UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E
GEOESPELEOLÓGICA DO CARSTE DA BACIA DO
RIO UNA, BORDA LESTE DA CHAPADA
DIAMANTINA (MUNICÍPIO DE ITAETÊ, ESTADO DA
BAHIA)**

RICARDO GALENO FRAGA DE ARAÚJO PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. Ivo Karmann

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Ivo Karmann

Examinadores: Prof. Dr. Adilson Avansi de Abreu

Prof. Dr. Benjamim Bley de Brito Neves

Three handwritten signatures in blue and purple ink, each written over a horizontal line. The first signature is in blue ink, the second is in purple ink, and the third is in purple ink.

SÃO PAULO
1998

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005396

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E
GEOESPELEOLÓGICA DO CARSTE DA BACIA DO
RIO UNA, BORDA LESTE DA CHAPADA
DIAMANTINA (MUNICÍPIO DE ITAETÊ,
ESTADO DA BAHIA).**

Ricardo Galeno Fraga de Araujo Pereira

Orientador: Prof. Dr. Ivo Karmann

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
1998

*Dedico este trabalho aos meus avós,
partes vivas, mais antigas da minha existência,
raízes do meu vínculo de curiosidade com o planeta Terra.*

*“...A ponte não é de concreto.
Não é de ferro, não é de cimento
A ponte é até onde vai o meu pensamento*

*A ponte não é para ir nem pra voltar.
A ponte é somente atravessar
caminhar sobre as águas desse momento....”*

(A ponte- Lenini e Lula Queiroga)

Ogunyê

Agradecimentos

Finalizar este trabalho foi para mim um momento de muito crescimento. Seu maior fruto é saber que dele nasceram e nascerão, por muito tempo, vários outros frutos, não só para mim, como para todos aqueles que acompanharam o desenrolar do processo e para aqueles que façam uso desta obra. Assim sendo gostaria de agradecer a todos que participaram de maneira direta ou indireta para a conclusão desta dissertação. Meus agradecimentos especiais vão para a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, que financiou esta pesquisa através do processo n- 96/2886-9 e para meus colegas de trabalho da equipe de pesquisas em terrenos cársticos e membros do Núcleo de Estudos da Paisagem-NEP, pioneiros nos estudos científicos sobre o carste brasileiro. Agradeço ainda aos funcionários do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, que colaboraram para o bom andamento dos trabalhos da pesquisa e elaboração deste compêndio, em especial às meninas da seção de informática: Rita e Márcia, ao pesquisador Rene Boulet, aos funcionários do DGG: Reynaldo, Samuel, Nícia e Soninha, à equipe da gráfica: Edimir, Henrique e Barboza, a turma da seção de laminação e a Ana Paula da seção pós-graduação. Extendendo ainda meus agradecimentos à José Antônio Ferrari, Murilo Andrade Valle, Pedro Dib, Rafael Hernandez, Carlos Henrique Grohmann de Carvalho, Renato Gaban Lima, Reinaldo Machado Tavares da Silva, Paulo Hunold Lara e a Ângela minha parceria de todas as horas.

Caracterização geomorfológica e geoespeleológica do Carste da Bacia do Rio Una, borda Leste da Chapada Diamantina (Município de Itaetê. Estado da Bahia).

Índice	Pg.
Resumo.....	5
Abstract.....	6
 Capítulo I.....	 7
1- Introdução.....	7
1.1- Apresentação do tema de trabalho.....	7
1.2- Seleção e localização da área de estudo.....	8
1.3- Objetivos do trabalho.....	11
1.4- Métodos e técnicas.....	12
 Capítulo II.....	 16
2- Geologia e Fisiografia da Área.....	16
2.1- Geologia, fisiografia e economia da região.....	16
2.2- Geologia local.....	21
2.2.1- Situação estratigráfica.....	21
2.2.2- Caracterização das rochas carbonáticas.....	25
2.2.3- Geologia estrutural.....	28
2.3- Considerações sobre o clima e o uso da terra.....	32
 Capítulo III.....	 37
3- O sistema Cárstico da Bacia do Rio Una.....	37
3.1- A superfície cárstica e suas formas de relevo.....	37
3.2- Material de cobertura da superfície cárstica e sua origem.....	45
3.3- Processos de subsidência recente.....	48
3.4- Cavernas e rotas de fluxo da água subterrânea.....	51
3.5- Índices Morfométricos da Superfície Cárstica.....	68
3.5.1- Densidade de depressões cársticas.....	68
3.5.2- Densidade de sumidouros autogênicos.....	71
3.5.3- Rugosidade da superfície carbonática.....	73
 Capítulo IV.....	 76
4- A evolução do Sistema Cárstico e da Paisagem Associada.....	76
4.1- Teorias de evolução regional da paisagem brasileira.....	76
4.2- Superfícies de aplainamento.....	78
4.3- Instalação e desenvolvimento do sistema cárstico.....	80
4.3.1- Espeleogênese.....	80
4.3.2- Desenvolvimento da superfície cárstica.....	85
4.3.3- Quadro atual.....	86
 Capítulo V.....	 89
5- Conclusões e recomendações.....	89
 6- Referência Bibliográficas.....	 91

Lista de figuras

Figura-1.1: Localização da área de estudo

Figura-2.1: Mapa hipsométrico da bacia do rio Una, ilustrando os contrastes de relevo da região estudada.

Figura-2.2: Perfil geológico de campo.

Figura-2.3: Diagrama de classificação química dos calcários

Figura-2.4: Mapa geológico e fotolineamentos da área investigada.

Figura-2.5: Representação estereográfica das medidas de planos de acamamento das rochas carbonáticas.

Figura-2.6: Tratamento estrutural das fraturas medidas em campo.

Figura-2.7: Pluviometria anual da bacia do rio Una. Itaetê/BA. Estação Faz. Iguaçu.

Figura-2.8: Balanço hídrico da bacia do rio Una. Itaetê/BA. Estação Faz. Iguaçu.

Figura-3.1: Aspecto geral da superfície cárstica.

Figura-3.2: Comparação entre os fotolineamentos e as fraturas medidas em campo.

Figura-3.3: Aspecto dos paredões escarpados que ocorrem em trechos flúvio-cársticos do vale do Rio Una.

Figura-3.4: Croquis ilustrando o aspecto em perfil dos diferentes tipos de depressões cársticas encontradas na área de estudo.

Figura-3.5: Área da superfície carbonática considerada nos cálculos dos parâmetros morfométricos.

Figura-3.6: Depressões cársticas consideradas para o cálculo do índice densidade de depressões cársticas.

Figura-3.7: Número de pontos de absorção por Km².

Figura-3.8: Mapa e modelo digital do terreno das linhas de topografia da Colônia.

Figura-4.1: Seções transversais do tipo buraco de fechadura, das cavernas Fazenda Natal (1) e Lapa do Bode (2-9), ilustrando a iniciação freática seguida de entalhamento vadoso.

Lista de fotografias

Painel de fotografias-1.1: Aspecto geral da área de trabalho.(A) Cidade de Itaetê. (B) Estradas do loteamento da Colônia. (C) Borda oriental do planalto carbonático. (D) Rio Una.

Foto-2.1: Drenagem alogênica. Afluentes da margem esquerda do Rio Una, oriundos das serras de metarenito da Chapada Diamantina.

Foto-2.2: Ponte sobre o Rio Una. A tonalidade escura das águas dos rios oriundos das serras de metarenito da Chapada Diamantina persistem por todo o planalto carbonático.

Foto-2.3: Testemunhos da vegetação primária. Árvores de grande porte (A), remanescentes em meio à pequenas “ilhas de vegetação” (B) poupadas dos desmatamentos para implantação de roças e pastos.

Foto-2.4: A água cristalina da caverna Poço Encantado contrasta com as águas escuras do Rio Una e da rede de drenagem alogênica. O poço chega a apresentar 60m de profundidade.

Painel de fotografias-2.5: Pinturas rupestres encontradas na área de trabalho. Os moradores locais relatam a ocorrência de uma série de painéis destas pinturas na região.

Painel de fotografias-3.1: Exemplos recentes do processo de subsidência catastrófica do terreno. As fotografias apresentam dolinas formadas durante episódios de chuvas, nos últimos 5 anos.

Painel de fotografias-3.2: Caverna Lapa do Bode. (A) Entrada principal da caverna. (B) Condutos freáticos de seção elíptica. (C e D) Condutos elípticos com entalhamento vadoso na base, formando seções do tipo “buraco de fechadura”.

Foto-3.3: Aspecto da depredação antrópica na entrada da caverna Lagoa Preta.

Foto-3.4: Zona de cisalhamento de baixo ângulo (alto da foto) truncando o acamamento subhorizontal e ondulado na caverna Lagoa Preta. Esta estrutura condicionou a iniciação e favoreceu a infiltração de fluidos ricos em sílica.

Foto-3.5: Abismo de acesso a caverna Baixão.

Painel de fotografias-3.6: Aspecto da entrada da caverna Fazenda Santa Clara II. A caverna está situada em um paredão escarpado na margem direita do Rio Una (figura-3.3). (A) Vista do exterior. (B) Vista do interior.

Foto-3.7: Abismo de acesso à caverna Velho Mulungu, situada no fundo de uma dolina de abatimento na escarpa oriental do planalto carbonático.

Foto-3.8: Abismo do Sr. Ireno. O abismo representa um ponto de absorção, exposto pela subsidência de material da cobertura superficial durante uma chuva no ano de 1990.

Lista de tabelas

Tabela 2.1- Resultado das análises químicas das rochas carbonáticas da Fm. Salitre.
(Laboratório de Química ICP-AES. IG-USP)

Tabela-2.2: Balanço hídrico. Estação Itaetê (BA). (Extraído do Projeto Radambrasil, 1981).

Tabela-2.3: Balanço hídrico. Estação Faz. Iguaçu (BA).

Tabela-3.1A: Resultados das análises químicas das amostras da cobertura.

Tabela-3.1B: Resultados dos testes de dissolução da rocha carbonática.

Tabela-3.2: Conjunto de cavernas encontradas na área de estudo.

Tabela-3.3: Cálculo do índice: **Densidade de depressões cársticas**.

Tabela-3.4: Cálculo da **Razão de dolinamentos**.

Tabela-3.5: Cálculo do **Índice de dolinamento**.

Tabela-3.6: Cálculo do índice: **Densidade de pontos de absorção**.

Tabela-3.7: **Rugosidade média regional** da superfície carbonática.

Tabela-3.8: **Índices de rugosidade** das células 6X6 Km.

Tabela-3.9: Rugosidade do modelo digital do terreno, obtido a partir das seções topografadas em campo.

Tabela-4.1: Distribuição temporal aproximada dos eventos geomórficos cenozóicos da área de estudo.

Resumo

O trabalho apresenta uma caracterização do relevo cárstico na região da Bacia do Rio Una, situada na borda Leste da Chapada Diamantina, no estado da Bahia, a partir de uma análise morfológica do relevo em diversas escalas, associada a uma investigação geoespeleológica dos sistemas de cavernas e descrição das principais formas de relevo observadas em campo e em fotografias aéreas, escala 1:60.000.

Para se alcançar estes objetivos, foram empregados as seguintes metodologias: análise morfométrica do relevo cárstico, interpretação e análise de fotografias aéreas, mapeamento geológico e geomorfológico de campo, mapeamento geoespeleológico, balanço hídrico, testes de dissolução da rocha carbonática e análises geoquímicas e mineralógicas do material da cobertura superficial do relevo e da rocha calcária.

Constatou-se que o rio Una apresenta um vale assimétrico, com uma recarga autogênica na sua margem direita e uma recarga de natureza mista (autogênica e alogênica) na margem esquerda. A região exibe uma deficiência hídrica de 24,5 mm no período analisado. O carste apresenta uma cobertura superficial com espessura variável e um índice de rugosidade média regional $IR=0,998$ (em escala 1:100.000), confirmando o seu caráter aplainado, com uma densidade de depressões cársticas de 0,080 depressões/ Km^2 e uma densidade de sumidouros autogênicos de 0,218/ km^2 , medidas em escala 1:60.000. A iniciação cárstica das cavernas parece estar condicionada pela interseção do plano do acamamento subhorizontal ondulado, com sistemas de fraturas subverticais com direções preferenciais N0-20E e N70-90W. Esta iniciação se dá através de um fluxo muito lento, abrindo uma rede de condutos anastomosados e labirínticos. O entalhamento dos principais condutos subterrâneos é singenético, acompanhando o rebaixamento do lençol freático, desenvolvendo *canyons* vadosos, encontrados na base dos tubos de iniciação freática. O desmatamento da mata primária desencatilhou e acelerou uma série de processos de subsidência do material de cobertura da superfície cárstica, para o interior de cavidades subterrâneas.

As informações obtidas são sintetizadas no Mapa de Fenômenos Cársticos. Nesta carta expressa-se a litologia, as principais rotas de fluxo subterrâneo e a localização das cavernas e formas de relevo mapeadas na área estudada. A análise das informações representadas nesta carta, juntamente com um estudo do processo intempérico atuante sobre a rocha carbonática, permitiram a elaboração de um modelo evolutivo da paisagem.

Abstract

A comprehensive study of the karst topography and caves of the Una river basin, at the eastern border of the Chapada Diamantina range, Bahia state, is presented. The study is based on a multi-scale morphological analysis of the topography, together with geospeleological mapping and descriptions of the main karst features observed in the field and 1:60.000 aerial photographs.

The following methodologies have been used: morphometric analysis of the karst topography, photogeological interpretation, geological and geomorphological field mapping, geospeleological mapping, water balance analysis, dissolution tests of carbonate rocks, chemical and mineralogical analysis of rocks and weathering products.

Based on the nature of recharge, Una river basin can be divided in autogenic karst, along the right margin, and mixed karst with allogenic and autogenic recharges, along the left margin. A hydric deficiency of 24,5 mm has been detected during the analysed period. The karst surface is characterized by a rugosity index of 0.998 (in 1:100.000 scale), a depression density of 0.08 depressions:Km² and a density of 0.218 autogenic sinkholes:Km², both measured in 1:60.000 scale of aerial photographs. The inception of karst conduits followed mainly the interception between the sub-horizontal bedding planes and the N0-20E and N70-90W sub-vertical fracture sets. The speleogenesis started with phreatic anastomosed conduits which are entrenched at the base by vadose canyons, following a normal syngenetic process, together with the drawdown of the water table. The deforestation of the primary vegetation has been responsible to trigger and enhance the ground subsidence with the formation of sinkholes and dolines.

