mais eficiente, com o tempo podem evoluir para poljes.

A cobertura sedimentar possui espessura variável, é composta por material terrígeno siltico-arenoso com cascalheiras e blocos, refletindo a composição dos metassedimentos adjacentes. O piso calcário raramente aparece na forma de elevações arredondadas cobertas por solo residual. Esta planície é delimitada por encostas calcárias abruptas ou pelo próprio contato litológico, com quebra de declividade. Salões de abatimento ou abrigos rochosos ocorrem ao longo destas escarpas e o sumidouro principal ocorre normalmente entre os blocos depositados na base ou próximo da escarpa calcária.

Foram reconhecidas duas feições nas quais as características conspícuas foram determinantes para serem caracterizadas como poljes de contato: o Polje de Contato da Tabaca e o Polje de Contato do Paredão da Onça Parda (Figura 5.4.3-1). Este último apresenta condições morfológicas que indicam ter evoluído a partir de um Vale Cego.

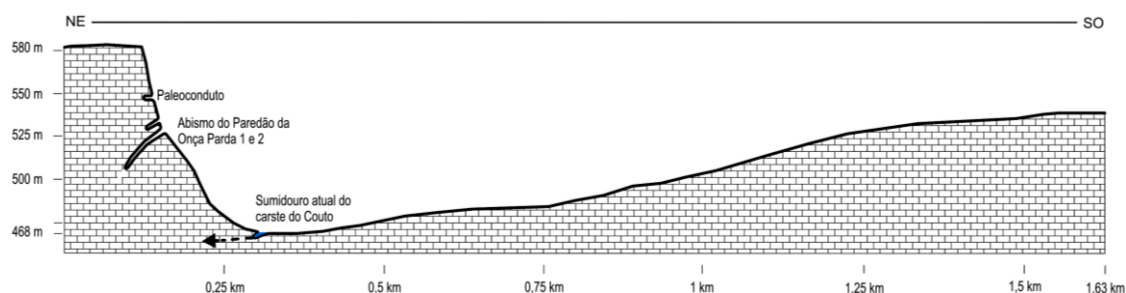


Figura 5.4.3-1. Polje de Contato do Paredão da Onça Parda.

A bacia de drenagem do Polje de Contato do Paredão da Onça Parda drena uma área de 2,48 km². A superfície cárstica dessa bacia encontra-se coberta por sedimentos residuais consistindo, inclusive, de alguns terraços aluviais de origem alogênica. Na base da escarpa e junto ao atual sumidouro, são observados afloramentos calcários e depósitos argilosos-siltosos junto a um antigo sumidouro já assoreado.

O Polje de Contato do Paredão da Onça Parda, além das características acima descritas, é o sumidouro mais longilineamente distante da ressurgência do Córrego do Couto e, apesar de não ser o único, também foi local de teste com corante traçador (FERRARI; HIRUMA; ARMANI, 2010). Esse teste mostrou que entre a entrada da água de precipitação no sumidouro e a saída na ressurgência há um intervalo de 4 horas. Entre 520 e 550 metros de altitude, são observados paleocondutos (Figura 5.4.3-1) e os paleossumidouros do Paredão da Onça Parda 1 e 2, que apresentam desnível de 82 e 13 metros e desenvolvimento horizontal de 172 e 25 metros, respectivamente (Figura 5.4.3-1). Essas duas cavidades de abatimento são testemunhos de antigos sumidouros do Córrego do Couto.

5.4.4. Depressões alongadas intercaladas a sumidouros

Segundo Karmann (1994, p. 30), onde não ocorrem poljes, nem vales cegos, a zona de contato é caracterizada por uma estreita planície ondulada por depressões rasas, desenvolvidas sobre material residual insolúvel dos

carbonatos, que grada lateralmente para os depósitos de encostas e aluviões dos metapelitos adjacentes. Algumas destas depressões encontram-se conectadas por córregos intermitentes, ativos somente durante épocas de alta pluviosidade. Afloramentos calcários são escassos, restringindo-se a extremidades superiores do epicarste e blocos imersos em solo residual. As bacias de captação destes corredores são relativamente pequenas, quando comparadas aos dos vales cegos. Esse tipo de feição foi observado em faixas independentes junto ao limite entre as zonas de captação alogênica e autogênica do contato sudeste (Figura 5-1). Os dois casos observados, assemelham-se a um talvegue seco com pequenas dolinas de dissolução intercaladas, separadas por vértices pouco conspícuos. Os dois conjuntos são delimitados topograficamente pela cota 570 metros, sendo que a partir desta, um dos conjuntos converge para jusante e o outro para montante em relação ao Córrego do Couto.

5.4.5. Depressões fechadas ou dolinas⁷⁹

As depressões fechadas ou dolinas são tão recorrentes nas paisagens cársticas ao ponto de terem sido consideradas como sendo a unidade essencial (Sweeting, 1972 apud Gunn, 1981a apud KARMANN, 1994, p. 33), ou mesmo como elemento diagnóstico do carste sob a perspectiva da geologia de engenharia, muito embora, como já dito, a inexistência de dolinas não significa que não haja processo de carstificação (FORD, 2003, p. 339). Diversos autores reconhecem a similaridade entre a função hidrológica de depressões fechadas na paisagem cárstica e a de vales fluviais *normais* quanto ao fato de desempenhar um papel de pequenas bacias de drenagem superficial, sendo, então consideradas com importância equivalente quanto à determinação do escoamento superficial e das zonas de recarga dos aquíferos cársticos (KARMANN, 1994, p. 35-45).

⁷⁹ Segundo Sauro (2003, p. 43) a literatura científica internacional utiliza os termos dolina (*doline*) e sumidouro, ou, escoadouro (*sinkhole*) em um sentido muito amplo para indicar médias depressões fechadas em áreas cársticas, normalmente sem retenção de água. Na Europa a palavra *doline* é usada de maneira amplamente divulgada com um significado morfológico geral concreto, tendo origem na subjetividade popular como identificador das depressões escarpadas, ou, em forma de funil. O termo *sinkhole*, desenvolvido pelos geólogos de engenharia nos EUA, é utilizado com um significado predominantemente morfogênico conceitual para formas originadas de rebaixamentos súbitos ou graduais da superfície topográfica. Para o autor, essa dualidade é prejudicial à ciência levando a ambiguidades. Neste trabalho tal fenômeno será identificado única e exclusivamente pelo termo dolina.

Se de um lado, a análise da base cartográfica, do imageamento multiespectral disponível permitiu a identificação e mapeamento de feições morfológicas estruturais e fluviais, as visitas ao campo propiciou a verificação de que, de fato, a superfície de captação autogênica do Carste do Córrego do Couto é amplamente preenchida por dolinas com grande diversidade genética, morfológica e funcional. Para adequar à proposta do zoneamento, as dolinas foram agrupadas e descritas conforma a terminologia definida por Karmann (1994) resultando na classificação que segue.

As dolinas são o tipo de captação na qual o escoamento superficial, de natureza essencialmente autogênica, é totalmente absorvido por sumidouros localizados nos fundos de depressões, as quais são delimitadas por divisores de água, formando um padrão planimétrico celular de polígonos irregulares. O termo depressão poligonal, ou, fechada designa as depressões de dissolução, nas quais a captura e drenada para um ou vários sumidouros internos, através de uma rede geralmente centrípeta (Williams, 1972b; Day, 1976 apud KARMANN, 1994 p. 33).

Devido ao limite de área da Bacia do Córrego do Couto, o padrão poligonal é bastante incipiente para ser reconhecido por análise da base cartográfica, aerofotogramétrica e de sensoriamento remoto. Dessa forma, o zoneamento que identifica os subtipos depressões simples, compostas, deprimidas e menores (KARMANN, 1994 p. 35-44), entre outras feições, pautou-se pelo reconhecimento de campo em classificar as dolinas da seguinte forma:

5.4.5.1. Depressões simples, ou, cockpits

São aquelas com as menores áreas planimétricas (entre 0,003 e 0,05 km²) e somente um sumidouro principal. A drenagem interna é pouco desenvolvida, sendo formada por ravinas e canais incipientes. Suas profundidades variam entre 5 e 30 metros. O contorno destas depressões é bastante irregular, tendendo a formas planimétricas poligonais (triangulares a hexagonais) ou, às vezes, subcirculares a elípticas. As encostas e fundo apresentam-se cobertas por solo residual argiloso. Afloramentos rochosos são raros, limitando-se a pequenas escarpas, ao longo das encostas, ou lajedos próximos aos sumidouros. A água coletada pela superfície destas bacias é transmitida para subsuperfície por infiltração difusa, ou, concentrada ao longo de um conduto

vadoso vertical (shaft), conforme será discutido adiante (Sweeting, 1958 apud KARMANN, 1994).

As depressões simples encontram-se dispersas ao longo da área de estudo. As áreas de maiores concentrações de depressões simples encontram-se na porção central da drenagem autogênica, principalmente na zona limítrofe com os morros e morrotes cársticos, mas também é possível observar algumas ocorrências nas zonas de contato ao noroeste e ao sudeste.

5.4.5.2. Depressões compostas, ou uvalas

Caracterizam-se pela área maior (aproximadamente entre 0,05 e 0,8 km²), contorno mais irregular, quando comparadas com as depressões simples, apresenta uma rede de drenagem interna mais complexa, por vezes, com múltiplos sumidouros. A superfície interna é ondulada, possuindo vários pontos deprimidos, os quais podem estar associados a sumidouros. Sua profundidade é muito variável, oscilando entre 10 e 80 metros. O padrão geral destas depressões é de uma superfície ondulada, com inclinação geral centrípeta, demarcada por divisores topográficos bem definidos (Terzaghi, 1958 apud White, 1988 apud KARMANN, 1994, p. 35).

Ao contrário das morfologias clássicas que são delimitadas por morros agudos, às vezes triangulares, as dolinas identificadas em campo, são delimitadas por divisores bastante irregulares, sem um padrão definido. O que se considerou como fator determinante para o enquadramento terminológico foi o fato de que em praticamente todos os casos observados as encostas suavemente côncavas e fortemente inclinadas sempre convergem internamente para uma zona rebaixada. Nos pontos mais baixos destas depressões, foram identificados três tipos fundamentais de formas de absorção do escoamento superficial a serem descritas a seguir.

5.4.5.3. Zonas deprimidas

Essas feições apresentam forma planimétrica circular a elíptica e bordas com inclinação forte a suave. Sua superfície é coberta por solo residual de origem calcária preenchido com material clástico. Não se observa um sumidouro pontual, mas, uma área que absorve a água. Estas depressões, durante períodos de chuva intensa, formam áreas alagadas, que na época estiagem

transformam-se em zonas de solo argiloso, escuro e úmido. Esta morfologia é típica de dolinas de dissolução, associadas à infiltração vertical difusa da água autogênica ao longo de fraturas e juntas alargadas (Gunn, 1983; Williams, 1985 apud KARMANN, 1994, p. 38-39).

Ao sudoeste da zona de lapiés junto à trilha de acesso ao Carste do Couto, foi identificada uma zona deprimida, porém a área ocupada por essa morfologia é tão ínfima que inviabilizou a sua inclusão no mapa de zoneamento cárstico-espeleológico do Carste do Córrego do Couto (Figura 5-1).

