

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

ASPECTOS DA MORFOLOGIA CÁRSTICA DA SERRA DO CALCÁRIO - COCALINHO – MT

Rubens Hardt

Orientador: Profa. Dra. Iandara Alves Mendes.
Co-orientador: Prof. Dr. Augusto Sarreiro Auler.

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geografia –
Área de Concentração em Organização do
Espaço, para obtenção do Título de Mestre em
Geografia.

Rio Claro (SP)

2004

551.4a81 Hardt, Rubens

H266a Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário –
Cocalinho – MT / Rubens Hardt. – Rio Claro : [s.n.], 2004
98 f. : il., tabs., fots., mapas

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Iandara Alves Mendes

Co-orientador: Augusto Sarreiro Auler

1. Geomorfologia – Brasil. 2. Carste. 3. Relevo cárstico. 4.
Espeleologia. 5. Cavernas. I. Título

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Iandara Alves Mendes

Profa. Dra. Chisato Oka Fiori

Profa. Dra. Nádia Regina do Nascimento

Rubens Hardt

Rio Claro, Oito de Dezembro de 2004.

Resultado: Aprovado

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Ruth Albertoni Hardt e
José Benedicto de Mattos Hardt (em memória)

AGRADECIMENTOS

As pessoas e entidades abaixo relacionadas (em ordem alfabética) foram importantes para a realização deste trabalho, ficando aqui meus sinceros agradecimentos.

Arnaldo Rosalém, por apoio no uso de softwares.

Augusto Sarreiro Auler, pelo apoio de campo e em gabinete, auxiliando na orientação geral deste trabalho.

Equipe de Produção do Spring (INPE), por produzir um software de geoprocessamento eficiente e útil, sem custo para o usuário.

Francisco Sérgio Bernardes Ladeira, por sugestões e recomendações diversas.

Gilberto Menezes de Oliveira, pelo apoio em campo, em especial nas atividades de mergulho, cuja atuação foi fundamental para a realização deste trabalho.

Iandara Alves Mendes, por me orientar, por ser professora e amiga, acreditando em meu potencial e ajudando-me a desenvolvê-lo.

João Carlos Santini, pelo apoio nas atividades de campo.

José Antônio Basso Scaleante, pelo fornecimento de material bibliográfico.

José Ayrton Labegalini, pelo fornecimento de material bibliográfico.

Linda Gentry El-Dash, pela tradução e correção do "abstract".

Maria do Carmo Ribeiro Dejuste e Família, por me acolher em Rio Claro no início de minha caminhada, e por estar presente em minha vida.

Rogério Dell' Antônio, pela amizade, apoio em campo e fornecimento de material fundamental para a realização deste trabalho.

Sâmia de Moura Passarela, por auxílio em laboratório.

Sérgio Heitor Marques, por apoio em campo, em especial nas atividades de mergulho.

Sociedade Brasileira de Espeleologia, pelo uso da biblioteca.

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

S U M Á R I O

Índice

Índice de Figuras

Índice de Tabelas e Quadros

Resumo

Abstract

I – Introdução

II – Fundamentação Teórica

III – Fisiografia e Geologia da Serra do Calcário

IV – Apresentação e Discussão dos Dados

V – Resultados

VI – Considerações finais

VII – Bibliografia

Anexos

ÍNDICE

Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas e Quadros	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
I – Introdução	1
1.1 – Objeto de estudo	1
1.2 – O carste no território brasileiro	2
1.3 – A área de estudo	3
1.4 – Objetivo	6
1.5 – Método, materiais e técnicas	7
1.5.1 – Método	7
1.5.2 – Materiais	7
1.5.3 – Técnicas	8
II – Fundamentação Teórica	9
2.1 – Perspectiva histórica	9
2.2 – O conceito de carste	11
2.3 – Química do carste	14
2.4 – Hidrologia cárstica	15
2.5 – Influência da estrutura	21
2.6 – Influência do clima	22
2.7 – Solos sobre o carste	25
2.8 – Formas cársticas	27
2.8.1 - Macroformas	27
2.8.2 - Microformas	36
2.9 – O conceito de sistema em geomorfologia e sua aplicabilidade em ambientes cársticos	37
III – Fisiografia e Geologia da Serra do Calcário	42
3.1 – Considerações gerais	42
3.2 – Geologia	42
3.3 – Relevo, solos e uso do solo	46
3.4 – Clima	48
3.5 – Hidrografia	50
IV – Apresentação e Discussão dos Dados	51
4.1 - Zona das Terras Baixas	54
4.1.1 Unidade das Terras Alagadas	54
4.1.2 Unidade das Terras Alagáveis	59
4.1.3 Unidade das Terras Secas	62
4.2 - Zona das Terras Altas	63

4.2.1 Unidade Rio das Mortes	64
4.2.2 Unidade Água Preta	67
V – Resultados	72
5.1 - O Sistema Cárstico da Serra do Calcário	72
5.1.1 - O Princípio do Antagonismo	72
5.1.2 - O Princípio da Instabilidade	73
5.1.3 - O princípio de Catena	74
5.1.4 - O Princípio da Seleção	75
5.1.5 - O Princípio do Controle Estrutural	75
5.2 - Proposta de um Modelo Evolutivo para a Serra do Calcário	76
VI - Considerações Finais	81
6.1 - Considerações teóricas	81
6.2 - Limitações do trabalho e perspectivas futuras	82
VII – Bibliografia	85
ANEXOS	90

Índice de Figuras

Figura 1: Cobertura de rochas carbonáticas sobre a superfície da Terra, segundo Ford & Williams (1989), modificado.	2
Figura 2: Áreas Cársticas Brasileiras segundo Auler et al. (2001). Modificado.	4
Figura 3: Localização da Área de estudo no contexto do país, do estado e do município. Coordenadas em UTM, Meridiano 22. Elaborado por R. Hardt.	5
Figura 4: Relação esquemática entre fatores hidrológicos, propriedades físicas do aquífero e características geológicas do carste (FORD; WILLIAMS, 1989). Modificado.	20
Figura 5: Perfil típico de alteração e de solos (autóctones) elaborados sobre calcário em meio muito lixiviado: 1 - rocha calcária maciça com mais de 90% de CaCO_3 ; 2 - alteração química do tipo pelicular através da dissolução do CaCO_3 e sua lixiviação da pedosfera, levando ao imediato desaparecimento das estruturas originais e das pseudomorfozes, ou seja, não ocorre um nível de alteração do tipo isalterita; 3 - solos com lenta intensidade de formação, constituídos pelo produto residual insolúvel, particularmente por minerais de argila (ilita e caolinita), geralmente rasos, antigos e, quase sempre, policíclicos. (PILO, 1998).	26
Figura 6: Carste em torre (Filipinas) segundo Ford & Williams (1989), foto de R. Wasson.	28
Figura 7: Diversos tipos de dolinas, segundo Jennings (1985). a) Dolina de abatimento; b) Dolina de dissolução; c) Dolina de subsidência; d) Dolina de abatimento devido a carste subjacente; e) Dolina em sumidouro aluvial. Modificado.	28
Figura 8: Uma visão “idealizada” para distinguir entre carste em torre e cone, do carste em cockpit, baseado na curvatura das vertentes. Lf é o espaço entre fraturas (WHITE, 1988. Modificado).	29
Figura 9: Desfiladeiro em forma de cânion nas proximidades da ressurgência de Brejões - BA. Foto Rubens Hardt.	30
Figura 10: Caverna meândrica em Boree Creek, Borenore, NSW, segundo JENNINGS (1985 - pag. 93).	30
Figura 11: Gruta conhecida como “Arco do André”, na realidade uma ponte natural sobre o rio Peruaçu, que passa em meio aos blocos abatidos na base da gruta. Em seu maior desnível, do teto ao chão, ultrapassa 110m. Repare na pessoa, (pequena mancha amarela) logo abaixo da seta. Foto: Rubens Hardt.	31
Figura 12: Vale semicego, em Bonito - MS. Em condições normais, a água desaparece em um sumidouro pouco antes da ponte. Em épocas de chuva, a vazão fluvial é aumentada e as águas percorrem todo o vale. Foto: Clayton F. Lino.	32
Figura 13: Vale seco nas proximidades da gruta de Brejões - BA. Possivelmente formado pelo rio Jacaré, que hoje percorre a referida gruta. Foto: Rubens Hardt.	32
Figura 14: Final Oeste do polje Popovo, Iugoslávia. A foto mostra apenas um segmento do total de 60 km de comprimento do polje. (WHITE, 1988, p. 40).	33
Figura 15: Sumidouro do ribeirão das Ostras. Gruta da Tapagem - SP. Foto: Rubens Hardt.	34
Figura 16: Nascente cárstica próximo a Serra do Calcário – Cocalinho/MT. Foto: Rubens Hardt.	34
Figura 17: O topo de paredões em carste costuma apresentar formas ruiformes, como as observadas nesta foto (Vale do Peruaçu - MG). Foto: Rubens Hardt.	35
Figura 18: Conduto no interior da gruta de Brejões. Foto: R. Hardt.	35
Figura 19: Karrens diversos sobre calcário nas proximidades da gruta de Brejões. Observe o detalhe, no canto superior direito da foto. Foto: Rubens Hardt.	36
Figura 20: Coluna estratigráfica da Província Tocantins, conforme Almeida (1984).	43

- Figura 21: Esquema das relações estratigráficas do proterozóico superior na borda sudeste do cráton amazônico, com base no trabalho de Alvarenga & Saes, (1992), elaborado por R. Hardt (sem escala). _____ 44
- Figura 22: Fragmento do mapa geológico de Schobbenhaus et al. (1984), mostrando a área no centro, definida como PSar – calcário, marga, dolomito folhelho, argilito, siltito, arenito, arcóseo e sílex restritos, de idade Proterozóica superior, circundado por QPa – Aluviões com nível de cascalho, de idade Quaternária. Aparecem ainda: QH – aluviões fluviais; QP – Sedimentos detríticos com níveis de cascalho, laterita; SDf – Arenito; PMcb – quartzito, filito, xisto, cloritaxisto, metarcóseo, metagrauvaca, metaconglomerado, calcixisto, mármore, filito grafitoso e hematítico, metavulcânicas ácidas, intermediárias e básicas; rochas metamáficas e metaultramáficas; PSd – arcóseo, siltito, arenito, argilito, folhelho; conglomerado restrito; A(B) – complexo granito-gnáissico-migmatito; _____ 45
- Figura 23: fragmento de imagem de satélite mostrando a área de estudo. Fonte: CD “Brasil visto do Espaço”, estado de Mato Grosso, produzido pela Embrapa. _____ 46
- Figura 24: Visão parcial da área de pesquisa. Proximidade da Gruta Lagoa Azul. Foto: Rubens Hardt. _____ 48
- Figura 25: Dados climáticos das estações de Cuiabá e Goiânia, conforme disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, referentes ao período 1961-1990. _____ 49
- Figura 26: Carta de drenagem da área de estudo. Os rios correm em direção ao Norte. _____ 50
- Figura 27: Zoneamento geomorfológico e respectivas unidades identificadas na área de estudo. Elaborado por Rubens Hardt _____ 52
- Figura 28: Mapa de declividade. Elaborado por Rubens Hardt _____ 53
- Figura 29: Perfil esquemático da Lagoa do Vânico, demonstrando a variação sazonal do lençol freático. Exagero vertical 10 vezes. Elaborado por Rubens Hardt. _____ 55
- Figura 30: Interior da Gruta Lagoa Azul. Observe-se na Parede da guta, as marcas indicando a variação sazonal do lençol freático. A marca escura, com uma amplitude de 2,1m, indica a variação normal, enquanto a mais clara, com cerca de 40 cm, variações em anos excepcionais. (Foto: Rubens Hardt) _____ 56
- Figura 31: Lagoa Grande. Vista aérea mostrando a dolina da Lagoa Grande. Torres cársticas em primeiro plano e, em segundo plano, após a Lagoa Grande à esquerda, o morro onde se encontra a Gruta da Lagoa Azul. (Foto: Rubens Hardt) _____ 56
- Figura 32: Lagoa do Vânico. Uma uvala formada por três dolinas de dissolução alinhadas. Na estação chuvosa formam um grande lago. (Foto: Rubens Hardt) _____ 57
- Figura 33: "Fervedor", nascente cárstica com diversos pontos de fluxo aquático. (Foto: R. Hardt) _____ 58
- Figura 34: Depressões suaves alongadas, na unidade das áreas alagáveis, ressaltadas por elipses. Período de seca. (Foto: R. Hardt) _____ 60
- Figura 35: Lagoa Brava. Águas translúcidas em proximidade mas escuras à distância. O solo da margem, turfoso, composto basicamente de raízes de buritis. (Foto: Rubens Hardt) _____ 61
- Figura 36: Unidade das Terras Secas, e seus limites, com a Zona das Terras Altas, onde se observa um nítido ponto de ruptura, e a Unidade das Terras Alagáveis, com uma clara mudança de vegetação e declividade. (Foto: Rubens Hardt) _____ 62
- Figura 37: Perfil altimétrico típico da Unidade Água Preta. Neste Morro, foram feitos dois perfis, cobrindo ambas as ramificações (anexo1). _____ 63
- Figura 38: Perfil altimétrico típico da Unidade Rio das Mortes. Os topos aparecem achatados em função de não haver medições de pontos culminantes na base cartográfica disponível, para estes morros. _____ 64
- Figura 39: Proximidades da Gruta Portal do Roncador, onde se destacam duas de suas entradas. Encostas íngremes recobertas de vegetação mais espessa com topos convexizados e vegetação rala. (Foto: R. Hardt). _____ 65

- Figura 40: Aspecto da vegetação, torres cársticas e formas em ruínas na proximidade da Gruta Portal do Roncador. (Foto: Rubens Hardt)._____ 65
- Figura 41 (a e b): Evidências de paleocanais associados a paleoterraços fluviais. A segmentação se explica pela atividade antrópica e pela drenagem atual. A figura 4.14 a resalta as manchas em vermelho interpretadas como paleocanais. _____ 66
- Figura 42: Anfiteatro suspenso. A ausência de drenagem a jusante se explica por fluxos subterrâneos na base do mesmo. (Foto: Rubens Hardt) _____ 68
- Figura 43: Pórtico de entrada da Gruta Lagoa Azul. Uma grande dolina de abatimento dá acesso à gruta e ao lago de seu interior. (Foto: Rubens Hardt)_____ 68
- Figura 44: Espeleotema de origem aérea, em conduto alagado. Foto feita no período das secas. Foto: Gilberto Menezes. _____ 70
- Figura 45 Esqueleto humano, em profundidade de 4,5m. Foto: Gilberto Menezes._____ 70
- Figura 46: Karrens observados na porção média da Serra do Calcário. À direita, rillenkarrren, canais de dissolução devido ao fluxo gravitacional da água sobre a superfície da rocha. (Foto: Rubens Hardt)_____ 71
- Figura 47: Espeleotemas suspensos, evidenciando eventos deposicionais e de remoção de sedimentos. _____ 77
- Figura 48: Inicialmente, a área era plana, com a drenagem seguindo antigos planos de falha.78
- Figura 49 Forças compressivas, atuando, geram dois grandes planos de falha. _____ 78
- Figura 50: Ocorre um soerguimento formando uma cadeia de morros, com a drenagem se superimpondo. _____ 78
- Figura 51: Devido à compressão, uma terceira linha de falha se estabelece. A erosão diferencial provoca o aparecimento de um vale em meio aos morros. As vertentes recuam e o Rio das Mortes sofre uma primeira migração em função do soerguimento _ 79
- Figura 52: Dolinas de dissolução, acompanhando os planos de falha, se alargam formando grandes lagos. O Rio das mortes sofre nova migração. Rampas pedimentares se estabelecem, após o que a área apresentou mudança climática, acarretando oscilação do freático. Depósitos quaternários se alojam na parte plana do relevo, carregado pelos rios e cursos intermitentes, devido aos sucessivos alagamentos anuais. _____ 79

Índice de Tabelas e Quadros

Tabela 1: Reações de dissociação e solubilidade de alguns minerais representativos que dissolvem congruentemente em água, aos 25o C e 1 bar (105 Pa) de pressão. (Modificado de FORD; WILLIAMS, 1989).	15
Tabela 2: Características dos solos gerados nos dois principais grupos de calcários estudados por Ciric (apud Piló, 1998), modificado.	25
Quadro 1: Zonas hidrológicas no carste, de acordo com Ford & Williams (1989), modificado.	16
Quadro 2: Efeitos dos glaciares sobre sistemas cársticos, segundo Ford & Williams (1989), modificado.	24

RESUMO

O trabalho aqui apresentado tem como cenário de estudo a “Serra do Calcário”, posicionada no município de Cocalinho (MT), e teve por objetivo caracterizar geomorfologicamente o relevo cárstico ali observado, propor um modelo explicativo da sua evolução e, conseqüentemente, fornecer subsídios para a compreensão do relevo cárstico desenvolvido na região Centro-Oeste do Brasil. A fundamentação teórica que norteou esta pesquisa foi a abordagem sistêmica, mais precisamente a ótica do sistema aberto do tipo processo-resposta. Neste contexto seguiu-se a orientação de Scheidegger, segundo a qual a paisagem pode ser entendida como um sistema dinâmico composto pela inter-relação de cinco princípios: Antagonismo, Instabilidade, Catena, Seleção e Controle Estrutural. Com base nesta fundamentação teórica e em trabalhos de campo e de gabinete, onde se destacam a interpretação de imagens de Satélite e Radar, foi possível a identificação de duas zonas e de cinco unidades geomorfológicas, bem como a proposição de uma seqüência evolutiva para o relevo da área em apreço.

ABSTRACT

This thesis is based on a study conducted in the “Serra do Calcário”(Limestone Mountain Range), located in the county of Cocalinho in the state of Mato Grosso; it was designed to provide a description of the geomorphology of the karst features observed and propose a model to explain its development, in an attempt to promote the understanding of the karst features found in the central-western part of Brazil. The theoretical background orienting the research was a systemic approach, specifically that of an open system of a process-response type. In the process-response open system approach adopted, the work of Scheidegger suggests that such features can be understood as part of a dynamic system based on the interrelationship of 5 principles: Antagonism, Instability, Catena, Selection and Structural Control. Based on this theoretical foundation, as well as work in the field and laboratory interpretation of satellite and radar images, it was possible to identify two zones and 5 geomorphologic features, as well as proposing a developmental sequence for the surface features of the area in question.

I – Introdução

1.1 – Objeto de estudo

Os estudos sobre o carste têm seu berço no mediterrâneo (FORD; WILLIAMS, 1989), já com os antigos filósofos gregos e romanos que elaboraram as primeiras contribuições para o desenvolvimento das idéias sobre o carste. Ao longo dos séculos, algumas contribuições foram anexadas, mas o conceito de carste como parte da ciência geomorfológica surge a partir do século XIX, com estudos sistemáticos e a publicação de diversos trabalhos na Europa Central e Inglaterra, e com o surgimento da primeira “Sociedade de Cavernas”, em Viena, no ano de 1879 (SWEETING, 1973).

A região de *Kras*, na Eslovênia, a primeira a ser sistematicamente estudada, determinou o surgimento do termo alemão *Karst* e o italiano *Carso*, dando origem ao nome **carste**. Provavelmente a palavra tem origem na língua pré-Indo-Européia, significando *solo nu, pedregoso* (SWEETING, 1973; BÖGLI, 1980). As formas naturais da mencionada região ficaram conhecidas como “fenômenos cársticos” e, por extensão, formas similares pelo mundo.

Assim, o termo carste define as formas de relevo e os processos que dão origem a elas, onde quer que ocorram no mundo. Os terrenos cársticos são áreas com formas distintas, hidrologia tipicamente subterrânea, que se desenvolvem em rochas quimicamente solúveis e com porosidade secundária bem desenvolvida (JENNINGS, 1885; FORD; WILLIAMS, 1989).

Os processos hidrológicos e químicos associados ao carste são mais bem compreendidos sob o ponto de vista sistêmico. Ford & Williams (1989) defendem que o carste pode ser visto como um sistema aberto, composto de dois subsistemas claramente integrados, o hidrológico e o geoquímico que atuam sobre as rochas cársticas. As formas cársticas são, portanto, consequência da inter-relação desses dois subsistemas.

Estima-se que 12 % da superfície terrestre seja recoberta por rochas carbonáticas, que é a principal litologia onde ocorre o carste. Deste total, 7 a 10 % desenvolvem características cársticas significantes (Figura 1). Cerca de 25% da população mundial faz uso das águas provenientes de ambientes cársticos (FORD; WILLIAMS, 1989).

A análise da figura 1 permite constatar uma concentração de ambientes potencialmente cársticos na América do Norte e Central, e na Eurásia, todas posicionadas no hemisfério Norte.

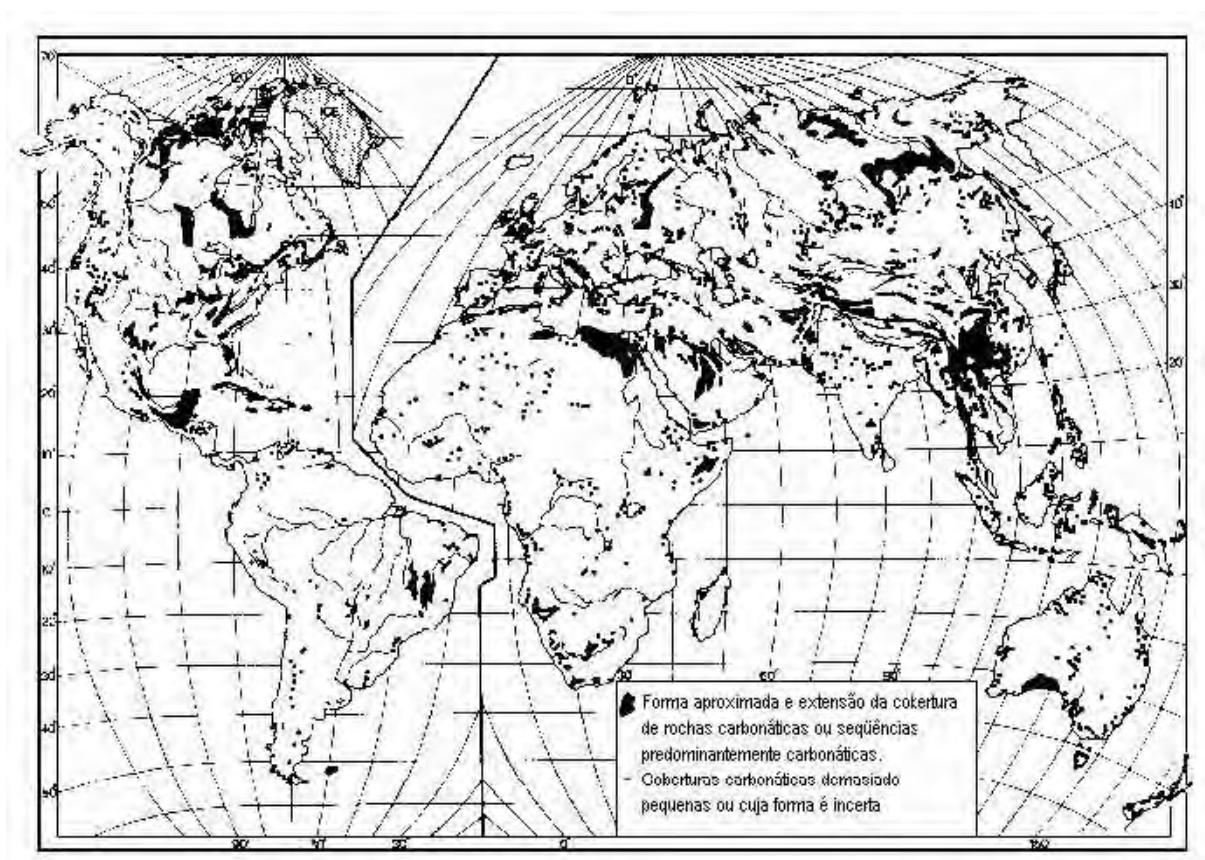


Figura 1: Cobertura de rochas carbonáticas sobre a superfície da Terra, segundo Ford & Williams (1989), modificado.

1.2 – O carste no território brasileiro

O território brasileiro também apresenta relevos cársticos que foram objeto de estudo por naturalistas estrangeiros como Peter Wilhelm Lund (século XIX) e Richard Krone (início do século XX), o primeiro trabalhando em Minas Gerais e o segundo no Vale do Ribeira, no sul do estado de São Paulo.

Em 1937, estimulados por publicações francesas, alunos da Escola de Minas de Ouro Preto (MG) fundaram o primeiro grupo dedicado à exploração de cavernas, dando início a Espeleologia de forma organizada. O grupo recebeu o nome de Sociedade Excursionista e Espeiológica (SEE), talvez o primeiro grupo deste tipo nas Américas.

Nas décadas de 1970 e 1980 surgem os primeiros pesquisadores brasileiros que desenvolvem mestrado e doutorado sobre o carste, consequência da participação e formação

de grupos de exploração espeleológica dentro de universidades, como a Universidade de São Paulo e a Universidade Federal de Minas Gerais.

Uma segunda geração de pesquisadores aparece nos anos 90, mas os estudos científicos sistemáticos sobre o carste, no Brasil, ainda são em pequeno número, se comparados aos de outros países que não possuem um carste tão desenvolvido quanto o nosso.

O trabalho pioneiro de Karmann & Sanchez (1979) apresenta a distribuição das rochas carbonáticas no Brasil, delimitando províncias espeleológicas, que poderiam ser definidas em termos de províncias cársticas, e locais de maior incidência de cavernas nas áreas identificadas por eles. O trabalho deles de base, por muitos anos, para as pesquisas referentes a carste e cavernas no Brasil.

Auler et al. (2001) elaboraram, com base no trabalho de Schobbenhaus et al. (1984), um mapa onde apresentam as áreas de ocorrência de rochas carbonáticas do Brasil, como também as identificam geologicamente (figura 2).

Convém ressaltar que a quase ausência de áreas potencialmente cársticas no Norte e no Centro Norte do país pode estar associada apenas à ausência de pesquisas geológicas mais detalhadas.

1.3 – A área de estudo

O Município de Cocalinho situa-se no leste de Mato Grosso, limitado a leste pelas margens do Rio Araguaia e, a Oeste, pelo Rio das Mortes. Conta com 5504 habitantes (IBGE – Censo de 2000). Tem uma área de 19.551, 53 km², estando limitado pelos municípios de São Félix do Araguaia, Ribeirão Cascalheira, Canarana, Água Boa, Nova Xavantina e Araguaiana, pelo Estado do Mato Grosso e Formoso do Araguaia, São Miguel do Araguaia, Nova Crixás, Aruanã, Britânia e Jussara, por Goiás. A área de estudo se localiza cerca de 65 km de distância da sede do município, pela estrada MT 326, sentido Água Boa, às margens do Rio das Mortes, localidade conhecida como “Serra do Calcário”. A área de estudo compreende uma serra calcária com aproximadamente 18 km de comprimento por 5 km de largura, alinhada no sentido E-NE, às margens do Rio das Mortes. A figura 3 vincula-se à localização do município e da área de estudo.