The main results of this research are presented in a karst phenomena map, which shows the lithologies, the main underground flow routes, cave locations and the landforms of the studied area. Based on the observations, a model of the landscape evolution is presented.

Capítulo I

1. Introdução

1.1-Apresentação do tema de trabalho

Os terrenos cársticos ocupam cerca de 12-15% da superfície da terra (Ford & Willians, 1989). No Brasil estas paisagens ocorrem desde a região Norte até estados do Sul do país, Karmann (1994) numa estimativa preliminar, sugere que elas representam de 5 a 7% da área do território brasileiro. Karmann & Sanchez (1979), em um trabalho pioneiro, fazem uma caracterização de caráter regional das paisagens cársticas brasileiras, dividindo-as em províncias e distritos espeleológicos. Desde então, este trabalho tem sido uma das únicas referências para outros trabalhos das diversas formas de abordagem do carste. Nos anos 80 registram-se algumas publicações ligadas ao tema na literatura geológica nacional, principalmente com relação à aspectos ligados à hidrogeologia cárstica (Silva, 1984; Guerra, 1986; Kohler, 1989; Ferrari, 1990). Estes trabalhos são, em sua maioria resultantes de dissertações de mestrado e teses de doutorado, mas ainda não configuram uma temática constante ou sistemática dentro da literatura geológica ou geomorfológica do Brasil. Nos anos 90, se inicia na Universidade de São Paulo, uma linha de pesquisa em terrenos cársticos, junto ao programa de pós-graduação em geoquímica do Instituto de Geociências, e no ano de 1995 foi realizado o primeiro simpósio de geologia de terrenos cársticos, dentro do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia.

Diante do quadro exposto, percebe-se que, no Brasil, esta temática começou a ser abordada, de maneira sistemática, apenas nos últimos anos. Por outro lado, em países da comunidade Européia como França, Ioguslândia ou países do Leste Europeu, na China, em Cuba ou nos Estados Unidos este tema já é abordado há mais tempo. Nestes países já existem centros de pesquisa específicos deste assunto, como é o caso do “Florida Sinkhole Institute”, nos Estados Unidos, ou do “China Karst Institute” do Serviço Geológico da China. Vale ressaltar que nestes países é muito grande o número de habitantes que moram ou consomem recursos naturais de terrenos cársticos. No Brasil este número é certamente menor. Por outro lado, no caso brasileiro começa a se tornar expressivo o número de cidades que vêm se desenvolvendo sobre regiões cársticas, como a região metropolitana de Belo Horizonte (MG), além de outras cidades do interior de Minas Gerais, Bahia, Mato

Grosso, Rio Grande do Norte e São Paulo. Muitas destas cidades já começam a sofrer com problemas inerentes à estas regiões, sejam eles naturais ou decorrentes de uso inadequado.

No ano de 1986, o desabamento catastrófico do terreno ocorrido em Cajamar (SP), ganhou muito espaço nos noticiários brasileiros (Nakazawa *et alli*, 1987). O “incidente” gerou uma série de prejuízos em diversas esferas e até hoje gera polêmicas entre a Prefeitura da cidade e a SABESP. Na cidade de Irecê (BA) e Jaíba (MG), implantaram-se amplos programas de irrigação, utilizando-se de águas de aquíferos cársticos. Em ambas cidades muitos poços estão secos, gerando prejuízos em função de um planejamento equivocado para utilização destes aquíferos. Além disto, na região de Irecê muitos solos vêm sofrendo com a salinização decorrente da utilização de águas inadequadas ou falta de manejo do solo. Estes problemas aqui expostos, além de outros não enumerados, servem para salientar a importância prática das pesquisas sobre terrenos cársticos e ressaltar necessidade de inclusão desta preocupação em projetos futuros, ou em andamento, como por exemplo, a construção de usinas hidroelétricas no Sudeste do estado de São Paulo.

1.2- Seleção e localização da área de estudo

A área de estudo está situada na porção central do estado da Bahia, na margem leste/sudeste da região conhecida, geograficamente, como Chapada Diamantina, dentro do município de Itaetê (**figura-1.1 e painel de fotografias-1.1**).

O município apresenta uma série de problemas sócio-econômicos, resultante de uma ocupação predatória e inadequada. O principal uso da terra na região é de pastagens de gado e roças de milho, feijão, mamona, mandioca, abóbora e melancia. Em função destas atividades, derrubou-se praticamente toda a cobertura vegetal original. Por outro lado, a região apresenta um regime de chuvas bastante irregular, com episódios de chuvas catastróficas. O desmatamento feito em épocas anteriores ao período das chuvas resulta numa erosão acelerada da camada superficial do solo. O material transportado vem provocando assoreamento dos rios Una e Paraguaçu. Parte deste material superficial é transportado também para o interior de cavidades subterrâneas, uma vez que o solo exposto pela retirada da vegetação primária favorece a infiltração de água, que carrega material ao longo de fissuras abertas na rocha pela carstificação, ocasionando o entupimento em alguns trechos destas cavidades. Como resultado deste processo são geradas uma série de dolinas.

Figura-1.1: Localização e rede de drenagem da área de estudo

A

B

C

D

Painel de fotografias-1.1: Aspecto geral da área de trabalho. (A) Cidade de Itaetê. (B) Estradas do loteamento da Colônia. (C) Borda Oriental do planalto carbonático. (D) Rio Una.

A formação e desenvolvimento destas dolinas foram um dos motivos iniciais para a elaboração deste projeto de trabalho, buscando uma caracterização da paisagem, integrando a ocorrência de feições de relevo e sistemas de cavernas, fornecendo assim, bases para a elaboração de um plano de manejo da ocupação e uso da terra da região.

Um outro fator que colaborou para a elaboração deste plano de trabalho foi a descoberta por Mendes (1995) de uma espécie endêmica de bagres de caverna na região. Para um melhor entendimento do processo evolutivo deste peixe, fez-se necessário um melhor conhecimento do processo de evolução da paisagem cárstica da região.

1.3- Objetivos do Trabalho

Este trabalho insere-se dentro de um projeto maior de estudos geológicos e geomorfológicos sistemáticos, das paisagens cársticas brasileiras, representando uma primeira etapa, iniciada nos sistemas cársticos associados ao Grupo Una da borda Leste da Chapada Diamantina, na região central da Bahia. Dentro deste contexto o trabalho teve os seguintes objetivos:

1- Caracterizar o relevo cárstico da bacia do Rio Una, através de identificação e descrição das feições de relevo mais características, utilizando-se de levantamentos de campo, mapas topográficos (1:100.000) e fotografias aéreas (1:60.000), além de uma caracterização quantitativa, através da medição e cálculo de parâmetros morfométricos (densidade de depressões e sumidouros e rugosidade da superfície carbonática).

2- Identificar os controles geológicos, estruturais e hidrológicos das feições cársticas de superfície e das cavernas, definindo seus padrões em planta, seções transversais e sua distribuição na área. A partir desta identificação, esboçar um modelo preliminar do aquífero cárstico, com base nos padrões morfológicos dos condutos subterrâneos identificados, e suas possíveis relações com feições em superfície.

3- Caracterização preliminar do material de cobertura do carste através de análises geoquímicas e mineralógicas. Esta caracterização, aliada aos demais dados obtidos, fornece bases para a formulação de um modelo evolutivo da paisagem.

4- Confecção de uma carta de fenômenos cársticos. Esta carta sintetiza a distribuição das feições cársticas, permitindo a identificação de zonas suscetíveis a colapsos do terreno,

além de exibir rotas de fluxo subterrâneo. Esta carta, pode servir ainda como base para um plano de uso e ocupação da terra na região.

1.4- Métodos e técnicas

Uma vez que se trata de um trabalho de caracterização da paisagem, foram aplicadas uma série de metodologias distintas na obtenção dos dados. A seguir, apresenta-se uma síntese dos métodos e técnicas utilizadas no decorrer da pesquisa.

1- Confeccção das bases de trabalho e obtenção dos índices morfométricos

De posse do conjunto de cartas topográficas da SUDENE, delimitou-se a área de trabalho, buscando englobar toda porção do Rio Una que corre sobre o planalto carbonático, desenvolvido sobre os metacalcários da Formação Salitre (Bonfim & Pedreira, 1990), mais suas áreas de captação, sobre rochas não carbonáticas. Em seguida digitalizamos a base de trabalho, utilizando-se o *software* Autocad, uma vez que parte da área já estava digitalizada.

A partir da base 1:100.000 digitalizada em Autocad, foi gerado um arquivo DXF, exportado para o *software* Surfer, onde foram obtidos valores da declividade, gerados blocos diagramas da superfície e realizados os cálculos de área em planta e área real da superfície carbonática, permitindo o cálculo do índice de rugosidade (Karmann *et alli* 1996). A densidade das depressões cársticas e a densidade dos pontos de absorção e sumidouros, foram obtidas a partir da carta de fenômenos cársticos digitalizada em *Autocad* e exportada para o *software* Surfer, no primeiro caso, e exportada para o Idrisi, na obtenção do segundo parâmetro. Nas seções de apresentação destes dados, são apresentados mais detalhes e/ou comentários sobre estas técnicas.

2- Confeccção dos mapas de cavernas e da superfície cárstica

Estes mapas foram elaborados a partir de dados de campo, resultantes de caminhamentos com bússola, clinômetro e trena, seguindo a metodologia tradicional de mapeamento de cavernas (Batistucci, 1988). Estes dados foram posteriormente digitalizados na forma de planilhas e exportadas para o software Surver, onde foram obtidas as linhas de trena que permitiram a confeccção manual dos mapas. Estes mapas

foram digitalizados, utilizando-se de *scanner* de mesa e tratados no *software Corel Draw* (versões 5 e 7), que confere um melhor acabamento às bases finais.

3- Balanço Hídrico

Os dados de pluviometria da região foram obtidos junto à CPRM. Estes dados foram digitalizados com auxílio do *software* Excel, permitindo a confecção dos gráficos de pluviometria anual. Os dados serviram ainda para a elaboração do balanço hídrico, utilizando-se do software desenvolvido pela EPAGRI (UNICAMP), que tem como base o método de Thornthwaite.

4- Fotointerpretação

Foi realizada a fotointerpretação geomorfológica e geológica, utilizando-se do conjunto de fotografias aéreas (escala 1:60.000) adquiridas e estereoscópios de bolso e de espelho, buscando-se identificar e delimitar as principais feições de relevo como drenagens ativas, vales secos, pontos de absorção do escoamento superficial e afundamentos do terreno. A interpretação geológica visou traçar alinhamentos estruturais e contatos geológicos.

5- Testes de dissolução do calcário e difração de raios-X

O relevo da região apresenta uma cobertura que recobre quase completamente a rocha carbonática. O estudo deste material de recobrimento, teve como objetivo caracterizar a composição, espessura e estrutura da cobertura, permitindo uma avaliação da sua origem. Com este objetivo em mente, foi desenvolvida uma metodologia de trabalho em campo para coleta das amostras e uma metodologia de trabalho em laboratório. O **Fluxograma-1** ilustra a sequência de procedimentos adotados em laboratório.

As amostras foram coletadas em um perfil de solo *in situ* próximo ao topo da escarpa da serra, da margem direita do rio Una. Foram amostrados torrões a cada 20 cm na vertical do perfil e amostras da rocha mãe situadas na base. Esta amostragem seguiu as recomendações do Pesquisador visitante do Departamento de Geologia Geral da USP, Dr. Rene Boulet.

Em laboratório calculou-se a densidade da rocha mãe, posteriormente submetida à dissolução em HCl (1:1). Calculou-se ainda a densidade dos resíduos insolúveis resultantes da dissolução da rocha carbonática. Foram realizadas três repetições simultâneas para o teste, utilizando-se de uma mesma amostra (BCO). De posse da densidade da rocha mãe e

dos resíduos da dissolução, junto com suas respectivas massas, pudemos estimar o volume de rocha necessário para produzir determinado volume de resíduo insolúvel, utilizando-se da fórmula $D = \text{massa} / \text{Volume}$.

Para o cálculo de densidade, as amostras de rocha foram pesadas à seco e imersas em água utilizando-se de balança digital normal. Os valores obtidos foram aplicados na fórmula: $D = \text{Peso seco} / (\text{Peso seco} - \text{Peso úmido})$ e multiplicados pelo fator de correção que varia de acordo com a temperatura da água no momento do teste. Para o cálculo de densidade dos resíduos da dissolução, foram utilizados picnômetros, onde o material foi pesado à seco e via úmida, no laboratório de análises químicas do Instituto de Geociências da USP.

Ao final foram separadas uma amostra da rocha mãe, uma amostra do resíduo da dissolução e duas amostras do solo. O conjunto foi submetido à difração de Raios -X, para se determinar e comparar a composição mineralógica de cada fase, permitindo assim estabelecer a relação entre rocha mãe e a origem do material da cobertura.

Fluxograma-1

Metodologia para determinação da densidade e composição das amostras do perfil de alteração.

6- Análises Químicas

Foram realizadas análises químicas de amostras de rochas e solos através do método de espectroscopia de emissão atômica com plasma induzido, no Laboratório de Química e Plasma ICP-AES, do DMP/IG-USP. Os procedimentos envolvidos neste método são descritos por Janasi (1996). Estas análises visam uma caracterização química da rocha,

permitindo a classificação química das rochas carbonáticas, além de servir no estudo da origem e evolução do material da cobertura do relevo. As amostras de rocha selecionadas foram as mesmas utilizadas para a confecção das seções delgadas, enquanto que as amostras de solo foram as mesmas selecionadas para a difração dos Raios-X.

7- Confecção da carta de fenômenos cársticos

A confecção deste mapa partiu da identificação das feições cársticas em fotografias aéreas, escala 1:60.000, integrada com dados obtidos em campo. Assim sendo, o mapa foi confeccionado utilizando-se do método clássico de fotointerpretação, com estereoscópio de bolso e de espelho e plotagem de feições detectadas em campo, cujo posicionamento correto foi obtido com auxílio de GPS. A base obtida foi digitalizada, utilizando-se do *software* Autocad, permitindo o tratamento posterior das feições digitalizadas, com o objetivo de obter índices morfométricos (densidade de depressões cársticas e pontos de absorção). Posteriormente o arquivo original em *Autocad* foi exportado para o *Corel Draw* onde foi feito um novo tratamento visual deste produto.