5.4.5.4. Depressões menores

A área de estudo contém pequenas depressões somente notáveis em campo. Suas dimensões variam de suaves concavidades, com alguns metros de diâmetro, a 1 metro de profundidade. As depressões mais pronunciadas podem atingir 15 metros de diâmetro por 2 a 3 metros de profundidade. Estas pequenas dolinas de dissolução ocorrem tanto ao longo de encostas, como também, sobre os divisores de depressões poligonais. Estas feições são interpretadas como dolinas em início de desenvolvimento, cujo surgimento foi disparado pela evolução das depressões maiores e mais profundas durante o episódio de rebaixamento do lençol freático, configurando-se num processo de geração múltipla e competitiva (LaValle, 1967; Ford, 1964; Williams, 1972; Palmquist, 1979; Kemmerly, 1982, apud KARMANN, 1994 p. 44). Apesar de reconhecidas em campo, as depressões menores não foram consideradas para efeito de zoneamento, pois são comuns a praticamente todas as subzonas criadas.

Em todas as classes anteriores constantes no zoneamento proposto, foram observadas cavernas sub-horizontais, cavernas verticais e cavernas subverticais. As cavernas verticais apresentam-se concentradas na zona de contato noroeste e na faixa central do Carste do Couto, ao passo que as cavernas subverticais e sub-horizontais são mais comuns junto ao contato normal sudeste.

5.4.6. Cavernas verticais

O Carste do Couto apresenta um grande número de feições espeleológicas predominantemente verticais. Essas feições de infiltração vadosa concentrada

ao longo das paredes de condutos verticais são denominadas *shafts*, ou, poços, ou ainda, abismos (White, 1988 apud KARMANN, 1994 p. 39). Segundo Karmann, a predominância dessas feições, num quadro geral de evolução do carste se deve ao fato de que

(...) “estas rotas de infiltração concentrada, teriam passado uma fase inicial, onde as fraturas alargadas estariam colmatadas por material residual, como ocorre nos fundos atuais da maioria das depressões observadas. Mas, em função do desenvolvimento lateral de uma zona profunda de permeabilidade maior (abertura de condutos freáticos), responsável pela implantação da depressão maior, ocorre o rebaixamento do lençol freático, formando um cone de rebaixamento do lençol o que causa o aumento do gradiente hidráulico e a instalação de linhas de fluxo, de forma centrípeta, com isopotenciais contornando a zona de maior permeabilidade. Se as depressões menores estivessem inseridas no perímetro deste cone de rebaixamento do lençol, haverá um incremento do gradiente hidráulico e consequentemente, de energia de transporte da água de infiltração no fundo da depressão menor lateral. Com o aumento da capacidade erosiva da água de infiltração, aliada à ampliação da zona vadosa ao longo da rota de infiltração, o material residual que colmatava as fraturas alargadas, acaba sendo erodido e as paredes das fraturas corroídas pelo escoamento do filme d’água meteórica sobre a rocha exposta”. (KARMANN, 1994, p. 39)

As cavernas verticais reconhecidas no Carste do Córrego do Couto apresentam grande diversidade em termos de forma, extensão e profundidade. A porção central da área de estudo aonde é possível encontrar a maior densidade de depressões fechadas, apresenta duas formas de cavernas verticais distintas conforme a situação topográfica: os abismos de borda ou cristas de dolina e os abismos de fundo de dolina.

5.4.6.1. Abismos de borda ou crista de dolina

Os abismos de borda ou crista de dolina têm a gênese e a morfologia similares aos de fundo de dolina, mas sua situação topográfica atual difere em comparação à deste devido ao processo que Karmann (1994, p. 27) denomina

de inversão de relevo. Essa morfologia foi verificada no Abismo Collet (Figura 5.4.6.1-1) que está situado em um ambiente no qual a história pregressa de erosão exocárstica e endocárstica, mais especificamente relacionada ao entalhamento e o alargamento por erosão remontante e consequente retração das encostas do vale do afluente do Córrego do Couto que adentra o sumidouro do Couto. Combinada com o rebaixamento do lençol freático, este processo erosivo invadiu a superfície das dolinas removendo os vértices das mesmas e rebaixando o relevo seguindo o rebaixamento do nível de base.

Esses antigos fundos de depressão formam, atualmente, cristas e encostas de rocha calcária entalhada e coberta de solo residual.

Levando-se em conta a existência de sedimentos clásticos de origem alogênica em patamares residuais e no fundo do Abismo Collet, deduz-se que o atual acesso (entrada) do abismo é um remanescente de uma sequência geomórfica que precedida pelos seguintes ambientes:

- Uma antiga rede fluviocárstica, mas que atualmente está praticamente oclusa;
- Um fundo de dolina de captação de drenagem autogênica e para onde migraram sedimentos da antiga rede fluviocárstica.

Por tanto, na atual conjuntura, o Abismo Collet pode ser caracterizado como uma feição que testemunhou ao menos dois grandes eventos da dinâmica geomórfica local:

- A passagem da morfologia fluvial típica para a cárstica; e
- A retração das vertentes acompanhada do rebaixamento do leito do afluente do Córrego do Couto.

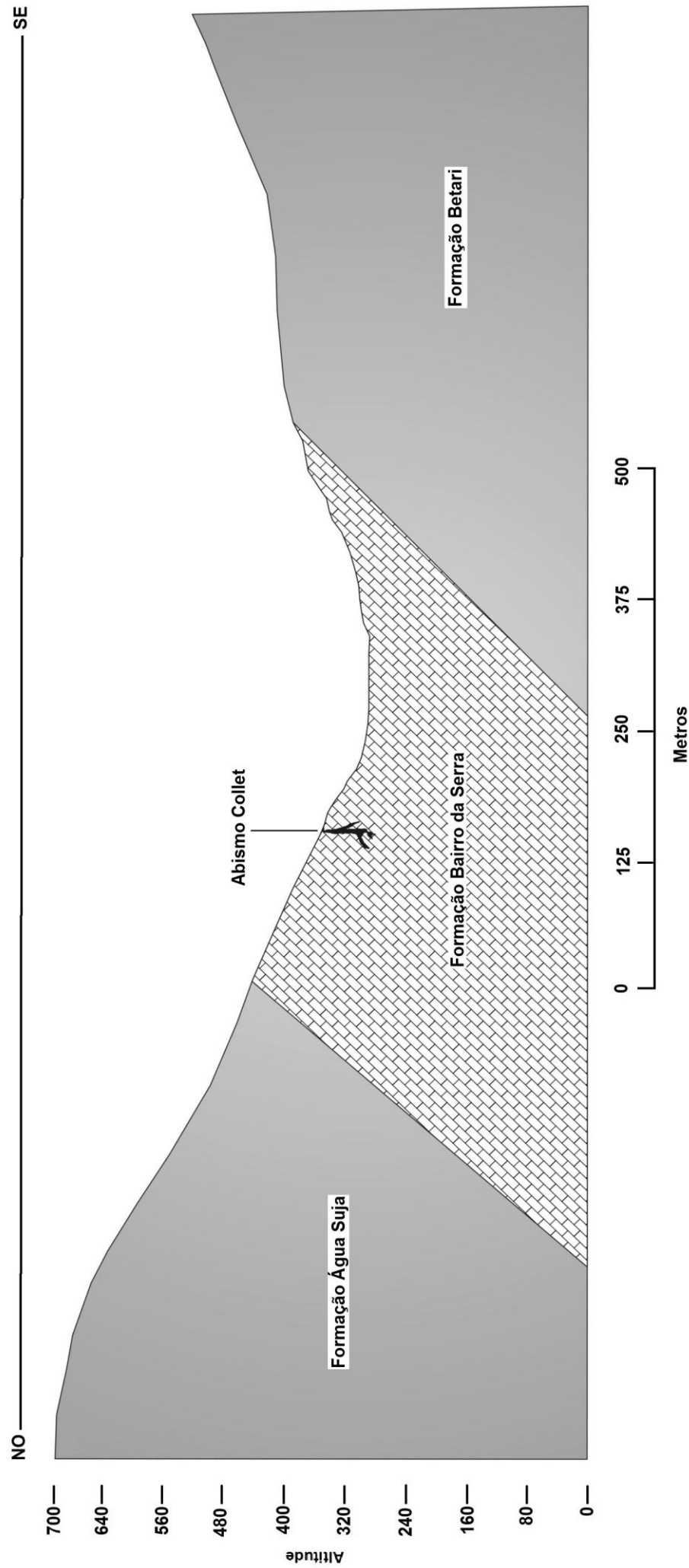


Figura 5.4.6.1-1. Corte transversal do Carste do Couto com posicionamento do Abismo Collet. O mergulho dos planos de estratificação é de 35°⁸⁰

⁸⁰ Fonte do perfil do abismo: SBE, 1970. Fonte das formações litoestratigráficas: CAMPANHA, 1991; KARMANN, 1994. Fonte do dado de mergulho: Campanha, 1991, Anexo 2.

5.4.6.2. Abismos de fundo de dolina

Os abismos de fundo de dolina têm morfologias muito variáveis. A Figura 5.4.6.2-1 mostra, dentre tantos os que foram observados, alguns exemplos dessa diversidade. Essas cavernas apresentam as seguintes particularidades:

- Poços, ou, condutos com eixos verticais e arredondados (vertical shafts);
- Seções horizontais, ou, sub-horizontais coincidentes com os planos de acamamento, entre um poço e o outro;
- Seção horizontal nos condutos mais próximos à superfície que levam aos poços verticais;
- Condutos verticais entre lapieés destacados em meio à superfície coberta de solo residual.

Em meio à diversidade de aspectos morfológicos, todas essas cavidades verticais, independentemente da profundidade alcançada pelo conduto vencedor⁸¹, apresentam uma base, ou, fundo, razoavelmente amplo e plano, coberto por uma camada de sedimentos clásticos de origem alogênica parcialmente colmatados. Esta pode ser considerada mais uma evidência da tese de que, uma rede fluviocárstica precede a morfologia cárstico-espeleológica atual.

⁸¹ O início da fase de desenvolvimento da carstogênese-espeleogênese é o que Karmann (1994, p. 128) denomina, replicando White e Longyear (1962) e Worthington (1991), de salto hidráulico na profusão de proto-cavernas, ou seja, um *“incremento repentino na vazão do conduto”* chamado de *“vencedor”* pelo fato de que com o aumento da profundidade, a água passa a fluir por rotas mais eficientes, ou seja, naquelas com maior transmissividade causada pela dissolução mais rápida. É nestes condutos que ocorre a *“transição de fluxo laminar para turbulento”*, seguido do *“um aumento de várias ordens de grandeza da taxa de dissolução”* e formação de cavernas.