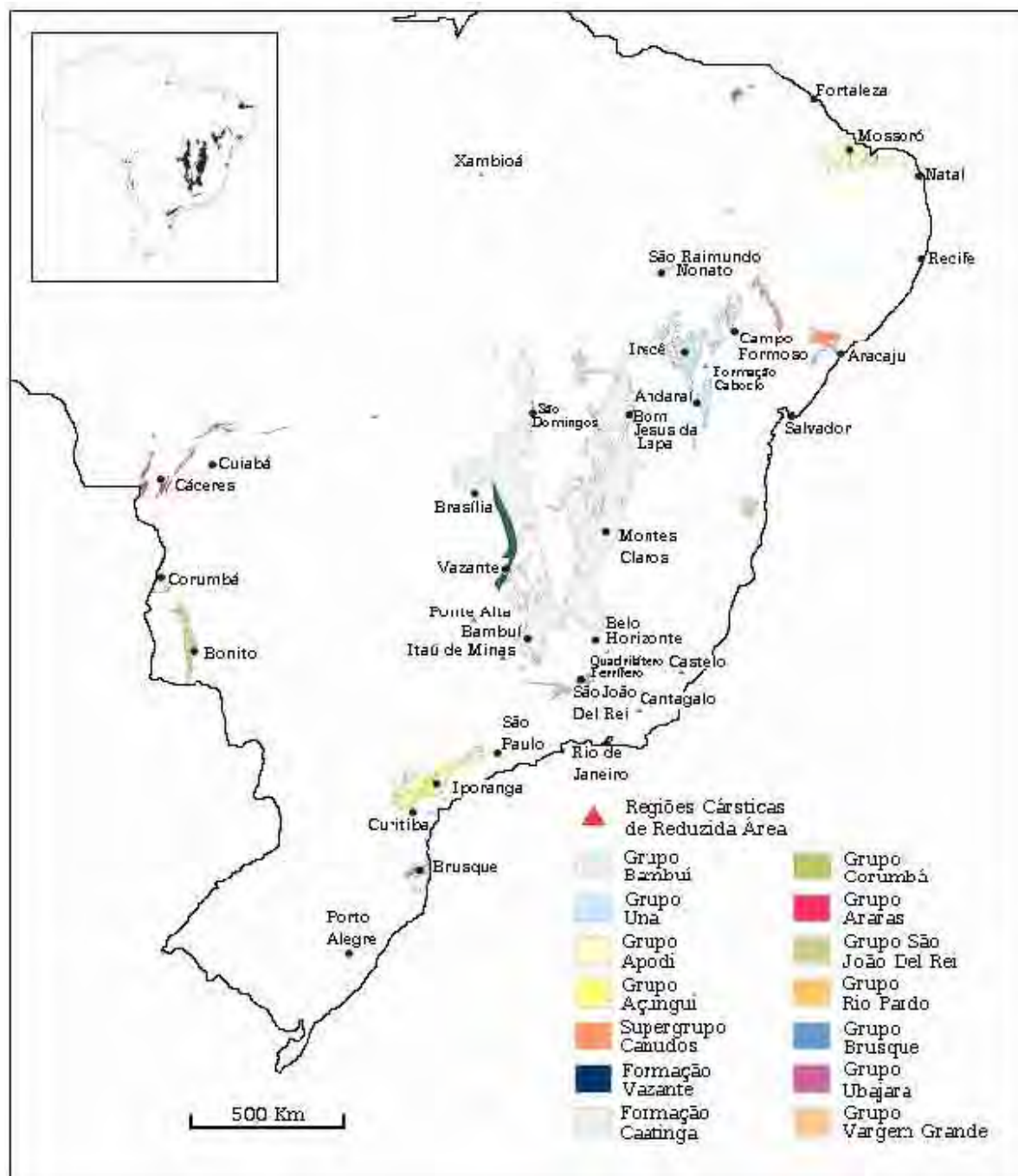


Figura 2: Áreas Cársticas Brasileiras segundo Auler et al. (2001). Modificado.

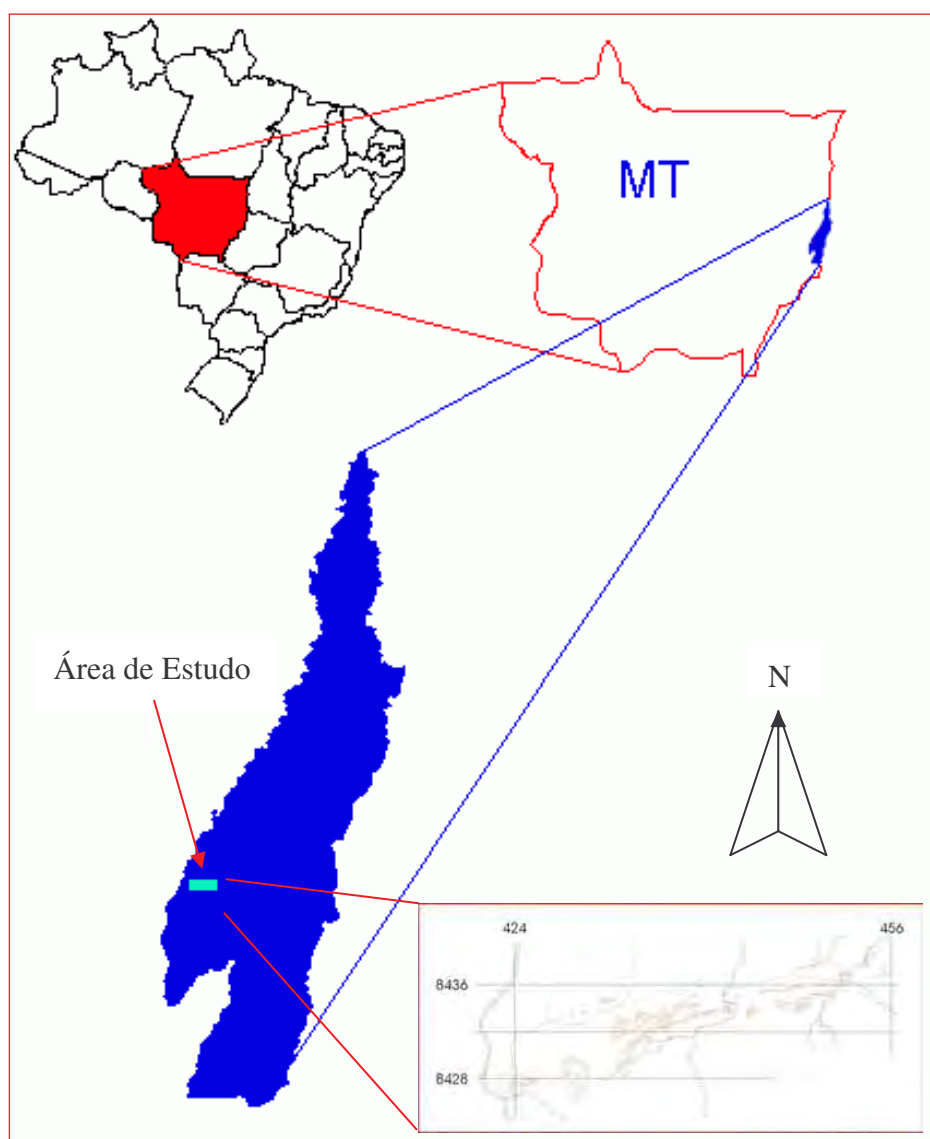


Figura 3: Localização da Área de estudo no contexto do país, do estado e do município. Coordenadas em UTM, Meridiano 22. Elaborado por R. Hardt.

1.4 – Objetivo

De modo geral o presente trabalho teve-se por objetivo:

- Elaborar um levantamento teórico sobre o conhecimento atual do carste;
- Caracterizar geomorfologicamente o relevo cárstico observado em Cocalinho - MT, propor um modelo explicativo da sua evolução e, conseqüentemente, fornecer subsídios para a compreensão do relevo cárstico desenvolvido na região Centro-Oeste do Brasil;
- Propor um modelo evolutivo que explique a atual configuração geomorfológica da área;
- Fornecer subsídios para a compreensão do carste desenvolvido em território brasileiro a partir de estudo de caso da área denominada “Serra do Calcário”, no município de Cocalinho (MT).

Para que o objetivo fosse atingido, optou-se por:

- Levantamento e análise da documentação bibliográfica e cartográfica relativa ao tema e à área;
- Elaboração da base cartográfica da área;
- Elaboração de um mapa geomorfológico da área, identificando as principais unidades, a partir de interpretação de imagem de satélite Landsat TM7 pancromática, resolução de 15m e de mapas topográficos do IBGE, na escala de 1:100.000;
- Desenvolvimento de trabalhos de campo;
- Registro fotográfico dos tipos de feições geomorfológicas, com ênfase feições cársticas existentes em superfície e subsuperfície, na área especificada;
- Aquisição de parâmetros morfométricos a partir da análise de mapas topográficos, de imagem de satélite e imagem de radar.

1.5 – Método, materiais e técnicas

1.5.1 – Método

Este trabalho foi desenvolvido sob a ótica da abordagem sistêmica, mais precisamente a dos sistemas processo-resposta, sendo considerada a proposta de Scheidegger (1987), que preconiza a possibilidade de descrever qualquer sistema tomando-se por base a inter-relação de cinco princípios, o *princípio do antagonismo*, *princípio da instabilidade*, *princípio de catena* (cadeia), o *princípio da seleção* e o *princípio do controle estrutural*. Esses princípios e sua aplicação são discutidos no capítulo II, item 2.9.

A abordagem de Scheidegger (1987) parte do princípio que os sistemas geomorfológicos não são cíclicos, mas trata-se de um aspecto momentâneo de forças externas e internas agindo concomitantemente, em que o relevo é instável, mas seleciona formas que tendem a ser estáveis (ou seja, a forma tende a ser a mesma, embora esteja em constante evolução, aumentando ou diminuindo de tamanho, ou suavizando linhas) Estas formas também acompanham, de maneira geral, a estrutura tectônica local.

Permite-se, assim, tratar o relevo como um sistema em que as diversas formas encontradas na natureza são um "*momentum*" de uma evolução inter-relacionada dos processos exógenos e endógenos, que atuam de acordo com os princípios relacionados anteriormente.

1.5.2 – Materiais

Os materiais utilizados para a elaboração deste trabalho constituíram-se de equipamentos diversos para campo, como GPS marca Garmin, modelo 45, mapas topográficos do IBGE – folhas SD-22-Y-B-II e SD-22-Y-B-III (ambas na escala 1:100000), bússola de Brunton, trena em fibra de vidro de 30m, martelo de geólogo, caderneta de campo, computador portátil Dell Latitude Cpi Pentium II 360MHz, Máquina fotográfica Laicom Press DV 3m (digital), máquina fotográfica Pentax MZM (tradicional), altímetro mecânico, equipamento para mergulho autônomo, lanternas, capacetes, iluminação a carbureto.

Em laboratório, utilizou-se computador Atlon 2.2, com monitor de 17 polegadas, imagem Landsat 7 com resolução de 15 m (pancromática) e 30m (bandas), softwares Autocad R14, Spring 4.0, Corel Draw 9.0 e processador de textos MS Word.

1.5.3 – Técnicas

Para a elaboração do mapa geomorfológico utilizou-se imagem Landsat 7, mapas topográficos do IBGE, folhas SD-22-Y-B-II e SD-22-Y-B-III (1:100.000), imagem Mosaico de Radar dos projetos RADAM e RADAMBRASIL em formato digital e fotos feitas em campo.

Inicialmente pensou-se na utilização da Legenda proposta por Nunes et al. (1995). Entretanto, diante das limitações impostas pela escala das bases cartográficas e produtos de sensores disponíveis, só foi possível a individualização de Zonas e Unidades.

Diversas viagens a campo permitiram construir um acervo de dados sobre a área, com medições de distâncias e altitudes, fotografias, notas e croquis, bem como verificação de formas cujas dimensões impossibilitaram sua visualização na documentação cartográfica utilizada.

II – Fundamentação Teórica

2.1 – Perspectiva histórica

Segundo Sweeting (1973), Jovan Cvijic foi o primeiro a escrever um tratado compreensível sobre o relevo cárstico, usando os termos *Wannenlandschaft* (paisagem de depressões) e *blättersteppige* (relevo interrompido) para descrevê-lo. Ainda segundo a autora, Penck frequentemente referia-se ao relevo como *unruhigen* (desordenado).

O nome carste somente é atribuído a esse tipo de relevo após ter sido relacionado com a região de Kras, na Eslovênia, primeiro local ele foi sistematicamente estudado, e que hoje é referido como o carste clássico (SWEETING, 1973; JENNINGS, 1985; FORD; WILLIAMS, 1989).

Shaw (2000), Lowe (2000) e White (2000), em trabalhos publicados na mesma obra (KLIMCHOUK et al., 2000), sistematizam a evolução do estudo sobre a espeleogênese em quatro etapas:

Shaw (2000), em levantamento sobre a história do conhecimento a respeito de formação de cavernas *anterior a 1900*, relata que quase todas as explicações sobre formação de cavernas em calcário usadas hoje foram sugeridas antes desta data, algumas bem detalhadas. Ele elabora uma cronologia de autores e fatos mais importantes, resumidos a seguir:

- 1756 - Alexander Catcott reconheceu que as cavernas eram resultado da ação da água, embora tenha atribuído tal água ao dilúvio bíblico;
- 1830 - Charles Lyell e Charles Edouard Thirria, atuando independentemente, perceberam a importância do dióxido de carbono para permitir que a água dissolvesse cavernas no calcário;
- 1870 - Franklin Evans entendeu que algumas cavernas eram formadas pela dissolução em águas subterrâneas;
- 1890 - Edouard Martel enfatizou a atividade de dissolução das águas vadasas e tornou esse conceito bem conhecido entre os espeleólogos;
- 1893 - Ferencz Pospný descreveu o movimento das águas subterrâneas e seus efeitos espeleogenéticos. Tais idéias foram desenvolvidas a partir desse ano por Edouard Dupont.

Na primeira metade do século XX, o grande avanço não foi no campo das idéias, mas sim na aplicação do método científico no estudo da espeleogênese (LOWE, 2000). Dois modelos de evolução do carste, com contribuições de diversos autores começaram a evoluir. Segundo Lowe (2000), o primeiro, defendido por Grund em 1903, mostrava que os aquíferos cársticos podiam ser divididos em duas zonas, acima e abaixo do nível freático. Na zona inferior, a água estaria estagnada, enquanto na zona superior, estaria em movimento pelos condutos de cavernas. A idéia equivocada de que a água abaixo do nível freático estaria estagnada persistiu na mente de vários pesquisadores subseqüentes, que defendiam o mesmo ponto de vista. A outra idéia, defendida por Katzer em 1909, era que não havia nível freático e toda a água existente no carste corria por condutos e fissuras até ressurgir em um vale abaixo. Em 1918 Cvijic publicou um trabalho em que defendia a existência de três zonas hídricas em terrenos cársticos, a zona seca, a zona de transição e a zona saturada, sendo que a de transição seria aquela onde a maior parte do movimento da água subterrânea ocorreria, e que, portanto, deveria ser o foco das atenções no estudo do desenvolvimento das cavernas (LOWE, 2000).

Em 1930 Davis ressaltava que as investigações sobre a origem das cavernas não deveriam conter deduções sobre características esperadas, mas observação mais detalhadas sobre as características atuais. Lowe (2000) afirma que Davis foi provavelmente o primeiro a enfatizar as vastas escalas de tempo envolvidas na formação das cavernas.

Swinerton (1932 *apud* LOWE, 2000), apesar de admitir que a dissolução pudesse ocorrer em zonas freáticas profundas, acreditava ser esse fato de menor importância, defendendo que a dissolução ocorreria principalmente na oscilação do nível freático.

Em 1932, Lehmann retoma as idéias de Katzer e Martel sobre a inexistência, ou, caso existisse, da pouca importância do nível freático, propondo que o desenvolvimento de cavernas só poderia ocorrer se houvesse cavidades iniciais com pelo menos 2mm. Também propunha que cavidades cársticas são independentes e desligadas umas das outras. Embora não fosse correta, a teoria serviu para gerar debates, incentivando novas pesquisas.

Em 1935 Gardner elaborou hipóteses sobre a formação de cavernas acima do nível freático, enquanto em 1939, Laptev descrevia a natureza do efeito de corrosão de mistura. Em 1941 Rhoades & Sinacori publicaram um trabalho teórico sobre a modificação do fluxo de água subterrânea em função do crescimento regressivo de uma caverna no nível freático (LOWE, 2000).

Em 1942 Bretz foi o primeiro pesquisador a descrever a formação de cavernas acima ou abaixo do nível freático, e, tomando emprestado termos de outros geomorfólogos, referiu-se àquelas situações como zonas freáticas e vadosas (LOWE 2000).

Após esse período, White (2000) propõe o início do *período moderno*, em que o controle saísse do nível freático, partindo para investigações sobre os processos e mecanismos do desenvolvimento de cavernas. Segundo o autor, os avanços conceituais mais importantes foram:

- Ênfase renovada nos controles pela estrutura geológica;
- Reconhecimento de que as cavernas fazem parte da hidrogeologia dos aquíferos carbonáticos;
- Compreensão ampliada do equilíbrio químico e cinético da dissolução de rochas carbonáticas.

Ainda, segundo White (2000), desenvolvimentos conceituais mais recentes estão relacionados ao reconhecimento de que existem cavernas halóclinas (devido à mistura de águas saturadas doce e salgada, próximo aos oceanos), cavernas hidrotermais (formadas por nascentes térmicas) e cavernas geradas por dissolução do ácido sulfúrico, todas resultantes de mecanismos distintos do desenvolvimento relacionado à água subterrânea associada ao ácido carbônico.

White (2000) descreve as idéias atuais como provenientes de três aproximações diferentes a partir da perspectiva da geologia; da perspectiva da hidrologia cárstica e da perspectiva da química e da mecânica de fluidos. Destaca, ainda, que as três perspectivas são necessárias para compreensão da espeleogênese. Tais conceitos poderiam ser vinculados a um *período contemporâneo*.

2.2 – O conceito de carste

O conceito de carste, assim como o de conhecimento científico em geral, vem evoluindo com o tempo. Assim, os primeiros estudos aconteceram na Eslovênia, e estavam diretamente relacionados à rocha calcária. Em consequência, a litologia esteve intimamente ligada à definição de carste durante boa parte do tempo em que se pesquisa, cientificamente, o carste.

Derruau (1965) define carste como um tipo de relevo calcário onde preponderam os processos de erosão por dissolução. Não seria carste se as formas de dissolução estivessem ausentes ou subordinadas a outros processos erosivos. No entanto, o autor considera a existência de carste em outras litologias, como a gipsita, passível de sofrer os mesmos processos.

Sweeting (1973) determina que a característica essencial das áreas cársticas é a presença de drenagens verticais e subterrâneas. Na introdução de seu trabalho, afirma, categoricamente, que “*All karst regions are areas of massive limestones.*” (SWEETING, 1973, pag. 1). No mesmo trabalho elabora um glossário em que define carste como uma forma de relevo controlada por dissolução, caracterizada por uma morfologia de superfície exclusiva, drenagem subterrânea e feições de colapso, e que se desenvolve especificamente em calcário.

Bögli (1980) atribui a formação das paisagens cársticas à ocorrência de rochas específicas, que devem ser solúveis e praticamente não deixar resíduos, de forma que os interstícios alargados pela dissolução permaneçam abertos, o que é um pré-requisito para o estabelecimento de uma drenagem subterrânea característica. Considera rochas carstificáveis apenas os evaporitos, as rochas carbonáticas e o quartzito, esta última apenas sob condições tropicais de extrema umidade.

Jennings (1985) define carste como um terreno com formas de relevo e drenagens distintas, surgidas devido à grande solubilidade de rochas em água natural. Interessante notar que o autor defende que a solubilidade não é necessariamente o processo prevalente ou dominante, mas desempenha, neste tipo de paisagem, um papel mais importante do que em qualquer outra.

Para White (1988), as paisagens cársticas são criadas pela dissolução química da rocha encaixante. As formas de relevo características dos relevos cársticos são as depressões fechadas, de variados tamanhos e arranjos, drenagens de superfície interrompidas e cavernas e drenagens subterrâneas. Também afirma que o carste ocorre em rochas carbonáticas, gipsita e, em extensão menor, em algumas outras rochas, sem, no entanto, especificá-las.

Ford & Williams (1989) definem carste como um terreno com formas de relevo e hidrologia distintas, decorrentes de uma combinação entre rochas com alta solubilidade e porosidade secundária bem desenvolvida. Também afirmam que as formas distintas, acima e abaixo do solo, que são características do carste, resultam da dissolução ao longo dos caminhos providos pela estrutura. Também ressaltam que o carste deve ser compreendido como um sistema.

A definição mais recente caracteriza o carste como um sistema integrado para a transferência de massa em rochas solúveis, com permeabilidade estrutural dominada por canalículos oriundos da dissolução da rocha, e cuja organização facilita a circulação de fluidos. (KLIMCHOUK; FORD, 2000a). É importante notar, nessa definição, a não ligação com uma litologia específica.

Christofolletti (1980), define carste como áreas calcárias ou dolomíticas com uma topografia característica, oriunda da dissolução de tais rochas. Considera como aspecto principal de uma área cárstica as drenagens predominantemente verticais (ou seja, a água penetra mais facilmente no subsolo do que corre em superfície) e subterrâneas. Kohler (1998) assume que feições cársticas são todas as formas de relevos elaborados, sobretudo pelos processos de corrosão (química) e de abatimentos (físicos), exemplificando-os com dolinas e uvalas. Karmann (2000) caracteriza o sistema cárstico através de três componentes principais: os sistemas de cavernas, aquíferos de condutos e o relevo cárstico (formas superficiais).

Da série de definições apresentadas acima, pode-se concluir que o carste deve ser tratado em termos de sistema composto por formas de relevo superficiais e subterrâneas específicas, que possui características hidrológicas distintas, dependente de características litológicas que permitam dissolução química, subordinadas a características estruturais que determinem porosidade, principalmente porosidade secundária.

Para ser entendido, um sistema cárstico deve ser estudado sob o ponto de vista geológico, tanto da rocha em si quanto da estrutura que ela apresenta. Também é necessário entender a química do carste, pois é um componente essencial para o desenvolvimento do sistema. Como a água se comporta no sistema também é um fator relevante. Os processos geomorfológicos agindo sobre esses fatores vão determinar as formas de relevo características, que determinam esse tipo de relevo. Portanto, o relevo cárstico é consequência desse conjunto de fatores e processos.

Em síntese, para este trabalho será considerado relevo cárstico aquele composto de formas de relevo e hidrologia características, consequência de processos geomorfológicos com influência decisiva, mas não necessariamente preponderante, da atividade química e estrutural da rocha encaixante, integrados em um sistema que facilita a transferência de massa através da circulação de fluidos.

Termos como pseudocarste, outrora utilizado para qualquer litologia que não o calcário, somente será considerado para aqueles ambientes em que as formas similares ao carste, existentes em qualquer tipo de rocha, não sofreram ação química, ou quando esta tenha sido irrisória na origem de tais formas.

Também serão adotados os termos exocarste para referência às formas cársticas de superfície, endocarste, para as formas cársticas subterrâneas, e epicarste, para as formas cársticas que se originadas do contato rocha-solo.

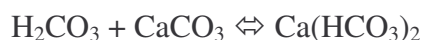
2.3 – Química do carste

Quando uma rocha dissolve seus diferentes minerais ou parte deles, desintegra-se em íons individuais ou moléculas que se difundem pela solução. O estudo da dissolução enfoca minerais específicos e não a rocha constituída por estes (FORD; WILLIAMS, 1989). A química do carste aqui considerada será tratada em relação aos minerais que constituem as rochas, não a das rochas em si.

A química da dissolução no ambiente cárstico depende de alguns fatores, como os tipos de ácido disponíveis e a litologia que sofrerá a ação desses ácidos. No carste clássico, que ocorre em calcários, a água da chuva absorve o gás carbônico contido na atmosfera e se torna levemente acidulada, pela reação da água com o gás carbônico. A reação pode ser expressa pela fórmula abaixo:



O ácido carbônico também se apresenta dissociado em seus íons constituintes. Quando em contato com o carbonato de cálcio que constitui o calcário, o ácido carbônico reage de acordo com a fórmula:



O bicarbonato de sódio é solúvel na água e pode ser facilmente carregado para fora do sistema. Ambas as reações são reversíveis e, eventualmente, o sistema entra em equilíbrio (JENNINGS, 1985).

Considera-se congruente uma dissolução, quando todos os componentes de um mineral se dissolvem. A tabela 1 apresenta as reações de dissolução congruente para uma gama de minerais. A dissolução é incongruente quando apenas parte dos minerais componentes se dissolvem. Os minerais associados ao carste são congruentes em condições normais. Soluções incongruentes do dolomito e precipitação de calcita podem ocorrer em algumas condições excepcionais (FORD; WILLIAMS, 1989).

O carste pode evoluir sobre rochas com minerais que possam ser dissolvidos. Se a dissolução é congruente, o carste evolui com mais rapidez, e as formas ficam mais nítidas e evidentes. Se a dissolução é incongruente, os resíduos decorrentes da dissolução da rocha irão formar solos e depósitos diversos, que poderão ocultar ou modificar a aparência do relevo, tornando menos evidente a existência do carste sobre determinada área.

Mineral	Reação de dissociação	Solubilidade em pH 7 (mg l ⁻¹)	Faixa de abundância em águas meteóricas (mg l ⁻¹)
Gibbsita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}^{3+} + 6\text{OH}^-$	0.001	Traços
Quartzo	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4$	12	1-12
Sílica amorfa	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4$	120	1-65
Calcita	$\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	100*, 500 [#]	10-300
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$	90*, 480 [#]	10-300 (como CaCO_3)
Gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$	2400	0-1500
Silvita	$\text{KCl} = \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	264000	0-10000
Mirabilita	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}_2\text{O}$	280000	5-10000
Halita	$\text{NaCl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$	360000	5-10000

*Pco₂ = 10⁻³ bar
[#]Pco₂ = 10⁻¹ bar

Tabela 1: Reações de dissociação e solubilidade de alguns minerais representativos que dissolvem congruentemente em água, aos 25o C e 1 bar (105 Pa) de pressão. (Modificado de FORD; WILLIAMS, 1989).

2.4 – Hidrologia cárstica

Formações rochosas que, economicamente, armazenam, transmitem e produzem quantidades significantes de água são conhecidas como aquíferos. Os aquíferos cársticos, assim como outros, podem ser *confinados*, *não confinados* e *suspensos* (FORD; WILLIAMS, 1989).

Entende-se por aquífero confinado aquele que tem, em seu limite superior, uma camada de rocha impermeável. Os suspensos são aquíferos com a base em uma camada de rocha impermeável, que o mantém acima do nível de base local. Já os não confinados não possuem acima, rochas impermeáveis para confiná-los, e o embasamento impermeável permite que este esteja no nível de base local.

Os aquíferos têm, ainda, três zonas distintas: a zona vadosa ou não saturada, a de oscilação (epifreática ou de inundação) e zona saturada ou freática. Essas zonas podem ser subdivididas, de acordo com Ford & Williams (1989), conforme apresentado no quadro 1. Os autores ressaltam, no entanto, que nem todas as zonas estão presentes em todo aquífero cárstico.

Uma das características mais marcantes do carste é a alteração de permeabilidade com o tempo. Quando da formação da rocha o sedimento carbonático se deposita, e adquire uma porosidade primária, que é praticamente eliminada durante a compactação ou a cimentação diagenética. A preservação da porosidade primária, nesses casos, é uma exceção, e não a regra. No entanto, processos químicos diagenéticos posteriores, como a dolomitização e

subseqüente fraturamento pela tectônica, resulta no aparecimento de porosidade secundária, que é ampliada consideravelmente pela dissolução cárstica ao longo das fissuras penetráveis pela circulação da água subterrânea. Os vazios podem continuar a se alargar enquanto persistir a circulação da água subterrânea (FORD; WILLIAMS, 1989).