Capítulo II

2- Geologia e Fisiografia da Área

2.1- Geologia, fisiografia e economia da região

A área estudada situa-se na transição entre os domínios de caatinga da depressão sertaneja, e os campos rupestres das serras da Chapada Diamantina. Em meio à estes dois domínios paisagísticos, ocorre um planalto sustentado por rochas carbonáticas, do Grupo Una (Inda & Barbosa 1978), sobre as quais desenvolveu-se uma paisagem cárstica, em grande parte encoberta, por um manto intempérico superficial, de espessura e natureza bastante variáveis. Este planalto é caracterizado por um relevo suavemente ondulado, cujas altitudes mais baixas (por volta dos 350m), são registradas ao longo do vale do Rio Una.

A borda Oeste deste planalto carbonático é marcada pelo contraste de relevo com as serras de metarenitos, sustentadas pelas rochas do Grupo Chapada Diamantina (Inda & Barbosa, 1978), cujos topos variam entre 900 e 1200m. Sua borda leste é delineada por uma face escarpada, onde as altitudes decrescem abruptamente dos 700m até os 320m registrados ao longo do vale do Rio Paraguaçu, em meio à depressão sertaneja. Este segundo contraste de relevo entre o planalto e o vale do Rio Paraguaçu, acaba por definir uma serra de perfil escarpados, cujas maiores altitudes atingem a casa dos 730 m. (**Figura-2.1 e perfil geológico no Mapa de Fenômenos Cársticos/anexo-1**).

Estas variações altimétricas da paisagem são também acompanhadas por uma variação da vegetação, que transiciona entre campos rupestres e feições de cerrado, associados às serras quartzíticas, e a caatinga no Vale do Rio Paraguaçu, passando por uma mata seca de planalto, que cobria praticamente todo o planalto cárstico.

A Chapada Diamantina refere-se ao conjunto de serras e planaltos da porção central do estado da Bahia, com altitudes de até 1700m, que marcam um importante divisor de águas, que correm a leste para o Oceano Atlântico e a Oeste para a Bacia do Rio São Francisco. Este conjunto de relevos ocupa cerca de 1/3 do estado da Bahia. De acordo com Inda & Barbosa (1978), a região constitui o prolongamento, no estado da Bahia, do sistema orográfico do Espinhaço que se estende desde a região central de Minas Gerais, ambos representando um conjunto de relevos serranos, sustentados por pacotes de rochas metassedimentares, depositadas durante o período Proterozóico Médio, localmente com

Coordenadas UTM

Figura-2.1: Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Una, ilustrando os contrastes de relevo da região estudada

intercalações vulcânicas restritas aos grupos inferiores. Na Chapada Diamantina, o pacote rochoso exibe dobramentos suaves, com eixos grosseiramente orientados na posição Norte-Sul.

A região geográfica da Chapada Diamantina não se restringe apenas às áreas de ocorrência das rochas metassedimentares do Grupo homônimo, engloba ainda planaltos cársticos desenvolvidos sobre calcários do Grupo Una (Supergrupo São Francisco), do Proterozóico Superior, além de áreas de ocorrência de rochas do Supergrupo Espinhaço (Grupo Chapa Diamantina, Grupo Paraguaçu, Grupo Rio dos Remédios), do Proterozóico Médio e do Grupo Jacobina, do Proterozóico Inferior.

Segundo Dominguez (1993), a bacia sedimentar onde se acumularam os sedimentos dos Supergrupos Espinhaço e São Francisco, teve sua origem por volta de 1,7 G.a., como um *rift* abortado. Neste *rift* se acumularam três sequências deposicionais principais, são elas: 1-sequência Paraguaçu - Rio dos Remédios; 2- Tombador -Caboclo e 3- Morro do Chapéu. As rochas carbonáticas do supergrupo São Francisco foram depositadas posteriormente no Proterozóico Superior.

A Bacia do Rio Una está situada na borda leste/sudeste da região geográfica da Chapada Diamantina, constituindo-se como um importante afluente da margem direita do Rio Paraguaçu. O Rio Una nasce sobre os metarenitos que sustentam a Chapada Diamantina e seu curso principal meandra sobre um extenso planalto carbonático, drenando parte dos municípios de Itaetê, Mucugê e Nova Redenção. Apresenta águas de cores escuras, características de rios que correm sobre rochas quartzíticas. Vale ressaltar que mesmo sobre o planalto cárstico, desenvolvido sobre as rochas carbonáticas da Formação Salitre (Bonfim & Pedreira 1990), o Rio Una mantém esta característica em suas águas, apesar da recarga que recebe do aquífero cárstico. Os afluentes da margem esquerda constituem a recarga alogênica proveniente das serras de metarenito (**Foto-2.1**), enquanto os afluentes intermitentes da margem direita constituem a recarga autogênica. Na região ocorrem enchentes catastróficas. Nestes eventos o Rio Una chega a subir mais de 8m do seu curso normal, cobrindo a ponte próxima a entrada da caverna da Lapa do Bode (**Foto-2.2**).

No passado, uma vegetação de mata cobria toda a região. O processo de ocupação, iniciado com a extração de madeiras de lei, seguida pela exploração de carvão e implantação de roças e pastos, culminou com o extermínio quase completo da mata,

Foto-2.1: Drenagem alogênica. Afluentes da margem esquerda do Rio Una, oriundos das serras de metarenitos da Chapada Diamantina.

Foto-2.2: Ponte sobre o Rio Una. A tonalidade escura das águas dos rios oriundos das serras de metarenito da Chapada Diamantina, persistem por todo o planalto carbonático.

conhecida localmente como “mata de cipó”. Restam ainda alguns testemunhos esparsos desta vegetação (**Foto-2.3**). O projeto **Radambrasil** classifica esta vegetação como uma floresta estacional semidecidual submontana.

Várias cavernas são conhecidas na região em estudo, o que vem despertando um interesse crescente pela exploração do turismo na área. A Gruta do Poço Encantado, um grande salão de abatimento subterrâneo, que dá acesso ao lençol freático, na forma de um grande lago de águas azuladas, constitui um dos pontos de maior visitação turística da Chapada Diamantina (**Foto-2.4**). Outra caverna que merece destaque na região é a Lapa do Bode, uma caverna labiríntica, às margens do Rio Una, que vem sendo alvo de uma visitação turística incipiente. No decorrer dos trabalhos de campo foram notificados uma série de painéis de pinturas rupestres (**Painel de fotografias-2.5**). Estas pinturas, até o momento, não foram analisadas por especialistas, sendo conhecidas apenas por moradores nativos da região.

2.2- Geologia Local

2.2.1- Situação estratigráfica

A paisagem alvo deste estudo desenvolveu-se sobre as rochas carbonáticas do Grupo Una. Este Grupo, definido inicialmente por Derby em 1905, é constituído pelas Formações Salitre (superior) e Bebedouro (basal) (Inda & Barbosa, 1978). A Formação Salitre seria definida mais tarde por Branner (1911) (*apud* Inda & Barbosa, 1978), referindo-se aos calcários escuros existentes no vale do Rio Salitre. Conforme o Mapa Geológico do Estado da Bahia, a Formação Salitre constitui-se de um conjunto carbonático com pelitos subordinados, depositados em um mar epicontinental raso e muito estável. Misi (1979), baseando-se em variações litológicas, subdivide esta formação em 4 unidades, que para Souza *et alli* (1993) caracterizam quatro ciclos de sedimentação distintos, sendo dois regressivos, englobados por este último autor, na unidade Nova América, além de outros dois ciclos transgressivos, englobados nas unidades Jussara e Irecê. Este mesmo autor sugere ainda que o Grupo Una depositou-se em uma planície de maré, sob condições climáticas áridas, em uma rampa de declividade moderada, numa bacia restrita, intermontana, tectonicamente estável, limitada por elevações da Chapada Diamantina, que forma boa parte do seu substrato. As variações do nível do mar causadas por movimentos

A

B

Foto-2.3: Testemunhos da vegetação primária. (A) Árvores de grande porte remanescentes em meio à 'ilhas de vegetação primária' (B) poupadas dos desmatamentos para implantação de roças e pastos.

Foto-2.4: A água cristalina da Caverna Poço Encantado contrasta com as águas escuras do Rio Una e da drenagem alogênica. O 'Poço' chega a apresentar 60 metros de profundidade.

Painel de fotografias-2.5: Pinturas rupestres encontradas na área de trabalho. Os moradores locais relatam a ocorrência de uma série de painéis destas pinturas na região.

epirogenéticos e/ou mudanças climáticas, bem como a geometria do substrato, originaram ainda variações faciológicas.

De acordo com Inda & Barbosa (1978), o Grupo Una engloba sequências cronocorrelatas ao Grupo Bambui, ambas foram depositadas em um mar epicontinental durante o Proterozóico Superior. Nos dois grupos, as rochas sofreram muito pouca deformação pós deposicional e estão inseridas no Supergrupo São Francisco. Para estes autores, a separação da sedimentação epicontinental sobre a parte baiana do craton do São Francisco em dois grupos distintos (Una e Bambui), deve-se ao fato da ausência de continuidade física entre estas unidades, embora suas semelhanças sejam notáveis e sua correlação, a nível de estratos seja solidamente argumentada por Misi (1979). De acordo com Inda *et alli* (1984) o Supergrupo São Francisco engloba sequências depositadas durante o ciclo brasileiro, na região de influência do craton homônimo, em condições plataformais ou constituindo faixas dobradas em suas zonas marginais.

2.2.2- Caracterização das rochas carbonáticas

Com base nas investigações geológicas de campo efetuadas no decorrer da pesquisa, constatou-se que as rochas carbonáticas presentes na região da Bacia do Rio Una apresentam-se, em campo, de maneira bastante heterogênea, justificando a subdivisão em quatro unidades, sugeridas por Misi (1979) e retomada por Souza *et alli* (1993). Observou-se que a unidade basal é constituída por calcilutitos avermelhados, finamente laminados correspondentes a unidade Nova América, descrita por Souza *et alli* (1993). Segundo estes autores esta unidade, constituída por calcissiltitos com laminação plano-paralela, está associada aos ciclos regressivos na bacia de sedimentação.

No topo do pacote carbonático, ocorrem calcarenitos cinzentos finamente laminados. Em seção delgada, os litotipos desta unidade superior, apresentam uma alternância de lâminas carbonáticas e lâminas com grande concentração de terrígenos (quartzo e feldspatos subordinados), assemelhando-se às descrições da Unidade Irecê, de Souza *et alli* (1993). Como porções intermediárias foram notificados calcarenitos cinzentos com intercalação de *cherts*, passando para uma porção superior mais maciça com estilólitos, localmente exibindo-se como uma brecha intraformacional, com intraclastos centimétricos. Verificou-se ainda, porções de calcarenitos esbranquiçados, laminados, as vezes oolíticos e localmente

com estratificações cruzadas de pequeno porte, similares às descrições de Souza *et alli* (1993), referentes à Unidade Jussara, associada a ciclos transgressivos. A **figura-2.2** ilustra a estratigrafia do pacote carbonático, observada em campo.

Figura-2.2: Perfil geológico de campo

Em seções delgadas estas rochas apresentam aspecto mais homogêneo. Tratam-se de calclutitos, anquimetamórficos (em todas elas o acamamento sedimentar é bastante nítido), localmente truncados por estilólitos ou fraturas, compostos por uma matriz de lama carbonática com grãos subangulosos de quartzo, na fração areia fina, distribuídos de maneira heterogênea, grãos subangulosos de feldspatos (subordinados), também na fração areia fina e, localmente, cimentação esparítica incipiente concentrada no interior de estruturas tipo “bird eyes”. A soma de material siliciclástico presente nas lâminas analisadas varia de 10-30%.

Foram analisadas quimicamente 5 amostras de calcário, representativos das variações faciográficas do pacote rochoso. Os resultados são apresentados na **tabela-2.1**. As amostras LP-01 e BCO, representam os calcários cinzentos, finamente laminados do topo do pacote carbonático. A amostra LR-01 representa a unidade basal, constituída por calclutitos

avermelhados, finamente laminados. As amostras FN-01 e PE-01, representam porções intermediárias, coletadas respectivamente nas cavernas Fazenda Natal e Poço Encantado. A **figura-2.3** apresenta um diagrama de classificação química dos calcários, de Martinet & Sougy (1961), onde foram plotadas, com relação aos teores de CaO MgO, as amostras analisadas quimicamente.

Tabela 2.1- Resultado das análises químicas das rochas carbonáticas da Fm. Salitre.
(Laboratório de Química ICP-AES. IG-USP)

	LP-01	BCO	LR-01	FN-01	PE-01
%SiO ₂	5.51	6.85	20.78	8.07	4.72
%Al ₂ O ₃	0.87	1.50	5.26	1.21	0.98
%Fe ₂ O ₃	0.43	0.49	2.71	0.43	0.17
%MgO	0.97	0.94	2.97	5.87	20.95
%CaO	50.29	49.24	34.53	43.53	29.18
%Na ₂ O	0.07	0.02	0.37	0.03	0.04
%K ₂ O	0.26	0.78	1.90	0.67	0.66
%P ₂ O ₅	0.01	0.04	0.04	0.04	0.04
%MnO	0.01	0.02	0.07	0.01	0.00
%TiO ₂	0.05	0.08	0.26	0.05	0.04
%P.F.	40.9	39.77	30.76	40.1	44.15
%Total	99.38	99.72	99.64	100.02	100.95
%H ₂ O	0.21	0.16	0.19	0.10	0.16
Cr (ppm)	<15	<15	17	<15	<15
Ni (ppm)	23	25	32	21	21
Zr (ppm)	<25	36	90	25	27
Sr (ppm)	1225	737	175	549	61
Ba (ppm)	282	265	451	134	70

Figura-2.3: Classificação química dos calcários da formação Salitre na área pesquisada. Diagrama de Martinet & Sougy (1961).