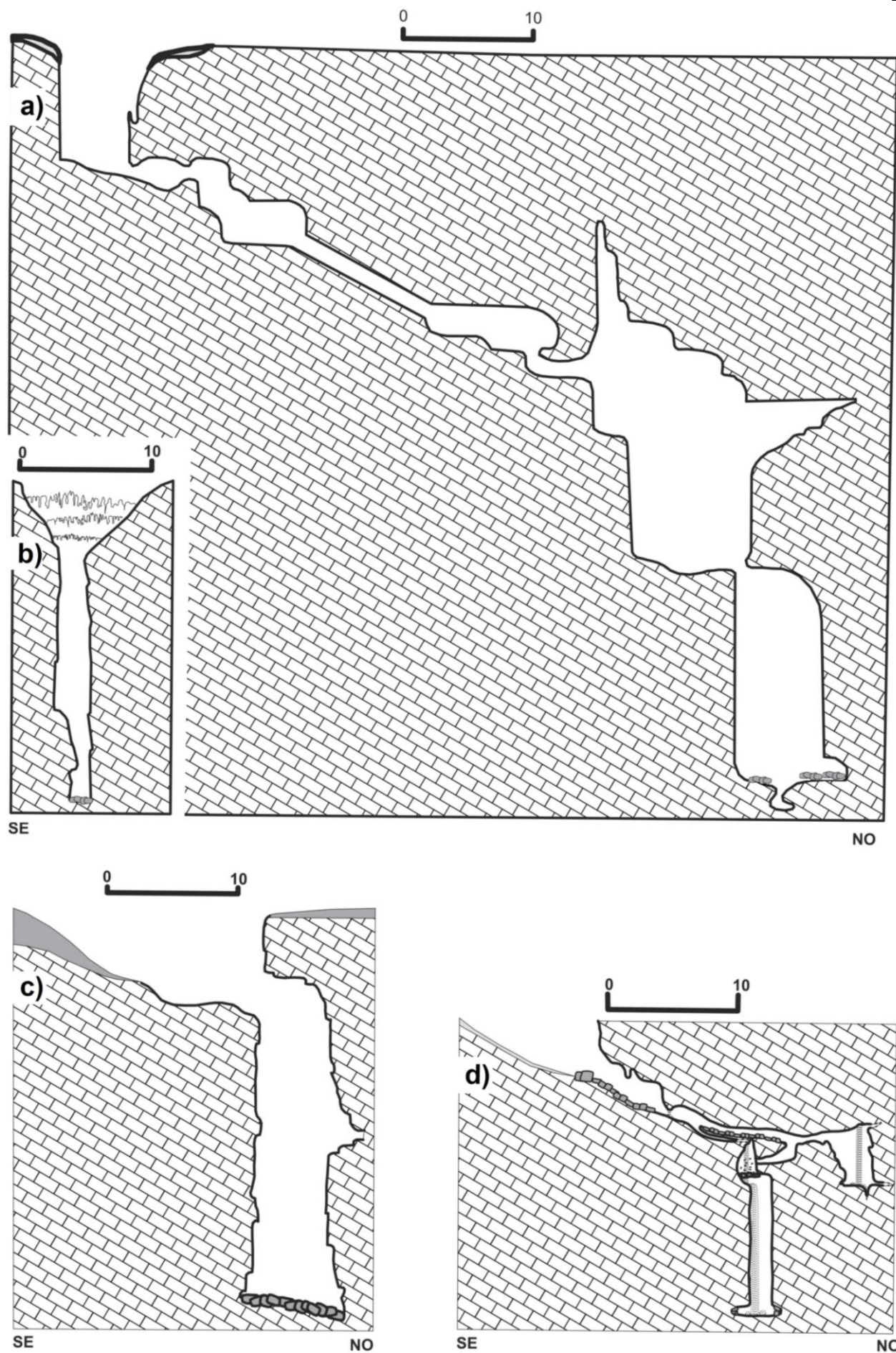


Figura 5.4.6.2-1. Cavernas verticais vadasas. a) Abismo Ossadas; b) Abismo Bauru; c) Abismo do Dito 1 e d) Abismo da Batalha⁸²

⁸² Fonte: GPME 1987, 1988, 1988 e 2013.

5.4.7. Cavernas sub-verticais

Essas cavernas apresentam grandes desníveis muito embora não apresentem poços, ou, eixos verticais ao longo de seu desenvolvimento subterrâneo. São exemplos deste tipo de feição espeleológica os abismos do Paredão da Onça Parda 1 e 2 e a Caverna da Onça Parda.

Os abismos do Paredão da Onça Parda 1 e 2 são remanescentes ou salões de abatimento associados aos paleossumidouros do Córrego do Couto. Apesar do qualificativo “abismo”, estas cavernas não dispõem de eixos verticais. Ainda assim, apresentam desenvolvimento vertical ou desnível considerável de 82 e 13 metros e desenvolvimento horizontal de 172 e 25 metros, respectivamente.

Por sua vez, a Caverna da Onça Parda, reconhecida de forma pioneira por Richard Krone em 1909, apresenta um desenvolvimento horizontal de 60 metros e um desnível que ultrapassa a casa dos 100 metros. Os trechos verticais são muito curtos e basicamente formados por passagens entre grandes blocos sobrepostos. Do ponto de vista morfológico, a Caverna da Onça Parda teve sua gênese associada ao entalhamento promovido por um afluente alogênico do Córrego do Couto. Este curso d'água atacou o carbonato a partir da porosidade coincidente com os planos de estratificação. No perfil da caverna na Figura 5.4.7-1 pode-se observar a coincidência entre o mergulho dos carbonatos, que nesta porção da bacia, são da ordem de 38° ao noroeste (CAMPANHA, 1991, Anexo 2; KARMANN, 1994, Anexo 3.1), e o ângulo do eixo de desenvolvimento da caverna.

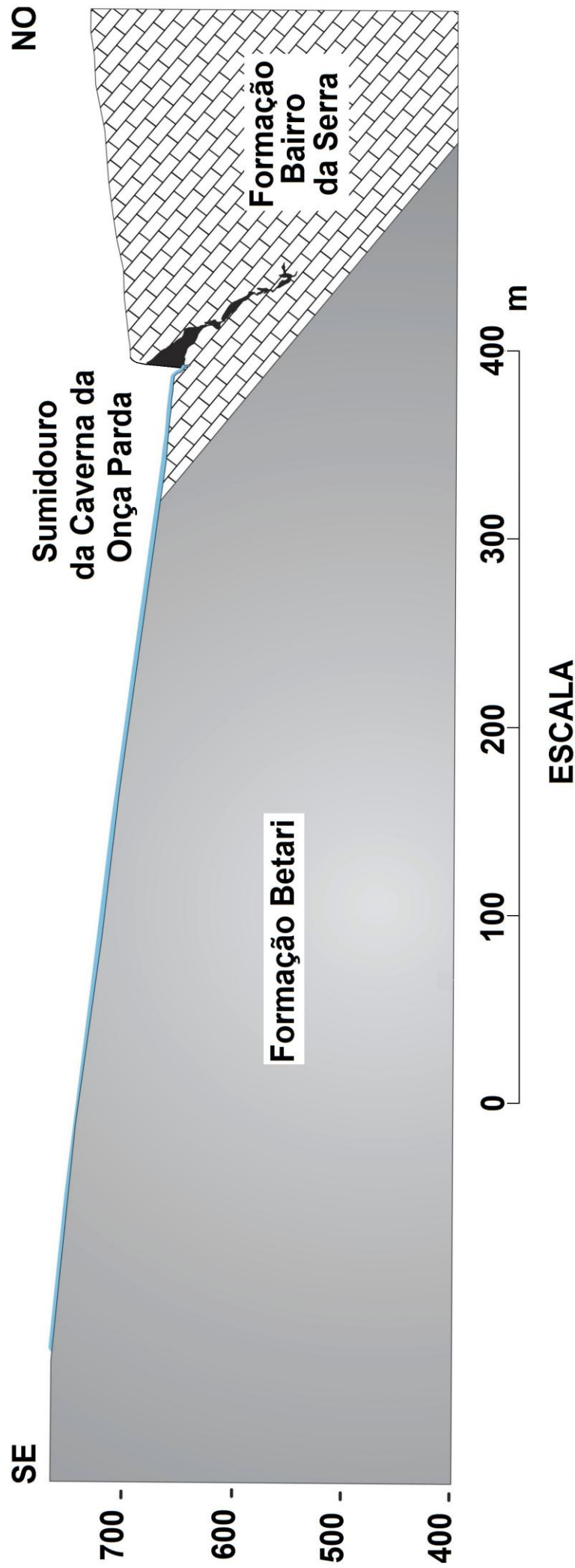


Figura 5.4.7-1. Corte transversal esquemático do perfil longitudinal do curso do afluente que entra no sumidouro da Caverna Onça Parda. O mergulho dos planos de estratificação nessa porção é de 38°⁸³

⁸³ Fonte do perfil da Caverna Onça Parda: GPME, 1987. Fonte das formações litoestratigráficas: CAMAPANHA, 1991; KARMANN, 1994. Fonte do dado de mergulho: Campanha, 1991, Anexo 2.

5.4.8. Cavernas sub-horizontais

Estas cavidades embora em menor número de ocorrências são as que desenvolvem os maiores cavernamentos (condutos topografados) no sentido de permitir o acesso humano. Em geral, seu desenvolvimento coincide com os planos de estratificação, e com a direção predominante dos principais lineamentos.

As cavernas sub-horizontais mais representativas do Geossistema do Carste do Córrego do Couto são as que estão direta ou indiretamente associadas à Zona de Descarga ou de Ressurgências (Figura 5.4.11-1) e ao maciço que abriga o sistema de paleossumidouros e o sumidouro atual do Córrego do Couto, junto ao Polje do Paredão da Onça Parda (Figura 5.4.3-1). O tal conjunto é, de longe, o que está mais relacionado com o uso humano, desde a fase primitiva quando representava a segurança e o abrigo a grupos indígenas que ali deixaram restos alimentares que, hoje, são, dentre outros aspectos, um atrativo ao turismo, uma das finalidades mais relevantes, socioeconômica e culturalmente falando.

A Caverna do Morro Preto (Figura 1.4-2), com desenvolvimento horizontal atual de 832 metros e a Caverna do Couto, com 471 metros de desenvolvimento horizontal, totalizam um total horizontal de condutos topografados de 1.303 metros, o que representa 39,65% do total atual de condutos topografados (Quadro 4.8-1) de todo o conjunto do Carste do Córrego do Couto. Este conjunto encontra-se em estágios distintos quanto à sua relação ao aquífero do Córrego do Couto. De um lado é formado por níveis superiores correspondentes às paleorressurgências do Córrego do Couto e, de outro, compreendem o sistema de descarga deste aquífero.

Esta caverna se notabiliza basicamente por salões de abatimento de bloco e ramais vadosos. Em muitos pontos estes salões são interligados ao atual conduto do Córrego do Couto que compreende um dos ramais do que é reconhecido como Caverna do Couto.

Esta, por sua vez, tem um desenvolvimento horizontal plano de 471 metros e desnível de 26 metros, sendo constituída do conduto ativo do Córrego do Couto, desde a ressurgência subterrânea com acesso também pela Caverna

do Morro Preto, até a descarga formada pela Cachoeira do Couto. Cerca de 15 metros antes de o conduto ativo ser interrompido pela descarga do sistema. Próxima ao ponto de descarga, o conduto ativo é interceptado pelo conduto intermitente do afluente do córrego do Couto, que se estende desde o sumidouro até o ponto de interceptação, por cerca de 350 metros.

A Gruta Quatá (Anexo - Figura 7-1) situa-se sob a cela entre morros cársticos na zona de contato sudeste, junto ao Polje do Paredão da Onça Parda. Esta cavidade apresenta um desenvolvimento horizontal de 382 metros, integrando, por sua vez, o conjunto de paleocondutos e paleossumidouros do Córrego do Couto, apesar da sua considerável extensão horizontal.

5.4.9. Morros e morrotes cársticos

Os morros e morrotes cársticos (Figura 5-1) podem ser considerados como evidências da paleodrenagem fluvial idealizada por Karmann (1994). Tais evidências dizem respeito ao evidente alinhamento NE-SO, junto ao contato normal sudeste, coincidente com a direção dos planos de estratificação. Já a separação topográfica entre os morros e morrotes é devida ao entalhamento e alargamento de fraturas por dissolução. Como pode ser observado na Figura 4.11-1, é grande a inter-relação entre os lineamentos reconhecidos e inferidos a partir da fotointerpretação e análise de imageamento multiespectral e o alinhamento e os limites morfológicos dos morros e morrotes cársticos.

5.4.10. Campo de Lapiés⁸⁴

Esse termo é aplicado às feições identificadas no zoneamento proposto e que devido à dissolução superficial dos carbonatos resultaram em canaletas, sulcos e pináculos em afloramento calcários (Figura 5.4.10-1), de forma pioneira identificados no carste do Jura⁸⁵, equivalente a *rascles* dos Alpes franceses (de MARTONNE, 1913, p. 470). FORD e WILLIAMS (2009, p. 321-339) fazem uma ampla discussão sobre a gênese, a escala e a morfologia dos tipos, alertando para o fato de que a abrangência total e absoluta é impossível. No presente

⁸⁴. O termo francês *lapie* (ou *lapié*) foi cunhado pela primeira vez por Favre em 1867, mas a primeira classificação foi feita somente em 1924 por Cvijić, que ao adotá-lo tornou o termo internacionalmente conhecido. O termo germânico equivalente *karren* foi utilizado pioneiramente por Salomon Hirzel em 1829 e tem sido utilizado em algumas referências.