1 Zona não saturada (vadosa)

1ª Solo

1b Subcutânea (zona epicárstica)

1c percolação por drenagem livre

2 Zona de oscilação (epifreática ou de inundação)

3 Zona saturada (freática)

3ª Zona freática rasa

3b Zona freática profunda

3c Zona freática estagnada

Cada uma delas pode ser atravessada por cavernas, permanentemente alagadas na zona 3

Quadro 1: Zonas hidrológicas no carste, de acordo com Ford & Williams (1989), modificado.

Klimchouk & Ford (2000a) definem uma escala hierárquica de estruturas direcionadoras de fluxo aquático, que podem ser reconhecidas em rochas cársticas. Em uma primeira escala são:

- Poros na rocha matriz – pequenos vazios intergranulares ou entre cristais.
- Fissuras – descontinuidades como planos de acamamento, juntas e falhas nas quais as aberturas (largura) são insignificantes em relação ao comprimento.
- Condutos – aberturas alongadas planares ou tubulares onde as larguras são proporcionalmente significantes em relação ao comprimento.
- Cavernas, que são vazios aparentemente isolados, de forma irregular e diâmetro de conduto em diversas ordens de magnitude.

Em um segundo grau de grandeza, os diversos vazios se combinam em proporções diversas para formar corpos subterrâneos de águas, chamados de aquíferos, que são separados em categorias, de acordo com o tipo predominante de vazio, sendo chamados de aquífero poroso, aquífero fissural, aquífero em matriz de fissuras e aquíferos canalículo-fissural.

Ainda segundo Klimchouk & Ford (2000a), a terceira escala de importância hidrogeológica refere-se ao modo como os aquíferos elementares estão arranjados em relação ao acamamento sedimentar, ou seja, podem ser estratiformes, intraestratal ou interestratal. Estão distribuídos através de seqüências de rochas, sem qualquer alinhamento com planos de acamamento ou qualquer outro tipo de camada. Estão no interior de rochas não estratificadas.

Os estudos sobre fluxo de água em meio subterrâneo costumam se basear na lei de Darcy. Henri Darcy formulou as bases para descrever o fluxo subterrâneo em meio poroso

(num primeiro momento, referindo-se ao fluxo subterrâneo nos interstícios granulares de um aquífero arenoso), originalmente definido como: $Q=kS[(H+e)/e]$, onde:

Q é o volume de água que flui por unidade de tempo,

S é a área do acamamento,

e é a espessura do acamamento,

H é a altura da água no topo do acamamento e

k é um coeficiente que depende da natureza da areia.

A lei foi estendida e a fórmula modificada para incluir o fluxo de fluidos, baseado na assertiva de que o fluxo é laminar e a inércia pode ser ignorada. É atualmente expressa como: $V=p(h/l)$, onde:

V é a velocidade,

h é a altura piezométrica,

l é o comprimento do fluxo entre dois pontos dados e

p é o coeficiente de permeabilidade do aquífero.

Portanto, a lei, atualmente, descreve a taxa de fluxo de fluido homogêneo através de meio poroso isotrópico, como sendo proporcional e em sentido da força diretiva (WHITTOW, 2000).

É fácil observar que, pela própria definição, essa lei não é plenamente aplicável ao carste, pois a porosidade secundária, ou ainda, a porosidade de condutos (terciária) torna a porosidade do meio não isotrópica. Assim, o estudo da hidrologia cárstica é regido por características próprias, diferenciando-se dos aquíferos em outros meios.

Essas características, são, basicamente, uma mescla, em maior ou menor grau, de fluxo difuso; sujeito portanto às leis de Darcy, com o fluxo em conduto, não sujeito a essas leis. Isso provoca uma grande dificuldade quando se tenta elaborar uma lei única. As tentativas para se estabelecer tal lei resultam numa aplicabilidade localizada. Assim, para elaboração de um modelo que será aplicado a um dado sistema (que não necessariamente se aplicará a outros), é preciso medir o comportamento do fluxo subterrâneo no sistema, avaliar as dimensões dos condutos e suas interconexões, como se dá a recarga do sistema, a porosidade da rocha encaixante, entre outros fatores para se conseguir elaborar um modelo.

O fluxo de água em pequenos tubos foi estudado por Hagen em 1839 e, posteriormente, por Poseuille, em 1846. Eles descobriram que o fluxo de água ou descarga específica era proporcional à perda da coluna d'água por fricção, ao longo do túnel (GILLIESON, 1996).

Sob condição de fluxo laminar em pequenos tubos, a descarga por unidade de comprimento pode ser calculada usando a equação de Hagen-Poiseuille (VENNARD; STREET *apud* GILLIESON, 1996):

$$Q=(\pi d^4 \rho g/128\mu).(dh/dl)$$

Onde:

Q é o volume de água que flui por unidade de tempo,

dh/dl é a perda da coluna d'água em uma unidade de comprimento,

d é o diâmetro do tubo,

μ é a viscosidade cinemática da água,

l é o comprimento do tubo e

ρ é a densidade da água fresca.

Disso pode-se deduzir que grandes tubos são muito mais condutivos que pequenos. Um tubo com 1 mm de diâmetro conduzirá o mesmo fluxo que 10000 capilares de 0.1mm de diâmetro. Isso significa que um tubo isolado, que atinja determinada dimensão, vai rapidamente capturar o fluxo dos condutos de diâmetro menor, fato de grande importância para o desenvolvimento de uma rede de cavernas.

Quando um tubo atinge uma determinada dimensão, então o fluxo se torna turbulento, e um limiar é ultrapassado para além dos limites da equação de Hagen-Poiseuille, tornando-a inválida; e a descarga é melhor estimada pela equação de Darcy-Weisbach (GILLIESON, 1996).

Gillieson (1996) relata ainda, que aparentemente a fricção mostra uma queda rápida e exponencial com o aumento da descarga, até que um valor constante seja atingido. A fricção é afetada pela dimensão do tubo, rugosidade das paredes e a complexidade da geometria dos condutos, incluindo a presença de rupturas.

Segundo White (1988), há três componentes nos sistemas hidrológicos cársticos:

1. O aquífero.
2. Os caminhos da bacia de superfície.
3. Os caminhos da bacia subterrânea.

O mesmo autor afirma que as bacias subterrâneas são definidas pela relação entre os sumidouros e os pontos de descarga. A bacia subterrânea está relacionada com a bacia de superfície, porque os caminhos apresentados pelo sistema de condutos são rotas alternativas ao fluxo do sistema de canais de superfície. Em alguns casos, os limites das bacias de superfície e de subsuperfície são idênticos, com os condutos subterrâneos servindo meramente

como rota alternativa. Em geral, no entanto, bacias subterrâneas não são precisamente congruentes com as bacias de superfície (WHITE, 1988).

O desenvolvimento de aquíferos cársticos depende, principalmente, de controles geológicos, geomorfológicos, climáticos e biológicos. A relação desses fatores de controle com as características físicas de um aquífero, como a porosidade, a condutividade hidráulica e capacidade de armazenamento, é ilustrada esquematicamente na figura 4. Fatores geomorfológicos, climáticos e biológicos também determinam as condições-limites do aquífero através do controle dos locais e quantidade de carga e descarga (FORD; WILLIAMS, 1989).

A análise da figura 4 nos mostra que os fatores geomorfológicos estão em estreita ligação com os fatores geológicos e com os fatores climáticos e biológicos. Interessante notar que os autores não associam os fatores geomorfológicos estreitamente com os processos químicos, sendo essa ligação muito mais forte com a geologia e com os fatores climáticos e biológicos. Vê-se aí uma tendência atual de considerar o fator químico importante, mas não o único ou principal, na evolução de um modelado cárstico.

Os fatores geomorfológicos recebem influência direta e influenciam os fatores geológicos e os fatores climáticos e biológicos, sendo a participação dos processos químicos menos importante. As condições limitantes do aquífero e a distribuição dos vazios recebem influência direta dos fatores geomorfológicos.

Partindo-se destas constatações, pode-se descrever um relevo cárstico observando-se os componentes geológicos e os fatores climáticos e biológicos, com algum condicionamento por parte dos processos químicos. Como estes fatores dependem de outros, não se pode desconsiderá-los, mas sua importância é reduzida.

A ênfase desta figura está na descrição da hidrologia de um sistema cárstico, se for feita uma reorganização visando a geomorfologia, a única ligação direta entre a hidrologia e a geomorfologia se dá através dos processos químicos, e essa ligação é precária.

Depreende-se, portanto, que a geomorfologia é muito mais importante para a compreensão do sistema hídrico do que o sistema hídrico para a compreensão da geomorfologia, restringindo-se, esta última, a favorecer a ocorrência de processos químicos, responsáveis por condicionar o aparecimento de formas cársticas. Essa aparente falta de importância ganha interesse se considerarmos que o sistema hídrico promove uma realimentação dos processos químicos, que estão mais diretamente ligados a geomorfologia.

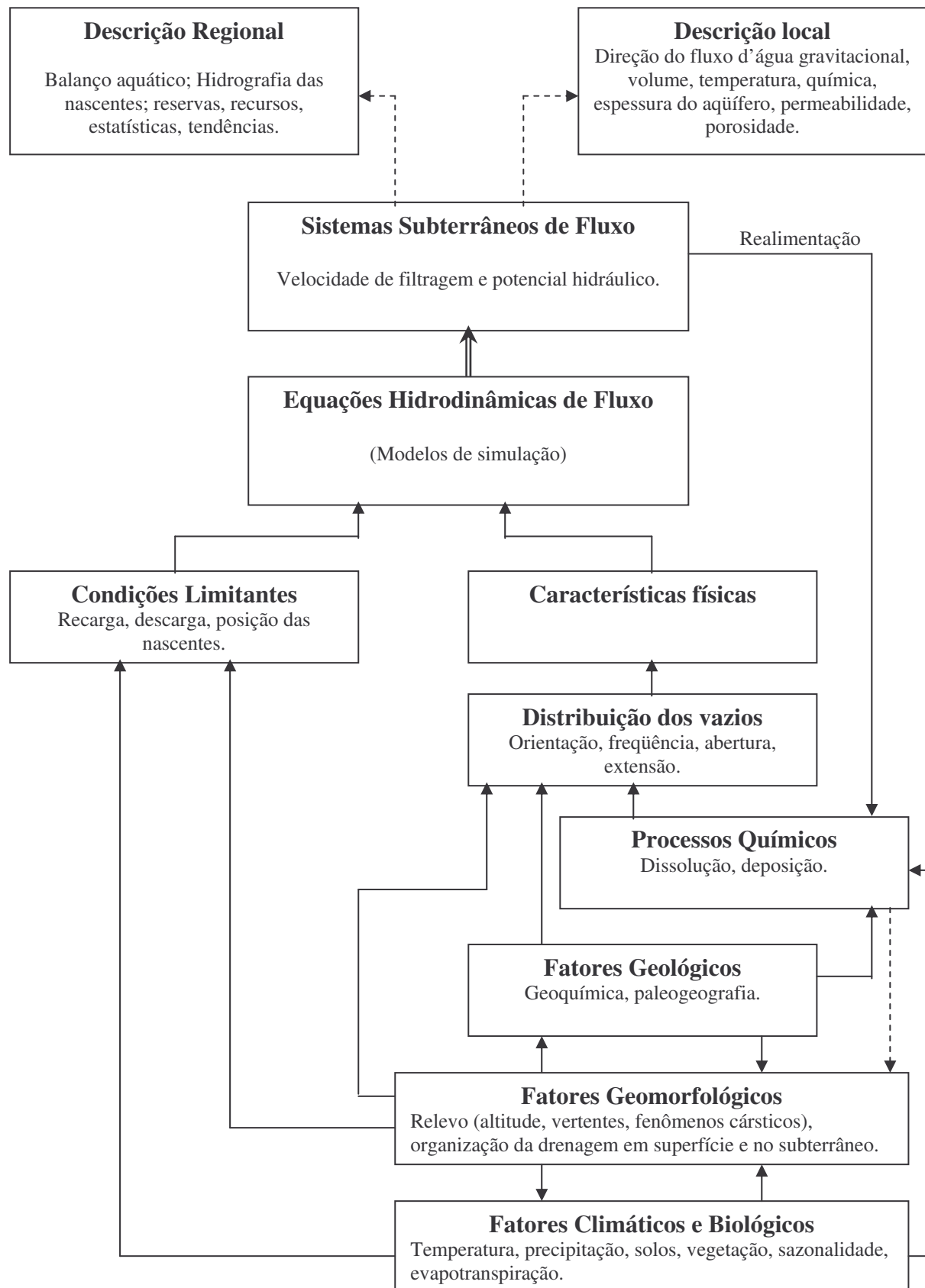


Figura 4: Relação esquemática entre fatores hidrológicos, propriedades físicas do aquífero e características geológicas do carste (FORD; WILLIAMS, 1989). Modificado.

2.5 – Influência da estrutura

Sendo a água um dos principais agentes modificadores da paisagem e o carste um tipo de relevo que permite a água escoar-se rapidamente para o meio subterrâneo, formas tectonicamente definidas tendem a permanecer aparentes no relevo devido à erosão diferencial. Sem fluxos de superfície e com a minimização dos processos associados ao recuo das vertentes, os topos dos interflúvios são minimamente erodidos, e o alargamento dos vales se processa muito lentamente (JENNINGS, 1985).

É evidente que a estruturação da rocha é fundamental, pois a existência de porosidade secundária, diretamente ligada ao tectonismo, faz com que a ação da água se dê no subterrâneo, dando origem, por exemplo, às cavernas, componentes subterrâneos do relevo.

Entre os diversos fatores que vão determinar as características do relevo, pode-se relacionar a *estrutura da rocha* (dependendo da granulometria), *porosidade*, *presença de maior ou menor conjunto de fissuras e fraturas*, *presença de impurezas na formação da rocha*, *mergulho das camadas e ocorrência de dobras*.

Bögli (1980), associa o desenvolvimento dos condutos de cavernas ao plano de acamamento associado ao conjunto de dobras, falhas e fraturas, elaborando um esquema do desenvolvimento de condutos.

Alguns elementos do carste da região de Prudente de Moraes estão associados à evolução dos maciços, distribuídos segundo condicionante estrutural, formando uma malha de diáclases alargadas, decorrentes da dissolução de diáclases cruzadas, individualizando formas quadrangulares sub-horizontalizadas (MOURA 1992).

Estudando o carste das montanhas Matumbi, na África, Ruggieri (1997) demonstra que ele está relacionado a um soerguimento tectônico, associado a um sistema de falhas NNE-SSW e NW-SE, condicionando algumas formas de relevo.

Durão (1998) relaciona a inclinação das cavidades existentes nas bacias hidrográficas dos córregos Piraputanga e Cachoeirinha, localizadas no município de Cáceres (MT), com o mergulho das camadas litológicas. Como se trata de um vale anticlinal, as cavidades de um lado do vale se apresentam em mergulho oposto às cavidades existentes no outro lado.

Vários dos abismos mais profundos do mundo estão localizados em áreas de falhas, onde o processo de erosão química é auxiliado pelo colapso periódico devido à fraqueza produzida por grupos de falhas e o aumento da permeabilidade associada (GILLIESON 1996). O mesmo autor relaciona passagens principais de cavernas que drenam ao longo de uma direção, com anticlinais, afirmando que a extensão de juntas nessas localidades

promovem grande dissolução, citando diversos exemplos. Sinclinais também são abordados pelo mesmo autor, influenciando a direção da drenagem cárstica.

Gillieson (1996) relaciona, ainda, a existência do maior salão subterrâneo conhecido, (salão Sarawak, em Lubang Nasib Bagus, na Indonésia, com um volume aproximado de 12 milhões de metros cúbicos, e dimensões do solo de 600m por 415m) á uma estrutura de dobramentos e falhas.

Para Klimchouk & Ford (2000b), os controles litológicos e estruturais relacionados a espeleogênese são complexos, especialmente em rochas carbonáticas. Esses evoluem por todo o processo, desde a sedimentação, eogênese, mesogênese e telogênese e podem mudar drasticamente entre esses estágios.

A estrutura da litologia onde se encontra um relevo cárstico está então, diretamente relacionada à ocorrência de formas cársticas, desde um nível microscópico, devido à cristalização da rocha, até um nível macro, relacionado a grandes movimentos tectônicos. Estudos litológicos e tectônicos são, portanto, necessários para a compreensão de um sistema cárstico.

2.6 – Influência do clima

A influência do clima no modelado do relevo é reconhecida já há vários anos. No entanto, uma grande discussão persiste sobre a relevância dos elementos climáticos na determinação das formas. No carste, tal discussão é ainda mais acirrada, pois sua evolução requer um mínimo de condicionantes estruturais, que muitas vezes determinam as principais formas de relevo. Chorley et al. (1984) declaram que a característica morfométrica, que parece ser diagnóstica de influências climáticas, é a densidade de drenagens. As influências podem agir diretamente (por exemplo, pela intensidade da precipitação), ou indiretamente (por exemplo, pela vegetação).

É evidente que tal característica é fundamental no carste. Já foi vista a importância da disponibilidade de água para a evolução da paisagem cárstica, e sabe-se que sua hidrologia tem características próprias. Portanto, em havendo maior disponibilidade de água líquida, sem a consideração de outros fatores, é de se esperar um carste mais desenvolvido.

Outro fator climático importante é a temperatura. Ford & Williams (1989) relatam a importância da temperatura para a capacidade da solução química de dissolver mais, ou menos, carbonato de cálcio. A 25° C, a solubilidade da calcita na água equilibrada em

atmosfera padrão (Pressão $\text{CO}_2 = 0.03\%$) é de 55 mg l^{-1} . Esse valor aumenta para 75 mg l^{-1} a 0°C .

No entanto, o interessante estudo de Junshu et al. (1997) mostra, que nos ambientes cársticos da China, a temperatura de 15°C é um marco onde, tanto temperaturas maiores, quanto temperaturas menores, aumentam a dissolução do calcário. Os autores oferecem como possível explicação a cinética de dissolução, que aumentaria com o aumento da temperatura, compensando a diminuição de solubilidade em função da temperatura.

Tanto Jennings (1985) quanto Ford & Williams (1989) concordam que a principal influência do clima no carste é a presença ou ausência de água líquida no sistema. Havendo disponibilidade de água líquida, o carste tem condições de se desenvolver bem. Caso não ocorra, haverá um menor desenvolvimento do carste.

No ambiente terrestre, são duas as circunstâncias em que falta água líquida no sistema: em regiões desérticas e em regiões extremamente frias.

Para Jennings (1985), o relevo cárstico existente em áreas extremamente quentes e secas quase sempre se apresenta pobremente desenvolvido, com poucas formas aqui e ali para quebrar a monotonia. Teoricamente ele atribui a expectativa à ausência de água, de vegetação, e de dióxido de carbono no solo.

Ford & Williams (1989) complementam a idéia ao relacionar a ocorrência de solo pouco espesso e fragmentado ao clima seco, sendo, então, menos influente na infiltração e no armazenamento de mistura que, em regiões úmidas, tem também reduzida a sua significância como fonte de CO_2 .

Estudando o carste de Bom Jesus da Lapa (BA), Tricart & Cardoso da Silva (1960) relacionam a evolução do carste a uma combinação de clima e pureza das rochas, que leva a inexistência do solo sobre as rochas e, apesar da pouca umidade, faz com que a pouca chuva que cai aja diretamente sobre o carbonato de cálcio, alargando as fendas e produzindo uma variedade de lapíás.

As conseqüências morfológicas desses fatores, segundo Ford & Williams (1989), variam de acordo com a litologia. Em rochas mais solúveis, como gesso ou halita, a influência de condições sub-úmidas é menos crítica que nos carbonatos. De fato, ressaltam os autores, as melhores expressões de carste em evaporitos são encontradas em ambientes relativamente secos.

Passando para o frio extremo, têm-se grandes áreas cobertas de gelo, onde, a ausência de água líquida praticamente impede o desenvolvimento do carste, prevalecendo formas de relevo associadas ao gelo. O carste, no entanto, pode se desenvolver, e bem, em áreas

periglaciais, onde, em parte do ano, existe água líquida. Nesse caso, a baixa temperatura da água é até uma vantagem, pois em baixas temperaturas, a água é mais eficiente na dissolução do calcário.

Ford & Williams (1989) elaboraram um quadro em que os efeitos da ação glacial sobre o carste são representados (quadro 2).

Destrutivos, perturbadores:

- (1) Apagar – karren e resíduos.
- (2) Dissecção – de sistemas integrados e canalículos.
- (3) Preenchimento – de karren, dolinas e formas de entrada; aluvionamento de nascentes.
- (4) Injeção – de sedimentos clásticos em sistemas de cavernas.

Inibitivos:

- (5) Escudo – depósitos ricos em carbonatos ou sulfatos protegem a superfície da dissolução pós-glacial.

Preservativos:

- (6) Selagem – depósitos ricos em argila selam e confinam aquíferos epicársticos.

Estimulativos:

- (7) Direcionando entradas, aumentando a coluna d'água – com a superimposição dos fluxos glaciais ou aquíferos.
 - (8) Rebaixando a elevação das nascentes – por entrincheiramento glacial.
 - (9) Possível injeção profunda – de águas glaciais mescladas/subterrâneas quando as camadas rochosas estavam sendo flexionadas durante rebatimento ou depressão crustal?
-

Quadro 2: Efeitos dos glaciares sobre sistemas cársticos, segundo Ford & Williams (1989), modificado.

Observa-se que existem, ainda, lacunas no conhecimento da ação do clima sobre o carste. Na maioria dos trabalhos consultados pouco se fala sobre a ação climática, e muitas vezes sequer é citada. Interessante notar, também, que poucos autores levam em consideração a variabilidade de temperatura para estudos do carste. Com raras exceções, os estudos se atêm mais à disponibilidade de água que à capacidade de dissolução em função da temperatura.

Existe, no entanto, uma variedade de estudos sobre o clima em cavernas. O interesse parece se concentrar na variabilidade climática no interior de uma caverna, ou em um sistema de cavernas, pouco importando, para os pesquisadores atuais, o clima no ambiente cárstico como um todo e sua influência no desenvolvimento do carste.

A pesquisa sobre clima e carste parece ter estancado com a constatação que certas tipologias de carste ocorrem, principalmente, sobre determinados climas. Assim, Sweeting, em 1973, já traçava as bases de uma classificação dos tipos de carste, atribuindo certas características a determinados climas. Trabalhos mais recentes, como o de White (1988), apenas complementaram essa classificação.

A contrapartida, isto é, o estudo do clima através do carste já é mais frequente. Lauritzen (1993) demonstra como esse tipo de estudo pode auxiliar na compreensão das

mudanças climáticas sofridas por um determinado ambiente no passado, usando, para isso, a análise de isótopos em espeleotemas.

2.7 – Solos sobre o carste

Gillieson (1996) chama a atenção para o fato de que muitos livros sobre o processo de dissolução do calcário tendem a se concentrar na química e na hidrologia, especialmente na parte do processo que ocorre no interior dos condutos. A camada de solo sobre muitas áreas de calcário tem um papel central nos processos cársticos, porque controla a infiltração e armazenagem da água, atuando como um gerador de CO₂, ou porque pode prolongar a dissolução.

O Carste se apresenta, em geral, com um solo pobre porque a formação de solo sobre o ambiente cárstico deve-se, principalmente, à litologia e aos processos de intemperismo associados.

Uma vez que os minerais da rocha são diluídos em solução aquosa, eles são transportados, em geral, para fora do sistema, implicando uma perda de massa e não formação de solo.

A existência de solo sobre o carste se explica, então, pelas impurezas em meio aos minerais formadores da rocha. Assim, quanto mais puro for o calcário, menos espesso será o solo. Se, por outro lado, houver grande quantidade de impurezas na rocha, então o solo poderá ser mais espesso.

Ciric (*apud* Piló 1998), com base em estudos feitos na Suíça, Alemanha, Bulgária, Paquistão e Iugoslávia, demonstra a dependência entre o tipo de solo e o modo de alteração da rocha calcária. Os calcários dolomitizados ou margosos (30 a 40 % de resíduos) teriam uma maior intensidade de formação e seriam mais profundos, se comparados com solos desenvolvidos em calcário puro, com lenta intensidade de formação e perfil raso (tabela 2).

Elementos Comparativos:	Características do intemperismo	Manto de alteração	Fase primária do desenvolvimento	Intensidade de formação	Espessura nos primeiros estágios	Desenvolvimento de processos cársticos
Calcário margoso e dolomitizado	intensa desintegração mecânica precede a decomposição química	carbonato margoso produzido pela desintegração mecânica	bem expressiva com minerais carbonáticos	rápido e intenso	moderadamente profundo a profundo	restrito
Calcário puro	decomposição química	resíduo insolúvel	bem expressiva com solos orgânicos sem carbonato	muito lento	raso	bem desenvolvido

Tabela 2: Características dos solos gerados nos dois principais grupos de calcários estudados por Ciric (*apud* Piló, 1998), modificado.

Piló (1998) elabora um perfil hipotético, sintetizando as características básicas de um solo desenvolvendo-se sobre calcários puros e maciços, apresentado na figura 5.

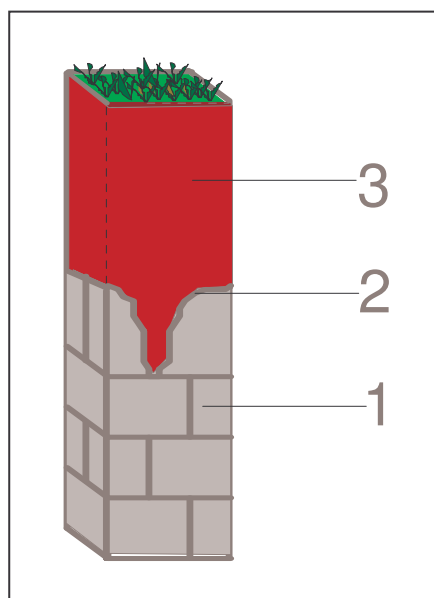


Figura 5: Perfil típico de alteração e de solos (autóctones) elaborados sobre calcário em meio muito lixiviado: 1 - rocha calcária maciça com mais de 90% de CaCO_3 ; 2 - alteração química do tipo pelicular através da dissolução do CaCO_3 e sua lixiviação da pedosfera, levando ao imediato desaparecimento das estruturas originais e das pseudomorfozes, ou seja, não ocorre um nível de alteração do tipo isalterita; 3 - solos com lenta intensidade de formação, constituídos pelo produto residual insolúvel, particularmente por minerais de argila (ilita e caolinita), geralmente rasos, antigos e, quase sempre, policíclicos. (PILÓ, 1998).

Segundo Courtney & Trudgill (1984), o solo sobre calcário não se desenvolve quando a rocha não se quebra facilmente e onde o clima é chuvoso, pois o cálcio é rapidamente lavado da superfície e não reposto com velocidade suficiente pelo intemperismo da rocha.

Outro fator determinante de um solo às vezes bastante espesso sobre o ambiente cárstico deve-se a uma outra litologia anterior àquela atualmente exposta. Assim, o solo que existe sobre a atual litologia não se encontra geneticamente a ela vinculada, mas é resultado da evolução sobre um outro tipo de litologia, já ausente no momento atual.

Esse é o caso apresentado por Piló (1998), em estudo realizado sobre área cárstica em Lagoa Santa. O autor demonstra, através da análise do solo e do estudo geológico da área, que o solo que recobre os calcários, hoje, é consequência, principalmente, da alteração quase completa e pedogenização de materiais pelíticos da Formação Serra de Santa Helena, que cobriam, com diferentes espessuras, os calcários.

Daoxian (1988) calcula que, para a formação de 1 metro de solo em substrato calcário são necessários de 250 a 750 mil anos. Como consequência, Labegalini (1996) considera que

os solos decorrentes da alteração do calcário, além de morosos na constituição, são pobres em materiais orgânicos.