2.2.3-Geologia estrutural

A **figura-2.4** apresenta os mapas geológico e de fotolineamentos da área investigada. Segundo os mapas regionais disponíveis (CPRM: Mapa geológico do estado da Bahia e PLGB: Folha Lençóis; RADAMBRASIL: Folha Salvador), as rochas carbonáticas da Bacia do Rio Una estão estruturadas em ampla sinforma assimétrica, com eixo genericamente a N/S e flancos com mergulhos entre 0 e 30°. Em campo observou-se atitudes de acamamento entre 0 e 35°, sendo mais frequentes mergulhos menores que 10°, caracterizando ondulações suaves, do plano de acamamento, com amplitude métrica. Localmente notou-se mergulhos de até 35°, associados a dobras de arrasto em falhamentos. O padrão geral ondulado da estratificação, juntamente com a ampla sinforma reconhecida em mapeamentos regionais, permite sugerir uma feição geral do tipo sinclínório suave, para a unidade carbonática da Bacia do Rio Una. De maneira geral, estas rochas apresentam, em campo, um acamamento horizontal a sub-horizontal, com ondulações suaves de tamanho métrico. A **figura-2.5** apresenta um estereograma dos polos dos planos de acamamento, medidos em campo.

As medidas de acamamento e demais estruturas analisadas neste trabalho (**figuras-2.5 e 2.6**), foram obtidas principalmente, nas cavernas investigadas, visto que os afloramentos em superfície são extremamente escassos, em função da cobertura superficial espessa que

MAPA GEOLÓGICO DA BACIA DO RIO UNA ITAETE/BA.

Litologias:

- Rochas Carbonáticas da Formação Salitre (Proterozóico Superior)
- Metarenitos e Diamictitos da Formação Bebedouro (Proterozóico Superior)
- Rochas Silicelásticas do Grupo Chapada Diamantina (Proterozóico Médio)
- Complexo Metamórfico do Embasamento Arqueano

MAPA DE FOTOLINEAMENTOS DA BACIA DO RIO UNA ITAETE/BA.

Figura-2.4: Mapa Geológico e fotolineamentos da área investigada

A-Polos dos planos de acamamento dos calcários (30 medidas)

B-Estereograma da concentração dos planos de acamamento dos calcários

Figura-2.5: Representação estereográfica das medidas de planos do acamamento das rochas carbonáticas.

Diagrama em rosácea das fraturas
verticais e subverticais
(104 medidas)

Polos dos planos de fraturas
medidas em campo
(113 medidas)

Estereograma do total
de fraturas medidas em campo.
(113 medidas)

Figura-2.6: Tratamento estrutural das fraturas medidas em campo

mascara a superfície cárstica. Este fato, aliado ao caráter subhorizontalizado dos planos do acamamento, resultaram em um número relativamente reduzido de medidas de atitude das camadas, ainda insuficientes para caracterizar a estrutura em siclinório.

Como estruturas disruptivas, identificou-se fraturas e, de maneira subordinada e localizada, uma zona de cisalhamento de baixo ângulo, representada por uma brecha constituída por fragmentos angulosos de calcário. Em alguns locais esta brecha se apresenta silicificada. Na Caverna da Lagoa Preta ocorrem as melhores exposições desta zona de cisalhamento. Na Fazenda Rio Alegre (antiga Fazenda Natal), estas zonas de cisalhamento de baixo ângulo, ocorrem como estruturas centimétricas a métricas e direções próximas de Leste/Oeste, truncando o acamamento sub-horizontal.

A **figura-2.6** apresenta um tratamento estrutural das fraturas medidas em campo, ilustrando a geometria dos principais conjuntos de fraturas. Pelo que se pode observar, a maior densidade de fraturas se concentra entre N10-20E, N40-50E, N80-90W e N50-60W. De maneira geral estas fraturas apresentam espaçamento variando de decimétrico a métrico, sendo muito escassa a ocorrência de fraturas com preeenchimento de qualquer natureza. Do conjunto de medidas, elaborou-se ainda um diagrama em rosácea das fraturas verticais e subverticais, uma vez que estas estruturas têm grande influência no fluxo da água subterrânea, sobretudo no condicionamento da instalação e desenvolvimento do aquífero cárstico, uma vez que atuam como descontinuidades favoráveis à infiltração e circulação da água subterrânea.

2.3- Considerações sobre o clima e o uso da terra.

O município de Itaetê se enquadra dentro do contexto do polígono das secas. O fenômeno da seca não significa necessariamente, a ausência de chuvas, mas sim uma distribuição irregular da pluviometria, como se pode constatar nos gráficos de pluviometria anual (**figura-2.7**). Este quadro gera uma série de problemas sócio econômicos na região, dentre eles o êxodo rural, onde a população local, que na sua maioria vive da exploração de roças, principalmente milho e feijão, é levada a migrar para outras regiões em busca de empregos, devido às sucessivas perdas na lavoura. O hábito do cultivo de milho e feijão, muito difundido no sertão semi-árido, foi introduzido pelos primeiros povoadores da região.

Estas plantas são originárias de regiões tropicais úmidas, com regime regular de chuvas, sendo desta forma culturas inadequadas para as regiões semi-áridas.

Apesar do regime irregular das chuvas, os valores máximos da pluviometria anual, não são baixos. Além disto, a região é cortada por rios perenes e apresenta um aquífero potencialmente explorável. Algumas fazendas vêm implantando sistemas de irrigação através de pivô central, abastecidos por captação de água do Rio Una. A utilização de culturas agrícolas mais adaptadas ao clima da região, também poderia ser uma alternativa viável. Aparentemente o problema das secas se acentuou com o desmatamento instalado na região, sendo que as questões climáticas envolvem uma série de variáveis complexas de caráter global, além de exigir um tempo maior de registros. Analisando os gráficos, percebe-se que a partir do ano de 1982, houve uma diminuição dos valores anuais da pluviometria, mesmo nos anos de pico destes valores.

O projeto **Radambrasil** calculou o balanço hídrico da região, com um período de observação de 60 anos (1915-1975), para a estação Itaetê, situada na cidade de Itaetê, à margem do rio Paraguaçu, obtendo os seguintes resultados:

Clima	Subúmido a semi-árido
Precipitação média	640mm/ano
Ano mais chuvoso	1935 com 1089mm
Ano mais seco	1924 com 316mm
Período mais chuvoso	Nov. - Dez.
Período mais seco	Mai. - Out.

Tabela-2.2: Balanço hídrico. Estação Itaetê (BA)

(extraído do Projeto Radambrasil, 1981)

Com base nestes dados os autores concluíram que a região apresenta uma distribuição muito irregular das chuvas, com temperaturas elevadas e uma deficiência hídrica durante 9 meses, sem qualquer excedente, sendo Novembro e Dezembro os meses de reposição.

No intuito de se obter o balanço hídrico da bacia em estudo (Rio Una), utilizamos os dados da estação Faz. Iguaçu, situada às margens do Rio Una, para um período de observação de 26 anos (1969-1995), obtendo-se os seguintes resultados:

Clima	Semi-árido
Precipitação média	716 mm/ano
Ano mais chuvoso	1978 com 1270mm
Ano mais seco	1993 com 183mm
Período mais chuvoso	Nov. - Mar.
Período mais seco	Mai. - Out.

Tabela-2.3 Balanço hídrico. Estação Faz. Iguaçu (BA).

Com base na análise do gráfico de balanço hídrico (**figura-2.8**), constata-se que a região apresenta uma deficiência hídrica de 24,5 mm no período analisado, sendo Dezembro o mês de reposição de água no solo. Com base no gráfico de pluviometria anual (**figura-2.7**) constata-se que a região apresenta anualmente uma distribuição irregular de chuvas. De acordo com o que foi observado, ocorrem eventos de chuvas catastróficas e períodos secos de duração irregular. Vale salientar, que apesar de apresentar uma distribuição irregular das chuvas, os valores máximos da pluviometria anual, não são baixos.

A partir da análise destes gráficos, percebe-se que a área de estudo apresentava desde o início uma pré-disposição natural para problemas relacionados a distribuição das chuvas, mas a má utilização da terra na região, através de desmatamentos seguidos de queimadas, pode ter agravado estes problemas. A região apresentava uma mata exuberante (Floresta estacional semidecidual submontana, Radambrasil 1981) que foi praticamente exterminada num período de 20 anos, restando apenas alguns pequenos testemunhos isolados. Neste processo de desmatamento não foram poupadas nem as margens dos rios, resultando num assoreamento progressivo dos rios Una e Paraguaçu, associado a uma alta incidência de ravinamentos nas encostas dos vales destes rios. O próprio Rio Una que sempre se apresentou como um rio perene, teve seu curso interrompido na seca do ano de 1993, fato este inédito, até então. Analisando-se o gráfico de pluviometria anual (**figura-2.7**), percebe-se que os valores anuais da pluviometria apresentam-se progressivamente mais baixos, nos últimos 20 anos, mesmo nos anos de picos destes valores. Desta forma sugere-se que o desmatamento vem interferindo nos regimes de chuva da região, uma vez dentro deste mesmo período a vegetação local foi praticamente dizimada.

Figura-2.7: Pluviometria anual da bacia do rio Una. Itaetê-BA. Estação Faz. Iguaçu.

Figura-2.8: Balanço Hídrico da bacia do rio Una. Itaetê-BA (1969-1995).
Estação Faz. Iguaçu.

Capítulo III

3-O sistema Cárstico da Bacia do Rio Una

3.1- A superfície cárstica e suas formas de relevo

O Rio Una apresenta um vale assimétrico, constituído por uma serra fortemente escarpada na margem esquerda e uma rampa suavemente inclinada e ondulada na margem direita (**figura-3.1**). As serras escarpadas da margem esquerda são sustentadas pelos metarenitos do Grupo Chapada Diamantina (Bonfim & Pedreira, 1990) atingindo altitudes entre 900 até 1200m. Os terrenos da margem direita se apresentam como uma rampa suavemente inclinada, com declividade média em torno de 2°, subindo até uma crista com altitude máxima de 730m. Esta crista delimita uma segunda serra sustentada por rochas carbonáticas da Formação Salitre (Bonfim & Pedreira, 1990), exibindo uma face escarpada na sua porção Oriental, que decresce abruptamente para altitudes em torno de 320m na extensa planície do Rio Paraguaçu, desenvolvida sobre rochas do embasamento de idade Arqueana e localmente sobre rochas da Formação Bebedouro (Bonfim & Pedreira, 1990).

Analisando-se o relevo a partir de cartas topográficas, em escala 1:100.000, as feições cársticas se apresentam de maneira incipiente, restritas à esparsos alinhamentos de dolinas com orientação aproximadamente NW/SE. A observação do relevo a partir de bases em escalas mais detalhadas permite a identificação de um número maior de feições cársticas.

Com base nas observações de campo e na análise das fotografias aéreas (escala 1:60.000), constatarem-se vestígios de uma paleodrenagem de superfície, representados por vales fluviais encaixados, mas com perfil suave, com direção, ora Leste/Oeste e ora tendendo a Norte/Sul. Na maioria das vezes, estes vales não apresentam cursos d'água e não se comunicam com as drenagens fluviais atuais, caracterizando-se como vales cegos. Ocasionalmente, em períodos de chuva, registra-se algum fluxo de água nestes vales. Provavelmente os mesmos foram entalhados por antigas drenagens fluviais, sendo mais tarde capturados por um sistema de drenagem através de condutos subterrâneos, formados pela carstificação em subsuperfície.

Observando o Mapa de Fenômenos Cársticos (**anexo-1**), verifica-se que os terrenos da margem esquerda do Rio Una, apresentam recarga de natureza mista (recarga alogênica oriunda dos metarenitos da Chapada Diamantina e rochas da Formação Bebedouro, além de

Figura-3.1: Aspecto geral da superfície cárstica.

recarga autogênica oriunda dos calcários da Formação Salitre). Na margem direita por sua vez, ocorre uma recarga de natureza somente autogênica. Certos trechos da porção sul do Rio Una, acompanham o contato geológico entre as unidades do Grupo Chapada Diamantina e o Grupo Una.

A partir das fotografias aéreas (escala 1:60.000) foram traçados os fotolineamentos da superfície cárstica. A partir deste mapa de folineamentos foi obtido um diagrama em rosácea, ilustrando as direções preferenciais destas feições superficiais do relevo. Comparando-se este diagrama com o diagrama em rosácea das fraturas medidas em campo, percebe-se que os fotolineamentos apresentam uma orientação preferencial diferente das direções dos principais conjuntos de fraturas medidas em campo (**figura3.2**).

A fotointerpretação (1:60.000) e o mapeamento de campo, sintetizados na Carta de Fenômenos Cársticos (**anexo-1**), permitiram a identificação de uma série de feições cársticas, caracterizadas abaixo e indicadas na respectiva carta:

1-Escarpamentos

Foram detectados uma série de quebras de relevo com desnível abrupto, resultando em paredões escarpados que produzem feições lineares, facilmente detectáveis em fotografias aéreas. Estas escarpas, ocorrem as vezes associadas às depressões cársticas, ou como vertentes abruptas beirando vales secos ou drenagens perenes, podendo ocorrer ainda de maneira isolada. Estas feições auxiliam na identificação e traçado de antigas linhas de drenagem superficial sobre os carbonatos, indicando a paleodrenagem fluvial.

Em campo detectou-se um conjunto de paredões escarpados exibindo espeleotemas, situados entre a Lapa do Bode e a foz do Rio Una (**figura-3.3**), avançando para jusante no Rio Paraguaçu. Nesta situação particular os vales desenvolveram-se em regime fluvio-cárstico. Nestes paredões rochosos detectou-se ainda a ocorrência de pinturas rupestres. Alguns destes painéis estão situados há mais de 2,5m de altura da base da parede, hoje em dia dificilmente acessíveis ao homem. Ocorrem também painéis situados entre 1,5-2m. Em ambos os casos, estas pinturas apresentam, localmente, sinais de desgaste por enchentes do rio.

2-Rede de drenagem superficial

A superfície carbonática apresenta dois dominios principais, quanto à drenagem superficial: um domínio com vales fluviais ativos, e outro com vales intermitentes. Estes dois padrões foram verificados em campo e demarcados em fotografia aérea.

Diagrama em rosácea dos
Fotolineamentos de superfície
extraídos das fotografias aéreas
(escala 1:60.000)

Diagrama em rosácea das
fraturas verticais e subverticais
medidas em campo
(113 medidas)

Figura-3.2: Comparação entre os fotolineamentos e as fraturas medidas em campo

A

B

C

Figura-3.3: Aspecto dos paredões escarpados que ocorrem em trechos flúvio-cársticos dos rios Una e Paraguaçu.