⁸⁵ Referente ao carste jurássico da região de Ouhans, no leste da França.

trabalho adotou-se o termo *lapiés* para designar as manifestações supracitadas que foram identificadas na área do Carste do Córrego do Couto.

Foram observados quatro campos de *lapiés* (Figura 5-1) na área do Carste do Córrego do Couto. Alguns *lapiés*, de tão proeminentes, assemelham-se a entradas de cavernas vadosas verticais, como é o caso do Abismo 6 Metros (Figura 5.4.10-2). Essa cavidade é o resultado da coalescência de antigos sulcos e canaletas menores e rasos, aprofundados e alargados por processo de dissolução. Essas feições, dada a sua situação topográfica e geográfica em relação ao Carste do Córrego do Couto, estão totalmente associadas à ação direta da captação água autogênica, pois não existe outra fonte de água que não seja esta a agir sobre o calcário exposto. Além disto, os *lapiés* não estão associados a dolinas. Embora sejam áreas bastante influenciadas pelo condicionamento estrutural, dada a existência de inúmeros lineamentos, esses campos de *lapiés* são marcados pela descontinuidade, ou melhor, ausência de um comportamento linear entre os sulcos, tendendo para uma gênese predominantemente determinada pela hidrologia de origem pluvial.

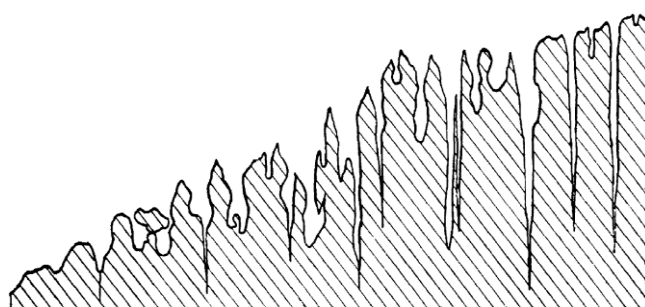


Figura 5.4.10-1. Lapié, ou, Karren⁸⁶

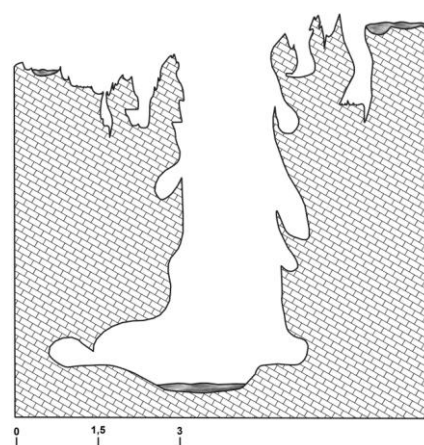


Figura 5.4.10-2. Macrokarren, ou, Macrolapié, sobre zona de karrens do Carste do Couto.

5.4.11. Zona de descarga, ou, ressurgência do Córrego do Couto

A zona de ressurgência ou de descarga (Figura 5.4.11-1), situada na extremidade sudoeste do Carste do Córrego do Couto é formada por um conjunto de múltiplas feições cárstico-espeleológicas que no contexto atual estão direta ou indiretamente associadas ao aquífero cárstico-espeleológico do

⁸⁶ Fonte: adaptado de De Martonne, 1913, p. 471 apud SANDERS, 1921, p. 593.

Córrego do Couto. Isto porque no conjunto que será descrito a seguir, há evidências de múltiplos estágios de desenvolvimento do carste tratado no presente trabalho e que têm a ver com a dinâmica que regula o nível de base ao qual o carste está associado.

É compreensível que, com base nos exemplos tratados no capítulo 2, o esperado é que a Zona de Ressurgência seja o local do geossistema onde está concentrada toda a drenagem tanto de origem alogênica quanto a de origem autogênica originada de forma difusa em inúmeras modalidades de recarga anteriormente descritas. Contudo as deduções não serão aplicadas de forma deliberada dado que a totalidade auto-organizativa esperada a respeito do comportamento dos processos cárstico-espeleológicos será em parte refutada pelos resultados sistematizados obtidos a partir da pesquisa.

Fazem parte da zona de descarga:

- Paleorressurgência superior do Córrego do Couto, ou, Caverna do Morro Preto;
- Paleorressurgência intermediária do Córrego do Couto, ou, Caverna do Couto;
- Ressurgência atual do Córrego do Couto, ou Cachoeira do Couto;
- Ressurgência do afluente do Córrego do Couto (adentra o sumidouro da Caverna do Couto), ou Gruta da Cachoeira do Couto.

A zona de descarga também compreende feições as quais não foi possível identificar nenhum vínculo morfológico ou hídrico com o conjunto associado ao Córrego do Couto. Por este motivo, aquelas foram associadas à ação da captação autogênica originada a partir de condutos formados por fissuras independentes daquelas que conduziram o aquífero do Córrego do Couto desde o ponto onde desaparece sob o Paredão da Onça Parda até o conduto considerado como “vencedor” pelo fato de supostamente concentrar todo o fluxo hídrico captado de forma difusa tanto pelo perímetro impermeável da bacia, quanto pelo solo e a partir deste pelo epicarste, bem como pelos afloramentos. As feições em questão compreendem a Gruta do Gambá; Caverna do Morro Preto 1.5; Caverna do Morro Preto 2.

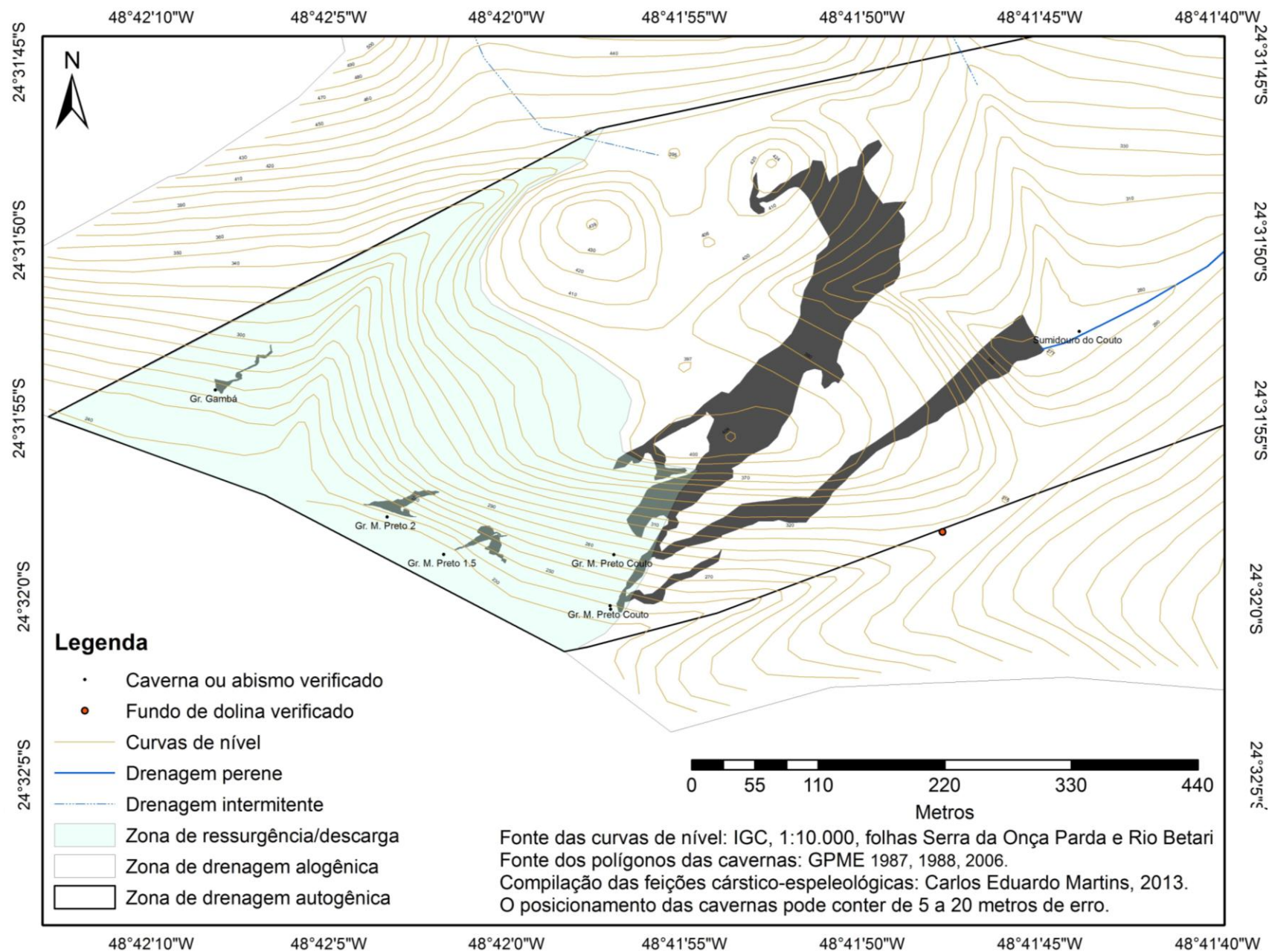


Figura 5.4.11-1. Zona de ressurgência, ou, descarga, do Carste do Couto.

Quanto à morfologia das feições da zona de descarga, trata-se da porção do espaço subterrâneo do Carste do Córrego do Couto que mais dispõe de cavernas ou espaços espeleológicos propriamente ditos, como pode ser observado na Figura 5.4.11-1. Nesta, os espaços subterrâneos correspondentes às cavernas, estão representados pelos polígonos pretos. Se do ponto de vista morfológico exocárstico é possível distinguir três níveis entre a ressurgência atual e as paleorressurgências do Córrego do Couto, o ambiente subterrâneo é extremamente complexo e integra o conduto ativo pelo qual flui o fluxo d'água, aos salões de abatimento e ramais vadosos já abandonados.

Tal complexidade foi, durante muito tempo, um obstáculo à percepção da própria comunidade de pesquisadores e de espeleólogos em admitir⁸⁷ a tal integração entre os vários estágios formados pelo espaço espeleológico do conjunto que compõe a zona de descarga do Córrego do Couto. Embora o reconhecimento da interligação já seja de conhecimento público, até o momento o conjunto formado pela Caverna do Morro Preto e pela Caverna do Couto é apresentado como compreendendo duas cavernas distintas. Esta ambiguidade foi retificada em algumas publicações, como é o caso do PM-PETAR (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010), mas ainda não há uma ratificação desta nos cadastros oficiais.

6. Síntese do Geossistema do Carste do Córrego do Couto

Os levantamentos levados a efeito permitiram perceber que o objeto inicial deste trabalho, a Cachoeira do Córrego do Couto, compreende uma fonte subterrânea de um longo curso d'água subterrâneo em um maciço de rocha carbonática mais solúvel, abastecido por cursos d'água perenes e intermitentes originados em terrenos adjacentes sobre rochas impermeáveis, mas que passam a fluir de forma concentradas em condutos, como é o caso do sumidouro sob o Paredão da Onça Parda (Figura 3.3-1). Além dessas modalidades de recarga, toda a superfície do calcário encontra-se coberta de solo residual, por sua vez, recoberto de vegetação, por meio do qual a água de

⁸⁷ Muito desta dificuldade se impôs devido à própria forma como se define o conceito de caverna contraditoriamente como um espaço subterrâneo acessível ao homem, ainda que se trate de um fenômeno natural. E por acessível entenda-se fisicamente penetrável ao homem.

precipitação saturada em CO₂ percola verticalmente, até penetrar o carbonato de forma difusa e lentamente por fissuras cada vez mais estreitas e menos numerosas.