Entende-se, desta forma, porque o solo sobre calcário ocorre, principalmente, nas depressões fechadas, pois ele seria acumulado na depressão pelo carreamento de várias áreas adjacentes, com terreno mais inclinado.

2.8 – Formas cársticas

O estudo do carste compreende certas formas de relevo que são características, pois sua ocorrência está associada ao próprio conceito. Nos ambientes cársticos, as formas consideradas componentes do relevo são importantes para a compreensão do chamado relevo cárstico.

Dentre as diversas formas consideradas cársticas algumas são muito características desse tipo de relevo. Assim, depressões fechadas de diversas dimensões e formas de corrosão são consideradas típicas do carste.

Para a maioria dos autores consultados, diversas são as formas que podem estar presentes e auxiliar na identificação de um relevo cárstico. A descrição mais completa parece ser a de Jennings (1985), tomada como referência para a descrição das formas a seguir, complementadas com material de autores como White (1988) e Sweeting (1973) e visitas a áreas cársticas brasileiras.

2.8.1 - Macroformas

- Cones e Torres (Cone and Tower)

Uma característica típica de alguns carstes tropicais são as colinas residuais com lados verticais ou quase verticais, conhecidas por cones. As formas dos cones e torres variam consideravelmente. A elevação delas pode variar de algumas dezenas a várias centenas de metros. As torres são mais verticais, enquanto os cones têm variações no diâmetro da base até o topo, dando a eles sua forma característica. Na figura 6 é apresentado um exemplo e, na figura 8, apresenta-se um modelo de relevo de carste em cone e torre, diferenciado do carste em *cockpit*.

No Brasil não se conhece relevo em Cone e Torre, embora encontrem-se formas de cone e torre isoladas em meio a paisagens cársticas, como, por exemplo, no Vale do Ribeira (SP), onde Karmann (2000), identifica alguns cones.



Figura 6: Carste em torre (Filipinas) segundo Ford & Williams (1989), foto de R. Wasson.

- Dolinas e Cockpits (Dolines and Cockpits)

As formas mais simples de depressão fechada no carste, conhecidas como dolinas, são geralmente circulares ou ovais em planta, com a profundidade variando muito. Podem, no entanto, assumir diversas formas: de pires, semi-esférica, ovais, cônicas e cilíndricas. Vão de poucos metros a várias centenas em diâmetro, podendo ter mais de uma centena de metros em profundidade. Conforme aumentam em tamanho, as formas se tornam mais complexas podendo transformar-se em outras categorias de formas, como vales e uvalas. São subdivididas em tipos diferentes, de acordo com a origem: dolinas de dissolução, de colapso, colapso devido a carste subjacente, de subsidência e afundamento aluvial, (figura 7), segundo Jennings (1985).

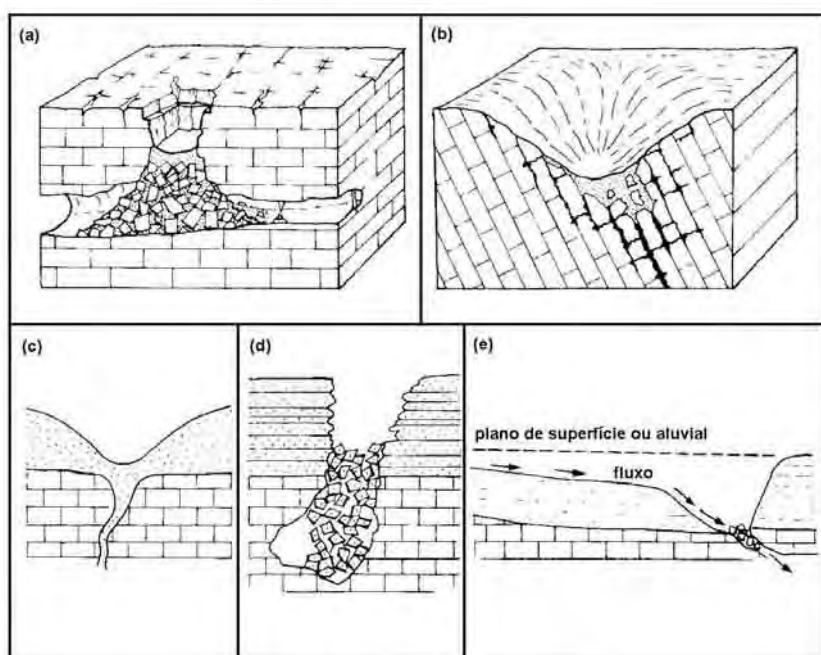


Figura 7: Diversos tipos de dolinas, segundo Jennings (1985). a) Dolina de abatimento; b) Dolina de dissolução; c) Dolina de subsidência; d) Dolina de abatimento devido a carste subjacente; e) Dolina em sumidouro aluvial. Modificado.

As dolinas de colapso podem se desenvolver no centro de topos de interflúvios ou em suas bordas. Quando se dá na borda, sua evolução permite o estabelecimento, no local, de anfiteatros.

No carste tropical existem, ainda, algumas formas que diferem das dolinas convencionais. Têm forma de estrela, com vertentes concavas entre as quais correm fluxos após chuvas fortes. Não são depressões sobre uma superfície plana, mas sim um conjunto delas em meio a colinas residuais Jennings (1985). O nome de origem jamaicana “cockpit” tem sido associado a esse tipo de forma. A diferenciação se faz, principalmente, pela forma das vertentes.

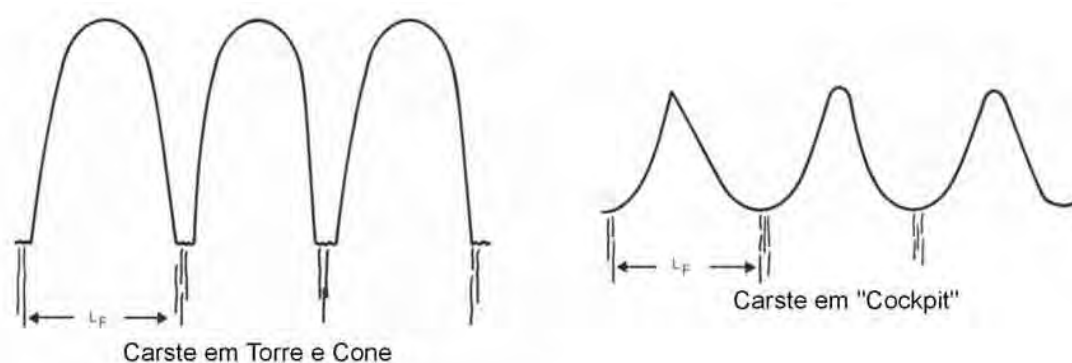


Figura 8: Uma visão “idealizada” para distinguir entre carste em torre e cone, do carste em cockpit, baseado na curvatura das vertentes. L_f é o espaço entre fraturas (WHITE, 1988. Modificado).

- Desfiladeiros (Gorges)

Os desfiladeiros, sob as mesmas condições de relevo e clima, desenvolvem-se mais frequentemente em rochas carbonáticas do que em outras rochas (JENNINGS, 1985). Tal fato se deve ao equilíbrio entre os processos de vertentes e a incisão provocada pelos rios, esta última muito mais marcante. Jennings (1985) considera que o fator mais importante é a incapacidade de os processos de evolução de vertentes atuarem no calcário e dolomito erodindo as vertentes e gerando vales em forma de V. Isso se deveria ao predomínio da infiltração e reduzido fluxo aéreo, diminuindo a erosão das vertentes.

No Brasil, canyons de origem cárstica são comuns, como os encontrados no Vale do Ribeira (SP), Vale do Peruaçu (MG), assim como em áreas de estudos da Bahia e de Goiás (figura 9).

Esse tipo de canyon está associado, muitas vezes, à evolução de um cavernamento, que ao se aproximar da superfície, torna instável o teto, que acaba por ruir em função do

próprio peso. Tal parece ser o caso do canyon do rio Peruaçu, afluente do São Francisco, já que boa parte de seu curso se dá em meio a cavernas de grandes dimensões e entre elas, se pode observar grandes blocos abatidos.



Figura 9: Desfiladeiro em forma de cânion nas proximidades da ressurgência de Brejões - BA. Foto Rubens Hardt.

- Cavernas Meândricas (Meander Caves)

Cavernas meândricas são aquelas formadas na lateral de um desfiladeiro, devido à corrosão lateral de um rio, decorrente da formação de um meandro. São normalmente um grande salão, mais largo que profundo, que acompanha a curvatura do meandro (Figura 10).

No vale do Peruaçu, norte de MG, município de Januária, existe uma cavidade formada no interior de uma grande dolina de abatimento, nas proximidades da gruta do Janelão, com características típicas de grutas meândricas. Hoje o rio Peruaçu se encontra em um nível mais baixo, não mais passando pelo local.

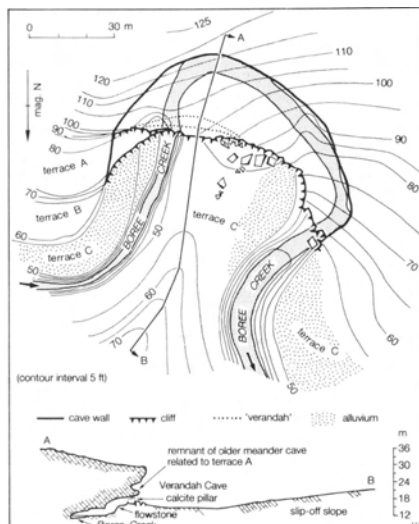


Figura 10: Caverna meândrica em Boree Creek, Boreenore, NSW, segundo JENNINGS (1985 - pag. 93).

- Pontes Naturais (Natural Bridges)

São mais comuns em vales cársticos do que em qualquer outro tipo de litologia, mas variam muito em forma e gênese. Deve-se diferenciar entre ponte natural e arco natural. Sob uma ponte, passa ou passou um rio, enquanto em um arco, a cobertura não atravessa um vale, mas perfura a lateral de uma parede de rocha devido ao intemperismo. Também é difícil distinguir-se uma caverna de uma ponte. O critério mais comum é a iluminação diurna através do vão da ponte (figura 11). Três tipos são mais comuns no carste: pontes devido a uma estreita faixa de calcário acamada sobre um curso d'água, que origina a ponte; pontes devido ao desabamento do teto de uma caverna, cujos restos passam a ser a ponte e “autocaptura”, onde um meandro cresce através de um cavernamento, e acaba capturando seu próprio curso.

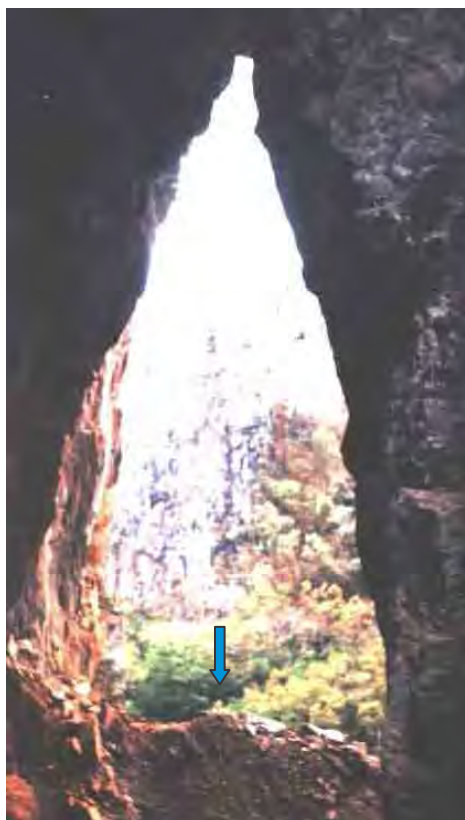


Figura 11: Gruta conhecida como “Arco do André”, na realidade uma ponte natural sobre o rio Peruaçu, que passa em meio aos blocos abatidos na base da gruta. Em seu maior desnível, do teto ao chão, ultrapassa 110m. Repare na pessoa, (pequena mancha amarela) logo abaixo da seta. Foto: Rubens Hardt.

- Vales Semicegos (Semiblind Valleys)

Os vales semicegos são assim chamados, pois, em condições normais, o fluxo de água mergulha em um sumidouro e fica subterrâneo. No entanto, em épocas de chuva intensa ou derretimento de neve, o conduto subterrâneo não provê vazão suficiente e parte da água

percorre a superfície. Lino (2001) descreve uma ocorrência na região de Bonito, MS, conforme se pode observar na figura 12.



Figura 12: Vale semicego, em Bonito - MS. Em condições normais, a água desaparece em um sumidouro pouco antes da ponte. Em épocas de chuva, a vazão fluvial é aumentada e as águas percorrem todo o vale. Foto: Clayton F. Lino.

- Vales Cegos (Blind Valleys)

Semelhantes aos vales semicegos, com a diferença que, mesmo em épocas de intensa pluviosidade ou derretimento de neve, o sumidouro absorve totalmente a vazão do rio. A forma do vale pode ou não existir a jusante do sumidouro. Quando existe, é um testemunho de uma época em que o sumidouro não existia ou estava em um estado incipiente de desenvolvimento.

- Vale Seco (Dry Valleys)

Os vales secos são similares, em muitos aspectos, aos vales de rio, mas não há água correndo neles. Vales secos podem ser longos e formar sistemas ramificados. Podem estar associados a uma drenagem subterrânea que “capturou” o rio que lhes deu origem. Este é o caso do vale apresentado na figura 13, onde o rio Jacaré, provável formador, corre hoje sob o maciço rochoso à esquerda, na gruta de Brejões.



Figura 13: Vale seco nas proximidades da gruta de Brejões - BA. Possivelmente formado pelo rio Jacaré, que hoje percorre a referida gruta. Foto: Rubens Hardt.

- Uvalas

É um complexo de formas de depressões fechadas com mais de um ponto de captação de água em seu conjunto. O tamanho não é um critério, mas, por natureza, são maiores que as pequenas dolinas porque são formadas pela associação de diversas depressões fechadas, como uma cadeia de dolinas interconectadas.

- Poljes

Grandes depressões fechadas com solo espesso através das quais há um fluxo de água. São normalmente alongadas nas direções dos eixos tectônicos, mas também podem ser compactas e de forma irregular. É necessário que a depressão tenha diversos quilômetros quadrados antes de ser considerada um polje (figura 14). As drenagens ressurgem e desaparecem no âmbito da própria depressão. Podem ser alongadas, quando sob a influência de eixos tectônicos, ou não, assumindo uma forma irregular.

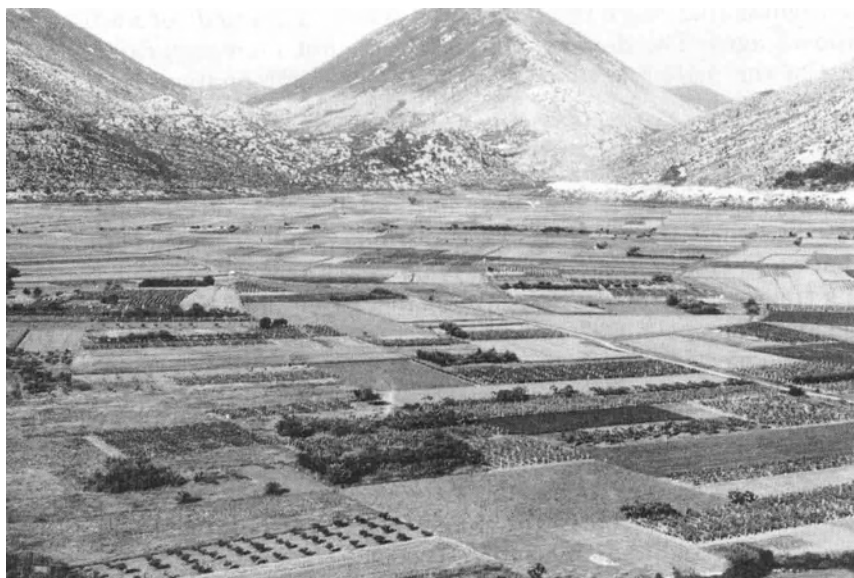


Figura 14: Final Oeste do polje Popovo, Iugoslávia. A foto mostra apenas um segmento do total de 60 km de comprimento do polje. (WHITE, 1988, p. 40).

- Sumidouros (sinkholes; swallow holes; ponor)

Áreas de aporte de um fluxo d'água que se torna subterrâneo a partir daquele ponto. Podem ser de diversos tamanhos ou formas, como a de um abismo, a de uma passagem obstruída por sedimentos e entulho, ou de uma boca de caverna (figura 15). Quando o sumidouro eventualmente atua como surgência fluvial, é identificado como ponor.



Figura 15: Sumidouro do ribeirão das Ostras. Gruta da Tapagem - SP. Foto: Rubens Hardt.

- Nascentes e Ressurgências Cársticas (Karst Springs)

Áreas ou pontos de onde a água continuamente emerge do subterrâneo. São consideradas nascentes se a origem da água é desconhecida, surgindo, pela primeira vez, na superfície. Caso seja um rio ou fluxo que já esteve na superfície, sumiu e reapareceu, são chamados de ressurgências. As nascentes são, por vezes, chamadas de Vaclusianas, quando são de origem artesianas, ou provenientes das profundezas (águas profundas). Figura 16.



Figura 16: Nascente cárstica próximo a Serra do Calcário – Cocalinho/MT. Foto: Rubens Hardt.

- Formas de Ruínas (Ruíniformes)

São formas resultantes do alargamento de fissuras e planos de clivagem pela dissolução da rocha pela água. Muitas vezes são originadas em subsuperfície ou zona epicárstica, vindo posteriormente a ser expostas (carste exumado). A figura 17 apresenta a sua forma típica.



Figura 17: O topo de paredões em carste costuma apresentar formas ruíniformes, como as observadas nesta foto (Vale do Peruáçu - MG). Foto: Rubens Hardt.

- Cavernas (Caves)

Talvez as cavernas sejam as formas de relevo mais conhecidas do carste, constituindo-se aberturas naturais na terra, caracterizadas pela forma e tamanho. A definição é essencialmente antropológica: cavernas são cavidades naturais subterrâneas, penetráveis pelo homem (figura 18). A origem de tais formas está associada à existência de uma porosidade que, no calcário, é secundária, permitindo a atividade de dissolução em profundidade, dando origem aos tubos (pipes), os quais, quando alargados, levam à abertura de espaços suficientemente amplos para serem considerados cavernas.



Figura 18: Conduto no interior da gruta de Brejões. Foto: R. Hardt.

2.8.2 - Microformas

- Karren ou Lapiás (Karren)

A chuva direta, lavando a superfície da rocha, promove fluxos canalizados e percolação em diversos tipos de materiais, produzindo uma miríade de pequenas formas na camada superficial de rochas. São considerados uma classe e chamados genericamente de Karren ou lapiás. As propriedades litológicas, a presença de xistosidade, espessura do acamamento e a porosidade primária contribuem para o tipo de karren desenvolvido. Rochas com acamamento fino, com poucas impurezas, desenvolvem karren mais facilmente (figura 19).

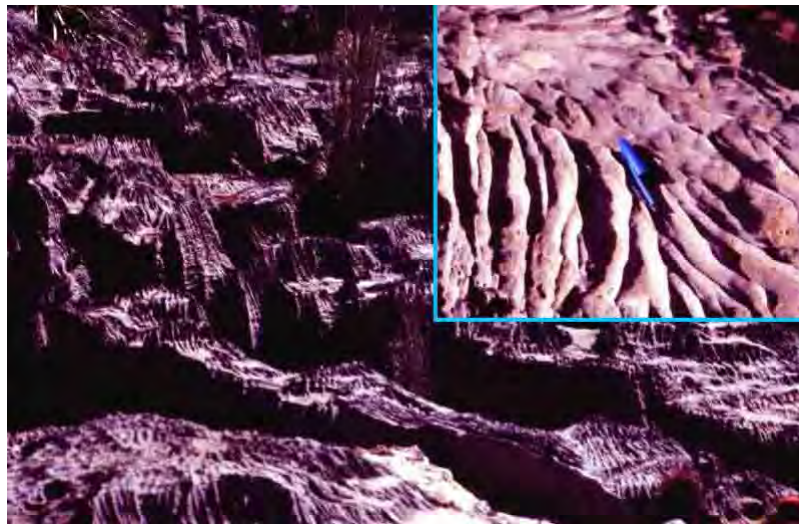


Figura 19: Karrens diversos sobre calcário nas proximidades da gruta de Brejões. Observe o detalhe, no canto superior direito da foto. Foto: Rubens Hardt.

Os principais tipos de karren, segundo Bögli (1980), seriam:

- Karren livre, onde a água flui sobre a superfície do calcário;
- Karren semi-exposto, onde, sobre a cobertura lisa do calcário, acumulam-se pequenas áreas de solo, permitindo o aparecimento de CO₂ de origem biógena;
- Karren coberto, onde o solo recobre toda a superfície do calcário, e a corrosão é intensa;
- Grikes, que são juntas abertas pela corrosão;
- Karren tables, quando uma área toda é rebaixada por corrosão, e blocos de rocha mantêm um testemunho, cujo topo é o antigo plano do maciço carbonático;

- Surf karren, formado por respingos provocado pelo bater das ondas em uma costa carbonática, acima da linha d'água.
- Tufas e Travertinos (Tufa and Travertine)

Tufa ou travertino é o termo usado para depósitos de carbonatos primários, sólidos e cristalinos decorrentes da água em movimento. Jennings (1985) diferencia a tufa do travertino definindo o primeiro como um depósito mais poroso e o segundo, mais denso e cristalino. Parece, no entanto, tratar-se de estágios diferentes da mesma formação.

- Tubos (Pipes)

Especialmente importantes no carste, os tubos são os responsáveis pela passagem de fluxo de laminar para turbulento, quando atingem dimensões entre 0,5 e 1 cm. Com o fluxo turbulento, o desenvolvimento das cavidades é acelerado, levando à formação de cavernas e inviabilizando a aplicação da lei de Darcy¹.

2.9 – O conceito de sistema em geomorfologia e sua aplicabilidade em ambientes cársticos

A abordagem sistêmica não é nova, e vem sendo estudada desde a década de 60 do século XX pelo menos. Em 1971, Chorley & Kennedy (1971) lançaram um livro que pode significar a primeira síntese sobre a aplicação da teoria dos sistemas em geografia física.

Nesse trabalho, os autores consideram o mundo real como contínuo. Estruturas isoladas seriam subjetivas e porções artificiais da realidade. Assim, o primeiro e fundamental problema é a identificação e a separação de seções do mundo real *que possuam significados* (meaningful sections - grifo nosso). Por um lado, cada seção ou estrutura deve ser suficiente complexa possuindo um alto grau de coerência interna, possibilitando, de um lado, produzir resultados úteis e significantes; por outro, cada seção deve ser simples o suficiente para ser compreendida e estudada (CHORLEY; KENNEDY 1971).

Prosseguindo em suas colocações, Chorley & Kennedy (1971) consideram que estes estudos devem ter, como tema central, a análise da maneira como cada componente do mundo

¹ Confira a definição na página 16.

real está internamente estruturada, ou seja, organizada, unida, relacionada; e, posteriormente, como cada seção se liga com outras estruturas, que são comumente chamadas de sistemas.

Para Gregory (1992, pag. 217), temas como métodos quantitativos, cronologia, processos e atividade humana, têm defensores que poderiam proclamar que um destes quatro seria o paradigma dominante para o geógrafo físico. O autor prossegue: “*Todavia, cada um destes temas exige uma metodologia unificadora, e a abordagem sistêmica oferece, potencialmente, essa metodologia*”.

Scheidegger (1987) considera a paisagem um sistema dinâmico, composto por uma inter-relação de cinco princípios, o *princípio do antagonismo*, *princípio da instabilidade*, *princípio de catena* (cadeia), o *princípio da seleção* e o *princípio do controle estrutural*.

O Princípio do Antagonismo, conforme apresentado por Scheidegger (1987), pode ser entendido, para uma determinada paisagem, como representante do equilíbrio instantâneo da interação de dois processos antagônicos: os exógenos e os endógenos. Este equilíbrio, se tomado ao longo do tempo, é dinâmico. Para o autor, processos exógenos são aleatórios, enquanto os processos endógenos não apresentam essa característica, pois ocorrem, preferencialmente, em zona de contato de placas.

Scheidegger (1987) também define o Princípio da Instabilidade, tomando por base o equilíbrio dinâmico da paisagem como sendo instável, baseado nas seguintes considerações: primeiro, feições individuais da paisagem tendem a não ser permanente, apesar de sua aparência permanecer constante; segundo, a direção da mudança é tal que as feições se afastam do aspecto de uniformidade.

O próximo princípio apresentado por Scheidegger (1987) é o Princípio de Catena. Este princípio foi inicialmente apresentado por pedólogos, que repararam em certas seqüências definidas de solo, com recorrência em vertentes. Esses tipos estão relacionados com a posição topográfica na vertente. Na geomorfologia as seqüências não se referem unicamente aos tipos de solo, mas também aos elementos morfológicos. Este princípio significa, portanto, que em determinadas áreas-chave, certas seqüências definidas (catenas) de elementos morfológicos ocorrem repetidamente.

O Princípio da Seleção propõe que os processos de degradação e erosão ocorrem de tal maneira que formas estatisticamente estáveis são preferivelmente selecionadas. O principal agente, que explica esse princípio, é o peso das formas. Assim, as formas e configurações naturais em uma paisagem são, primariamente, as mais estáveis em função de seu próprio peso.

Por fim, o Princípio do Controle Estrutural propõe que muitas das feições de uma paisagem são desenhadas em função dos processos tectônicos que determinam “linhas” preferenciais onde os processos exógenos vão atuar mais intensamente.

No estudo combinado desses fatores, Scheidegger (1987) acredita que é possível descrever qualquer sistema geomorfológico.

O processo da descrição pode ser interpretado como modelagem, uma vez que descrever um sistema, que é um ente dinâmico, implica descrever não o momento em si, mas o comportamento do sistema, permitindo antever sua evolução e reconstruir seu passado.

Então, a modelagem de sistemas é a base de um estudo sistêmico. Somente se pode estudar um sistema se for possível elaborar um modelo tão próximo quanto possível da realidade, que descreva o comportamento do sistema.

Como bem coloca Christofolletti (1999, pag. 19):

A modelagem pode ser considerada como instrumento entre os procedimentos metodológicos da pesquisa científica. A justificativa reside no fato de que a construção de modelos a respeito dos sistemas ambientais representa a expressão de uma hipótese científica, que necessita ser avaliada como sendo enunciado teórico sobre o sistema ambiental focalizado. Esta avaliação configura-se como teste de hipóteses. Sob esta perspectiva, a construção de modelos pode ser considerada como sendo procedimento inerente à pesquisa científica e a sua elaboração deve ser realizada acompanhando os critérios e normas da metodologia científica.

No campo dos estudos do carste, tem-se o interessante trabalho de Sanchez (1992), sobre sistemas de cavernas. O autor entende que um sistema de cavernas “*é uma unidade genética e funcional*” (op. cit., pag. 7), e também uma “*unidade lógica de referência*” (idem, pag. 7). O autor justifica o termo *unidade* por ser o resultado mais evidente dos processos cársticos, *lógica* porque fornece um instrumento conceitual para a análise dos processos cársticos, e *de referência* porque sua escala é a confluência de duas ordens de grandeza opostas, a descendente (província – distrito – sistema) e a ascendente (de uma caverna se passa para um sistema englobante).

É necessário definir, aqui, os termos “província” e “distrito”, entendendo-se por província uma região pertencente a uma mesma formação geológica, com a ocorrência de grandes corpos de rochas carbonáticas suscetíveis à ação cárstica. O termo distrito refere-se a setores de maiores incidências locais ou regionais de cavernas, cuja existência documenta a descontinuidade dos processos cársticos ao longo da província (KARMANN; SANCHEZ, 1979).