2.1-Vales fluviais- representam os rios perenes, com canais de escoamento superficial ativos e integrados na rede de drenagem principal (rios Una e Paraguaçu). Neste domínio predominam processos fluviais, com desenvolvimento de vales fluviais e planícies de inundação, com terraços fluviais. Juntamente com a paisagem fluvial, ocorrem feições cársticas como ressurgências e escarpamentos, às vezes com cavernas situadas nas vertentes verticalizadas. Esta associação indica um domínio de paisagem fluvial, localmente com feições cársticas associadas.

2.2-Vales intermitentes-correspondem aos vales sem cursos d'água ativos atualmente ou restrito aos períodos de chuvas. Algumas vezes são interrompidos por depressões cársticas. Em alguns trechos ainda conservam características de vales fluviais, onde o escoamento superficial ficou restrito aos episódios de chuvas. Ocorrem trechos deste tipo de drenagem de maneira isolada, que não se conectam com nenhum outro sistema de drenagem superficial ou terminam em pontos de absorção do escoamento superficial. Estes ramos isolados, parcialmente segmentados por depressões são interpretados como vestígios de antigos canais fluviais, cujo fluxo d'água foi capturado por um sistema de drenagens cársticas subterrâneas. Este desmembramento de uma antiga rede de drenagem fluvial, através da instalação de pontos de absorção do escoamento superficial e drenagem centrípeta, indica uma fase incipiente do início de desenvolvimento de um carste poligonal, onde predomina um reticulado de bacias poligonais fechadas com drenagem centrípeta.

3-Depressões cársticas

Uma das feições mais características da superfície cárstica na região, são depressões fechadas, com formas e dimensões variadas. Seguindo a classificação de Jennings (1985), pode-se identificar desde dolinas até uvalas. As dolinas representam as depressões menores, de forma cônica ou irregular, com eixo maior de até 100m, geralmente associada a um ponto de absorção. As depressões maiores (>100m) com perímetro irregular, frequentemente englobando depressões menores correspondem às uvalas. As uvalas representam formas compostas, formadas pela coalescência de várias dolinas, e estão frequentemente associadas a vários pontos de absorção da drenagem superficial. O traço que delimita o perímetro destas depressões em mapa, representa a linha que une os pontos de inflexão da superfície do relevo.

As depressões menores com diâmetros que variam desde 1,5m até dezenas de metros (<100m), apresentam formas circulares a subcirculares e profundidades variando de 0,5m até

cerca de 20m. As depressões maiores (com diâmetros ou eixo maior, superiores a 100m), não são detectadas em escala de campo, são demarcadas somente através de fotografias aéreas. Exibem formas irregulares, com eixos maiores de até 3 quilômetros, apresentam profundidades variando na ordem de dezenas de metros. Com relação à morfologia em perfil, ambas variam de perfis suaves, abruptos (escarpados), ou depressões de perfil misto de abrupto e suave (figura-3.4).

As dolinas e as uvalas podem representar os centros de bacias poligonais, onde a drenagem converge para um, ou vários, pontos de absorção no interior da depressão. Estas bacias de drenagem centrípeta correspondem às depressões poligonais, ou bacias poligonais fechadas de drenagem centrípeta. Nos setores onde predominam drenagens intermitentes, identificou-se a ocorrência de vários tipos de depressões, com formas e dimensões variadas.

A identificação das dolinas e das bacias poligonais de drenagem centrípeta nas fotografias aéreas foi prejudicada em função da escala (1:60.000), uma vez que o desnível associado a estas feições é de alguns metros, tornando-se imperceptível nesta escala. Por outro lado, ocorrem nítidos alinhamentos de dolinas com direção N0-10W, ou E/W. As uvalas, por sua vez, apresentam eixos maiores com esta mesma orientação.

4-Sumidouros autogênicos

Estes pontos representam os locais de injeção da água superficial no aquífero cárstico. A maior parte destes pontos foram fotointerpretados como os pontos topograficamente mais baixos, no interior das depressões cársticas, tendo em vista que a escala de trabalho (1:60.000) dificulta a visualização de feições menores que 60m (1mm na foto aérea). Parte destes pontos foram detectados em campo e plotados no mapa. O alinhamento deles pode ser interpretado como indicação de uma rota de fluxo da água subterrânea através de condutos.

Não foram localizados sumidouros de escoamento alogênico. Os rios oriundos das áreas de rochas siliciclásticas, invadem a superfície carbonática sem formar pontos de absorção destes fluxos.

5-Cristas- na fotointerpretação notificamos cristas com distribuição esparsa, alinhadas preferencialmente no sentido N/S.

6-Surgências cársticas

Nos trabalhos de campo detectou-se apenas uma surgência cárstica, situada à margem direita do Rio Una. Esta surgência situa-se na extremidade norte de um alinhamento

Figura-3.4: *Croquis* ilustrando o aspecto em perfil dos diferentes tipos de depressões cársticas encontradas na área de estudo.

significativo de feições mistas de paisagem fluvial e feições cársticas. Suas águas claras e cristalinas apresentam natureza diferente das águas escuras do Rio Una. De acordo com depoimentos dos moradores da região, trata-se de uma nascente perene.

O alinhamento de feições mistas de paisagem fluvial e cárstica, associado à esta nascente, trata-se de um paleovale fluvial, atualmente seco. O conjunto situa-se na porção central do Mapa de Fenômenos Cársticos, a leste do povoado da Colônia, na margem direita do Rio Una e exibe direção N-NW/S-SE. Este paleovale apresenta o leito segmentado por depressões cársticas e termina no alto de uma encosta à margem direita do Rio Una, próximo à sede da Faz. Rio Negro. Na base desta encosta encontrou-se, durante os trabalhos de campo, a sugência cárstica perene, com águas cristalinas, que corre para o Rio Una, constituído por águas com cor escura. O alinhamento de depressões cársticas e os afundamentos recentes do terreno, aliada à ocorrência de uma nascente perene no final deste alinhamento, sugerem a presença de rotas de fluxo subterrâneas, concentradas em condutos. As feições cársticas superpostas ao paleovale fluvial, indicam que o mesmo se desenvolveu inicialmente em regime fluvial, a partir de uma drenagem de natureza autogênica. Posteriormente, com o desenvolvimento de condutos subterrâneos, este curso d'água foi capturado para o interior de um sistema de drenagens subterrâneas. Em função do tamanho deste vale em superfície, e do volume de água que sai da nascente, suspeita-se que este curso d'água constitui atualmente um importante afluente subterrâneo do Rio Una.

3.2-Material de cobertura da superfície cárstica e sua origem

A superfície carbonática da região estudada apresenta um relevo cárstico encoberto por uma camada de material residual supérgeno, com espessura e natureza bastante variável. Aubert & Pochon (1977), salientam a importância do papel desempenhado pelo material clástico insolúvel presente nas rochas carbonáticas. Depois de desgastados e depositados nos vales, o material protege a rocha solúvel, favorecendo a erosão lateral das vertentes.

Segundo o projeto **Radambrasil** o material de cobertura da superfície cárstica da Bacia do rio Una é, em parte, proveniente da erosão das serras da Chapada Diamantina. Os moradores da região relatam uma série de colapsos deste material, associados a períodos de chuva. A espessura desta camada superficial varia desde métrica até decamétrica, sendo muito escassa a exposição de afloramentos do calcário. Com relação à composição desta cobertura,

observou-se que apresenta características distintas. Ocorre sempre como um manto com cor avermelhada, com aspecto de latossolo, onde a granulometria das partículas constituintes varia desde argila até areia fina, algumas vezes apresentando concentrações de elastos centimétricos a decimétricos, sub-angulosos de calcário silicificado, próximas ao topo do perfil. Outras vezes apresenta concentrações semelhantes, constituídas por fragmentos de calcário, desde grânulos até seixos, silicificados ou não, próximas da base do perfil. Em ambos os casos a espessura é variável. Ocorrem ainda porções constituídas apenas pelo manto argiloso a arenoso, com cor avermelhada. Foram analisadas quimicamente duas amostras desta cobertura. As amostras analisadas foram coletadas em um perfil considerado como perfil modelo da cobertura autóctone com aspecto de latossolo, está situado na margem direita do rio Una, próximo à escarpa da borda oriental do planalto cárstico. Os resultados são apresentados na **tabela-3.1A**. A amostra A1 foi coletada na base do perfil. A amostra A2 foi coletada 40 cm acima de A1, sobre uma cascalheira numa porção mais intermediária do perfil.

	A1	A3
%SiO ₂	66.11	69.13
%Al ₂ O ₃	17.86	16.05
%Fe ₂ O ₃	6.28	5.97
%MgO	0.08	0.08
%CaO	0.05	0.05
%Na ₂ O	0.02	0.02
%K ₂ O	0.22	0.21
%P ₂ O ₅	0.01	0.00
%MnO	0.33	0.29
%TiO ₂	0.82	0.83
%P.F.	7.77	7.15
%Total	99.55	99.78
%H ₂ O	1.14	1.01
Cr (ppm)	84	70
Ni (ppm)	33	28
Zr (ppm)	540	550
Sr (ppm)	12	13
Ba (ppm)	102	83

Tabela-3.1A: Resultados das análises químicas das amostras da cobertura

Em função das observações de campo e das análises de laboratório realizadas (difração de raios-X e análises químicas da rocha carbonática e do material de cobertura), concluiu-se que todo o material da cobertura, na margem direita do Rio Una, é residual, proveniente do intemperismo dos calcários, exceto nas várzeas, onde ocorrem aluviões. Por outro lado, na margem esquerda, a cobertura é em parte proveniente da erosão das serras siliciclásticas da Chapada Diamantina, e parte proveniente da alteração dos calcários e das rochas da formação Bebedouro. Exibindo, desta maneira uma maior variação de constituição.

No decorrer da pesquisa foram realizados testes de dissolução de uma amostra de calcário, buscando-se avaliar o teor de material insolúvel contido nesta rocha e a sua relação com o material de cobertura da superfície cárstica. Avaliamos a hipótese da cobertura superficial do relevo ser um possível resíduo de dissolução da rocha carbonática. Os resultados obtidos estão de acordo com as análises das seções delgadas das rochas carbonáticas, através da microscopia óptica, onde constatou-se que o teor de material siliciclástico (quartzo e feldspato) presente, varia de 10 a 30%. Com base nos testes de dissolução, o volume de resíduos insolúveis correspondem à, aproximadamente, 10% do volume da amostra submetida à dissolução, conforme ilustrado na **tabela-3.1B**.

Amostra de calcário	Massa de rocha dissolvida (g)	Densidade da rocha (g/cm^3)	Volume de rocha dissolvida (cm^3)	Massa de resíduo da dissolução (g)	Dens. do Resíduo da dissolução (g/cm^3)	Vol. do Resíduo da dissolução (cm^3)	Porcentagem de resíduo insolúvel
BCO-1	30,1492	2,6969	11,1792	2,7166	2,2800	1,1915	10,6581
BCO-2	34,2356	2,6976	12,6911	3,5335	2,2959	1,5390	12,1266
BCO-3	25,0621	2,6980	9,2891	2,1127	2,2389	0,9436	10,1581

Tabela-3.1B: Resultados dos testes de dissolução da rocha carbonática

Através de difração de raios-X, constatou-se que este resíduo era constituído por quartzo, feldspato e mica branca (muscovita). Realizaram-se ainda testes de difração de raios - X das amostras do material superficial, que recobre a superfície carbonática, buscando-se avaliar sua provável filiação a partir da alteração da rocha calcárea. Os resultados obtidos revelaram a presença de quartzo, hidróxidos de Fe (goethita) e argilo-minerais do grupo da caolinita. Estes resultados sugerem uma forte associação entre o material da cobertura e a

rocha carbonática, onde o feldspato, presente nos calcários, transformar-se-ia em caolinita. De acordo com os resultados obtidos nas análises químicas, as rochas carbonáticas em questão, apresentam um teor elevado de Fe. Comparando-se com os parâmetros utilizados (amostras de calcário padrão), as rochas analisadas chegam a apresentar 3 vezes mais Fe, do que os valores esperados para as rochas carbonáticas. Este resultado reforça a associação entre o material da cobertura superficial e as rochas calcárias do Grupo Una. Os resultados das análises químicas dos calcários são apresentados na **tabela 2.1**.

3.3- Processos de subsidência recente

De acordo com o que foi apresentado anteriormente, a paisagem estudada apresenta uma cobertura superficial, de natureza e espessura bastante variáveis. Os moradores da região relatam uma série de colapsos desta cobertura após períodos de chuvas (**painel de fotografias-3.1**). Nos trabalhos de campo, encontrou-se um abismo com 24m de profundidade (Abismo do Sr. Ireno, vide *croquis-anexo-14*), formado após um episódio uma única chuva (conforme relatos dos moradores). Além deste registro são muito comuns na região uma série de dolinas mistas de subsidência lenta e colapso, com tamanhos e profundidade bastante variáveis, formadas após eventos de chuvas. Na maioria das vezes, estes colapsos acabam formando pontos de absorção, que com a evolução do processo podem acabar formando dolinas e, mais tarde ainda, com a coalescência de várias dolinas formar uvalas. De maneira geral os colapsos e subsidências em terrenos cársticos resultam do rompimento do teto de cavernas, ou da migração de material inconsolidado da cobertura para o interior de cavidades da rocha carbonática. Segundo Parate (1984) esta migração de material se inicia na interface rocha/cobertura e cresce de baixo para cima.

De acordo com Ogden *et alli* (1989), a caracterização da morfologia, distribuição e origem das cavernas e dolinas de uma área, permite a prevenção de problemas geotécnicos inerentes de regiões cársticas. Newton & Tanner (1987) salientam que os mecanismos que desencatam processos de subsidência são: 1- rebaixamento do nível d'água e 2- construções civis. O rebaixamento do nível d'água pode provocar a perda do suporte hidrostático, aumento da velocidade da água e, conseqüentemente aumentar o poder de transporte da água, ou ainda gerar uma recarga induzida tornando suscetíveis áreas anteriormente estáveis. Flutuações do nível d'água podem também alterar as propriedades físicas do solo, em função de

**Painel de fotografias-3.1: Exemplos recentes do processo de subsidência catastrófica do terreno.
As fotografias apresentam dolinas formadas durante episódios de chuvas, nos últimos 5 anos.**

encharcamentos e ressecamentos sucessivos, desencatilhando processos de subsidência. As construções civis podem provocar um excesso de carga sobre o teto de cavidades cársticas, através de fundações mal planejadas, ou ainda uma saturação de material inconsolidado (no caso de barragens). Ainda como resultado de construções civis podem ocorrer processos de *piping* acarretando o transporte de material da cobertura para o interior de cavidades.