Em determinada profundidade, tanto o escoamento quanto o fluxo concentrado são transportados pelo conduto principal até aflorar próximo à ressurgência subterrânea e daí ser expelido através da cavidade que dá origem à cachoeira do Córrego do Couto (Figura 3.3-2). Este comportamento que o fluxo d'água demonstra ter faz do conjunto de formas estudadas um ambiente sistêmico de transmissão de água, que caracteriza de forma inequívoca o que nos levantamentos do capítulo 2 foi devidamente explicitado com a evolução e o atual estágio do conceito de carste, utilizado como ferramenta teórica para a explicação das feições, suas inter-relações e funcionalidade para o conjunto estudado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fato de o objeto deste estudo compor um conjunto de atrativos turísticos de uma unidade de conservação de proteção integral, o que, por tanto, torna-o um fenômeno natural que tem funcionalidade/finalidade socioeconômicas e culturais, ou seja, sua significância tem relação direta com a demanda por lazer ou recreação que os parques oferecem aos seus visitantes. Como a norma que define o acesso aos parques passa pela exigência de que o visitante esteja acompanhado de um condutor ou monitor ambiental, o local pode ser caracterizado como um ambiente de trabalho. Assim, cavernas, cachoeiras, trilhas e até a fauna esparsa, são produtos da rede que compreende o turismo ao nível local.

A abordagem geossistêmica, permitiu a compreensão de que o objeto de estudo, ainda que de origem natural, independente e anterior à própria existência humana tendo, de forma teleológica, finalidades quase que essencialmente sociais, econômicas e culturais.

No entanto, este status pode ser considerado muito recente, tendo em vista o que as referências utilizadas demonstraram existirem de evidências de formas de ocupação humana anteriores à que hoje atribui à Cachoeira do Couto seu valor estético com fins mercadológicos. A interpretação das fotos aéreas da

área e na análise de imageamento multiespectral identificou evidências na própria paisagem de mudanças na forma de ocupação humana do ambiente ao qual a Cachoeira do Couto está atualmente associada.

O que anteriormente à instalação do parque era área de uso rural por famílias ocupantes que extraíam da terra e da floresta seu sustento, hoje têm acesso restrito àquelas e é destinado ao turismo, conservação e pesquisa, ao menos formalmente. Por outro lado, esta mesma comunidade de antigos ocupantes das terras do parque, viu no turismo uma forma de suprir-se de renda para, em vista dos obstáculos impostos pela política de conservação, adquirir quase que a totalidade de seus bens, agora, no comércio.

A comparação entre as figuras 3.1-3 e 3.1-4 mostra como esta dinâmica social tem reflexos na paisagem, mais especificamente, na cobertura vegetal da área do estudo. As antigas áreas destinadas à roça e ao quintal e que na imagem são demarcadas pela superfície desnuda, atualmente, encontram-se em estágio avançado de reocupação por espécies pioneiras, o que gera uma aparente regeneração da vegetação, pois estes fragmentos não dispõem de diversidade. Soma-se a isto o fato de que o caminhar das diversas visitas ao campo permitiu a constatação de que há inúmeros pontos de perda de diversidade devido à manutenção do extrativismo de recursos florestais, especialmente o Palmito Jussara, mesmo com a regulamentação do parque.

A remoção das famílias de ocupantes e o encerramento das atividades extrativistas dentro dos limites do parque entre as décadas de 1980 e 2000, como parte da efetivação da política de proteção ambiental, surtiram resultados verificados na análise comparativa entre as figuras 3.1-3 e 3.1-4. O recobrimento florestal constatado mostrou toda a capacidade de resiliência da vegetação que rapidamente revestiu os morros e morrotes cársticos cobertos de solo residual. Muito embora as concepções que tratam as atividades humanas como indutoras de geomorfogênese (TRICART, 1976), não foi possível verificar se a reorientação no uso e ocupação do solo especificamente na Bacia do Córrego do Couto gerou algum resultado no regime de erosão-sedimentação nas feições cárstico-espeleológicas.

As visitas ao campo foram necessárias, pois a Cachoeira do Couto foi definida, com base nas referências bibliográficas, como um fenômeno cárstico, mais

especificamente, como uma fonte ou descarga de um aquífero subterrâneo. Este, por sua vez, teve suas zonas de captação ou de recarga definidas, em um primeiro momento, por meio de análise da base cartográfica disponível, tanto na escala 1:50.000 (IBGE, 1987) e 1:10.000 (IGC, 2001). A partir desta última, foram vetorizadas as curvas de nível, foram plotados os topos, foi definida a bacia de drenagem do Córrego do Couto e foi confeccionado o mapa de fundo utilizado como referência para o caminhar.

A análise do imageamento multiespectral permitiu inferir as informações que auxiliaram na definição da bacia de captação da recarga cárstica, mas o resultado mais profícuo foi a indução dos lineamentos a partir das discontinuidades no comportamento da drenagem e do relevo. Estas duas últimas informações foram decisivas para a delimitação das zonas de drenagem alogênica e autogênica, bem como de algumas feições cársticas de captação d'água reconhecíveis nesta escala, posteriormente confirmadas nas visitas ao campo.

Como a morfologia cárstica tem grande relação com a ação erosiva e corrosiva da rocha carbonática pela água, verificou-se a partir da análise de dados de chuva e de hipóteses sobre o paleoclima regional, que o regime hídrico-climático que deu início e que mantém os processos cársticos em curso, abastece permanentemente o carste de água, embora haja certa sazonalidade ao longo do ano em termos de volume, com o acréscimo de eventos extremos.

A perenidade hídrica, mesmo em períodos de estiagem prolongada, da Cachoeira do Córrego do Couto, um dos atrativos mais importantes do Núcleo Santana do PETAR, deve-se à complexidade nas modalidades de recarga composta de fontes alogênicas e de uma área de captação autogênica coberta por uma espessa camada de solo residual e de recoberta de floresta tropical. Nessa, a infiltração mais lenta atinge o epicarste de forma mais difusa, mas garante um abastecimento praticamente perpétuo de água para a manutenção do processo de carstificação até concentrar-se em forma de fluxo turbulento e por fim concentrar-se no conduto principal até ser despejado na Cachoeira do Córrego do Couto. Assim, é possível afirmar que o carste estudado é um sistema dinâmico aberto com características similares às estruturas auto-organizativas.

Se, de um lado, a chuva é o agente modelador da rocha carbonática, este trabalho de desgaste é incrementado pela elevada taxa de CO_2 , considerada responsável direta pela dissolução iniciada a partir do fluxo lento através de fissura até o alargamento suficiente para ser considerada um conduto por meio do qual a água passa a fluir de forma mais rápida. O processo todo é potencializado pelo aumento do gradiente hidráulico promovido pelo constante soerguimento resultante de movimentos isostáticos de escala regional e continental.

A morfologia das feições cárstico-espeleológicas do Geossistema do Carste do Córrego do Couto apresenta significativas evidências da dinâmica história geológica local e regional. A começar pelo próprio alinhamento dos morros e morrotes entremeados por dolinas, o que pode indicar que anteriormente à sua atual condição hídrica subterrânea, o Córrego do Couto era um importante componente de uma superfície fluviocárstica, praticamente oclusa nos dias de hoje. Depósitos sedimentares de calcita (espeleotemas) naturalmente edificadas sobre antigos leitos fluviais e posteriormente erodidos pelo retrabalhamento erosional; a cascalheira fluvial (Figura 4.2.1-1) presa ao atual teto da caverna do Morro Preto e os terraços aluviais posteriormente entalhados junto ao sumidouro do afluente do Córrego do Couto, são fortes indícios que a provisão de energia pelo gradiente hidráulico que deu origem à morfologia do carste estudado pode ter sofrido revezes sazonais que fizeram oscilar o ritmo da carstogênese-espeleogênese.

De certa forma, a carstogênese-espeleogênese cumpre um papel similar àquele que a incisão dos vales promove nos relevos superficiais. Tanto que a situação do Abismo Collet (Figura 5.4.6.1-1) que no passado fez as vezes de uma caverna vertical vadosa de fundo de dolina, ou seja, responsável pela captura do escoamento superficial que convergia para a base daquela, atualmente constitui-se do que se denominou de abismo de borda de dolina. Karmann (1994) esclarece que estes casos são devidos aos processos erosivos que ao mesmo tempo reduzem verticalmente o volume da rocha, acompanhado o rebaixamento do lençol freático e fazem recuar as vertentes devido à erosão remontante.

As pesquisas levadas a efeito também permitiram verificar que o conjunto do Carste do Córrego do Couto, dada a sua condição topográfica deprimida em área de sinclinais e anticlinais é uma faixa de transmissão subterrânea de água (FORD e WILLIAMS, 2007). Este é considerado o estado da arte mundial do conceito de carste. A velocidade desta transmissividade, ao menos em relação às fontes de recarga alogênica, é de 4 horas entre a entrada de chuva no sumidouro existente sob o Paredão da Onça Parda e a descarga na Cachoeira do Couto (FERRARI, HIRUMA E ARMANI, 2010). Não foi possível calcular a velocidade de transmissão exercida pela captação autogênica nos condutos das 54 cavernas verticais, sub-verticais e sub-horizontais, inventariadas no Quadro 3.7-1. Sendo esta então uma tarefa a ser realizada em pesquisas futuras.

Outro aspecto verificado com o auxílio da informação oral de Ferrari, indica que o sistema de descarga não converge de forma concentrada para um único conduto para, a partir daí, ser despejada para fora do sistema. Ao contrário, o fato de que o afluente do Córrego do Couto que adentra o sumidouro de mesmo nome migrar para o meio subterrâneo e seguir por um conduto independente e somente se juntar ao volume despejado pela cachoeira do Córrego do Couto já fora do maciço, sugere que o carste é realmente um aquífero anisotrópico e heterogêneo que impõe dificuldades à modelação (FORD, 2003, p. 1-12).

Por fim, o trabalho ora apresentado mostrou que em relação à experiência empírica da primeira visita à Cachoeira do Córrego do Couto, quando a dimensão estética deu lugar à necessidade de saber mais, o que foi percebido no desenrolar do trabalho sob o viés geossistêmico é que há muito mais a explorar quanto às potencialidades turísticas além da estética proporcionada pelo turismo de natureza pura e simples. Trata-se de um lugar em que a recreação pode e deve ser acompanhada de práticas educacionais e culturais mais abrangentes e que podem, inclusive, dinamizar também todo o aparato de hospitalidade existente e hoje bastante dependente do turismo.

8. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Províncias Geológicas e Domínios Morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**. Instituto de Geografia, São Paulo, USP, nº 20. 1970.

AB'SABER, A. N. A Organização Natural das Paisagens Inter e Subtropicais Brasileiras. **Geomorfologia**. Instituto de Geografia, São Paulo, USP, nº 41, 1973.

AB'SABER, A. N. Geomorfologia e Espeleologia. **Espeleo-Tema. Boletim Informativo, Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE**. São Paulo. Vol. 12, p. 9-21, 1979.

ABREU, A. A. A Teoria Geomorfológica e sua Edificação: Análise Crítica. **Revista IG**. São Paulo. 4 (112):5-23, jan./dez., 1983.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; MELO, M. S.; BISTRICHI, C. A. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT. São Paulo. Vol. I. Nota Explicativa. 126 p. 1981.