Voltando a Chorley & Kennedy (1971), em geografia física têm-se, primariamente, os sistemas abertos e fechados. Os abertos são os que estabelecem permuta de material e energia. Dentre eles, têm-se: o Sistema Morfológico; o Sistema Processo-Resposta; o Sistema em Cascata e o Sistema Controlado.

O Sistema Morfológico pode ser entendido como as propriedades físicas e morfológicas instantâneas, integradas, formando uma unidade operacional e reconhecível da realidade física, tendo a força e a direção dessa conectividade revelada por uma análise de correlação. São análogos a estruturas mecânicas, em que uma força externa aplicada ao sistema é liberada por uma deformação, um reajuste das variáveis associadas de forma a produzir um novo equilíbrio.

O Sistema em Cascata é compostos por uma cadeia de subsistemas, freqüentemente caracterizados por um limiar, tendo uma localização geográfica e magnitudes espaciais, ligados dinamicamente por uma cascata de massa ou energia. A saída de um subsistema torna-se a entrada de outro. Estudando esses sistemas, a ênfase deve recair sobre as relações de entrada e saída, sendo conveniente esboçar, segundo Chorley & Kennedy (1971), três formas de análise:

- a) Caixa Branca. Um esforço é feito para identificar tanto quanto possível os meios de armazenamento, fluxos, etc, de forma a se obter o conhecimento mais detalhado possível de como a estrutura interna do sistema produz determinada saída em função da entrada.
- b) Caixa Cinza. Envolve um conhecimento parcial do sistema, onde o interesse é centrado em um número limitado de subsistemas, e as operações internas não são consideradas.
- c) Caixa Preta. O sistema todo é tratado como uma unidade, sem qualquer consideração de sua estrutura interna, e a atenção é direcionada exclusivamente para as características de saída em função de uma entrada identificada.

O Sistema Processo-Resposta é formado pela interseção dos Sistemas Morfológicos e em seqüência. Pode ser visto como uma combinação de componentes em seqüência (catena) e morfológicos, que se ajustam mutuamente para modificar as relações de entrada e saída. A ênfase é posta na identificação das relações entre um processo e as formas resultantes do mesmo.

O Sistema Controlado é aquele em que a ênfase recai sobre certas variáveis-chave, ou válvulas, nas quais a inteligência pode interferir para produzir mudanças operacionais na distribuição de energia e massa. Esses sistemas podem ser visualizados como estruturas tri-

dimensionais nas quais as relações e os fluxos que formam os sistemas socioeconômicos de tomada de decisão, interpenetram os sistemas físicos de processo-resposta, através das válvulas de controle.

Neste trabalho pretende-se estabelecer a descrição sistêmica do tipo processo-resposta, utilizando-se da proposição de Scheidegger (1987).

III – Fisiografia e Geologia da Serra do Calcário

3.1 – Considerações gerais

A área de estudo situa-se no centro-oeste brasileiro, em meio ao estado de Mato Grosso, numa área onde a disponibilidade de água é grande, mesmo nos meses em que não chove.

Tendo sido ocupada, no passado, pelo cerrado, foi totalmente descaracterizada, transformada pela ação humana. A vida animal constitui-se de bandos de macacos, alguns predadores, como a onça pintada, e aves diversas. Também foram observados lagartos e tamanduás.

O cerrado (savana) que recobria a área há poucas décadas já foi quase totalmente substituído por pastagens. Parte das áreas próximas está quase que permanentemente alagada, sobretudo nas cotas abaixo de 250m, formando um ecossistema semelhante ao do Pantanal, mas de muito menor dimensão.

É uma área já fortemente antropizada, constituindo-se basicamente de áreas de pasto para gado de corte. Na área da serra já existem duas mineradoras de calcário, uma delas ativa há aproximadamente três décadas, o que motivou o aparecimento de uma vila. Uma outra frente de lavra, na parte mais oriental da serra, em área pertencente à fazenda Água Preta, iniciou-se em 2002, e está motivando o aparecimento de outra vila.

3.2 – Geologia

O município possui, em seu território coberturas, não dobradas do Fanerozóico, bacia quaternária do Alto e Médio Araguaia, coberturas dobradas do Proterozóico com granitóides associados, grupo Cuiabá.

A rocha que compõe os morros residuais é calcária do Proterozóico superior (pré-cambriano), formação Araras (DRAGO et al., 1981), envoltas por sedimentos aluviais com níveis de cascalho de idade quaternária (SCHOBENHAUS et al. 1984).

Existe uma contradição entre os trabalhos supracitados que relacionam a formação Araras com idade Proterozóica superior, pré Cambriano (DRAGO et al., 1981), e com idade Paleozóica, Cambriano (SCHOBENHAUS et al. 1984). De qualquer forma, situada entre

580 milhões e 530 milhões de anos. Isso evidencia a falta de estudos geológicos mais detalhados. Apesar da contradição no texto, no mapa geológico de Schobbenhaus et al. (1984), os autores atribuem à região idade Proterozóica superior. A contradição deve estar relacionada com a descrição da Formação Araras, cuja principal ocorrência não é a área de estudo.

Ambos concordam que se trata de rochas da formação Araras, componente do Grupo Alto Paraguai. Segundo Schobbenhaus et al. (1984), a formação Araras é composta por calcários finos, laminados na base com margas conglomeráticas. Para o topo, predominam os dolomitos e aparecem lentes de arenitos. Para Drago et al. (1981), a litologia é constituída, basicamente, por rochas carbonáticas. Os calcários e dolomitos existentes na área são de cor cinza a cinza-claro, localmente róseo, com estruturas estromatolíticas tipo tapete algal, as vezes silicificados. Mais para o topo ocorrem níveis de chert e metapelitos, provavelmente na zona de transição entre esta e a formação Raizama. Em relação à cor, elas foram constatadas nas visitas feitas em campo.

Almeida (1984), propõe a seguinte coluna estratigráfica para a área (figura 20):

Eon	Era	Período	(Ma)	Grupo	Formação
Fanerozoico	Paleozoico	Cambriano	500	Alto Paraguai	Granito São Vicente, Vulcânicas do Mimoso
					Diamantino
					Raizama
Proterozóico	Superior	Eocambriano	570	Corumbá	Tamengo
					Bocaina
					Cerradinho
			650	Boqui Jacadigo	Puga
					Bauxi
					Urucum
			1000	Cuiabá	Santa Cruz
					Araras

Figura 20: Coluna estratigráfica da Província Tocantins, conforme Almeida (1984).

Em um outro trabalho (ALVARENGA; SAES, 1992) encontra-se um esquema da estratigrafia sem escala, reproduzido parcialmente e modificado, na figura 21.

Conforme os autores:

Três unidades litoestratigráficas principais foram individualizadas, uma unidade cuja sedimentação foi interpretada como glácio-marinha no domínio da plataforma (Formação Puga) e no domínio do talude foi caracterizada pelo forte retrabalhamento de sedimentos glácio-marinhos por correntes de turbidez (Grupo Cuiabá); uma unidade carbonatada pós-glacial, com calcários e dolomitos (Formação Araras), sobre a plataforma cratônica, que passa lateralmente para calcários mais argilosos (Formação

Guia) em direção a zona interna da faixa; a unidade superior (Formações Raizama e Diamantino) é formada por sedimentos siliciclásticos.

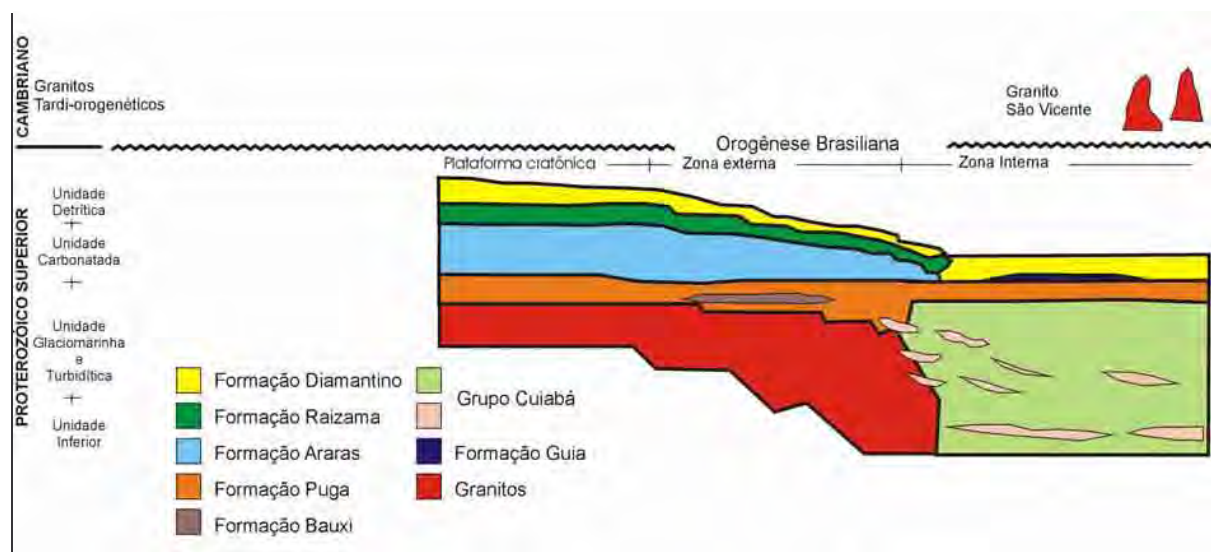


Figura 21: Esquema das relações estratigráficas do proterozóico superior na borda sudeste do cráton amazônico, com base no trabalho de Alvarenga & Saes, (1992), elaborado por R. Hardt (sem escala).

A ausência de dados geológicos da área levou à busca por estudos em áreas próximas, para compreensão, ainda que aproximada, da geologia local. No trabalho de Lacerda Filho et al. (2001), referente à região norte do Mato Grosso, é feita uma descrição estrutural, cujas linhas de falha se assemelham com às observadas na área, conforme o mapa de Schobbenhaus et al. (1984), o que, dada a proximidade, parece estarem ligadas pelo mesmo evento tectônico. Os autores identificam o domínio dúctil, associado a rochas de médio a alto grau, que mostra estilo deformacional progressivo compressional de SW para NE, culminando com o desenvolvimento de uma zona de subcarreação, colocando unidades de oeste (terrenos de alto grau) sob as suítes pluto-vulcânicas pouco deformadas de nordeste. Zonas de cisalhamento dúctil NW-SE e EW quilométricas, com cinemática conjugada sinistral e dextral transpressionadas e oblíquas são dominantes, segundo os autores. A superfície milonítica transpõe um bandamento gnáissico geralmente marcado por dobras assimétricas abertas e isoclinais fechadas, às vezes confinadas entre zonas de cisalhamento. Também ocorrem zonas de cisalhamento transcorrente dúctil, marcadas pelo desenvolvimento de outra superfície milonítica, de direção NE-SW, que trunca e transpõe as zonas de cisalhamento anteriores.

Um outro domínio identificado pelos autores é o rúptil-dúctil, que representa os terrenos pouco deformados do cinturão granito-vulcânico e coberturas sedimentares proterozóicas. Caracteriza-se por zonas de cisalhamento centimétricas a métricas, na maioria das vezes descontínuas, formadas a partir da nucleação de fraturas e/ou falhas com direções

NW-SE e EW, com cinemática transcorrente sinistral e N-S (dextral). Desenvolvem-se a partir de um sistema compressivo. As zonas de cisalhamento caracterizam-se pelas rochas filoníticas e miloníticas resultantes da interação entre as rochas graníticas e fluidos hidrotermais.

Na figura 22 é apresentado um fragmento do mapa geológico da área, produzido por Schobbenhaus et al. (1984), onde se podem observar as formações aflorantes.

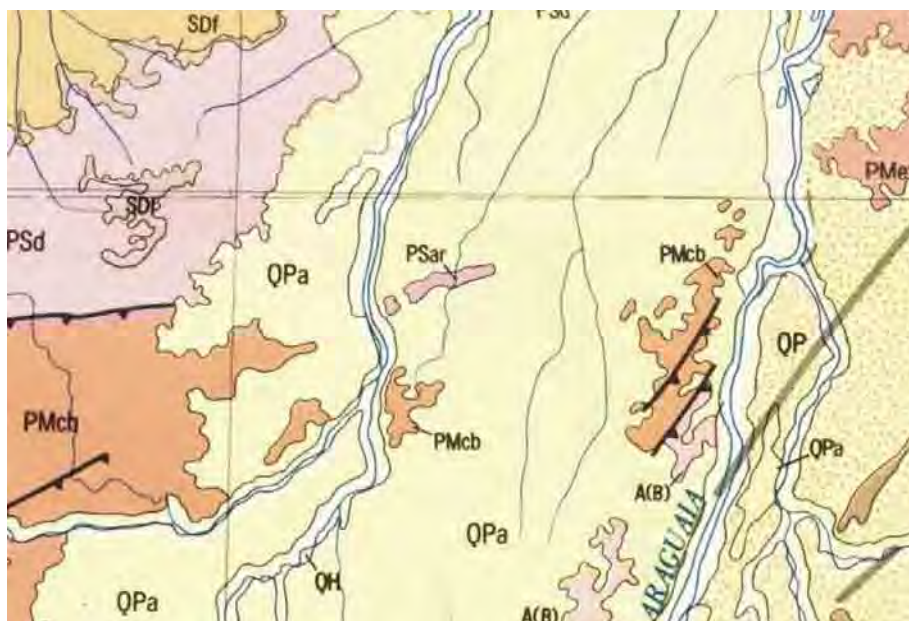


Figura 22: Fragmento do mapa geológico de Schobbenhaus et al. (1984), mostrando a área no centro, definida como PSar – calcário, marga, dolomito folhelho, argilito, siltito, arenito, arcóseo e sílex restritos, de idade Proterozóica superior, circundado por QPa – Aluviões com nível de cascalho, de idade Quaternária. Aparecem ainda: QH – aluviões fluviais; QP – Sedimentos detríticos com níveis de cascalho, laterita; SDf – Arenito; PMcb – quartzito, filito, xisto, cloritaxisto, metarcóseo, metagrauvaca, metaconglomerado, calcixisto, mármore, filito grafitoso e hematítico, metavulcânicas ácidas, intermediárias e básicas; rochas metamáficas e metaultramáficas; PSd – arcóseo, siltito, arenito, argilito, folhelho; conglomerado restrito; A(B) – complexo granito-gnáissico-migmatito;

As linhas de falhas da área tem orientação ENE, conforme inferidas por Drago et al. (1981), e coincidem com o alinhamento dos morros que compõem a serra. É interessante notar que tais morros são alongados no mesmo sentido, demonstrando um condicionante tectônico interferindo na forma final do relevo. A imagem de satélite que incorpora a área mostra isso claramente; e é parcialmente reproduzida na figura 23.

As referências geológicas da área são, em geral, muito poucas, não tendo sido encontrados estudos de detalhes. Nas observações em campo, pôde-se constatar a existência de falhas locais que indicam uma forte influência da tectônica como condicionante das formas de relevo lá encontradas.

Em campo, pôde-se observar um leve mergulho, da ordem de 7°, em dois pontos na área média da serra. Fraturas verticais e subverticais são observadas com frequência, realçadas pela dissolução da rocha, apresentando torres em diversos pontos da serra.



Figura 23: fragmento de imagem de satélite mostrando a área de estudo. Fonte: CD “Brasil visto do Espaço”, estado de Mato Grosso, produzido pela Embrapa.

Um estudo detalhado da geologia estrutural da área seria desejável, pois viria a complementar, e possivelmente corroborar, os estudos desta pesquisa.

3.3 – Relevo, solos e uso do solo

Se os estudos geológicos da área são poucos, os geomorfológicos são ainda mais raros, sendo que este trabalho poderá ser um dos primeiros a evidenciar detalhes do relevo local.

Aziz Ab'Sáber, em seu trabalho "Os Domínios de Natureza no Brasil" (2003), define uma macrocompartimentação do território brasileiro, definindo núcleos paisagísticos, denominados domínios, com áreas de transição, formando corredores, com características mistas. O autor considera que a estrutura das paisagens brasileiras "*comporta um esquema regional em que participam algumas poucas grandes parcelas, relativamente homogêneas do ponto de vista fisiográfico e ecológico*" (AB'SÁBER, 2003).

Ainda segundo o mesmo autor, a área integra o domínio dos Chapadões Tropicais Interiores com cerrados e florestas de galeria (AB'SÁBER, 2003).

Dessa compartimentação temos os chamados domínios de natureza, para cuja descrição se associam fatores geográficos e ecológicos. A compartimentação, por se tratar de um estudo em grande escala, não nos permite a compreensão de uma área sensivelmente menor.

Mamede et al. (1981) insere a área em estudo na Depressão do Araguaia, com uma área de 86.362 Km². Continuando a descrição, os autores relatam que a depressão se desenvolve sobre uma grande variedade de rochas do pré-cambriano indiferenciado, que constituem o Complexo Goiano, sobre rochas pré-cambrianas do grupo Araxá, englobando ainda uma pequena área do grupo Tocantins. Uma grande extensão da área se encontra recoberta por uma superfície detrítico-laterítica e depósitos aluvionares e coluvionares pleistocênicos.

Também é ressaltada pelos autores a regularidade das cotas altimétricas, que oscilam entre 200 e 300m, mantendo-se por toda a área. Tem como aspecto marcante a rede de drenagem com sua extensa e contínua deposição fluvial, originando planícies e terraços, muitas vezes associados.

O relevo da área de estudo é plano homogêneo, com alguns pontos mais elevados. Segundo Mamede et al. (1981), a parte mais baixa está recoberta, de modo contínuo e extenso, por sedimentos pleistocênicos aluvionares e coluvionares, areno-argilosos, inconsolidados, geralmente avermelhados. Predominam latossolos com cobertura vegetal de savana. A presença de lagoas é comum, com surgimento, na superfície, de materiais arenosos homogêneos, esbranquiçados e inconsolidados.

Na figura 24 tem-se uma visão da área de estudo. Os morros que compõem a Serra do Calcário aparecem ao fundo. A área plana é, hoje, toda transformada em pasto. A presença de cursos d'água é uma constante na época das chuvas, formando vários alagadiços e cursos superficiais (corixos) entre os morros. Observa-se no morro uma vegetação ainda original, com árvores de razoável porte em alguns pontos, que parece implicar alguma profundidade de solo, o que não se verifica "*in loco*". O solo é quase inexistente, e as árvores se prendem à rocha, "abraçando" grandes blocos. Através do corte da estrada, pode-se observar a coloração avermelhada do solo, descrita anteriormente.



Figura 24: Visão parcial da área de pesquisa. Proximidade da Gruta Lagoa Azul. Foto: Rubens Hardt.

A simples observação da área mostra, ainda, a presença de grandes lagos, sobretudo na face sul da serra, e buritizais associados às margens desses lagos e outros alagadiços. Alguns poucos capões de cerrado ainda existem na área, sobretudo em alguns pontos próximos ao costado da serra e em alguns dos morros residuais. Alguma mata de galeria é observada nas margens do Rio Cristalino e em setores às margens do Rio das Mortes. O solo nos morros que compõem a Serra do Calcário é praticamente inexistente, sendo que a vegetação que recobre se instala nos vãos existentes nas rochas. Em alguns poucos pontos se observa um horizonte “A” incipiente.

Existem anfiteatros nas vertentes dos morros que compõem a serra. São mais frequentes nos morros no extremo oeste da serra, tornando-se mais raros à medida que se avança para leste. A ocorrência dos anfiteatros se dá, em geral, à meia altura da vertente, alguns apresentando um leve dolinamento em seu interior, indicando dissolução.

Observam-se, ainda, na superfície plana que envolve a serra, áreas de acumulação sujeitas a inundações pluviofluviais.

3.4 – Clima

O clima da área é considerado quente, com média superior a 18° C em todos os meses do ano. É subdividido em semi-úmido, com 4 a 5 meses secos, e pertence à zona Clima Tropical Brasil Central, submetida ao Sistema de Circulação Perturbada de Oeste e ao

Sistema de Circulação Perturbada de Sul, tendo uma menor influência do Sistema de Circulação Perturbada de Norte (NIMER, 1979). O Sistema de Circulação Perturbada de Oeste é responsável pelas linhas de instabilidades tropicais; o Sistema de Circulação Perturbada de Sul está relacionado ao anticiclone polar e frentes polares, sendo o Sistema de Circulação Perturbada de Norte associado à convergência intertropical.

Segundo Mamede et al. (1981), o clima da região tem 80% das chuvas ocorrendo entre novembro e março, e de maio a setembro a umidade relativa permanece abaixo de 70%. Mamede et al. (1981) relata ainda que a região fica sob domínio dos ventos do leste e de nordeste provenientes do anticiclone subtropical do Atlântico Sul, que dá origem ao tempo bom. O Sistema de Circulação Oeste é o principal responsável pelas instabilidades da região, enquanto o Sistema de Circulação Perturbada de Sul (frente polar) atinge a área com mais frequência no inverno, trazendo chuvas esporádicas seguidas de queda de temperatura.

As estações climáticas de Cuiabá e Goiânia, cujos dados estão disponíveis, apresentam as seguintes curvas de temperatura média, precipitação, umidade e insolação (figura 25).

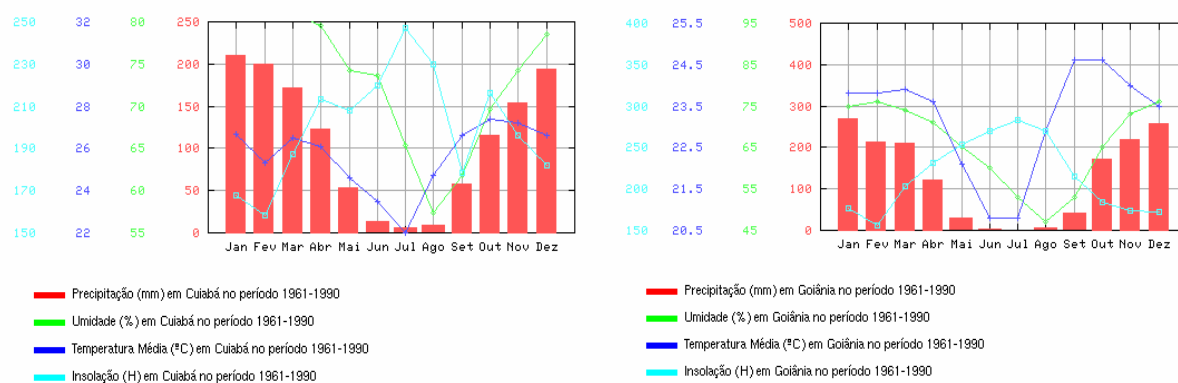


Figura 25: Dados climáticos das estações de Cuiabá e Goiânia, conforme disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, referentes ao período 1961-1990.

Estas duas estações foram escolhidas por estarem mais próximas à área e por permitir inferir as características climáticas da mesma, em função de suas posições opostas em relação à área. Somando-se as colunas, verifica-se ainda que a precipitação média anual é de 1.300mm aproximadamente.

A insolação maior se justifica no inverno em função da ausência de nuvens. A temperatura média e a umidade são sensivelmente menores no inverno, justificadas pelo período de seca, já que a umidade é um controlador da temperatura e, no inverno, sua ausência implica uma amplitude de variação da temperatura maior, pois, no período noturno, a perda de calor para a atmosfera é rapidamente dissipada em função da baixa umidade.

3.5 – Hidrografia

Os rios da área pertencem à bacia do Tocantins (CUNHA, 1998). Com 757.000 km², engloba os estados de Goiás, Tocantins e parte do Mato Grosso, servindo ainda de divisa entre os estados de Tocantins e Maranhão, e desaguando no Atlântico, no litoral do Pará.

Na área de estudo, podem-se citar diversos afluentes menores do Rio das Mortes, principal afluente do Araguaia, e o Rio Água Preta, afluente do Rio Cristalino, cujas nascentes estão próximas da área; e seu curso divide a Serra do Calcário em dois blocos, aproximadamente de mesmas dimensões.

Os cursos dos rios seguem rumo norte, na sua maioria, exceção feita a alguns afluentes menores, sobretudo na face sul da Serra do Calcário, com cursos sentido leste, acompanhando o costado da Serra. São, em geral, afluentes do Rio Água Preta (figura 26).

A hidrografia regional, em um sentido macro, é considerada, sobretudo no médio e alto curso dos rios Araguaia e das Mortes, antes da junção dos dois e em seu interflúvio, como uma área alagada, um “pantanal” de reduzidas dimensões. A Serra do Calcário se incluiria nessa área, mas como é uma elevação do relevo, apresenta diversos pontos próximos à Serra, além da própria, que permanecem secos, mesmo na época das chuvas (de outubro a abril).



Figura 26: Carta de drenagem da área de estudo. Os rios correm em direção ao Norte.

IV – Apresentação e Discussão dos Dados

Produtos de sensores remotos e documentação cartográfica permitiram elaborar um mapa geomorfológico em que foram definidos compartimentos de relevo específicos, associados a formas de relevo e vegetação dominante. A elaboração de base cartográfica da área possibilitou utilizá-la como substrato para o registro posterior de detalhes observados em campo, resultando em uma compartimentação de relevo cujas características morfológicas e biogeográficas foram associadas para delimitá-la.

Observa-se, no entanto, que o universo da pesquisa extrapolou o contexto da Serra do Calcário, que embora o objeto de estudo, não permite a compreensão do sistema cárstico como elemento isolado na paisagem, já que se trata de um sistema aberto, em ampla inter-relação com outros sistemas associados. Optou-se, assim, por delimitar a área a partir das coordenadas UTM 22 - 8438N, 456E e 8423N, 421E, formando um retângulo envolvente, com aproximadamente 525Km².

Neste trabalho, adotou-se a designação de **Zonas**, para uma área de dimensões razoáveis com alguma característica marcante, que permita sua rápida diferenciação; e **Unidades**, como sendo uma subdivisão de uma determinada Zona com características de diferenciação mais sutis. Neste contexto as Zonas correspondem às duas principais características do relevo da área de estudo, ou seja, das *terras altas* e das *terras baixas* (figura 27). No interior de cada zona foram estabelecidas unidades cujos detalhes às caracterizavam. Assim, as partes da área permanentemente preenchidas por água receberam o nome de Unidades Alagadas. Para as partes da área sujeitas a alagamentos periódicos, sobretudo no período das chuvas, foram atribuídos os nomes de Unidades Alagáveis. Ainda na Zona de Terras Baixas, existem áreas que permanecem secas mesmo no período das chuvas, ou seja, nelas não aflora o lençol freático. Receberam a denominação de Unidades Secas. Como suporte à definição das zonas e unidades, foi construída a carta de declividade (figura 28).

Importante ressaltar que as Unidades Alagáveis sofreram aterros no curso da rodovia vicinal que serve de ligação entre o Município de Cocalinho e Água Boa. Também algumas partes dessas áreas, hoje ocupadas por sedes das fazendas, são aterradas.