Cooke & Doornkamp (1990) afirmam que as flutuações do nível d'água são os maiores responsáveis por subsidência em terrenos cársticos e ressaltam que, nos E.U.A., as ocorrências resultantes da ação antrópica são geralmente as mais trágicas, uma vez que se desenvolvem mais rapidamente em regiões povoadas. Segundo Newton & Tanner (1987) os colapsos induzidos pelo homem, nos E.U.A., superam as ocorrências naturais.

Beggs & Ruth (1984) realizaram um estudo na Flórida (E.U.A.), investigando os parâmetros envolvidos na formação e colapso de cavidades. Os autores constataram que, na região estudada a ocorrência de colapsos não está relacionada aos picos de chuva. A incidência de colapsos aumenta exponencialmente com a diminuição de profundidade da rocha carbonática e do nível d'água.

Ogden (1984) sugere um roteiro metodológico para o estudo de processos de subsidência em áreas cársticas e ressalta que os tipos de dolinas variam em função de fatores climáticos, geológicos, hidrológicos e topográficos. Sowers (1984) sugere uma série de medidas para minimizar os riscos de colapsos, enquanto Gordon (1987) sugere uma série de medidas para minimizar os resultados de um colapso.

Com base nas observações em campo, suspeitamos que os desmatamentos em larga escala, tiveram grande contribuição no processo de desencatilhamento e formação recente das dolinas de subsidência e colapso registrados na área. Tendo em vista que em função da retirada da vegetação, aumenta-se a quantidade de água que infiltra no material superficial inconsolidado, resultando no carreamento deste, para o interior das cavidades subterrâneas. Ressaltamos ainda que a região apresenta um regime de chuvas bastante irregular, com longos períodos sem nenhum registro de precipitação pluviométrica e períodos de chuvas catastróficas. Nos períodos secos, não há oportunidade para o crescimento de qualquer tipo de planta, chegando a gerar focos de desertificação. Por ocasião das chuvas, a grande quantidade de água que infiltra no solo, encontra-o desprotegido, e acaba por erodir o material da cobertura, transportando-o para o interior das cavidades subterrâneas.

Observando-se o Mapa de Fenômenos Cársticos (**anexo-1**), percebe-se que as dolinas de subsidência apresentam um forte alinhamento Norte/Sul. Provavelmente estas feições estão associadas a um sistema de condutos com mesma orientação preferencial.

3.4-Cavernas e rotas de fluxo da água subterrânea

Foram encontradas na área um total de treze cavernas (**tabela-3.2**), que formam dois grupos de características morfológicas distintas. Um primeiro conjunto engloba as cavernas com padrão planimétrico em rede (*network*, segundo a classificação sugerida por Palmer, 1991); o segundo engloba cavernas que se apresentam como grandes salões de abatimento.

De acordo com Palmer (1991), praticamente todas as feições cársticas de superfície tem sua origem em função da abertura e desenvolvimento de condutos pela drenagem subterrânea. A maioria das feições exocársticas resultam de subsidência e colapso, estes processos, por sua vez, são desencatilhados pela abertura de cavidades subterrâneas. Desta forma, o reconhecimento e caracterização dos condutos subterrâneos, é fundamental para uma melhor compreensão da evolução e funcionamento do sistema cárstico.

Cavernas de padrão em rede	Salões de abatimento
Caverna Lapa do Bode	Caverna Baixão
Caverna Lagoa Preta	Caverna Pedro Gomes
Caverna Faz. Sta. Clara I	Caverna Faz. Natal
Caverna Morro da Arara	Caverna Faz. Rio Negro I (ou Faz. Grulha)
	Caverna Poço Encantado
	Caverna Velho Mulungu
	Caverna Faz. Sta. Clara I
	Abismo do Sr. Ireno
	Abismo da Estrada

Tabela-3.2: Conjunto de cavernas encontradas na área de estudo.

As cavernas são também um testemunho acessível da geometria do aquífero cárstico, uma vez que foram abertas por antigas rotas de fluxo da água subterrânea. Em anexo são apresentados os mapas e *croquis* das cavernas encontradas na área estudada. Estas feições ilustram os principais tipos de rotas de fluxo subterrâneo na região investigada. No caso dos

salões de abatimento a paleo-geometria do aquífero foi modificada, pois o processo de incisão destrói as feições originais dos condutos. O abatimento das cavidades subterrâneas ocorre em ambiente vadoso, quando os condutos não estão mais totalmente preenchidos por água.

Das treze cavernas encontradas na área foram mapeadas 8 delas, perfazendo um total de 7.278,4 m de linhas topografadas. Das demais, foram elaborados *croquis* que ilustram seus padrões morfológicos, além de perfis que permitem uma visualização tridimensional destas cavernas. Em todas elas executou-se o levantamento lito-estrutural da rocha encaixante e confeccionaram-se seções morfológicas, com o objetivo de obter elementos para uma análise espeleogenética.

Nas descrições a seguir o desnível de cada caverna foi obtido a partir do *software* Survox, utilizado na conversão das planilhas de campo em linhas de topografia. Assim sendo os *croquis* não apresentam estes índices espeleométricos.

Cavernas de padrão em rede

Caverna Lapa do Bode

A caverna Lapa do Bode está situada à beira do Rio Una, na sua margem esquerda, próxima a foz no Rio Paraguaçu. Possui desenvolvimento de 5.337m e desnível de 54,30m, representando a maior caverna, em desenvolvimento, da área estudada. O plano de desenvolvimento principal da caverna está cerca de 5 a 10 metros acima do nível de base local, representado pelo rio Una.

O desenvolvimento desta caverna segue duas direções preferenciais: N60-70W predominante e, outra, seguindo N20-30E. O padrão planimétrico geral da caverna é do tipo rede (labiríntico), com condutos principalmente retílineos e angulosos (seguindo os padrões de Deike e White, 1969, *apud* Karmann, 1994). As dimensões das galerias variam pouco, com padrão morfológico em seção transversal predominante de *canyon* vadoso, com alturas variando entre 1 e 20 m.

A caverna Lapa do Bode caracteriza-se ainda pela reduzida ocorrência de calcita secundária, na forma de espeleotemas. Uma feição muito notável na sua porção W/NW, é a presença de cones de injeção de sedimentos superficiais da cobertura cárstica para o interior da caverna. Um destes cones chega a apresentar 3m de altura, sendo mais comum cones com 1,5m de altura.

Em vários pontos da caverna observaram-se seções transversais, onde no topo da morfologia de entalhamento vadoso é possível distinguir a seção típica de tubo freático. Na base deste tubo freático notificou-se, em alguns trechos da caverna, a ocorrência de cascalheiras constituídas por clastos de calcário, com até 20 cm de eixo maior, subangulosos, em meio a uma matriz de areia fina e argila, com cor avermelhada. Estas evidências indicam uma sequência normal singenética na evolução do conduto, ou seja, iniciação freática no topo, seguida do rebaixamento do nível de água e entalhamento vadoso em direção a base do conduto. A morfologia de conduto freático também ocorre em outros níveis da caverna, às vezes, exibindo seções elípticas com até 3m de eixo maior (**painel de fotografias-3.2**). O nível d'água foi observado somente em um ponto da caverna, no setor sudeste da mesma (vide mapa geoespeleológico, **anexo-2**).

A rocha encaixante apresenta um acamamento subhorizontal ondulado, é cortada por um sistema de fraturas subparalelo à direção de desenvolvimento dos condutos, (N40-50W/subvert. e N20-30E/subvert.).

Caverna Lagoa Preta

Esta caverna está situada no alto da escarpa da serra carbonática, a noroeste da sede do município de Itaetê. Apresenta um desenvolvimento em planta de 290,52 m e um desnível de 14,89m. Possui duas direções principais de condutos: uma direção predominante ao redor de E-W e outra secundária, seguindo N0-10E. Os condutos estão pouco alterados pela incisão, possuindo, em grande parte, seção de *canyon* vadoso, com entalhamento vertical variando de 2 a 15 metros. Salões de abatimento com dimensões reduzidas ocorrem isoladamente. O padrão geral da caverna é de condutos retilíneos e angulosos, tendendo a apresentar padrão planimétrico em rede (ver mapa geoespeleológico, **anexo-3**).

A caverna não apresenta uma grande variedade de espeleotemas, apesar de que, no passado, esta caverna foi palco de visitas e peregrinações constantes, sendo marcada por evidentes sinais de depredação. Desta forma, a pouca ocorrência de espeleotemas pode estar associada a depredação pretérita da caverna (**foto-3.3**). Notificamos a ocorrência de uma série de estalactites de médio porte (1-2m), redissolvidas por soluções agressivas oriundas do teto.

A rocha encaixante apresenta um acamamento subhorizontal ondulado com direção variando entre N10-45E, mergulhando de 5 a 10° para NW. Este acamamento é truncado por

A

B

C

D

Painel de fotografias-3.2: Caverna da Lapa do Bode. (A) Entrada principal da caverna. (B) Conduitos freáticos de seção elíptica. (C e D) Conduitos elípticos com entalhamento vadoso na base, formando seções do tipo "buraco de fechadura".

Foto-3.3: Aspecto da depredação antrópica na entrada da Caverna Lagoa Preta.

um sistema de fraturas subverticais com atitudes variando entre N10-20E/80°-90°NW e N70-80W/80°-90°SW.

Ao longo de praticamente toda a caverna verificamos uma zona de cisalhamento de baixo ângulo, com atitude EW/10-20N (**foto-3.4**), representada por uma brecha com bolsões silicificados. O processo de iniciação da caverna é, em parte, condicionado por esta zona de cisalhamento. A silicificação parece ter se formado a partir de soluções supérgenas que se infiltraram no interior da brecha.

A caverna Lagoa Preta representa um testemunho de uma antiga rota de fluxo da água subterrânea. Atualmente esta cavidade está, provavelmente, desconectada das rotas atuais de fluxo subterrâneo, mas pode fornecer indicação sobre as rotas não acessíveis, neste setor do carste autogênico.

Caverna Faz. Santa Clara I

A caverna está situada na base de um paredão escarpado, à margem direita do Rio Una, próximo da sua foz no Rio Paraguaçu. Neste mesmo paredão encontramos ainda uma outra caverna com padrão morfológico diferente (Caverna da Faz. Sta. Clara II). Apresenta um desenvolvimento de 332,22m, com um desnível 11,33m. Como se pode verificar no mapa geoespeleológico (**anexo-4**), a caverna apresenta um padrão planimétrico tendendo a um padrão em rede, sendo que no seu interior encontramos um grande salão de abatimento.

O desenvolvimento da caverna, nos trechos onde ocorre o padrão planimétrico em rede, segue duas direções preferenciais N10-20W e N80-90E, com condutos retilíneos de seções transversais preferencialmente elípticas, típicas de tubo freático. As dimensões destas galerias variam pouco.

O teto do salão de abatimento, não apresenta um perfil de abatimento, sugerindo que a gênese do salão resultou de um abatimento do piso da caverna, em função do colapso de um sistema de pequenos condutos labirínticos, instalados em um nível inferior do piso deste salão. A gênese e evolução desta caverna, está associada às enchentes do rio Una, onde a água vai entalhando a base do paredão carbonático, abrindo cavidades, cujo colapso, vai provocando a retração da vertente escarpada. Palmer (1975), faz referências à forte associação entre as cavernas de padrão planimétrico em rede e águas de enchentes de rios.

Foto-3.4: Zona de cisalhamento de baixo ângulo (alto da foto) truncando o acamamento subhorizontal e ondulado na Caverna Lagoa Preta. Esta estrutura condicionou a iniciação da caverna e favoreceu a infiltração posterior de fluidos ricos em sílica.

A rocha encaixante apresenta um acamamento subhorizontal ondulado, com fraturas verticais apresentando duas direções preferenciais: N17-30W e E/W. A interseção destas fraturas com o acamamento subhorizontal, condicionaram a iniciação e o desenvolvimento da caverna, funcionando como zonas de maior porosidade da rocha, favorecendo a infiltração da água.

Caverna Morro da Arara

Esta caverna está situada à margem direita do Rio Paraguaçu, na base de um paredão de calcário. Neste trecho do vale, o Rio Paraguaçu se apresenta com aspecto de um vale flúvio-cárstico, uma vez que o rio margeia um paredão escarpado de calcário, rico em espeleotemas carbonáticos. O local é conhecido na região como Morro da Arara.

A caverna apresenta um desenvolvimento em planta de 80,52m, com um desnível de 2,89m. O padrão planimétrico da caverna tende a um padrão em rede, com condutos retilíneos que vão se estreitando para o interior da caverna e em direção ao teto (vide mapa geoespeleológico, **anexo-5**). Estes condutos apresentam uma seção transversal tipo *Canyon* vadoso, condicionado por fraturas N30W/verticais, sugerindo que a gênese e evolução da caverna se deu pelo alargamento deste conjunto de fraturas. A rocha encaixante se apresenta como um calcáreo subhorizontal suavemente ondulado. Praticamente não ocorrem espeleotemas na caverna.

Salões de Abatimento

Caverna Baixão

Dentre as cavernas estudadas, a do Baixão é a que está localizada mais ao Sul da área da pesquisa (ver localização no Mapa de Fenômenos Cársticos). Está situada na margem direita do Rio Una, dentro do domínio do carste autogênico, no fundo de uma depressão cárstica. Seu acesso se dá através de um conduto vertical de 12m de altura (**foto-3.5**). Apresenta um desenvolvimento em planta de 100m com um desnível de 39,37m. Seu padrão morfológico é de um salão de abatimento típico. Os planos do acamamento subhorizontal e um conjunto de fraturas subverticais, com direção aproximada de N10E e E/W, parecem ser os planos que mais favoreceram o abatimento na caverna, como se pode verificar nas seções transversais, no mapa geoespeleológico (**anexo-6**).

Foto-3.5: Abismo de acesso a Caverna Baixão.