ANDREO, B.; CARRASCO, F.; VALSERO, J. J. D. e LAMOREAUX, J. W. **Advances in Research in Karst Media**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Londres/Nova York. 519 p. 2010.

ANDREYCHOUK, V.; DUBLYANSKY, Y; EZHOV, Y; LYSENIN, G. Karst in the Earth's Crust: its distribution and principal types. Poland: University of Silesia/ Ukrainian Academy of Sciences/ Tavrichesky National University-Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, 2009.

ANDREYCHOUK, V. N. **Natureza Sistêmica da Paisagem Cárstica. Espeleologia e Carstologia**, nº 3. Simferopol, p. 47-69, 2009.

BAKALOWICZ, M. Karst Groundwater, a Challenge for New Resources. **Hydrogeological Journal**, Nº 13, p.148–160, 2005.

BECKINSALE, R. P., CHORLEY, R. J. e DUNN, A. J. **The History of the Study of Landforms or the Development of Geomorphology. The Life and Work of William Morris Davis**. Vol. 2. Routledge. Londres. 874 p. 2009.

The History of the Study of Landforms or the Development of Geomorphology. Historical

And Regional Geomorphology 1890–1950. Vol. 3. Routledge. NY, EUA. 528 p. 1991.

BERTRAND, G. Paysage et geographie physique globale. Esquisse méthodologique. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, Toulouse**, v. 39 n. 3, p. 249-272, 1968. Publicado no Brasil no Caderno de Ciências da Terra. Tradução de Olga Cruz. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 13, 1972.

BERTALANFFY, K. L. V. **Teoria Geral dos Sistemas.** 2ª edição. Ed. Vozes. São Paulo. 351 p. 1975.

BOURGIN, A. Hydrographie karstique. La Question du Niveau de Base. **Revue de Géographie Alpine.** Volume 33, nº 33-1, p. 99-107, 1945.

CAMPANHA, G. A. da C.; GIMENEZ FILHO, A.; CAETANO, S. L. V.; PIRES, F. A.; DANTAS, A. S. L.; TEIXEIRA, A. L.; DEHIRA, L. K.. **Geologia e Estratigrafia da Região das folhas Iporanga e Gruta do Diabo, Vale do Ribeira, São Paulo.** In Anais do XXXIV congresso Brasileiro de Geologia. Goiânia. Vol. 2, p. 1058-1073. 1986.

CAMPANHA, G. A. C. **Tectônica, Proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná.** (Tese de doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 296 p. 1991.

CAPEL, H. **Filosofia y Ciencia en la Geografia Contemporânea.** Temas Universitarios. Barcanova, 2ª Edição. p. 509, 1987.

CARNEIRO, C. D. R. e PONÇANO, W. L. As Unidades Geológicas do Estado de São Paulo. In ALMEIDA et al. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT. Vol. 1, 126 p. São Paulo, 1981.

CASTRO, C. E. **O caminho entre a percepção, o impacto no solo e as metodologias de manejo. O estudo de trilhas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – SP.** Deptº Geociências, UEL, Londrina-PR. Dissertação de mestrado. 2004.

CORBEL, J. Les Études sur le Karst Depuis dix ans. **Revue de Géographie de Lyon.** Vol. 26 nº 1. p. 67-70. 1951.

_____ J. Notes sur Les Karsts Tropicaux. **Revue de Géographie de Lyon**. Vol. 30 n° 1. p. 49-54. 1955.

_____ J. Le Karst Proprement Dit, Étude Morphologique. **Revue de Géographie de Lyon**. Vol. 31 n° 4. pp. 303-317. 1956.

CUCCHI, F et al. Recent Developments in Knowledge of the Hydrogeology of the Classical Karst. **Acta Carsologica**. Ljubljana. 29/1, 4. p. 55-78. 2000.

CVIJIĆ, J. Hydrographie Souterraine et Évolution Morphologique du Karst. In: Recueil des Travaux de L'institut de Géographie Alpine. Tome 6, N°4. p. 375-426, 1918.

_____ The Dolines. In SWEETING, M. M. Karst Geomorphology. Hutchinson Ross Publishing Company, Stroudsburg, USA. p. 23-41. 1981.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **The Geographical Journal**, The Royal Geographical Society - Institute of British Geographers. Londres. Vol. 14, n° 5, p. 481-504, 1899.

_____ The Origin of Limestone Caverns. **Science**. NY, EUA. Vol. 73, n° 1891, p. 327-331, 1931.

DIEGUES, A. C. S. **O Mito Moderno da Natureza Intocada**. 3ª edição. HUCITEC. São Paulo. 169 p. 2001.

FABRE, G. Discussion sur Le Thème: Rapports Entre Karst et Structure. **Revue de Géographie Alpine**. Tomo 66, n° 3. p. 355-356, 1978.

FERRARI, J. A.; HIRUMA, S. T. e ARMANI, G. **Characterizing flow behaviour in karst systems using time series analyses – Betari Valey - Brazil**. Geological Society of America - Annual Meeting - 31 Oct.–3 Nov. 2010, Denver, Colorado, USA, 2010.

FORD, D. Perspectives in karst hydrogeology and cavern genesis. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers. **The Virtual Scientific Journal**. p. 1-12, 2003.

FORD, D. e WILLIAMS P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. Ed. John Wiley e Sons, 562 p. Londres, 2007.

FRUMKIN, A. e FISCHHENDLER, I. Morphometry and Distribution of Isolated Caves as a Guide for Phreatic and Confined Paleohydrological Conditions. **Geomorphology** Elsevier. nº 67, p. 457- 471, Jerusalém, 2005.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Plano de Manejo Espeleológico – Parque Estadual e Turístico do Alto Ribeira**. São Paulo - SP, 2010.

GABROVŠEK, F. On Denudation Rates in Karst. **Time in Karst**, p. 7-13. Postojna, 2007.

GOLDSCHIEDER, N., DREW, D. e WORTHINGTON, S. Introduction. In GOLDSCHIEDER, N. e DREW, D. **Methods in Karst Hydrogeology**. International Contributions to Hydrogeology Nº 26. Taylor e Francis Group, p. 01-08. Londres, 2007.

GOLDSCHIEDER, N. e NEUKUM, C. Fold and Fault Control on the Drainage Pattern of a Double-Karst-Aquifer System, Winterstaude, Austrian Alps. **Acta Carsologica**, nº 39/2, p.173-186. Postojna, 2010.

GORBUNOVA, K. A. **História do Carste e das Cavernas da região de Perm: Parte 1 (1703 - 1917)**. Perm, p. 11-34. 1961. Arquivo digital em russo.

GORBUNOVA, K. A. **História do Carste e das Cavernas da região de Perm, depois da Grande Revolução Socialista de Outubro (1917-1955)**. p. 79-101, Perm, sem data. Arquivo digital em russo.

GRANATO, L. **A Lavoura do Arroz de Iguape: Considerações Apresentadas ao Ilmo. Sr. Dr. Secretario da Agricultura**. Serviço Agrônômico do Estado de São Paulo. 6º Districto Agrícola. Officio nº 65. Typographia do Diário Oficial. São Paulo. 66 p. 1902.

GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 367 p. 1992.

GRIMES, K. G. Syngenetic Karst in Australia: A Review. **Helictite**, 39(2): 27-38, 2006.

GROVES, C. Hydrological Methods. In GOLDSCHIEDER, N. e DREW, D. **Methods in Karst Hydrogeology**. International Contributions to Hydrogeology nº 26. Taylor e Francis Group. Londres, p. 45-64. 2007.

GRUND, A. The Geographical Cycle in the Karst. Traduzido por Mary Fargher, do original "Der Geographische Zyklus im Karst", publicado em Zeitschr. Ges. Erdkunde 52. p. 621-640, 1914. In SWEETING, M. M. (Ed). **Karst Geomorphology**. Hutchinson Ross Publishing Company: Benchmark Papers in Geology. Oxford, RU, p. 54-59. 1981.

GUERRA, A. T. e GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 5ª edição. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 648 p. 2006.

GUIMARÃES, J. E. P. Grutas Calcárias. Estudos espeleológicos no Vale do Alto Ribeira. **Boletim nº 47 - Instituto Geográfico e Geológico**. Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 09-70, 1966.

GUNN, J. **Encyclopedia of Caves and Karst Science**. Fitzroy Dearborn. Londres/Nova York, 902 p. 2004.

_____ Is the Term 'Karst Aquifer' Misleading? In ANDREO, B. et al. **Advances in Research in Karst Media**. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg Londres/Nova York, p. 57-62. 2010.

GVOZDETSKII N. A. **Problemas de Estudo e Aplicação do Carste**. Moscow, 391 p. 1972. Arquivo digital em russo.

HALLIDAY, W. R. Pseudokarst in the 21st Century. **Journal of Cave and Karst Studies**, Vol. 69, nº 1, p. 103-113, 2007.

HARDT, L. P. A. e HARDT, C. **Gestão Urbana em Áreas de Mananciais Hídricos Subterrâneos: Estudo de Caso na Região Metropolitana de Curitiba – Paraná**. Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Sem data.

HARDT, R., RODET, J. e PINTO, S. A. F. O Carste. Produto de uma Evolução ou Processo? Evolução de um Conceito. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, Vol. Especial, VIII SINAGEO, nº 3, Set. 2010.

HÄUSELMANN, Ph. UIS Mapping Grades. **International Journal of Speleology**. Official Journal of Union Internationale de Spéléologie. p. IV-VI, 2010.

HEGGEN, R. J. **Underground Rivers: From the River Styx to the Rio San Buenaventura with Occasional Diversions**. Publicação digital do autor, 1081 p. 2012. Disponível em: <http://www.unm.edu/~rheggen/UndergroundRivers.html>. Acessado em 09/01/2014.

HIRUMA, S. T.; FERRARI, J. A.; AMARAL, R. e HONORIO, R. F. Mapeamento e Caracterização de Feições Cársticas de Superfície na Faixa Itaiacoca nas Regiões de Nova Campina e Bom Sucesso de Itararé, SP/PR. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 27-28 (1/2), p. 1-12. 2007.

HUMBOLDT, A. V. e BONPLAND, A. **Narrativa Pessoal de Viagens às Regiões Equinociais da América Durante os anos 1799-1804**. George Bell e Sons. Londres. Vol. 1. 1907.

HUNKELER, D. e MUDRY, J. Hydrochemical Methods. In GOLDSCHIEDER, N. e DREW, D. **Methods in Karst Hydrogeology**. International Contributions to Hydrogeology, nº 26. Taylor e Francis Group. Londres, p. 93-122. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Manuais Técnicos e Geociências nº 5. 2ª Edição. IBGE. Rio de Janeiro. 175 p. 2009.

IVANAUSKAS, N. M. A vegetação do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), São Paulo, Brasil. **Biota Neotropical**. São Paulo. Vol. 12, nº 1, p. 147-177. 2012.

JAGNOW, D. H. et al. History of Sulfuric Acid Theory of Speleogenesis in the Guadalupe Mountains, New Mexico. **Journal of Cave and Karst Studies** 62(2): p. 54-59, 2000.

JAPIASSÚ, H. e MARCONDES, D. **Dicionário Básico de Filosofia**. Jorge Zahar. Rio de Janeiro. 212 p. 2001.

JEANNIN, P-Y., GROVES, C. e HÄUSELMANN, Ph. Speleological Investigations. In GOLDSCHIEDER, N. e DREW, D. **Methods in Karst**

Hydrogeology. International Contributions to Hydrogeology, nº 26. Taylor e Francis Group. Londres, p. 25-44. 2007.

JENNINGS, J. N. **Karst Geomorphology.** Basil Blackwell Inc. New York, EUA, 293 p. 1985.