Na zona das Terras Altas, estabeleceu-se a divisão de Água Preta e Rio das Mortes. A Unidade Água Preta compreende morros, cuja forma está mais nitidamente marcada por condicionantes tectônicos, com formas alongadas e alinhados entre si. O nome está associado ao rio Água Preta, que divide a unidade aproximadamente em sua parte média. Na Unidade

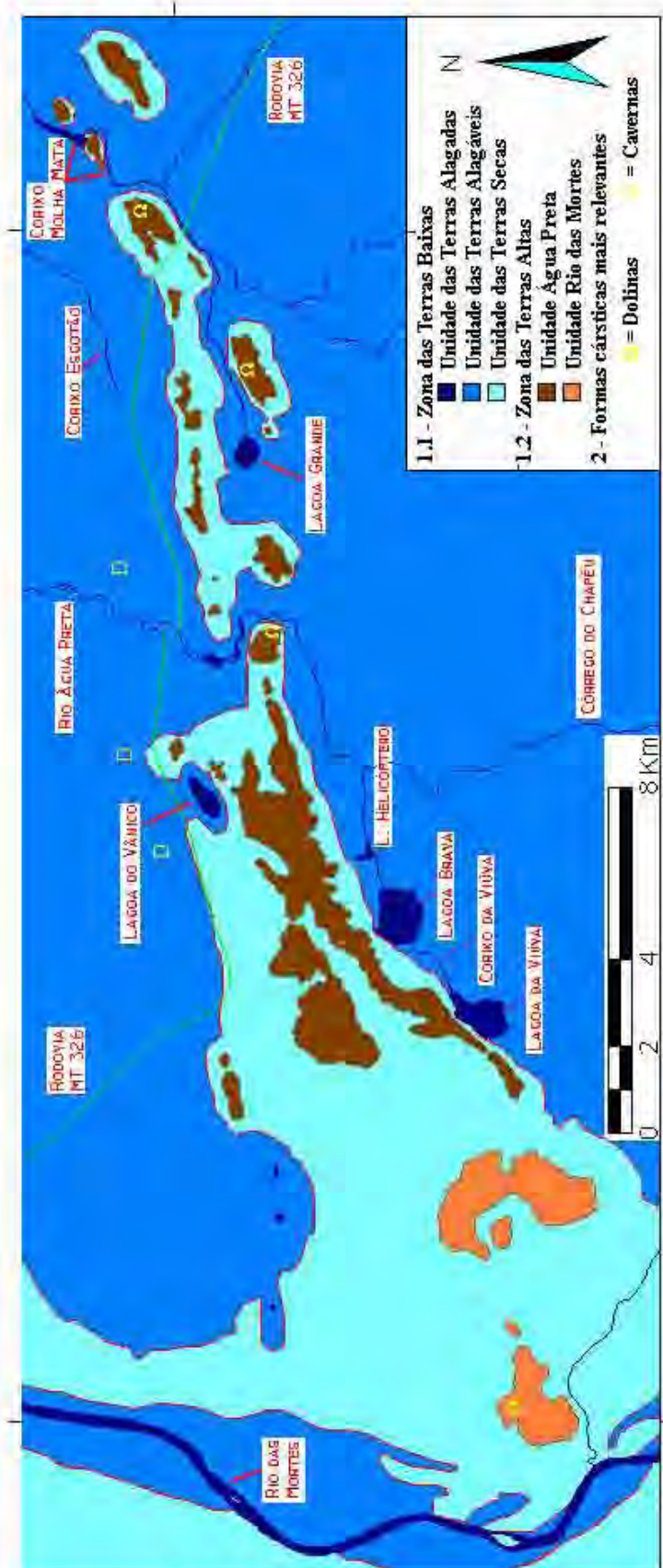


Figura 27: Zoneamento geomorfológico e respectivas unidades identificadas na área de estudo. Elaborado por Rubens Hardt

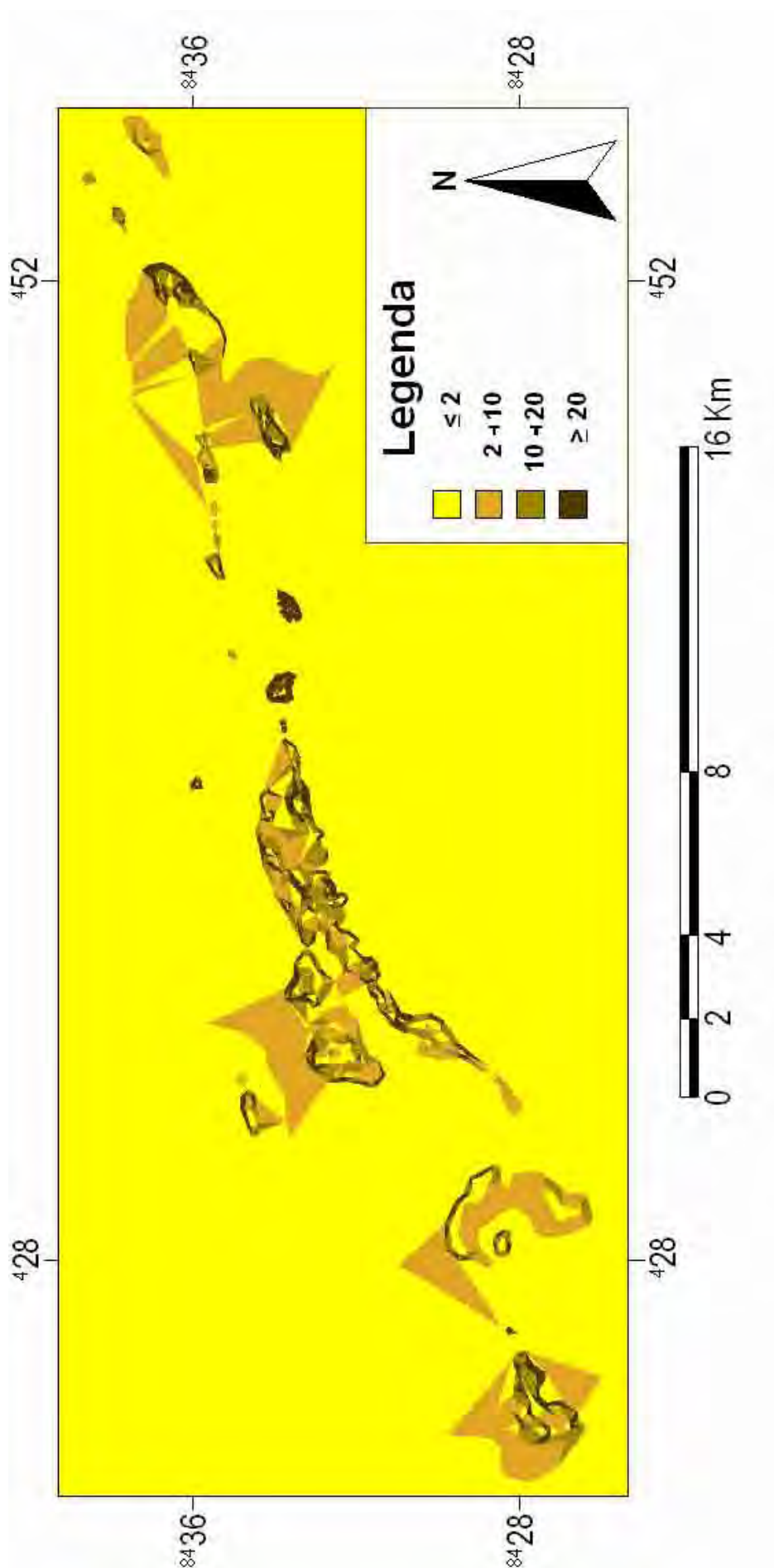


Figura 28: Mapa de declividade. Elaborado por Rubens Hardt

Rio das Mortes tem-se morros mais disformes, menos marcados por linhas tectônicas, e mais distanciados entre si. Aqui também o nome foi adotado em função da proximidade com o Rio das Mortes, o qual, por sua proximidade e indícios identificados em campo, está relacionado com a forma dos morros da unidade.

4.1 - Zona das Terras Baixas

A zona das Terras Baixas têm altitudes que variam de 245m a 290m, litologia composta por sedimentos aluvionares com níveis de cascalho de idade quaternária, a vegetação tomada por cerrados, persistindo hoje alguns testemunhos, nos lugares onde não foi transformada em pasto ou cultura. Também há a ocorrência de campos de murundus e, próximo dos corpos hídricos, buritiranas. A declividade da área não ultrapassa os 10 graus, sendo, em sua maior parte, inferior aos 2 graus.

Para esta zona, adotou-se o critério da periodicidade da submersão para o estabelecimento das unidades, ou seja, terras que permanecem submersas, independentemente da época do ano, foram associadas às Terras Alagadas; as que no período chuvoso se alagam e no período de seca permanecem emersas foram associadas às Terras Alagáveis. Por fim, aquelas terras que permanecem emersas em qualquer período do ano foram associadas às Terras Secas.

O conjunto dessas unidades ocupa uma área aproximada de 495 Km² da área total de estudo, correspondendo a 94.3% do universo da pesquisa. Em termos de área, constitui a maior fração do terreno.

4.1.1 Unidade das Terras Alagadas

Integram esta unidade todas as terras que permanecem submersas durante todo o ano, estando aí incluídos os leitos normais de lagoas e canais fluviais. A unidade ocupa uma área de 6,187 Km², correspondendo a 1,2 % do universo de pesquisa. Convém ressaltar que ocorrem lagoas ora isoladas, como é o caso da lagoa do Vânico, ora associadas a nascentes fluviais, como é o caso da Lagoa da Viúva, que se constitui na nascente do Corixo² da Viúva. As lagoas assumem formas arredondadas a ovaladas, atingindo, por vezes, dimensões quilométricas, estando as duas maiores ao sul da Serra do Calcário, com águas apresentando

² Corixo: Nome dado localmente para riachos e pequenos cursos d'água, por vezes intermitentes.

coloração clara quando em amostra, e escura quando "in loco", variação associada não apenas às características químicas do fluido, como também à profundidade. Informações obtidas junto aos moradores da área indicam serem lagoas profundas, sem, entretanto, haver dados precisos quanto a esse atributo.

No decorrer da pesquisa, não foram efetuadas medições de profundidade, entretanto, Soubies & Guyot (1995), no período de seca (início de setembro), efetuaram medições na Lagoa Grande, posicionada a cerca de 2 km a oeste da Gruta da Lagoa Azul, obtendo profundidades não superiores a 5 m. Também se pode comprovar durante o trabalho, por observação direta, a oscilação do lençol freático na Gruta da Lagoa Azul (figura 30) e na Lagoa do Vânico (figura 29). Constatou-se, na primeira, uma variação de 2 a 2,5m na espessura da coluna d'água entre a estação seca e chuvosa. A Lagoa Grande (figura 31), com uma forma perfeitamente circular, situa-se entre os morros carbonáticos, com profundidade relativamente pequena em relação ao diâmetro, indicando tratar-se de uma dolina de dissolução, servindo, ainda, de nascente para o Corixo Molha Mata.

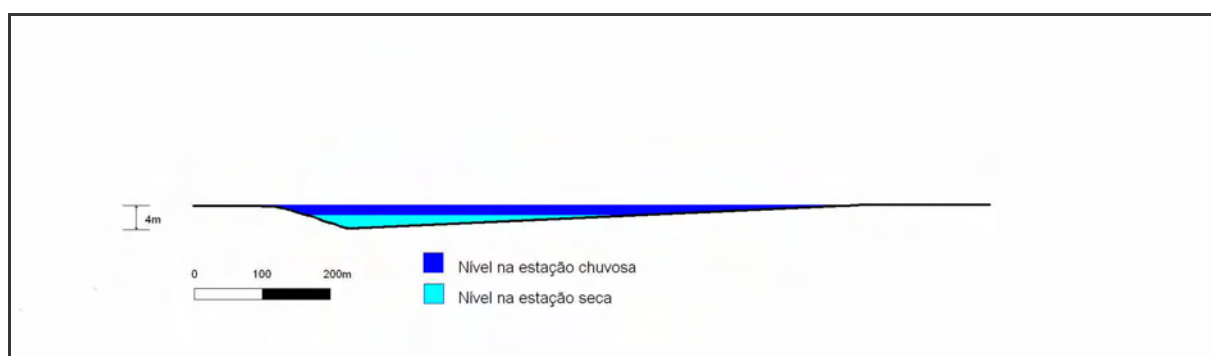


Figura 29: Perfil esquemático da Lagoa do Vânico, demonstrando a variação sazonal do lençol freático. Exagero vertical 10 vezes. Elaborado por Rubens Hardt.

A Lagoa do Vânico reveste-se de importância na unidade, pois suas características morfológicas e hidrológicas remetem a uma uvala formada por três grandes dolinas de dissolução. É interessante ressaltar que a uvala da lagoa do Vânico, assim como outras depressões identificadas como dolinas, encontram-se posicionadas no sentido WSW a ENE, direção similar àquela dos morros que compõem a Serra do Calcário. Tal constatação permite aventar a hipótese de que a Serra do Calcário constitui-se um bloco positivo de falha, estabelecida no pacote carbonático. Com o recuo da escarpa de linha de falha, desenvolve-se, naquele setor, o conjunto de dolinas, no qual, três delas possibilitaram o desenvolvimento da uvala da Lagoa do Vânico.



Figura 30: Interior da Gruta Lagoa Azul. Observe-se na Parede da guta, as marcas indicando a variação sazonal do lençol freático. A marca escura, com uma amplitude de 2,1m, indica a variação normal, enquanto a mais clara, com cerca de 40 cm, variações em anos excepcionais. (Foto: Rubens Hardt)



Figura 31: Lagoa Grande. Vista aérea mostrando a dolina da Lagoa Grande. Torres cársticas em primeiro plano e, em segundo plano, após a Lagoa Grande à esquerda, o morro onde se encontra a Gruta da Lagoa Azul. (Foto: Rubens Hardt)

Na uvala Lagoa do Vânico a oscilação do lençol freático foi constatada a partir da variação observada na sua dinâmica hidrológica entre o período seco e o de chuvas. No período de seca, constatou-se a ocorrência de concentração de águas apenas no setor centro-WSW do seu eixo, permanecendo o restante da área emersa, com o entorno da lâmina d'água povoado por plantas afeitas a características inerentes a solos hidromórficos (Figura 32).



Figura 32: Lagoa do Vânico. Uma uvala formada por três dolinas de dissolução alinhadas. Na estação chuvosa formam um grande lago. (Foto: Rubens Hardt)

Desse fato apreende-se não apenas a amplitude sazonal do lençol freático, como também a diferença altimétrica do leito da referida forma cárstica. Constatou-se que, entre o extremo ENE e o WSW, existe um desnível superior a 3 metros. O gradiente está em concordância com a direção e o mergulho das camadas carbonáticas, comprovando, assim, o controle estrutural na evolução de tais formas conforme já visto na figura 29.

A Lagoa da Viúva apresenta forma tendendo a ovalada, com eixo maior no sentido WSW-ENE, e comprimento superior a um quilômetro. As margens são rodeadas de buritis e a água apresenta coloração escura quando vista à distância, mas translúcida, quando em proximidade. A coloração pode estar associada à acidez provocada pela vegetação circundante, cuja presença, além de impedir o aporte de sedimentos que turvariavam a água, seria um importante agente morfogenético no desenvolvimento da lagoa ao induzir a acidez, contribuindo para dinamização do intemperismo químico.

No mesmo alinhamento, cerca de dois quilômetros à frente da lagoa da Viúva, sentido Leste, encontra-se a Lagoa Brava. De forma ovalada e com dois pequenos apêndices em sentidos opostos, um a norte e outro ao sul da lagoa, apresenta características similares à Lagoa da Viúva.

Infelizmente não foi possível, no decorrer dos trabalhos de campo, efetivar análise mais acurada das características hidrológicas das duas lagoas. Entretanto, face às características morfológicas e indícios hidrológicos (inferindo-se um comportamento similar ao da uvala da lagoa do Vânico), acredita-se que ambas constituem-se uvalas.

Diversas lagoas desenvolvem-se paralelamente ao longo de toda a Serra do Calcário (figura 27), caracterizando um nível freático bem próximo da superfície. A forma, em geral arredondada a ovalada, é um indicativo de que se trata de formas cársticas, fruto da dissolução da rocha ao redor de uma nascente ou depressão prévia, aliada ao condicionante tectônico.

Uma impressionante nascente cárstica pode ser observada no extremo leste da serra, a meio-curso do córrego Santa Terezinha, quando este se aproxima do costado da serra. É um local conhecido como “ferveador” (figura 33) pelos moradores locais. Constitui-se uma pequena dolina com fundo em areia de onde emergem diversos fluxos de água. Acredita-se que essa dolina se desenvolveu a partir do alargamento de nascentes fluviais. Outras nascentes semelhantes ocorrem em diversos pontos do curso do referido córrego, enquanto este margeia a serra, mas não de forma tão marcante quanto no local descrito.



Figura 33: "Ferveador", nascente cárstica com diversos pontos de fluxo aquático. (Foto: R. Hardt)

Existe uma surgência cárstica próxima à mineração de calcário existente no meio da serra, mas só foi possível saber dela por relato de moradores, já que não houve permissão de entrar na sede da mineração.

Nesta unidade incluem-se, ainda, o Rio das Mortes, principal afluente do rio Araguaia, importante agente morfogenético na Unidade Rio das Mortes, descrita adiante, bem como o Rio Água Preta e alguns pequenos cursos, como o Corixo Molha Mata, o Corixo da Viúva e o córrego Santa Terezinha.

4.1.2 Unidade das Terras Alagáveis

Integram essa unidade todas as terras periodicamente inundadas durante o período chuvoso, e secas, na estação seca. A unidade ocupa uma área de 369.995Km², correspondendo a aproximadamente 71% do universo da pesquisa.

São áreas de fraca declividade, inferior a dois graus, ocupadas por gramíneas ou com manchas de cerrado, apresentando, curiosamente, em alguns pontos, árvores de pequeno porte com raízes em forma de candelabros, à semelhança das pneumatóforas, *Rhizophora mangle*, típicas dos setores de maior salinidade dos manguezais. A apropriação pelo homem tem transformado a área, para o desenvolvimento de pastagens. Na época seca é eventualmente ocupada por culturas de ciclo curto.

A vista aérea dos terrenos vinculados à unidade, bem como percursos em terra efetuados no período chuvoso, permite aventar-se à hipótese de tratar-se de uma forma pedimentar relíquia de uma morfogênese anterior à atual. Ao longo dos possíveis pedimentos observam-se suaves depressões de forma alongada, com eixos às vezes superiores à centena de metros, alinhadas no mesmo sentido da Serra do Calcário, ou seja, WSW – ENE (figura 34). Estas dolinas estão representadas pela letra “D” no mapa geomorfológico apresentado na figura 27.

Convém ressaltar que a hipótese não foi comprovada, pois se fundamentou apenas na análise visual do relevo. Para que fosse efetuada uma afirmativa segura a respeito, seria necessário um maior detalhamento das características geoquímicas da área.

Tais formas ocorrem com mais frequência ao norte da Serra do Calcário, estando possivelmente associadas ao sistema de falhas que delimita a referida serra.

Quando na proximidade de elementos associados à unidade das Terras Alagadas, as rampas são normalmente ocupadas por buritizais desenvolvidos sobre um solo orgânico, turfoso, onde predominam fibras vegetais escuras (figura 35).

Nessa unidade incluem-se, ainda, terraços e várzeas fluviais relacionados, prioritariamente, aos rios das Mortes e Água Preta, os maiores da área de estudo.

Tanto sobre as várzeas quanto sobre os terraços, observam-se buritizais e árvores com raízes pneumatóforas.



Figura 34: Depressões suaves alongadas, na unidade das áreas alagáveis, ressaltadas por elipses. Período de seca. (Foto: R. Hardt)



Figura 35: Lagoa Brava. Águas translúcidas em proximidade mas escuras à distância. O solo da margem, turfoso, composto basicamente de raízes de buritis. (Foto: Rubens Hardt)

4.1.3 Unidade das Terras Secas

Integram essa unidade todas as terras que permanecem emersas durante todo o ano, ocupando uma área de 119033Km², correspondendo a 22,6% do universo da pesquisa. As declividades alcançam valores de 2 a 10 graus, aparentando tratar-se de um amplo glacis ou pedimento de erosão. Ainda se encontram algumas poucas manchas de cerrado.

Pelas suas características, os terrenos da unidade são selecionados para o estabelecimento de vilas, sedes de fazendas, casas de colonos e atividades agrícolas que se desenvolvem durante o ano todo.

Essas áreas circundam o relevo serrano, apresentando, por vezes, um ângulo de ruptura (knick point) entre os morrotes da Serra do Calcário e a superfície, contato disfarçado, às vezes, por rampas de colúvio pouco desenvolvidas. Em algumas áreas é possível observar, também, uma nítida divisão na zona de contato entre a unidade das Terras Secas e a unidade das Terras Alagáveis. O contato, embora nítido em algumas áreas, não é tão perceptível em outras (figura 36).



Figura 36: Unidade das Terras Secas, e seus limites, com a Zona das Terras Altas, onde se observa um nítido ponto de ruptura, e a Unidade das Terras Alagáveis, com uma clara mudança de vegetação e declividade. (Foto: Rubens Hardt)

4.2 - Zona das Terras Altas

A zona das Terras Altas tem altitudes variando de 290 m a 452 m sobre o nível do mar, sendo o último valor o ponto culminante do universo de estudo. A litologia constitui-se de calcários e dolomitos da formação Araras. A vegetação varia de arbustiva, passando por cerrados até mata fechada. Nos morros em que predominam as arbustivas, tem-se um litossolo formado por pequenos blocos, com os arbustos crescendo entre eles. Nos lugares onde predominam árvores de grande porte encontra-se a rocha exposta, ou fragmentada em grandes blocos, onde as raízes das árvores se "abraçam", dando-lhes sustentação. Trata-se, portanto, de uma vegetação extremamente adaptada ao tipo de substrato provido pelo ambiente.

Nessa zona, foram definidas duas unidades: a unidade *Água Preta* e a unidade *Rio das Mortes*, em função, prioritariamente, da morfologia apresentada pelos morrotes calcários (figuras 37 e 38). O nome vincula-se à principal drenagem nas proximidades de cada unidade. A unidade Rio das Mortes se encontra no extremo oeste da Serra, iniciando-se próximo à margem direita do Rio das Mortes e terminando antes da uvala Lagoa da Viúva. A unidade Água Preta constitui-se de um relevo acidentado, iniciando-se nas proximidades da referida uvala, estendendo-se até o limite ENE da área de pesquisa, nas proximidades da desembocadura do Corixo do Burdi no Corixo Molha Mata.

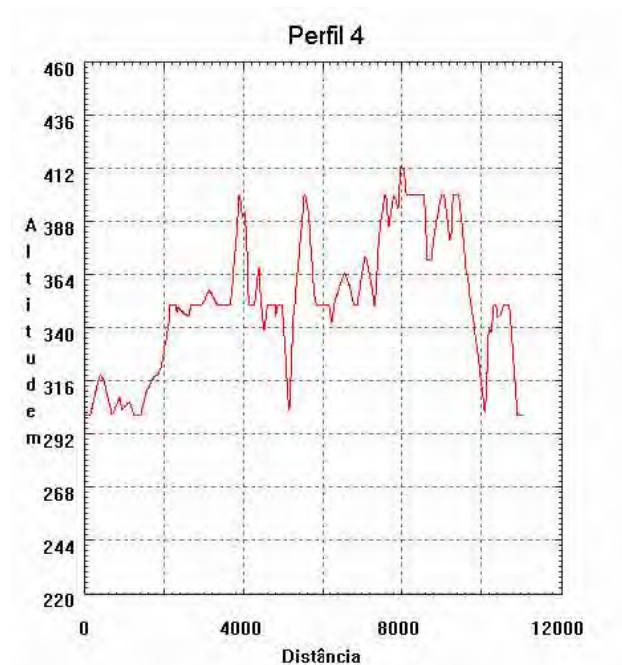
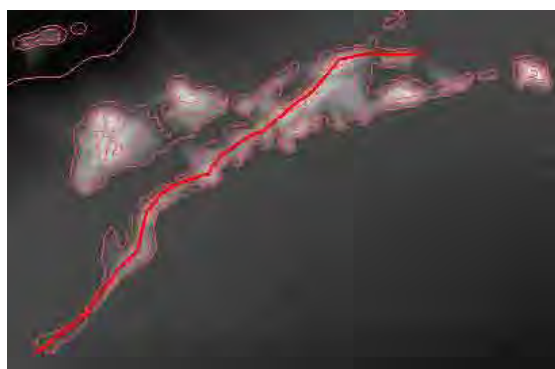


Figura 37: Perfil altimétrico típico da Unidade Água Preta. Neste Morro, foram feitos dois perfis, cobrindo ambas as ramificações (anexo1).

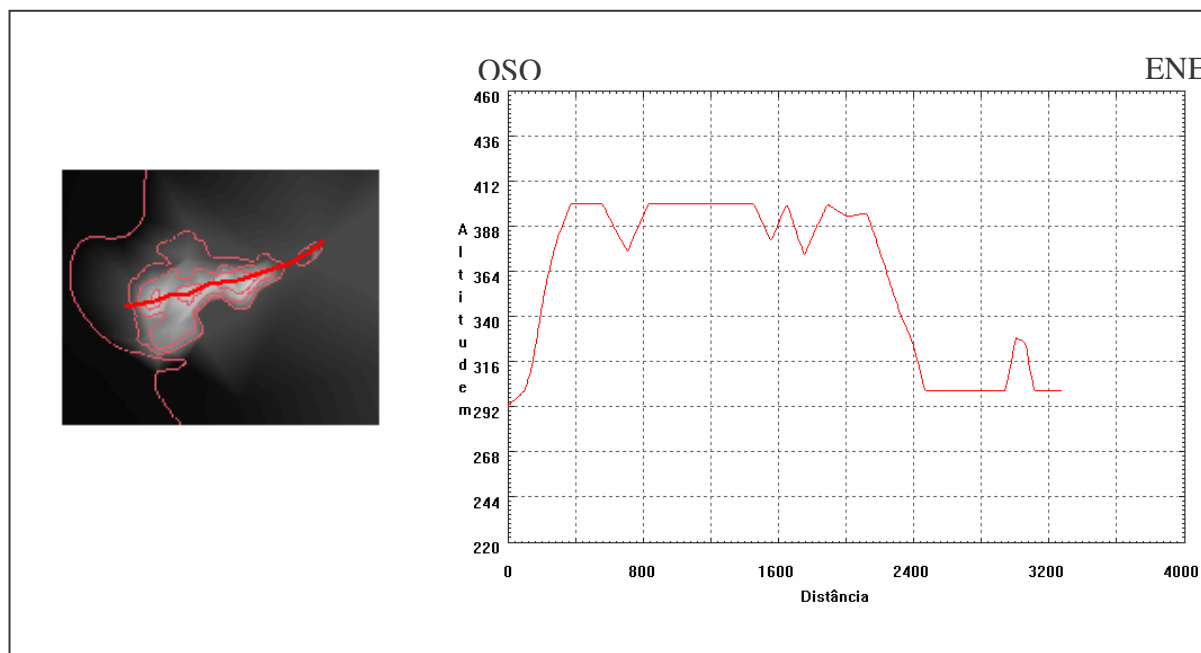


Figura 38: Perfil altimétrico típico da Unidade Rio das Mortes. Os topos aparecem achatados em função de não haver medições de pontos culminantes na base cartográfica disponível, para estes morros.

4.2.1 Unidade Rio das Mortes

No extremo oeste da Serra do Calcário, seguindo para o sentido leste, os morros se apresentam com formas mais arredondadas (vistos em planta), e mais distanciados entre si. Os terrenos existentes entre eles compõem, em geral, o domínio das áreas secas. A vegetação se apresenta mais densa nas encostas e, normalmente, mais ralas no topo. Os topos se apresentam bastante planos, com encostas íngremes. São visíveis algumas torres cársticas típicas, principalmente nas proximidades das grutas “Portal do Roncador” e “Santa Terezinha” (figuras 39 e 40).