Nesta caverna predomina morfologia de abatimento. Formas originais são observadas somente em um pequeno trecho na porção Leste da caverna. Trata-se de um conduto de contorno ondulado, desenvolvido sobre o plano do acamamento, atualmente obstruído por sedimentos. Uma feição de destaque nesta caverna são os cones de sedimentos detríticos, acumulados abaixo dos condutos verticais de acesso à caverna. Estes cones são constituídos principalmente, por detritos finos oriundos do material de cobertura da superfície. Analisando-se as feições de superfície, associadas à caverna, percebe-se que esta cavidade está associada a uma depressão cárstica com eixo maior N/S (vide localização da caverna na Carta de Fenômenos Cársticos). A caverna do Baixão pode ser a exposição um pequeno trecho de um conduto maior com orientação N/S.

A rocha encaixante apresenta um acamamento subhorizontal, com direção predominante de N82W/10°NE, cortado por fraturas N30-70W/ vertical e N20-40E/verticais.

Caverna Poço Encantado

A caverna está situada na margem esquerda do Rio Una, no alto de um divisor de águas. Na crista deste divisor ocorre uma depressão cárstica circular (com diâmetro de +/- 100m), exibindo uma morfologia mista de subsidência e colapso. A entrada da caverna está encaixada no fundo desta depressão, na base de um paredão escarpado. O Poço Encantado constitui um dos pontos de maior visitação turística da região da Chapada Diamantina. (Foto-2.4)

Observando-se o mapa geoespeleológico (**anexo-7**), nota-se que a caverna se destaca como um grande salão de abatimento subterrâneo, no qual ocorre uma bela exposição do nível d'água atual, na forma de um extenso lago de águas transparentes com tons azulados. Apresenta um desenvolvimento em planta de 506 m, com um desnível da ordem de 100m até o nível d'água. O "grande salão do lago" tem um eixo maior de 95 m na direção NW/SE. Mergulhos realizados por membros do Grupo Bambui de Pesquisas Espeológicas e do Projeto Hidrocarste, indicam uma lâmina d'água com até 60m de profundidade.

De acordo com o mapa geoespeleológico (**anexo-7**), a caverna apresenta duas direções preferenciais de desenvolvimento. Uma seguindo, aproximadamente, a direção N/S e outra próxima de E/W. Predomina uma morfologia de abatimento, principalmente no "grande salão do lago". No setor Oeste da caverna percebe-se um padrão em rede. A partir das observações de campo, notou-se que este padrão em rede não corresponde aos condutos de morfologia primária original, mas sim, a condutos parcialmente alterados por abatimento. Neste setor são

muito frequentes cúpulas de corrosão de mistura no teto da caverna, com formato elíptico, de eixo maior na direção N/S.

O desenvolvimento da caverna é condicionado por dois conjuntos principais de fraturas (N/S e E/W). Na direção N/S ocorrem falhas com movimento indeterminado. Durante os trabalhos de campo, observou-se um número maior de condutos com morfologia original preservada, ao longo da direção N0-10W. No “grande salão do lago”, o abatimento foi condicionado por fraturas subverticais com orientação N/S, E/W e N20W. Nesta caverna, registramos a maior densidade de fraturamento verificada na área de estudo, com atitudes próximas de E/W verticais e N/S verticais. De acordo com as lâminas petrográficas, as rochas do Poço Encantado, se apresentam muito recristalizadas, representando as rochas com metamorfismo mais intenso da área.

De acordo com as observações de campo, interpreta-se que a iniciação desta caverna ocorreu a partir de fluxos freáticos lentos, instalados ao longo da interseção entre o acamamento e os planos de fraturas subverticais com direção N/S e E/W, formando um conjunto de condutos com padrão em rede, instalados numa zona onde a rocha apresentava uma alta densidade de fraturas. Posteriormente, com o rebaixamento do nível d’água, o desenvolvimento destes condutos foi sendo rebaixado e novos condutos se desenvolveram em níveis inferiores, formando um sistema de condutos tridimensional. Mais tarde, em ambiente vadoso, este sistema de condutos foi colapsando, formando o grande salão de abatimento. A incisão foi favorecida pelos planos de fratura subverticais.

Caverna Faz. Natal

Esta caverna está situada na margem esquerda do Rio Una, próxima à margem de uma uvala. Apresenta um desenvolvimento em planta de 219m com um desnível de 26,65m. Representa um salão de abatimento subterrâneo, que dá acesso ao nível d’água atual. O piso da caverna, de modo geral, constitui um plano inclinado sob blocos abatidos, mergulhando para NW, em direção ao nível d’água. Este sentido de mergulho coincide com o rumo de mergulho do acamamento.

No interior da caverna predomina a morfologia de abatimento. No seu setor NW ocorre um trecho onde a morfologia original está preservada, representa uma seção do tipo buraco de fechadura, conforme indicada na seção G-H do mapa geoespeleológico (**anexo-8**). Esta seção indica uma iniciação e ampliação freática no topo, seguida de entalhamento vadoso. No trecho

A

B

**Painel de fotografias-3.6: Aspecto da entrada da Caverna Fazenda Santa Clara II. A caverna está situada em um paredão escarpado na margem direita do Rio Una (vide figura-3.3).
(A) Vista do exterior. (B) Vista do interior.**

superior desta seção notou-se a presença de uma série de *scallops* simétricos de tamanho métrico, sugerindo um fluxo freático lento, instalado ao longo da interseção do acamamento subhorizontal, com um conjunto de fraturas subverticais.

Notificou-se dois conjuntos principais de planos de fraturas subverticais, com direções N0-10E (mergulhos para NW) e E/W (mergulhos para SW). A interseção deste segundo conjunto de fraturas com o plano de acamamento subhorizontal, condiciona o abatimento de blocos.

Caverna Faz. Santa Clara II

Está situada na margem direita do Rio Una, próxima da base de um paredão escarpado, muito próxima da caverna Faz. Santa Clara I (**painel de fotografias-3.6**). Não foi encontrada conexão entre as duas cavernas, que inclusive apresentam padrões morfológicos planimétricos muito distintos. Apresenta um desenvolvimento em planta de 120,15m com um desnível de 8,70m, distribuídos em um amplo salão, pouco ornamentado em espeleotemas.

Esta caverna não apresenta um padrão típico de abatimento, exibindo apenas feições isoladas de colapso, onde o plano de descolamento da rocha foi condicionada pela interseção dos planos do acamamento subhorizontal ondulado, com atitude geral aparente de N10W/5°NE e planos de fraturas N70-80W/verticais (vide seções morfológicas no mapa geoespeleológico, **anexo-9**).

Esta caverna pode tratar-se de um paleo-meandro subterrâneo abandonado do Rio Una, sua gênese e evolução parecem estar associadas ao entalhamento fluvial por água de enchentes do rio Una na base do paredão escarpado, abrindo cavidades subterrâneas, cujo colapso provoca erosão e retração da vertente escarpada.

Caverna Pedro Gomes

A caverna está situada no fundo de uma pequena depressão cárstica, com perfil escarpado e diâmetro inferior a 10 metros. Esta depressão funciona como um ponto de absorção da drenagem superficial e está inserida em um alinhamento de feições paleo-fluviais e cársticas, com direção NW (vide Mapa de Fenômenos Cársticos).

Logo na entrada da caverna temos um salão de abatimento que bifurca em dois ramos (vide *croquis*, **anexo-10**), um com direção NW e outro com direção inicial para Norte, flexionando mais adiante para NW. Neste segundo ramo, encontramos pequenas cavidades

elipsoidais na rocha, com eixo menor de no máximo 0,50m e eixo maior com até 2m, resultantes do alargamento de fraturas NW/subverticais, preenchidas por sílica com hábito botroidal, formando espeleotemas que revestem as paredes destas cavidades.

A iniciação da caverna aproveitou o conjunto de fraturas NW/verticais, desenvolvendo-se pela dissolução e entalhamento, preferencialmente vertical, das fraturas, gerando seções típicas de *canyon* vadoso.

Caverna Faz. Rio Negro I (ou Faz. Grulha)

A caverna está situada na base de um paredão escarpado, no interior de uma depressão cárstica. Seu acesso ocorre em meio a uma pilha de blocos abatidos (vide *croquis*, **anexo-11**), localizados na base deste paredão. No interior da caverna temos acesso ao nível d'água, como um pequeno lago (menos de 2m de diâmetro).

A rocha encaixante apresenta um acamamento subhorizontal ondulado, com atitude variando entre N3E/6°NW e N32E/3°SE. Apresentando níveis finamente laminados com intercalações de cherts, na sua porção mais basal e estilólitos na sua porção mais superior. Não foram verificados planos de fraturas.

A caverna parece ter se formado pelo abatimento de blocos, condicionado pelos planos de acamamento, no interior de uma cavidade subterrânea, aberta pelas variações do nível d'água. Uma segunda hipótese poderia ser que esta caverna representa a exposição de um pequeno trecho de um conduto subterrâneo, obstruído por sedimentos.

Caverna Velho Mulungu

Está situada na escarpa oriental da serra carbonática, no fundo de uma dolina de abatimento (**foto-3.7**). Seu acesso se dá através de um desnível abrupto de aproximadamente 8m (vide *croquis*, **anexo-12**). A caverna apresenta-se como um típico salão de abatimento. Não foi possível uma exploração minuciosa desta caverna devido a grande quantidade de guano presente, de forma que uma análise mais definitiva sobre seu padrão morfológico ficou prejudicada.

O acamamento da rocha encaixante apresenta os mais altos mergulhos verificados na área da pesquisa, com atitudes variando entre N3E/35NW e N28E/20NW. Foram notificados alguns condutos condicionados pela interseção dos planos de acamamento com uma zona de fratura de atitude geral N47W/vertical, onde verificou-se um intenso brechamento da rocha.

Foto-3.7: Abismo de acesso à Caverna Velho Mulungu, situada no fundo de uma dolina de abatimento na escarpa oriental do planalto carbonático.

Abismo da Estrada

Este abismo está situado no fundo de uma depressão cárstica de subsidência lenta, constituindo uma segunda depressão de perfil escarpado, que representa um ponto de absorção da drenagem superficial.

O abismo apresenta um desnível, medido em campo, de 21 m. No seu interior temos acesso ao nível d'água (vide *croquis*, **anexo-13**). O acesso a este abismo se abriu por volta de 7 anos atrás (no ano de 1990, segundo alguns ou 1989, segundo outros moradores), com a subsidência de material superficial para o interior da cavidade subterrânea. Antes disto, segundo os moradores locais, no local existia apenas uma pequena 'baixada' com mais ou menos 5 m de diâmetro, onde inclusive um senhor tinha uma roça de milho e feijão no fundo da depressão. Após períodos de chuva, a depressão foi aumentando sucessivamente, com a subsidência de material para a cavidade subterrânea, até que se abriu o abismo. No fundo deste abismo ocorre um pequeno salão cujo piso é um grande cone de argila, proveniente do material de superfície que cai para o interior da cavidade.

A rocha encaixante apresenta um acamamento subhorizontal ondulado com direção N25W/6°NE. Não foram notificadas fraturas.

Abismo do Sr. Ireno

Este abismo está situado próximo a uma crista do planalto carbonático, no loteamento da Colônia. Representa um ponto de absorção da drenagem superficial (**foto-3.8**). Apresenta um desnível total medido em campo de 24 m. Segundo o Sr. Ireno, proprietário do terreno onde está localizada a cavidade, o 'buraco' foi aberto no ano de 1990 após uma chuva. Durante a chuva ouviu-se um grande estrondo, 'como um trovão'. Quando retornou ao seu terreno após a chuva, o Sr. Ireno encontrou o abismo.

No fundo do abismo temos um pequeno salão de abatimento (ver *croquis*, **anexo-14**). A rocha encaixante é um calcário suavemente ondulado, com atitude geral N30W/5°NE. Não foram notificados planos de fraturas. O plano de acamamento parece ter condicionado e favorecido a incisão.

Foto-3.8: Abismo do Sr. Ireno. O abismo representa um ponto de absorção, exposto pela subsidência de material da cobertura superficial durante uma chuva no ano de 1990.

3.5- Índices morfométricos da superfície cárstica

Os principais parâmetros morfométricos considerados neste trabalho foram: 1-densidade de depressões cársticas, 2-densidade sumidouros autogênicos e 3-rugosidade da superfície carbonática. A área da superfície carbonática considerada para realização dos cálculos 1 e 2 é apresentada na **figura-3.5**.

Figura-3.5: Área da superfície carbonática considerada nos cálculos dos parâmetros morfométricos

Para o cálculo da rugosidade consideramos uma área na porção mais central da superfície carbonática, situada entre as coordenadas (287;8542) UTM e (262;8576)UTM. Calculamos ainda a rugosidade para um modelo digital do terreno, obtido a partir de seções topográficas levantadas em campo.

3.5.1-Densidade de depressões cársticas:

Expressa a frequência de ocorrência de depressões por unidade de área. Foi obtida a partir da razão entre a soma do número total de depressões cársticas e área total da superfície carbonática (**Figura-3.5**). A **figura-3.6** ilustra as depressões consideradas para este cálculo, extraídas a partir da Carta de Fenômenos Cársticos. As depressões representadas nesta carta

foram demarcadas através de fotointerpretação (1:60.000). Os resultados numéricos obtidos são apresentados na **tabela-3.3**.

Número Total de Depressões Cársticas	72
Área Total da Superfície Carbonática	899,922 Km ²
Densidade de Depressões Cársticas	0,080/Km ²

Tabela-3.3: Cálculo do índice: **Densidade de depressões cársticas.**

Podemos ainda obter a razão de dolinamento (RD), expressa pela razão entre a soma da área total das depressões cársticas e a área do calcário, os resultados são apresentados na **tabela-3.4**. Este parâmetro morfométrico pode também ser expresso em porcentagem. Neste caso o índice é de $(0,017 \times 100) = 1,7$. Significando que 1,7% da superfície carbonática é ocupada por depressões cársticas.

Soma da Área Total das Depressões Cársticas	15,232 Km ²
Área Total da Superfície Carbonática	899,922 Km ²
Razão de Dolinamento (RD)	0,017

Tabela-3.4: Cálculo da **Razão de dolinamentos.**

Outro parâmetro morfométrico relativo à ocorrência e distribuição das depressões cársticas é o índice de dolinamento (ID), definido por Williams (1972). Este parâmetro é obtido a partir da razão entre a área do calcário e a soma da área total das depressões cársticas, representando o inverso da razão de dolinamento. Quanto maior o valor da área das depressões cársticas, mais ela se aproxima do valor da área total da superfície carbonática, de maneira que o valor do índice de dolinamento tende a 1. Estes resultados são apresentados na **tabela-3.5**.