KANT, I. **Schriften Zur Physischen Geographie.** Compilação de Karl Rosenkranz e Friedr. Wilh. Schubert (Ed.). Akademie der Wissenschaften. Berlin. 808 p. 1839.

KARMANN, I. e SANCHEZ, L. E. Distribuição das Rochas Carbonáticas e Províncias Espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema.** Boletim Informativo, Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. São Paulo. Vol. 14, p. 105-167. 1979.

KARMANN, I. Ciclo da Água: Água Subterrânea e sua Ação Geológica. In TEIXEIRA, Wilson et. al. (organiz.). **Decifrando a Terra.** Companhia Editora Nacional. 2ª edição. São Paulo, p. 113-138. 2009.

KARMANN, I. **Evolução e Dinâmica Atual do Sistema Cárstico do Alto Vale do Ribeira de Iguape, Sudoeste do Estado de São Paulo.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 228 p. 1994.

KATES, R. W. **Risk Assessment of Environmental Hazard.** ICSU/SCOPE Report No. 8, Wiley International, 1978.

KINGSLEY, C. **Town Geology.** Cornell University Library. D. Appleton And Company. Nova York. 239 p. 1873.

KLIMCHOUK, A. B. & ANDREYCHUK, V. N. Sobre a Essência do Carste. **Espeleologia e Karstology.** № 5. Simferopol, p. 22-47, 2010.

KLIMCHOUK, A. B. and FORD, D. C. Hypogene Speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology. **Special Paper nº 1.** 100 p. Simferopol, 2009

KLIMCHOUK, A. B. Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. **Special Paper nº 1,** 106 p. Simferopol, 2007.

_____ Towards Defining, Delimiting and Classifying Epikarst: Its Origin, Processes and Variants of Geomorphic Evolution. **Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers**, nº 2 (1), p. 1-13. 2004.

KLIMCHOUK, A.B. and FORD, D.C. Types of Karst and Evolution of Hydrogeologic Settings. in KLIMCHOUK, A.B., FORD, D.C., PALMER, A.N. and DREYBRODT, W. (Editors). **Speleogenesis; Evolution of Karst Aquifers**. Huntsville, Al. National Speleological Society of America, p. 45–53, 2000.

KNECHT, T. Formações Estruturais Particularmente Karsticas do Município de Apiaí. In. **Geografia**. Publicação Trimestral da Associação dos Geógrafos Brasileiros – AGB. São Paulo. Ano 1, nº 1, p. 98-109, 1935.

KOHLER, H. C. **Geomorfologia Cárstica na Região de Lagoa Santa, MG**. Tese de doutorado. USP, FFLCH. São Paulo. 113 p. 1989.

KONG A SIOU L. et al. Flash Floods Forecasting in a Karstic Basin Using Neural Networks: the Case of the Lez Basin (South of France). In ANDREO, B. et al. **Advances in Research in Karst Media**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Londres/Nova York, p. 215-222. 2010.

KOVÁCS, A. e SAUTER, M. Modelling karst hydrodynamics. In GOLDSCHIEDER, N. e DREW, D. **Methods in Karst Hydrogeology**. International Contributions to Hydrogeology, nº 26. Taylor e Francis Group. Londres, RU, p. 201-222. 2007.

KRANJC, A. About the name Kras (Karst) in Slovenia. In: **INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY, 13, 2001, Brasília. Proceedings**. Sociedade Brasileira de Espeleologia/União Internacional de Espeleologia, Brasília. 2001. 1 CD ROM.

KRONE, R. As Grutas Calcárias de Iporanga. **Revista do Museu Paulista**. São Paulo. Vol. III, p. 477-500. 1898.

_____ Grutas Calcárias do Vale da Ribeira. **Revista do Centro de Ciências, Letras e Artes de Campinas**. Campinas. Ano III, nº 02, 30/04 a 01/07, pag. 90-95. 1904.

_____ **Estudo sobre as Cavernas do Vale do Rio Ribeira**. Archivo do Museu Nacional. Vol. XV, p. 139-166. 1909.

_____ Informações Ethnographicas do Valle do Rio Ribeira de Iguape. In **Exploração do Rio Ribeira de Iguape**. 2ª Edição. Typographia Brasil de Rothschild e Co. São Paulo, p. 23-34, 1914.

LAMEGO, M. **Positivismo Lógico e Geografia. Uma interpretação da relação entre o Círculo de Viena e a Geografia Quantitativa**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro Instituto de Geociências. Rio de Janeiro. 97 p. 2006.

LEHMANN, H. La Terminologie Classique du Karst sous l'Aspect Critique de la Morphologie Climatique Moderne. **Revue de Géographie de Lyon**. Vol. 35 nº 1, p. 1-6. 1960.

_____ State and Tasks of Research on Karstphenomena. **Report on the Symposium of the Karst Commission of the I. G. U. in Stuttgart, July 28-31st 1963**. Band XVIII, Heft 2 ferd. Dommlers verlag/Bonn Juni, p. 81-83, 1964.

LEPSCH, I. F.; PRADO, H.; MENK, J. R. F.; SAKAI, E.; RIZZO, L. T. B. **Levantamento de Reconhecimento com Detalhes dos Solos da Região do Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo**. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto Agrônômico. Mapa na escala 1:250.000. 1999.

MARINHO, M. A. Contribuição à Geomorfologia Cárstica do Vale do Betari. Iporanga-Apiáí, São Paulo. Trabalho de Graduação individual. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

MARTONNE, E. de. **Traité de Géographie Physique**. Deuxième Édition. Librairie Armand Colin. Paris, 1913.

MENDOZA, J.G., JIMINES, J.M. y CANTERO, N. O. (Orgs) **El Pensamiento Geográfico. Estudio Interpretativo y Antologia de Textos (de Humboldt a las Tendências Radicales)**. Segunda edición corregida y aumentada. Madrid. Alianza Editorial. 545 p. 2002.

NICOD, J. J. Cvijic, La Géographie des Terrains Calcaires. **Rev. Méditerranée**, 2e année, nº 4. p. 82-86. 1961.

OLIVEIRA, J. B. de. **Solos do Estado de São Paulo: Descrição das Classes Registradas no Mapa Pedológico**. Campinas, Instituto Agrônomo, 112 p. 1999.

Pazzaglia, F. J. Landscape Evolution Models. Development in Quaternary Science. Vol.1, p. 247-273, 2003.

PENCK, A. **Über das Karstphänomen**. Viena, p. 01-38. 1903.

PILÓ, L. B. Revisão de Literatura: Geomorfologia Cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Vol. 1 nº 1 p. 88-102, 2000.

RADULOVIĆ, M. M. A New View on Karst Genesis. **Carbonates and Evaporites**. Springer-Verlag. Versão preliminar. p. 1-14, 2013.

RECLUS. J. J. É. **Histoire d'un Ruisseau**. Bibliothèque d'Éducation et de Recreation. J. Hetzel et Cie Paris, FRA. 320 p. 1869. Disponível em <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k64040d>. Acessado em 09/01/2014.

ROGLIĆ, J. "Karst Valleys" in the Dinaric Karst. **Erdkunde**. Vol. 18 Issue: 2 p. 113-116, 1964.

_____ Alguns Problemas Fundamentais do "Carste". In **Boletim Geográfico**. Conselho Nacional de Geografia, IBGE. Ano XXIV, nº 184, p. 12-23. Rio de Janeiro, 1965.

_____ Historical Review of Morphological Concepts. In Herak, M. e Springfield, T. (ed.). Karst: Important Karst Regions of the Northern Hemisphere. Elsevier Pub. Co., p. 1-18, Holanda, 1972. Reimpresso por Sweeting, M. M. (Ed). **Karst Geomorphology**. Hutchinson Ross Publishing Company: Benchmark Papers in Geology. Oxford, RU, p. 12-22. 1981.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia/USP**. São Paulo, nº 6. p.17-29. 1992.

SANCHEZ, L. E. O sistema: Unidade Lógica de Referência dos Estudos Espeleológicos. **Espeleo-Tema**. Boletim Informativo, Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. São Paulo. Vol. 16 (3). p. 3-14. 1992.

SANDERS, E. M. The Cycle of Erosion in a Karst Region (After Cvijic). **Geographical Review**. American Geographical Society. Vol. 11, nº 4, pp. 593-604. Oct., 1921.

SOTCHAVA, B. V. O Estudo de Geossistemas. **Métodos em Questão**. Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo, nº 16, 49 p. 1977.

SWEETING, M. M. **Karst Geomorphology**. Hutchinson Ross Publishing Company, Stroudsburg, EUA. 427 p. 1981.

_____ **Karst Landforms**. Macmillan, London, RU. 362 p. 1972.

THOMAS, K. **O Homem e o Mondo Natural**. Editora Companhia das Letras. São Paulo. 537 p. 1983.

TRAVASSOS, L. E. P. **A Importância Cultural do Carste e das Cavernas**. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Programa de Pós-Graduação em Geografia Tratamento da Informação Espacial. PUC Minas. Belo Horizonte, 2010.

TRICART, J. O Karst das Vizinhanças Setentrionais de Belo Horizonte, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. Vol. 18, nº 04, p. 451-470. 1956.

_____ In **Principes et Méthodes de la Géomorphologie**, Masson et Cie. Editeurs. Paris. 487 p. 1965.

_____ A Geomorfologia nos Estudos Integrados de Ordenamento do Meio Natural. **Boletim Geográfico do IBGE**, Rio de Janeiro. Vol. 34, nº 251, p. 15-42, 1976.

VAKHRUSHEV, B. A. Geomorfologia Cárstica e o Conceito de Topografia Cárstica. **Espeleologia e Carstologia**. Vol. 1, p. 47-53. Simferopol, 2008. Arquivo digital em russo.

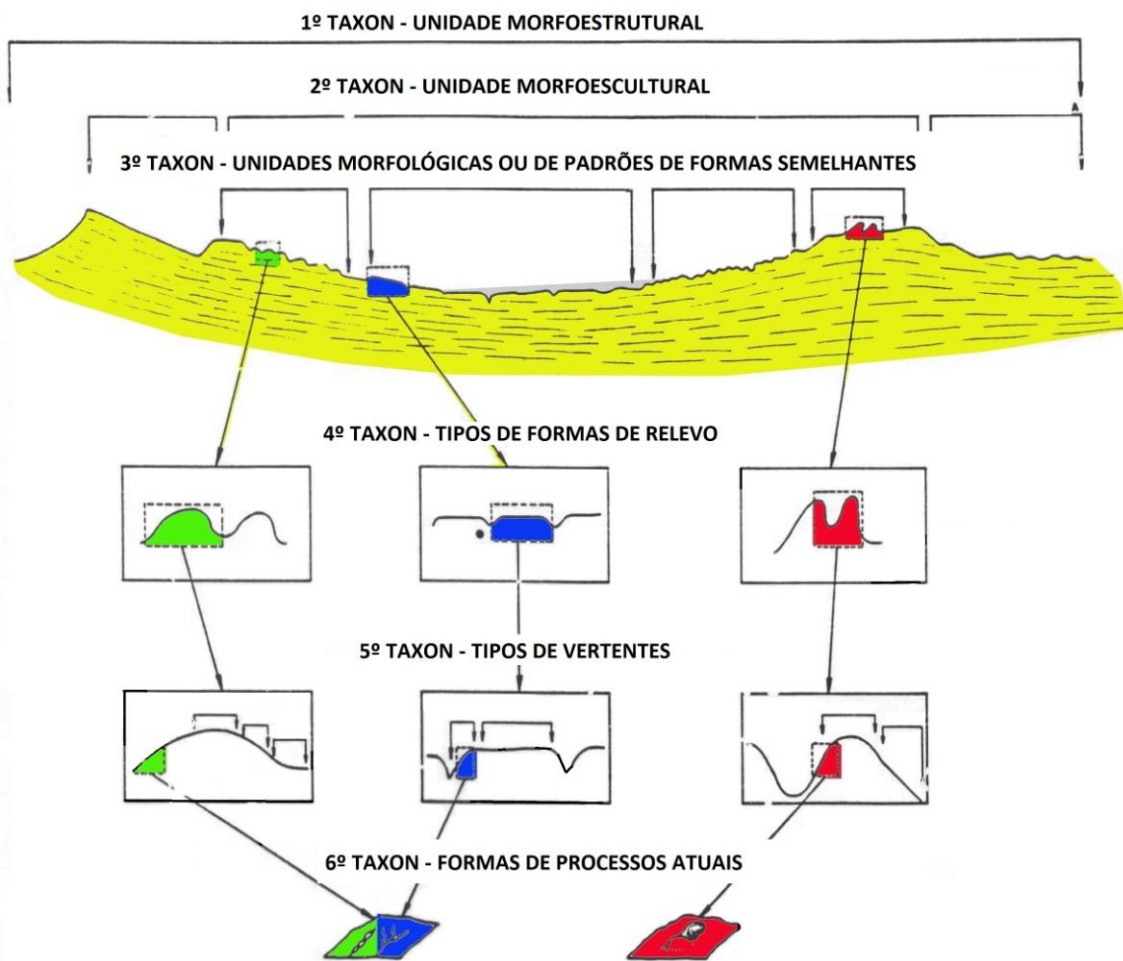
WILLIAMS, P. W. The Role of the Epikarst in Karst and Cave Hydrogeology: A Review. **International Journal of Speleology**. Bologna, ITA. 37 (1), 1-10. 2008.