As grutas, Santa Terezinha e Portal do Roncador, fazem parte de um mesmo sistema. A evolução de um vale em meio ao morro onde elas se encontram serviu para seccionar a gruta maior em duas. Hoje encontram-se separadas por algumas dezenas de metros.

São grutas profusamente ornamentadas de espeleotemas, alguns deles evidenciando eventos de deposição e remoção de sedimentos; e pode-se encontrar no extremo da Gruta Portal do Roncador, um pequeno lago de pouca profundidade na seca (3,5m) e águas levemente leitosas. Em período de chuva, o único em que foi possível observar durante o período da pesquisa, a água se apresentava com um aspecto azul leitoso, como jamais observado por este autor em outros cenários cársticos brasileiros, cujas grutas alagadas

apresentam uma cor azul típica, mas sem o aspecto leitoso. Na seca, o aspecto leitoso quase desaparece. A oscilação do nível freático, que ultrapassa 2 m entre a seca e a estação chuvosa, parece estar relacionada a fraturas e fissuras de pequeno porte, ocultas entre os sedimentos do fundo do lago, já que no mergulho de prospecção não foi observado nenhum conduto.



Figura 39: Proximidades da Gruta Portal do Roncador, onde se destacam duas de suas entradas. Encostas íngremes recobertas de vegetação mais espessa com topos convexizados e vegetação rala. (Foto: R. Hardt).



Figura 40: Aspecto da vegetação, torres cársticas e formas em ruínas na proximidade da Gruta Portal do Roncador. (Foto: Rubens Hardt).

A forma dos morros parece ter sido modelada pela migração do canal do Rio das Mortes, cuja movimentação pode ser atestada por marcas de paleocanais existentes no limite desta unidade com a Unidade Água Preta. Estas marcas são claramente visíveis, na imagem de satélite, entre os morros das duas unidades, sugerindo que durante o soerguimento que deu origem a serra, o Rio das Mortes se encontrava naquela posição, se superimpondo. Com a continuidade do movimento e possível basculamento do bloco, o Rio das Mortes teria se movido para a posição atual (figura 41 *a* e *b*).

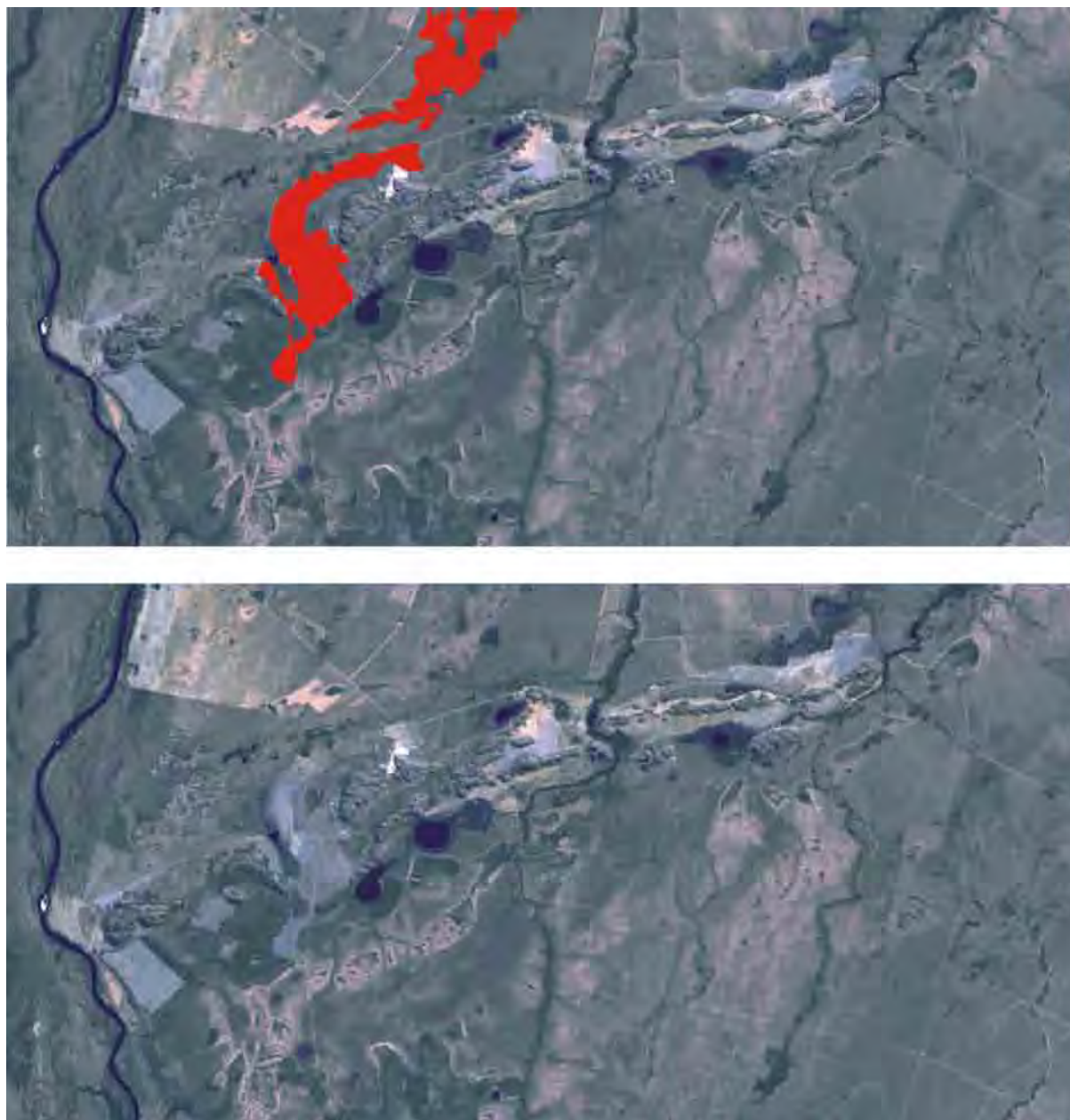


Figura 41 (*a* e *b*): Evidências de paleocanais associados a paleoterraços fluviais. A segmentação se explica pela atividade antrópica e pela drenagem atual. A figura 4.14 *a* resalta as manchas em vermelho interpretadas como paleocanais.

4.2.2 Unidade Água Preta

O relevo da unidade Água Preta caracteriza-se pela ocorrência de declividades mais acentuadas, constituindo-se de vertentes mais íngremes, com topos alongados, em forma de cristas. As altitudes são as mais elevadas de toda a área serrana, atingindo, por vezes, 452 m, sendo frequentes amplitudes altimétricas de até 152 m (figura 37).

Constatou-se que as vertentes voltadas para SE são levemente mais íngremes que aquelas voltadas para a direção oposta, apresentando, assim, uma leve assimetria de relevo. O fato favorece a ocorrência de drenagens bem mais entalhadas nas vertentes voltadas para SE que nas voltadas para NW, com predominância das torres cársticas na última direção mencionada.

Como pode ser comprovado a partir dos perfis topográficos e trabalhos de campo, os topos são dissecados, não favorecendo a permanência "*in situ*" do material de alteração.

Portanto, além de o calcário ser pouco afeito à produção de solo, estando este associado principalmente às impurezas do calcário ou a eventuais coberturas não carbonáticas, a forte declividade e alto grau de dissecação favorecem a perda do pouco solo eventualmente formado, e que é carregado para o nível de base local, representado pela unidade das terras secas.

A primeira vista, os amplos anfiteatros desarticulados de uma drenagem, que aparecem em ambas as unidades integrantes da zona das Terras Altas, mas numericamente mais expressivos na unidade Água Preta, poderiam estar associados a eventos tectônicos; entretanto, acredita-se que tais anfiteatros desenvolveram-se a partir do abatimento do teto de cavidades subterrâneas, constituindo-se, assim, de formas originadas a partir da evolução de dolinas de colapso. Assim, a aparente desconexão entre anfiteatro e uma drenagem, que deveria estar desenvolvida a sua jusante, e que justificaria sua associação com um evento tectônico, é irreal, pois toda a água captada pela forma côncava do anfiteatro é conduzida para o nível subterrâneo, seguindo, assim, o duto de dissolução, ponto inicial do surgimento da dolina (figura 42).

Interessante notar que essas formas de relevo são mais acentuadas na face SE. Em campo verificou-se que tais formas ocorrem em muito menor quantidade e em dimensões geralmente menores na face NW das unidades.

Exemplos desta morfologia podem ser encontrados em algumas bocas de cavernas, cujo acesso se dá exatamente por este tipo de dolina. O exemplo mais notável é a gruta da

Lagoa Azul, imensa dolina de abatimento conectada ao lençol freático já na sua base (figura 43).



Figura 42: Anfiteatro suspenso. A ausência de drenagem a jusante se explica por fluxos subterrâneos na base do mesmo. (Foto: Rubens Hardt)



Figura 43: Pórtico de entrada da Gruta Lagoa Azul. Uma grande dolina de abatimento dá acesso à gruta e ao lago de seu interior. (Foto: Rubens Hardt)

A Gruta da Lagoa Azul se reveste de importância, pois é a única entre as grutas conhecidas em que o lençol freático aparece e ocupa a maior parte dos condutos. Esse fator, por si só, já é de grande importância, pois permite a verificação direta do nível de oscilação do lençol freático para a área referente a variações sazonais.

Além disso, a distribuição dos condutos e seu direcionamento revestem-se de importância para a compreensão das forças tectônicas que atuaram no local, pois o distanciamento da gruta em relação a outras conhecidas é grande, e a verificação do lineamento dos condutos ratifica a direção geral da Serra do Calcário (ENE-WSW).

Foram efetuadas medições de distância e azimute na superfície do lago, permitindo o estabelecimento dos seus limites e a elaboração de croquis.

A partir desses dados foi possível verificar alguns fatos: os condutos se aproximam da orientação geral da Serra do Calcário, com direcionamentos que tendem ao padrão da Serra. Assim, se a direção geral da Serra do Calcário é ENE-WSW, os condutos seguem basicamente o mesmo direcionamento.

A área apresenta, ainda, evidências de oscilação do lençol freático. Pode-se observar, no interior da Gruta da Lagoa Azul, um lago cuja profundidade ultrapassa os 44m, estalactites submersas até a profundidade de 3m na estação das secas, mostrando que o lençol freático já esteve em um nível mais baixo que o atual. O fato é corroborado pela existência de um sítio arqueológico submerso, com vestígios humanos no solo de um conduto, cuja profundidade é da ordem de 4m, situado em um conduto lateral distante algumas dezenas de metros da entrada e alagado em todo o seu percurso (figuras 44 e 45).

Existe uma oscilação natural do lençol freático, que é da ordem de 2m entre o período das secas e o das chuvas. Eventualmente, a oscilação pode chegar a 2,4m, como mostram as marcas existentes na parede da Gruta Lagoa Azul. As medições de profundidade das estalactites e do sítio arqueológico foram feitas no final da estação seca; portanto, na época em que o lençol freático se encontrava em seu nível mais baixo.

A identificação de espeleotemas aéreos submersos e de um sítio arqueológico com cacos de cerâmica e dois esqueletos humanos, em setores dos condutos alagados, indica que, em períodos recentes, houve uma variação da ordem de 4m no nível do lençol freático. Embora de pequena variação, tendo em vista o tipo de sítio (cerâmico) e a presença de vestígios humanos, se estudos futuros de arqueologia corroborarem a ligação dos esqueletos com a cerâmica, o sítio não poderia ser muito mais antigo que cerca de 5 mil anos BP, se considerarmos o conhecimento arqueológico atual, que indica os primeiros sítios cerâmicos

com ocorrência em torno de 3 mil anos a.C. Caso os esqueletos não tenham vínculos com a cerâmica, que se encontra principalmente no lago de acesso, podendo ser restos de potes utilizados para retirada de água, então o sítio pode ser mais antigo, visto haver datações de esqueletos humanos no Brasil da ordem de 12 mil anos antes do presente.



Figura 44: Espeleotema de origem aérea, em conduto alagado. Foto feita no período das secas. Foto: Gilberto Menezes.



Figura 45 Esqueleto humano, em profundidade de 4,5m. Foto: Gilberto Menezes.

Se a oscilação do lençol freático houver ocorrido por volta de 12 mil anos BP, então poder-se-ia atribuir esta mudança a variações climáticas ocorridas quando do final da última grande glaciação. Estudos de datação dos espeleotemas submersos poderão auxiliar a confirmar esta hipótese, futuramente.

Nesta unidade foi possível ainda, observar a formação de karrens sobre rocha exposta. Por se tratar de uma forma de dissolução típica do relevo cárstico, reveste-se de importância não só pelas evidências de dissolução química que esta forma apresenta, mas também pela sua dimensão, somente observável em campo, da ordem de centímetros na largura, atingindo pouco menos de 1m no comprimento (figura 46).



Figura 46: Karrens observados na porção média da Serra do Calcário. À direita, rillenkarren, canais de dissolução devido ao fluxo gravitacional da água sobre a superfície da rocha. (Foto: Rubens Hardt)

V – Resultados

5.1 - O Sistema Cárstico da Serra do Calcário

5.1.1 - O Princípio do Antagonismo

Scheidegger (1987) propõe como primeiro princípio, para descrição de um sistema geomorfológico, o sistema do antagonismo, segundo o qual um relevo é uma imagem instantânea de duas forças antagônicas agindo simultaneamente, ou seja, as forças endógenas e exógenas.

Na Serra do Calcário, a manifestação de forças endógenas está diretamente relacionada à existência da serra em si. É evidente que a Serra do Calcário surgiu em função de forças tectônicas, pois possui diversos elementos característicos de atividades tectônicas. Dentre as características destacam-se o claro alinhamento, facilmente observável em imagens de radar e satélite, a existência de brecha calcária, possivelmente associada a linhas de falhas, o mergulho de camadas e formas de dissolução, como as torres cársticas, que se desenvolvem principalmente acompanhando planos de fraqueza gerados por tectonismo.

Algumas observações aqui são importantes, pois somados os fatores já conhecidos, pode-se supor de que tipo de relevo tectônico é formada a Serra do Calcário. A observação tanto dos mapas do IBGE quanto da imagem de satélite Landsat 7 TM, mostra que toda a área possui uma série de lagoas, todas elas muito semelhantes a dolinas e uvalas, recobrimdo uma área superior àquela vinculada ao presente estudo, envolvendo praticamente toda a Depressão do Araguaia. Com base nessa evidência, acredita-se que toda a área é preenchida por um embasamento carbonático recoberto por sedimentos aluviais recentes, o que explicaria o grande número de depressões ali observadas. Provavelmente a ocorrência de um relevo serrano carbonático na paisagem deve-se à ação da tectônica, que soergueu o bloco hoje conhecido como Serra do Calcário. Se verificarmos os relevos tectônicos característicos, a área poderia ser um bloco positivo de falha, e Serra do Calcário seria então, um soerguimento em meio à bacia de deposição, devido à atividade tectônica. Estudos geológicos posteriores poderão confirmar esta informação.

Observa-se, por outro lado, a ação de forças exógenas esculpindo o relevo. A existência de diversas formas de dissolução (torres, karrens, dolinas e cavernas), grandes

linhas de drenagens e anfiteatros, topos arredondados e depósitos sedimentares aluviais são evidências claras de que essas forças estão atuantes, com conseqüente morfogênese das áreas quentes e úmidas.

Dentre as principais forças exógenas, a água é, sem dúvida, o elemento fundamental na modelagem do relevo. Seja devido à ação mecânica ou química, as formas observadas devem-se, principalmente, à ação das águas. O forte índice de insolação provavelmente auxilie o processo, já que a amplitude térmica diária, sobretudo no inverno, pode facilitar a ruptura de blocos em função da desagregação mecânica.

5.1.2 - O Princípio da Instabilidade

Uma paisagem está sujeita a um equilíbrio instável. Formas individuais da paisagem tendem a ser não permanentes, embora a aparência se mantenha mais ou menos constante. Assim, formas da paisagem se modificam, com uma direção preferencial, sem buscar uniformidades. Qualquer desvio desta tende a crescer. (SCHEIDEGGER, 1987).

A Serra do Calcário possui vertentes com alta declividade, nas quais se observam formas relacionadas à drenagem, com canais retilíneos em direção à base, e anfiteatros de forma côncava, que servem como concentradores de drenagem.

Sabe-se que o evento tectônico gerador da serra não é o responsável direto por essas formas, embora possa ser o elemento facilitador para manifestação delas. Assim, houve uma tendência à formação dessas características de relevo em uma determinada posição em detrimento de outra. Quando as formas se iniciaram naquela posição, o princípio da instabilidade passou a atuar, fazendo com que elas passassem a se desenvolver mais rapidamente e a crescer.

Dentre as formas cársticas, podem-se citar as cavernas, que evoluíram preferencialmente nas faces NW da Serra; as torres cársticas, que se destacam rapidamente do restante do conjunto; as dolinas, cuja própria existência implica na ampliação de suas próprias dimensões ao concentrar água em seu interior, já que é a água seu principal agente formador.

Por outro lado, o desvio da uniformidade vai, eventualmente, alcançar um estágio de saturação, quando essas formas pararão de evoluir, ou serão englobadas por alguma outra, cujo desenvolvimento supere o da forma preexistente.

Essa situação é completamente independente do processo de formação da instabilidade em si. O estágio de saturação vai ocorrer, independente dos processos, em função de fatores

não relacionados ao processo, mas referentes a um limiar onde eles simplesmente não conseguem atuar.

5.1.3 - O princípio de Catena

Esse princípio propõe que seqüências definidas de elementos morfológicos ocorrem repetidamente no relevo, formando uma cadeia. Toda a paisagem é composta de cadeias, cada uma das quais consistindo de um plano, um ressalto e um novo plano. O exemplo típico é o das vertentes, onde se encontram o plano eluvial, as rampas de colúvio e o plano aluvial. Nesse tipo de cadeia (catena), o plano inferior se alonga, o ressalto retrocede, e o plano superior diminui, consumido pelo ressalto.

Na Serra do Calcário, as vertentes dos morros evidenciam claramente esse tipo de situação. No entanto, a movimentação de massa se dá na forma de blocos, não tanto de sedimentos, já que a matéria prima das rochas é dissolvida quimicamente e carregada em meio aquoso. Como resultado, blocos vão se desprendendo de outros, que rolam encosta abaixo, formando um acúmulo de blocos nas bases dos morros.

A existência de um plano aluvial na base é explicada, não pelo acúmulo de material desagregado das rochas que se acumulam nas bases dos morros, mas sim por transporte fluvial, que deposita, na base dos referidos morros, sedimentos exógenos ao sistema.

Ainda assim existe a cadeia, já que as vertentes continuam a recuar, e o material retirado dos morros segue para o plano aluvial, onde, em vez de ser depositado, acaba carregado, em meio aquoso, para fora do sistema.

Poder-se-ia extrapolar o conceito de catena para o meio cárstico, relacionando-o com as cavernas, por exemplo, tomando-se por base o plano do teto, o ressalto como sendo o vazio dos condutos, e o plano do solo da caverna. Nesse caso, enquanto em evolução, uma caverna teria material retirado tanto do teto quanto das laterais, podendo, eventualmente, acumular-se na forma de sedimentos ou de depósitos minerais no solo das cavernas. Os sedimentos seriam impurezas não solúveis do calcário, e os depósitos minerais, os espeleotemas, recristalização do carbonato de cálcio. Interessante notar que esse processo é mais complexo, pois a deposição de minerais na forma de espeleotemas ocorre ao longo de todo o vazio da caverna. Esse tipo de descrição está relacionado a cavernas singenéticas, que crescem de baixo para cima. Se a evolução da caverna se der de cima para baixo, com aprofundamento, tem-se ainda o aporte de material da parte superior para a inferior, mas o material existente nesta última estará sendo levado para o exterior da caverna, pelo sistema do aquífero cárstico.

Esse tipo de conceito pode ser estendido a diversos componentes do relevo. As dolinas funcionariam de forma semelhante à das vertentes, com um plano, no interior, com características aluviais, os declives laterais agindo como vertentes, e nível do solo local sendo o plano superior.

5.1.4 - O Princípio da Seleção

Os processos formadores de relevo buscam formas estáveis, ou seja, a forma tende a se sustentar na paisagem, ainda que esta seja instável. É importante diferenciar, aqui, a instabilidade da paisagem, que está em constante evolução, com a estabilidade das formas. A forma, embora estável, está evoluindo, assim como o contexto geral da paisagem.

Uma forma como a de uma vertente, por exemplo, embora permaneça razoavelmente constante durante a existência da paisagem, está em constante recuo, mantendo sua forma aproximada, mas não estática.

A seleção de determinadas formas de paisagem, em detrimento de outras, está relacionada aos processos formadores. Assim, em um relevo fluvial, podem se desenvolver formas como terraços fluviais que, em relevo cárstico típico, nem sempre aparecem porque a maior parte das drenagens, nesse tipo de relevo são subterrâneas.

No relevo cárstico da Serra do Calcário, selecionaram-se certas formas, como cavernas, torres, dolinas e vertentes abruptas, em detrimento de vertentes suaves e de formas arredondadas. As formas selecionadas para o relevo cárstico são mais estáveis para os processos formadores existentes na área que quaisquer outras, o que justifica o seu aparecimento.

Essas formas foram, portanto, selecionadas na paisagem da Serra do Calcário porque são mais estáveis em função da estrutura tectônica e dos processos morfogenéticos atuantes no contexto.

5.1.5 - O Princípio do Controle Estrutural

Os processos tectônicos aos quais uma paisagem foi ou está sendo submetida, direcionam a atuação dos processos exógenos de modelagem do relevo. As formas de relevo modelam-se, então, preferencialmente, nos locais onde o controle estrutural facilitar a atividade morfogenética.

A Serra do calcário apresenta em sua formação, evidências muito claras de atividade tectônica como agente delimitador da Serra toda, ou seja, ela hoje existe porque um evento tectônico do passado, que pode ainda estar ativo, delineou a forma geral dela, dando-lhe as linhas sobre as quais as forças exógenas passaram, então, a agir.

Enquanto os processos exógenos são aleatórios, os endógenos têm característica não aleatória, isto é, preferencial. Assim, se um relevo apresenta linhas preferenciais de desenvolvimento para determinadas formas, cuja origem está ligada a processos externos, como as drenagens, por exemplo, as forças endógenas são as principais responsáveis por este delineamento.

Na imagem produzida pelo satélite Landsat 7, podemos identificar na serra como um todo, um lineamento, sendo este lineamento bastante nítido, sobretudo na face sudeste. Também se observam drenagens mais freqüentes na face sudeste que na face noroeste; os anfiteatros são mais evidentes na Unidade Água Preta do que na Unidade Rio das Mortes. Eles são também mais evidentes na face sudeste do que na face noroeste, independente da unidade. A face sudeste tem vertentes mais íngremes, e o surgimento de drenagens marcadas e anfiteatros profundos está associado à forte declividade, facilitando o transporte de material.

Com base nessas informações, o condicionante tectônico mostrou-se muito mais influente no modelado pela face sudeste do que pela face noroeste. Predominam ao sul as formas condicionadas tectonicamente e, ao norte, as formas menos condicionadas por tectonismo. No entanto, o tectonismo é a força predominante no delineamento geral do relevo da Serra do Calcário, atuando em ambas as faces.

5.2 - Proposta de um Modelo Evolutivo para a Serra do Calcário

Os dados obtidos estão longe de ser suficiente para elaborar uma análise definitiva sobre a evolução da Serra do Calcário, visto haver, ainda, pontos em aberto. No entanto, é possível propor um modelo para servir de embasamento a aprofundamentos futuros que venham a descrever a evolução da Serra do Calcário de forma mais consistente. Este modelo deve, assim, ser entendido como uma hipótese de trabalho para pesquisas futuras.

Um possível modelo de evolução começa, ainda, quando não existia a Serra do Calcário. No interior de um maciço de calcário teriam começado a desenvolver-se protocondutos (pipes), acompanhando planos de franqueza da rocha. Os protocondutos ter-se-iam unidos, formando condutos principais, que passaram a concentrar a drenagem da área,

fazendo com que os processos de dissolução passassem a atuar com mais ênfase, desencadeando o alargamento e ampliação deles.

Em seguida, um evento tectônico, que possivelmente teria sido um soerguimento originando um bloco positivo de falha, dá origem ao conjunto de morros que hoje compõe a Serra do Calcário.

A existência dos morros provoca a migração dos cursos d'água existentes, que passam, então, a circundar ou a se superimpor, gerando cortes e provocando o recuo das vertentes. Os cursos d'água, devido à relativa planura da área ao redor dos morros, passam a depositar sedimentos aluviais, soterrando-lhes a base. Também em consequência das migrações e aportes de sedimentos, as cavernas da Unidade Rio das Mortes apresentam diversos eventos de deposição e remoção de sedimentos. Isso fica particularmente evidenciado pela existência de diversas plataformas de espeleotemas, hoje suspensas, que se depositaram sobre níveis de sedimentos já removidos por eventos erosivos posteriores. Pelo menos dois grandes eventos de deposição foram identificados, além de três eventos de menor dimensão (figura 47).

Após o soerguimento, houve ali um período de clima mais seco, o que facilitou a remobilização de camadas pedológicas e esculpiu as rampas pedimentares encontradas no universo de estudo.

Continua a evolução das formas de relevo: o tectonismo que provocou o soerguimento dos morros cessa, forças exógenas atuam com mais intensidade, provocando o distanciamento da frente de falha da falha em si. Variações climáticas teriam permitido a oscilação positiva do lençol freático, fato comprovado pela existência de estalactites submersas no meio do lago existente na Gruta da Lagoa Azul, bem como de um sítio arqueológico subaquático existente na mesma gruta. Dolinas acompanhando o plano das falhas se alargam, formando grandes lagos. Este modelo é apresentado esquematicamente nas figuras 48 a 52.



Figura 47: Espeleotemas suspensos, evidenciando eventos deposicionais e de remoção de sedimentos.

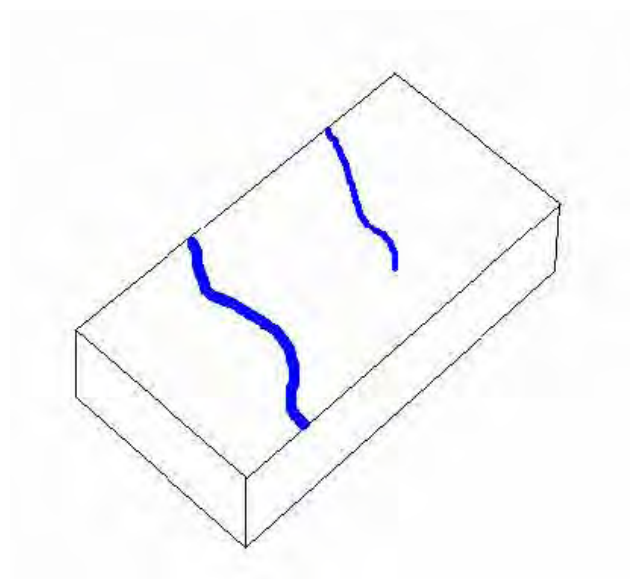


Figura 48: Inicialmente, a área era plana, com a drenagem seguindo antigos planos de falha.