9. ANEXOS

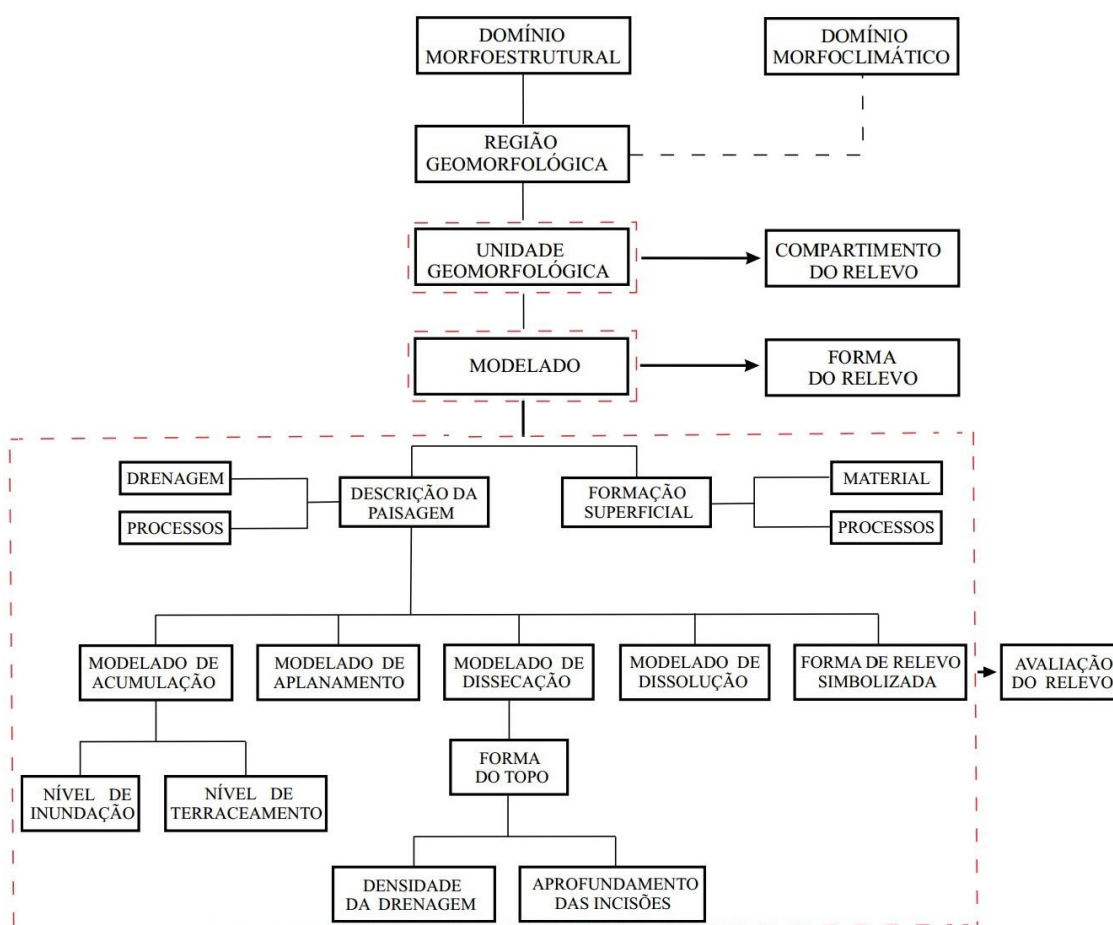
Anexo 9-1. Classificação Taxonômica dos Fatos Geomorfológicos. A. Cailleux e J. Tricart (1956)

ORDEM	UNIDADE DE SUPERFÍCIE Km ²	CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES exemplos	UNIDADES CLIMÁTICAS CORRESPONDENTES	MECANISMOS GENÉTICOS QUE COMANDAM O RELEVO	ORDEM DE GRANDEZA DE PERMANÊNCIA TEMPORAL (anos)
I	10 ⁷ centenas de milhões	Continentes, Bacias Oceânicas (Configuração do Globo)	Grandes conjuntos zonais comandados por fatores astronômicos	Diferenciação da crosta terrestre (SIAL e SIMA)	10 ⁹ bilhões de anos
II	10 ⁶ dezenas de milhões	Grandes conjuntos estruturais Escudo Escandinavo, Bacia do Congo Bacias Sedimentares Fanerozóicas, Faixa dos Dobramentos Brasileiros, Crátons	Grandes tipos de clima Interferência das influências geográficas com os fatores astronômicos)	Movimentos da crosta terrestre, como a formação dos geossinclinais. Influência climática sobre a dissecação	10 ⁸ centenas de milhões
III	10 ⁴ centenas de milhares	Grandes unidades estruturais Bacia de Paris, Jura, Maciço Central) Cinturão Orogênico do Atlântico	Diferenciação dos tipos climáticos, mais sem grande importância para a dissecação	Unidades tectônicas tendo uma ligação com a paleogeografia. Velocidades de dissecação influenciada pela litologia	10 ⁷ dezenas de milhões
IV	10 ² centenas	Unidades tectônicas elementares Maciços montanhosos, fossas, horsts Serra do Mar	Climas regionais com influências geográficas sobretudo nas regiões montanhosas	Influência predominante da tectônica e secundariamente da litologia.	10 ⁷ dezenas de milhões
LIMITE DA COMPENSAÇÃO ISOSTÁTICA					
V	10 dezenas	Acidentes tectônicos Anticlinais, sinclinais, montes, vales Falha de Cubatão	Clima local, influenciado pela disposição do relevo	Predomínio da litologia e da tectostática. Influências estruturais clássicas	10 ⁴ à 10 ⁷ milhões à dezenas de milhões
VI	10 ⁻² centenas de milhares de m ²	Formas de relevo: crista, moraina terminal, cone de dejeção Vertente retilínea do vale do Rio Cubatão	Mesoclima diretamente ligado à forma Ex. Nicho de nivação	Predomínio do fator morfodinâmico, influenciado pela litologia	10 ⁴ centenas de milhares
VII	10 ⁻⁶ dezenas de m ²	Microformas: lentes de solifluxão, ravinas	Microclimas diretamente ligados às formas por autocatalise Ex. Lápies (caneluras)	Idem	10 ² centenas
VIII	10 ⁿ décimos de m ²	Microscópico: detalhes de corrosão, de polimento, etc...	Microméio	Interfície da dinâmica e da textura da rocha	

Anexo 9-2. Classificação das unidades de relevo de J, Ross (1990)



Anexo 9-3. Estrutura da Geomorfologia, segundo o IBGE (2009)⁸⁸



⁸⁸ Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/geomorfologia/manual_geomorfologia.shtm. Acessado em 08/08/2014.



A CRIAÇÃO DO PETAR

Existe no quadrante sudeste do Estado uma erva região, dependurada nos espigões da serra de Paranapiacaba, que mais agreste se torna por ter a densa cobertura verde, e as húmidas condições climáticas, das regiões serranas do litoral sul brasileiro. Nos dias ensolarados é muito bela, dificilmente igualada; suas matas virgens combinadas com a aspereza bravia do relevo, onde em cada dobrada novos cenários surgem, a tornam deslumbrante e maravilhosa aos olhos daqueles que apreciam e amam o belo da natureza. Para enfeitá-la ainda mais, como que pérolas encastadas no manto verde do seu undulante corpo rochoso, a sua constituição geológica permitiu a modelação pelos agentes do intemperismo, de graciosas cavernas, obras primas do gênio arquitetônico da Natureza. Nada deixou faltar a Natureza para recompensar os seus admiradores que aí apontam, após longa e penosa viagem, em busca de seus encantamentos e de novas feições suas. Da límpida água que corre nos fundos de seus vales, até as cristas afiladas de suas elevações, tudo é diferente e silvestre. Águas cristalinas serpenteiam no seio da mata luxuriante, constituída por carelas, cedros, figueiras, palmeiros, etc.... e enfeitada pelas quaresmeiras, ipês, samambaias, begônias, parasitas, etc...., e que, também, abriga fauna de "pêlo" e "pena" bastante desenvolvida (onças, jaguatiricas, veados, catetos, macacos, antas, macucos, jacutingas, arapongas, etc...).

Nas áreas de calcários, esses caprichosos cursos d'água, repentinamente, desaparecem nos maciços rochosos, onde por ação química e mecânica provocaram o alargamento das fendas existentes no calcário, construindo majestosas grutas, de dimensões gigantescas, decoradas por estalagmites e estalactites de feitios e beleza inenarráveis. Conhecedores insuspeitos de espeleologia as colocam entre as mais belas do mundo.

As condições climáticas (de alta precipitação pluviométrica) fisiográficas (de relevo brusco) e de acesso (difícil e escasso), não são propícias ao desenvolvimento da agricultura e pastoreio. As áreas cultivadas aí, dentro dos processos mais rudimentares de manusear o solo, são raras e têm uma péssima rentabilidade por unidades de superfície. Não se justifica, portanto, as sucessivas derrubadas de matas virgens por favor de tão baixos índices de produtividade e rentabilidade por hectare cultivado.

Daí a idéia, que apresentamos à V.Sª., de há muito propugnada por nós, de criar nessa região um Parque Estadual, que englobe esse conjunto natural de tão belos atributos. Será, assim, os paulistas uma região de flora e fauna preservada para as suas vilegiaturas turísticas, localizada a 300 quilômetros da Capital do Estado, e com acesso por rodovia em fase final de pavimentação asfáltica. E aí, ao lado do prazer do esporte cultural de espeleologia, a delícia de sentir o vigor da mata virgem, os canticos de seus passaros, e a rudeza da brupticidade de seu relevo. Será, talvez, um dos únicos do mundo, com tantos atrativos naturais, e tão bem situado com relação aos maiores aglomerados urbanos do país.

São Paulo, 13 de novembro de 1956.

José Epitácio Passos Guimarães
Engenheiro de Minas - Classe "U"
Instituto Geográfico e Geológico

Este documento, junto com reportagens publicadas no jornal "A Gazeta", deu início ao processo de criação do Parque Estadual do Alto Ribeira (Decreto 32.283, de 19/05/58).