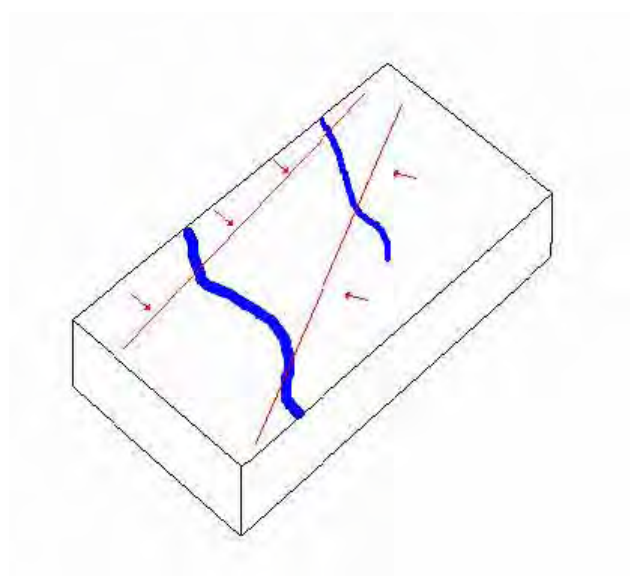


Figura 49 Forças compressivas, atuando, geram dois grandes planos de falha.

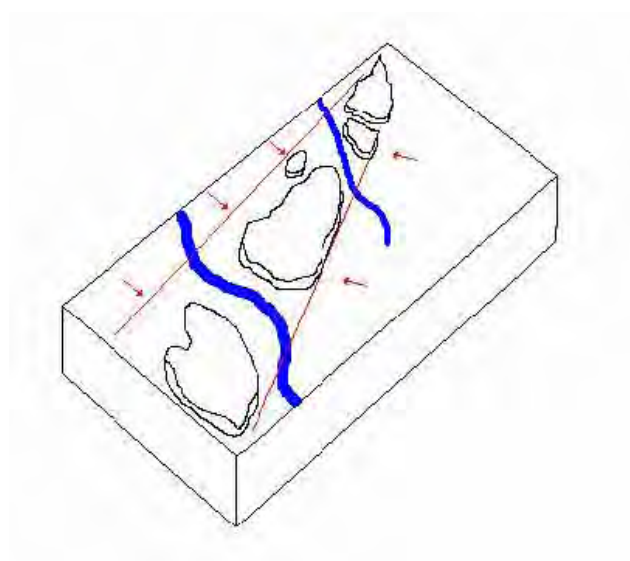


Figura 50: Ocorre um soerguimento formando uma cadeia de morros, com a drenagem se superimpondo.

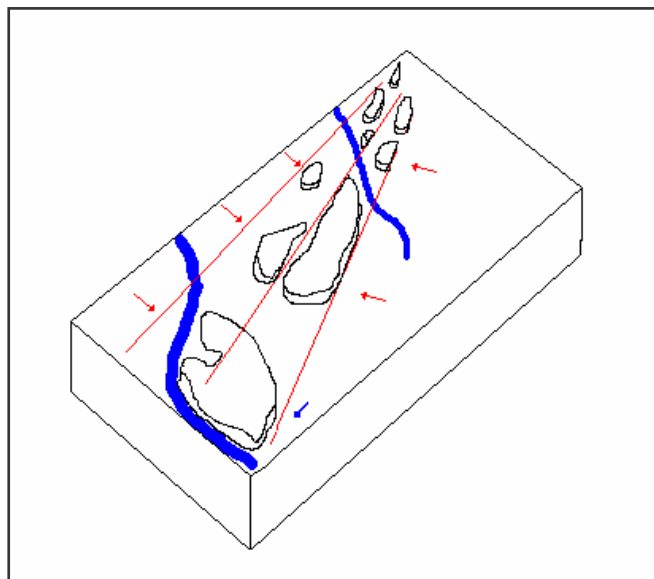


Figura 51: Devido à compressão, uma terceira linha de falha se estabelece. A erosão diferencial provoca o aparecimento de um vale em meio aos morros. As vertentes recuam e o Rio das Mortes sofre uma primeira migração em função do soerguimento

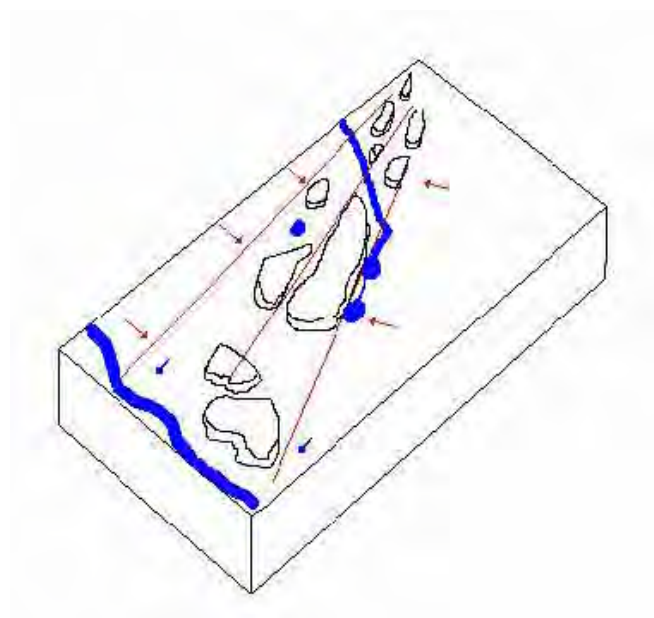


Figura 52: Dolinas de dissolução, acompanhando os planos de falha, se alargam formando grandes lagos. O Rio das Mortes sofre nova migração. Rampas pedimentares se estabelecem, após o que a área apresentou mudança climática, acarretando oscilação do freático. Depósitos quaternários se alojam na parte plana do relevo, carreado pelos rios e cursos intermitentes, devido aos sucessivos alagamentos anuais.

Embora não possa ser tomado como definitivo devido à ausência de estudos geológicos detalhados da área, este modelo mostra-se viável, pois explica a atual configuração do relevo. Estudos posteriores serão de grande valia para o aperfeiçoamento deste modelo, sobretudo na área de geologia estrutural.

Uma outra hipótese de desenvolvimento para a área pode estar relacionada com mudanças climáticas em diversos períodos da evolução do relevo. Se considerado desta forma, as drenagens que se superimpuseram sobre o soerguimento da Serra do Calcário, seriam antigas drenagens, que teriam deixado de existir quando de uma primeira mudança

climática, que teria deixado o clima local mais seco, e seria a responsável pelo aparecimento das rampas pedimentares. Com o advento de uma nova mudança climática, propiciando um clima mais úmido, teriam então se estabelecidas novas drenagens, que ocupariam em parte antigos leitos ou outras posições do relevo.

Embora se considere esta hipótese menos provável em função das imagens de satélite que parecem evidenciar migrações dos canais, não se pode descartá-la, pois trabalhos recentes descrevendo o solo em Conceição do Araguaia (PÉREZ, 1999), ao norte da região, evidenciam que as drenagens que lá se estabeleceram são recentes, o que corroboraria esta hipótese.

Cabe ainda considerar a hipótese de que toda a área esteja em subsidência. Em se tratando de uma bacia de deposição, as drenagens ali existentes podem ter acumulado material suficiente para que, em função da isostasia, o relevo esteja em subsidência. Embora não se possa descartar tal hipótese, considera-se esta menos provável, já que um afundamento da ordem de 4m tomando-se por base os esqueletos humanos encontrados no interior da gruta, mesmo que estes venham a ser datados em 12 mil anos BP, implicaria em uma subsidência da ordem de 0,34mm por ano, o que é uma taxa muito rápida em termos geológicos.

Acredita-se, portanto, que a oscilação do lençol freático é devida à mudança climática, e não a isostasia.

VI - Considerações Finais

6.1 - Considerações teóricas

Com base na pesquisa bibliográfica, foi possível verificar que o conhecimento sobre o carste está em plena evolução. Se o conceito de carste, em seu princípio, estava intimamente ligado a litologia carbonática, hoje é possível dizer que esta é uma visão ultrapassada.

A primeira observação, e talvez a mais importante sob o ponto de vista dos estudos sobre o carste no Brasil, é a de que o conceito, estando em evolução, ainda não é perfeito, tampouco completo. Se existem polêmicas e visões diferentes quanto ao que deve ser considerado carste, isso mostra um preceito básico da ciência, de que é preciso haver lacunas, dúvidas e questionamentos que nos levem a buscar preenchê-las, dirimir dúvidas e responder aos questionamentos, de modo que a ciência evolua.

Se esse conceito, em plena evolução, é simplesmente assumido pelos professores universitários como foi inicialmente definido, sem acompanhamento dos debates e questionamentos, então se está fadado a uma visão estanque, involutiva e estagnada.

Infelizmente, contatos com pessoas não ligadas à área do carste, mostram que essa é a realidade brasileira. Nossos livros ainda refletem definições dadas por pesquisadores estrangeiros nas décadas de 60 e 70, repetindo-as, sem levar em consideração os debates em andamento.

O estudo do carste vem evoluindo bastante nas últimas décadas, e já existe uma série de pesquisas associadas ao carste demonstrando que esse tipo de relevo, e sua hidrologia associada, não está restrito às rochas carbonáticas e evaporitos. O quartzito foi, possivelmente, uma das primeiras litologias a levantar esse tipo de questionamento e, hoje, já se admite carste em arenito e, com restrições, até em basalto e granito.

É evidente, por outro lado, que o relevo cárstico, em rochas não carbonáticas, vai apresentar características diferentes daquelas apresentadas por rochas carbonáticas, e isto implica, necessariamente, uma maior massa de estudos em litologias não carbonáticas, por parte dos pesquisadores, de forma a se compreender melhor os processos e formas cársticas nessas litologias. Os estudos ainda estão em fase inicial, mas o fato de ser possível encontrar os mesmos processos e formas de relevo associadas, implica que o conceito de carste não pode estar associado a uma litologia em particular.

Desta forma, enquanto em países onde a pesquisa do carste se encontra mais evoluída, as definições de carste não estão associadas à litologia; aqui, no Brasil, os poucos livros que tratam do assunto, mesmo em nível acadêmico, ainda permanecem restritos à visão de que carste só existe em rochas carbonáticas, ou quando muito, em evaporitos, visão esta que precisa ser abandonada.

Uma segunda observação sobre os estudos do carste é que, sob o ponto de vista geomorfológico, mesmo em países onde os estudos estão mais avançados, ainda existe muito a ser feito, e vem sendo, já que um grande número de pesquisadores atuam na área de hidrologia do carste, trabalhando com conceitos de aquíferos cársticos e sua evolução. Obras recentes atestam isso. No entanto, as obras genéricas, sobretudo as publicadas no Brasil, ainda relatam as mesmas formas e características desde a década de 70, com poucas modificações. Isso deixa em aberto uma questão: teriam sido os pesquisadores tão eficientes a ponto de cobrir completamente a visão geomorfológica de carste, a ponto de não se ter muito mais a evoluir? O mais provável é que não, o que leva a supor que existe uma carência de pesquisadores na área de geomorfologia do carste, abrindo horizontes ainda inexplorados.

Um bom exemplo disso é a abordagem metodológica de estudos da geomorfologia do carste. Sendo ele um relevo com características tão singulares, será que os métodos de estudo do relevo já desenvolvidos e em uso para outros tipos de relevo atendem as necessidades? E o que dizer do epicarste e do endocarste? É possível considerar que novas técnicas e concepções teóricas estão proporcionando aos geomorfólogos perspectivas diferentes, levando-os a buscar uma estruturação metodológica suportada por uma teoria mais elaborada, e também novos procedimentos, mas essas concepções e técnicas apenas começam a dar resultados, e tem muito a evoluir.

Assim, embora de imediato não se estejam verificando grandes mudanças no estudo geomorfológico, as bases, pouco a pouco, vão sendo lançadas, e poder-se-iam esperar mudanças significativas nos próximos anos, mas, para isso, é necessário um incremento da pesquisa na área.

6.2 - Limitações do trabalho e perspectivas futuras

Cabe ao trabalho de pesquisa demonstrar também, suas limitações, visando a uma reflexão mais acurada em trabalhos futuros, evitando-se a repetição de erros e omissões cometidas durante o processo de estudos e investigações.

A escolha da área deu-se com base em uma série de vantagens teóricas, que permitiriam uma rápida compreensão do carste da área. A delimitação natural, o fato de ser pouco conhecida, a nítida atividade tectônica, entre outros fatores, levou à seleção do que seria a área ideal para um estudo sobre o relevo cárstico. No entanto, embora houvesse amplas vantagens, as desvantagens não foram consideradas.

Não se conheciam detalhes do clima da área, muito menos da estrutura de apoio, não se levou em consideração a distância entre o objeto de estudo e o centro de pesquisa, bem como os custos associados. O prazo para a realização também não foi considerado.

As conseqüências foram diversas: poucas atividades de campo (21 dias), pouco apoio em campo (ausência de pessoas que pudessem acompanhar o pesquisador nas atividades de campo), e um prazo relativamente curto, levaram a um trabalho mais descritivo, que, no entanto, tem o mérito de demonstrar todo o potencial da área.

A Serra do Calcário é singular no contexto do carste nacional, por ser uma área cárstica isolada, num clima semi-úmido, com boa variedade de formas cársticas exteriores e interiores (exocarste e endocarste).

A evolução geomorfológica da área também apresenta características singulares, com elementos tectônicos marcantes, profundas incisões de drenagens denotando a ação climática na área. Evidências de alteração climática, através de formas tipicamente associadas a clima semi-árido, contribuem para que haja um incremento de estudos na área.

As características mencionadas tornam relevante o estudo, não só do ponto de vista cárstico, mas também sob a visão da geomorfologia como um todo, sendo um excelente exemplo de modelado tectônico, climático e químico, três importantes fatores para a compreensão de qualquer modelado.

Pode-se, no entanto, vislumbrar trabalhos futuros, multidisciplinares, que auxiliarão a aprofundar as considerações aqui elaboradas.

Em um primeiro momento, o conhecimento da atividade tectônica e estrutural da área seria de fundamental importância para corroborar ou mesmo refutar o modelo de evolução apresentado. Sob o ponto de vista tectônico, as interpretações basearam-se em indícios e não em medições e constatações, tornando difícil afirmar qualquer coisa subsequente, pois a tectônica está na base da descrição do modelado.

Sob o ponto de vista da sedimentologia, o estudo dos sedimentos que recobrem a área de estudo, principalmente na zona das terras baixas, permitiria corroborar a interpretação dada pelas imagens de satélite sobre a migração do Rio das Mortes e, possivelmente, datar a época em que houve elas aconteceram.

Uma correlação entre os sedimentos existentes na área externa da caverna com os sedimentos deixados em marquises, no interior das cavidades, permitiria estabelecer a correlação de eventos externos e internos. A datação da calcita secundária (espeleotemas), possibilitaria estabelecer a cronologia dos eventos.

Ainda em relação ao estudo dos espeleotemas, sabe-se que eles podem registrar a evolução climática de uma área e, neste caso, contribuiria para a compreensão do registro das alterações climáticas da região, estabelecendo, inclusive, cronologia das variações ambientais ali ocorridas. Outro estudo interessante seria o de datar os espeleotemas submersos na Gruta da Lagoa Azul, associando a época de formação deles com a oscilação do lençol freático que os submergiu.

A arqueologia traria contribuições importantes, pois o estudo do sítio arqueológico submerso existente na Gruta da Lagoa Azul seria uma fonte interessante de comparação com a datação dos espeleotemas submersos, permitindo uma melhor compreensão e datação dos eventos que levaram à oscilação do lençol freático.

O estudo da hidrologia cárstica na área poderia ajudar a explicar o fluxo subterrâneo. Embora a recarga em superfície seja autogênica, demonstrada pelo grande número de riachos e cursos intermitentes que nascem associados à Serra do Calcário a proximidade com o Rio das Mortes e com alguns outros cursos de menor expressão, sugere a possibilidade de interação com águas de origem não cárstica.

Acredita-se que o aprofundamento dos estudos sobre o carste na área em questão possibilite usá-la como modelo de evolução para o carste que se desenvolve em áreas que sofreram alterações climáticas devido, justamente, ao grande conjunto de agentes e processos envolvidos nesse local em especial.

VII – Bibliografia

- AB'SÁBER A. **Os Domínios de Natureza no Brasil – Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo, Ateliê Editorial: 2003.
- ALMEIDA, F. F. M. Geologia do Centro-Leste Mato-Grossense. **Boletim nº 150**, Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM. Rio de Janeiro: 1954.
- ALMEIDA, F. F. M. Província Tocantins – Setor Sudeste. *In: O Pré Cambriano no Brasil*. Pag. 265-281. DNPM. Rio de Janeiro: 1984.
- ALVARENGA, C. J. S. & SAES, G. S. Estratigrafia e Sedimentologia do Proterozóico Médio e Superior da Região Sudeste do Cráton Amazônico. **Revista Brasileira de Geociências**. Vol. 22 (4):493-499. 1992.
- AULER, A. S. **Karst Evolution and Palaeoclimate of Eastern Brazil**. (Tese). University of Bristol, England: 1999.
- AULER, A. S.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As Grandes Cavernas do Brasil**. Belo Horizonte, Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas: 2001.
- BIROT, P. **Le Cycle D'Érosion Sous Les Différents Climats**. Rio de Janeiro, Universidade do Brasil: 1960.
- BÖGLI, A. **Karst Hydrology and Physical Speleology**. Berlin, Springer-Verlag: 1980.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas Geográfico**. Rio de Janeiro: 2002.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil Vol. 25 folha SD.22 – Goiás**. Rio de Janeiro: 1981.
- BROWN, A. G. (editors) **Geomorphology and Groundwater**. England: John Wiley & Sons Ltd., 1995.
- CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography – A Systems Approach**. London, Prentice-Hall International Inc.: 1971.
- CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A.; SUGDEN, D. E. **Geomorphology**. London, Methuen & Co. Ltd.: 1984.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2a Ed. São Paulo, Edgard Blücher: 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo, Edgard Blücher: 1999.
- COURTNEY, F. M.; TRUDGILL, S. T. **The Soil – An Introduction to Soil Study**. 2nd Edition. London, Edward Arnold: 1984.

- CRABTREE, R. W.; TRUDGILL, S. T. Chemical Denudation on a Magnesian Limestone Hillslope, Field Evidence and Implications for Modeling. **Earth Surface Processes and Landforms**, Vol. 10, pag. 331-341. Sussex, John Wiley & Sons: 1985.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil: 1998.
- CUNHA, S. B. Bacias Hidrográficas. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. p. 229-271. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil: 1998.
- DAOXIAN, Y. **On the Karst Environmental System. 21o Congress Karst Hydrogeology and Karst Environment Protection**. (Anais) Guilin: 1988.
- DERRUAU, M. **Précis de Géomorphologie. 4ème Édition**. Paris, Masson et C^{le}, Éditeurs: 1965.
- DRAGO, V. A. et al. Geologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil Vol. 25 folha SD.22 – Goiás**. Rio de Janeiro: 1981.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Geomorphology and Hydrology**. London, Unwin Hyman: 1989.
- FREEZE, A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Upper Saddle River, Prentice Hall: 1979.
- GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil: 1992.
- GUERRA, J. A. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 3ª Ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil: 1998.
- GUNN, J. (Editor). **Encyclopedia of Caves and Karst Science**. New York London, Fitzroy Dearborn: 2004.
- HARDT, R. **Formas Cársticas em Arenito - Estudo de Caso**. Rio Claro, Monografia de Especialização em Geomorfologia. Universidade Estadual Paulista: 2003
- INSTITUTO ECOSSISTEMAS E POPULAÇÕES TRADICIONAIS - ECOSS. **Relatório preliminar visando o plano de manejo das Grutas Portal do Roncador e Santa Terezinha**. Cuiabá, 2000.
- JENNINGS, J. N. **Karst Geomorphology**. Glasgow, Basil Blackwell (ed.): 1985.
- JIMENEZ, A. N.; BAYES, N. V.; GONZALEZ, M. A.; RODRIGUEZ, J. M.; VINENT, M. I.; GONZALEZ, A. G. **Cuevas y Carsos**. La Habana, Editora Militar: 1985.
- JUNSHU, L.; JUZHANG, L.; JINFU, F. Karst Geomorphological Process and Climate. In: **Proceedings of the 12th International Congress of Speleology**, Vol. 1 pag. 395-396. La Chaux-de-Fonds: 1997.
- KARMANN, I. **Evolução e Dinâmica Atual do Sistema Cárstico do Alto Vale do Rio Ribeira de Iguape, Sudeste do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo: 1994.

- KARMANN, I. Ciclo da Água, Água Subterrânea e sua Ação Geológica. *In: TEIXEIRA et al. Decifrando a Terra*. São Paulo, Oficina de Textos: 2000.
- KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L. E. Distribuição de Rochas Carbonáticas no Brasil e Províncias Espeleológicas. **Espeleo-Tema**, v. 13 p. 105-167, 1979.
- KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C. Types of Karst and Evolution of Hydrogeologic Settings. *In: KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (editors) Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville (USA). National Speleological Society: 2000a.
- KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C. Lithologic and Structural Controls of Dissolutional Cave Development. *In: KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (editors) Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville (USA). National Speleological Society: 2000b.
- KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (editors) **Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers**. Huntsville (USA). National Speleological Society: 2000.
- KOHLER, H. C. Geomorfologia Cárstica. *In: GUERRA, J. A. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos*. 3ª Ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil: 1998.
- LACERDA FILHO, J. V. et al. **Geologia e Evolução Tectônica da Região Norte do Mato Grosso (Projeto Promin - Alta Floresta)**. Goiânia, CPRM: 2001.
- LABEGALINI, J. A. **Levantamento do Impactos das Atividades Antrópicas em Regiões Cársticas – Estudo de Caso: Proposta de Mínimo Impacto para Implantação de Infra-Estrutura Turística na Gruta do Lago Azul – Serra da Bodoquena (Município de Bonito – MS)**. (Dissertação) Universidade de São Paulo, São Carlos: 1996.
- LE BRET, M. **Maravilhoso Brasil Subterrâneo**. Jundiaí. Editora Japi Ltda: 1995.
- LINO, C. F. **Cavernas - O fascinante Brasil subterrâneo**. 2ª edição revista e ampliada. São Paulo: Editora Gaia, 2001.
- LOWE, D. J. Development of Speleogenetic Ideas in the 20th Century: The Early Modern Approach. *In: KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (editors) Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville (USA). National Speleological Society: 2000.
- MAMEDE, L.; NASCIMENTO, M. A. L. S.; FRANCO, M. S. M. Geomorfologia. *In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil Vol. 25 folha SD.22 – Goiás*. Rio de Janeiro: 1981.
- MARTINI, J. E. J. **Dissolution of Quartz and Silicate Minerals**. *in KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (editors) Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville (USA). National Speleological Society, 2000 (pp. 171-174).
- MELLENDEZ, B.; FUSTER, J. M. **Geologia**. 6ª edição. Madrid, Editorial Paraninfo SA: 1994.

- MOURA, M. T. T. O Carste da Região de Prudente de Moraes – MG. **Boletim Paulista de Geografia**, Nº 73 pag. 125-148: 1992.
- NIMER, E. Um Modelo Metodológico de Classificação de Climas. **Revista Brasileira de Geografia**, Vol. 41 n. 4, p. 59-89: 1979.
- ONAC, B. P. **Geologia Regiunilor Carstice**. Bucuresti, Editura Didactica Si Pedagogica, R. A.: 2000.
- PALMER, A. N. Origin and Morphology of Limestone Caves. **Geological Society of America Bulletin**, v. 103, pag. 1-25: 1991.
- PÉRES, D. H. **Gênese, Transformação e Evolução de Sistemas Pedológicos em Conceição do Araguaia – Pará: Relações com a Morfologia da Vertente**. (Dissertação). Rio Claro, Universidade Estadual Paulista: 1999.
- PILÓ, L. B. **A Morfologia Cárstica do Baixo Curso do Rio Peruaçu, Januária – Itacarambí, MG**. Belo Horizonte, IGC/UFMG: 1989. (monografia de conclusão de curso).
- PILÓ, L. B. **Morfologia Cárstica e Materiais constituintes: Dinâmica e Evolução da Depressão Poligonal Macacos-Baú - Carste de Lagoa Santa, MG**. (Tese). São Paulo, Universidade de São Paulo: 1998.
- PILÓ, L. B. Revisão de Literatura - Geomorfologia Cárstica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Vol 1, no 1 p. 88-122: 2000.
- PIRES, F. R. M. Arcabouço Geológico. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil: 1998.
- RUGGIERI, R. The Karst in the area of Matumbi Hills (Kilwa district, Tanzania). Hydrogeological characteristics and relationships between morphostructures and tectonic phases. In: **Proceedings of the 12th International Congress of Speleology**, Vol. 1 pag. 125-128. La Chaux-de-Fonds : 1997.
- SANCHEZ, L. E. O Sistema, Unidade Lógica de Referência dos Estudos Espeleológicos. **Espeleo-Tema**, v. 16 p. 3-14, 1992.
- SCHEIDEGGER, A. E. The Fundamental Principles of Landscape Evolution. In: **AHNERT (editor). Geomorphological Models – Theoretical and Empirical Aspects. Catena Supplement 10**, pag. 199-210. Cremlingen-Destedt: 1987.
- SCHEIDEGGER, A. E. The Dynamics of Geomorphic Systems. **Zeitschrift für Geomorphologie – Suppl. Band 67**, p. 5-15. Berlin - Stuttgart: April 1988.
- SCHOBENHAUS, C; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. **Geologia do Brasil**. Brasília, Departamento Nacional da Produção Mineral: 1984.
- SHAW, T. R. Views on Cave Formation Before 1900. In: KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (editors). **Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers**. Huntsville (USA). National Speleological Society: 2000.

- SOUBIES, F.; GUYOT, J. L. **Compte Rendu de Mission dans la Région du Rio das Mortes (Mato Grosso) du 5 au 8 Septembre 1995**. Inédito: 1995.
- SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Sedimentar**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.
- SWEETING, M. M. **Karst Landforms**. New York, Columbia University Press: 1973.
- TEIXEIRA, A. L. A. & CHRISTOFOLETTI, A. **Sistemas de Informação Geográfica**. São Paulo, Hucitec: 1997.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (org.) **Decifrando a Terra**. São Paulo, Oficina de Textos: 2000.
- TRICART, J.; DA SILVA, T. C. Un exemple d'évolution karstique en milieu tropical sec: Le morne de Bom Jesus da Lapa (Bahia, Bresil). **Zeitschrift für Geomorphologie** - Band 4 Heft 1, p. 29-42. Berlin: Fev. 1960.
- TUCCI, C. E. M. (organizador) **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. 2ª Edição. Porto Alegre, Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul : 2001
- WILLIAMS P. W. (Editor) **Karst Terrains – Environmental Changes and Human Impact**. Cremlingen- Destedt, Catena Verlag: 1993.
- WHITE, W. B. **Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains**. New York, Oxford University Press: 1988.
- WHITE, W. B. Development of Speleogenetic Ideas in the 20th Century: The Modern Period: 1957 to the Present. *In*: KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (editors) **Speleogenesis - Evolution of Karst Aquifers**. Huntsville (USA). National Speleological Society: 2000.
- WHITTOW, J. **The Penguin Dictionary of Physical Geography**. 2nd Edition. London, Penguin Books: 2000.
- YOUNG, R. & YOUNG, A. **Sandstone Landforms**. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag: 1992.
- YOUNGER, P. L. & STUNELL, J. M. **Karst and Pseudokarst: An Artificial Distinction?** *In* BROWN, A. G. (editors) **Geomorphology and Groundwater**. England: John Wiley & Sons Ltd., 1995 (pp. 121 - 142).

ANEXOS

Anexo 1: Perfis longitudinais dos morros da Serra do Calcário

Anexo 2: Mapas das Grutas da Lagoa Azul (elaborado por Rubens Hardt) e Grutas Santa Terezinha (Elaborado por Instituto Ecossistemas e Populações Tradicionais – ECOSS) e Portal do Roncador (Elaborado por Taimbé Consultoria Ambiental) e modificados por Rubens Hardt)