Área Total da Superfície Carbonática	899,922 Km ²
Soma da Área Total das Depressões Cársticas	15,232 Km ²
Índice de dolinamento (ID)	59,081

Tabela-3.5: Cálculo do Índice de dolinamento.

Os valores de ID e RD apresentados, indicam uma baixa incidência de depressões, considerando a área total do calcário.

Os cálculos das áreas, para a obtenção da densidade de depressões cársticas, foram realizados utilizando-se do *software* *surfer*, a partir da Carta de Fenômenos Cársticos, digitalizada em *Autocad*. Ressaltamos que a partir de uma carta da mesma região, desenvolvida a partir de fotografias aéreas em escala maior (ex. 1:25.000), este número seria certamente diferente, uma vez que a partir de uma escala mais detalhada, seria possível a detecção de um número maior de depressões cársticas. Portanto qualquer comparação entre áreas cársticas, deverá considerar a escala de trabalho.

Figura-3.6: Depressões cársticas consideradas para o cálculo do índice densidade de depressões cársticas.

3.5.2-Densidade de Sumidouros Autogênicos

Este parâmetro foi obtido a partir da razão entre o número total de pontos de absorção autogênicos registrados na carta de fenômenos e a área total da superfície carbonática representada na **figura-3.5**. Consideramos aqui pontos de absorção como sendo pontos onde ocorre a injeção de água da superfície para o aquífero subterrâneo, descritos anteriormente na caracterização das formas de relevo cárstico. Os resultados obtidos são sintetizados na **tabela-3.6**.

De acordo com Karmann (1994), este índice é importante na caracterização da superfície cárstica, uma vez que fornece um parâmetro quantitativo para representar e comparar o grau de desmembramento da rede de drenagem superficial.

Número Total de Pontos de Absorção	196
Área Total da Superfície Carbonática	899,922 Km ²
Densidade de Sumidouros autogênicos	0,218/Km ²

Tabela-3.6: Cálculo do índice: **Densidade de pontos de absorção.**

Calculou-se também o número de pontos de absorção por células de 1Km². Os resultados são apresentados na **figura-3.7**. Estes cálculos foram efetuados a partir da Carta de Fenômenos Cársticos digitalizada em *Autocad*, exportada para o *software Idrisi*, onde foram definidas células de 1 x 1 Km. Durante a rasterização o programa contou quantos pontos de absorção existiam dentro de cada célula de 1 km².

Comparando-se a densidade de sumidouros autogênicos da superfície cárstica na bacia do Rio Una (tabela-6), com os números de absorção por células de 1Km² (**figura-3.7**), percebe-se que a densidade de pontos de absorção varia de 0 à 7 pontos por Km², com uma densidade média para a área de 0,218 pontos por unidade de área.

Este tipo de zoneamento da superfície cárstica é fundamental para delimitar zonas com maior probabilidade de ocorrência de colapsos catastróficos, uma vez que as zonas devastadas e com maior número de pontos de absorção por Km², tendem a apresentar maior

susceptibilidade à ocorrência de colapsos. Estas zonas apresentam uma pré-disposição natural para subsidência do terreno, manifestando um acúmulo natural de condições favoráveis para o desenrolar do processo. Com a ocupação e uso inadequado da terra, através de queimadas e desmatamentos, o processo de colapso catastrófico é desencadilhado, visto que a cobertura perde a sustentação das raízes e fica exposta a irradiação solar provocando um rebaixamento do nível d'água na zona epicárstica. Por ocasião das chuvas torrenciais a cobertura torna-se mais vulnerável devido a saturação em água, favorecendo a liquefação e *piping* do sedimento inconsolidado para o interior de cavidades, de maneira similar à descrita por Hyatt & Jacobs (1996).

Figura-3.7: Numero de pontos de absorção por Km².

3.5.3-Rugosidade da Superfície Carbonática

A rugosidade da superfície carbonática exprime as irregularidades desta superfície, expressando assim o grau de esculpimento do relevo. Hobson (1972) define rugosidade, de maneira genérica, como o índice de irregularidades ou a variabilidade não sistemática da elevação do terreno. Day (1979), sugere a utilização deste parâmetro como critério para a classificação e comparação entre terrenos cársticos. No âmbito deste trabalho, o valor da rugosidade foi obtido a partir da razão entre a área em planta da região considerada e área real da superfície desta mesma região. Assim sendo, quanto mais plana a paisagem investigada, a área real e a área em planta tendem a se igualar, fornecendo valores de rugosidade próximos de 1. Por outro lado, quanto mais acidentado o relevo, a área em planta e a área real vão apresentar valores diferentes, onde quanto mais acidentado o relevo, maior o valor da área real. Desta forma, para relevos de superfície muito acidentada, o valor da rugosidade tende a valores próximos de zero.

Calculou-se o valor da rugosidade média regional da superfície carbonática. Os resultados obtidos são apresentados na **tabela-3.7**. Calculamos ainda o valor de quatro células de 6x6 Km, delimitadas pelas coordenadas (262,8576)UTM e (286,8542)UTM, para testar a variabilidade desta medida. Os resultados obtidos para cada célula são apresentados na **tabela-3.8**. No intuito de estabelecer uma comparação entre os valores da rugosidade obtidos a partir de diversas escalas, foram realizados em campo, levantamentos topográficos com bússola e trena, empregando a mesma metodologia utilizada na topografia das cavernas. De posse destes dados, utilizando-se do *software Surfer*, foi gerado um modelo digital do terreno. A partir deste modelo calculamos o valor da rugosidade, apresentado na **tabela-3.9**.

Área em planta da superfície carbonática	357,86 Km ²
Área real da superfície carbonática	358,504 Km ²
Índice de Rugosidade (Área em planta/Área real)	0,998
Declividade média	2,003

Tabela-3.7: Rugosidade média regional da superfície carbonática.

De acordo com o valor obtido percebe-se que a região estudada apresenta um valor muito próximo de 1, expressando numericamente o aspecto aplainado da paisagem observada na superfície cárstica da bacia do Rio Una. Estes cálculos foram obtidos a partir da base topográfica 1:100.000, da SUDENE, digitalizada em *Autocad*. Este arquivo foi exportado para o *software Surfer*, onde foram efetuados os cálculos da área em planta e área real da superfície carbonática.

	Célula-1	Célula-2	Célula-3	Célula-4
Área em planta (AP)	34,810 Km ²	34,810 Km ²	34,810 Km ²	34,810 Km ²
Área real (AR)	34,867 Km ²	34,8315 Km ²	34,8318 Km ²	34,8359 Km ²
Índice de rugosidade (IR)	0,9983	0,9993	0,9993	0,9992
Declividade média (DM)	1,94°	1,52°	1,54°	, 1,76°

Tabela-3.8: Índices de rugosidade das células 6x6 Km.

Calculamos também a declividade média do terreno, visando mostrar que quanto mais rugosa a superfície, maior será a declividade média da área. Desta forma este valor pode ser associado a rugosidade, no sentido de expressar numericamente índices de relevo.

Área em planta (AP)	21.817.100 m ²
Área Real (AR)	21.922.600 m ²
Índice de Rugosidade (IR)	0,9951

Tabela-3.9: Rugosidade do modelo digital do terreno, obtido a partir das seções topografadas em campo.

O modelo digital do terreno utilizado na obtenção do índice de rugosidade é apresentado na **figura-3.8**. Este modelo resultou da topografia com bússola e trena, das três primeiras estradas (sentido Itaetê-Colônia, vide estradas na Carta de Fenômenos Cársticos), situadas sobre o planalto carbonático, na região do povoado da Colônia, partindo da margem direita do Rio Una. Ressaltamos que apesar de tratar-se de um modelo teórico, o valor obtido é muito próximo dos valores obtidos a partir das cartas topográficas 1:100.000.

Figura-3.8: Mapa e modelo digital do terreno das linhas de topografia da Colônia.

Capítulo IV

4- A Evolução do Sistema Cárstico e da Paisagem Associada

Com base nos dados apresentados, faremos a seguir, algumas considerações a respeito da sequência de eventos que modelaram a paisagem da região estudada, no decorrer do tempo geológico. Para tanto, ressaltamos que a paisagem é entendida como o conjunto de feições da superfície da Terra, resultantes da interação entre a sua superfície física, as intempéries e os fenômenos da dinâmica interna da Terra, em um processo onde a crosta terrestre é criada e consumida ou reciclada. Estas palavras podem ser sintetizadas na equação:

$$\text{Paisagem} = \text{Herança geológica} + \text{Intempéries} + \text{Tectônica recente}$$

Nesta equação, a herança geológica vai definir o tipo de rocha, que representa o substrato, onde irão atuar os agentes intempéricos e os fenômenos associados à neotectônica.

4.1- Teorias de evolução regional da paisagem brasileira

Inicialmente apresentamos um pequeno histórico da literatura a respeito das teorias de evolução da paisagem brasileira, tendo como base uma leitura crítica do trabalho de King (1956), e uma comparação com trabalhos mais recentes, disponíveis na literatura geológica nacional.

De acordo com King (1956), os ciclos de erosão reduziram as paisagens brasileiras primitivas à condição de aplainamento intenso ou uma ondulação suave, em escala que afetou, todo o país. Este autor identificou superfícies no Brasil Oriental (do rio São Francisco ao litoral Atlântico) que registram estas condições de aplainamento pretérito da paisagem brasileira, e relacionou-as a cinco ciclos erosivos de caráter regional denominados respectivamente de: Gondwana, Pós-Gondwana, Sul-americano, Velhas e Paraguaçu.

O trabalho de King (1956) ganha credibilidade uma vez que este autor demonstra um cuidado com a descrição dos dados obtidos em campo, aliada a uma clareza com relação a aspectos teóricos e experiência na integração de dados em escala global. Ross (1990), salienta que este trabalho tem seu mérito pelo fato de introduzir no país uma nova linha de interpretação da evolução da paisagem brasileira, integrando as duas teorias existentes na época (Davis e Penck). Braun (1971), busca uma atualização do trabalho de King (1956)

apresentando equívocos, passíveis de correção e atualização, tomando como base o Brasil Central.

Ponçano & Almeida (1993), afirmam que não existem na literatura referências confiáveis que possam balizar explicações regionais a respeito da evolução do relevo. Por outro lado, neste mesmo trabalho, os autores defendem que há uma concordância geral na literatura que o fecho da sedimentação cretácea completa a configuração de uma vasta superfície mais ou menos aplainada, cuja elaboração se estendeu até o Terciário inferior. Desta forma Ponçano & Almeida (1993) sugerem que os vestígios desta superfície, correspondente a superfície Sul-americana de King (1956), serviram de base para o início de uma evolução cenozóica das formas atuais de relevo.

Segundo Nunes *et alli* (1981) a evolução do relevo da parte centro oriental da Bahia, durante o Terciário, caracteriza-se pela elaboração de superfícies de erosão cujos vestígios se encontram em posições diferentes, na dependência das fases de dissecação e de efeitos epirogenéticos posteriores. As superfícies de idade eógena (sinônimo de Paleógeno segundo Harland *et alli* 1989, representa a transição entre o Mesozóico e Cenozóico), geralmente se posicionam acima da cota 800 m, como planaltos e chapadas. Outra vasta superfície encontra-se embutida nas depressões interplanálticas, sendo subdividida em restos de aplainamento, relacionados a eventos de idade miocênica, que se apresentam geralmente soterrados por coberturas poligenéticas e pediplanos que ocupam o piso das depressões interplanálticas, contendo numerosos inselbergs, desenvolvidos durante o Pleistoceno.

A superfície de idade eógena verificada no topo das chapadas e planaltos, acima dos 800 m, se desenvolveu em condições de clima chuvoso com estação seca, que favoreceu a formação de couraças e cangas pela precipitação de sílica e hidróxidos, sobre materiais detríticos previamente acumulados (Nunes *et alli*, 1981). Esta superfície, correlacionável com a superfície Sul-americana de King (1956), sofreu um soerguimento, acompanhado de uma profunda retomada da erosão, culminando com a sedimentação de depósitos correlacionáveis com a Formação Barreiras. A idade deste soerguimento ainda é palco de polêmica na literatura. A idade mais aceita é o final do Oligoceno, sugerida por King (1956).

Nunes *et alli* (1981) sugerem ainda, que os planaltos cársticos a Norte e da borda oriental da Chapada Diamantina, foram submetidos a uma evolução neógena (Terciário Superior) após a epirogênese que soergueu o bloco da região. Sobre o planalto cárstico da

borda oriental ocorre uma cobertura, em parte proveniente de erosão da Chapada Diamantina, enquanto o planalto cárstico da porção Norte se apresenta mais dissecado.

4.2- Superfícies de aplainamento

O termo superfície de aplainamento é também referido na literatura como superfície de erosão, ciclo de denudação ou ainda ciclo de erosão. A partir de uma integração da bibliografia consultada, o termo pode ser definido como uma superfície suavemente ondulada, relativamente plana, resultante do recuo das vertentes através do intemperismo e transporte de materiais das zonas mais elevadas (áreas fontes) e deposição em áreas rebaixadas do relevo. A iniciação deste processo ocorre a partir do soerguimento de uma determinada porção da superfície terrestre, gerando desníveis topográficos. Sua evolução depende de um período longo de estabilidade tectônica que vai culminar em um aplainamento do relevo. Novos soerguimentos vão resultar em um rejuvenescimento da paisagem, pela formação de novos desníveis topográficos. Desta forma, superfícies geradas anteriormente vão ser fragmentadas, tornando-se passíveis de um novo entalhamento, ou ficarão protegidas, soterradas por novos pacotes sedimentares. Variações climáticas podem também provocar o entalhamento ou o recobrimento de uma superfície desenvolvida sobre um determinado regime climático, em áreas de tectônica relativamente estável.

King (1956) definiu cinco ciclos erosivos que atuaram no Brasil, reduzindo a paisagem à condição de aplainamento em escala regional. Segundo este autor desde o Paleozóico médio o Brasil constitui uma massa continental, sobre a qual se sucederam ciclos de denudação e sedimentação. A sucessão destes ciclos representa a história evolutiva da paisagem brasileira.

Ponçano & Almeida (1993), apresentam uma correlação das superfícies de aplainamento propostas por diversos autores, no território brasileiro. Esta correlação ajuda a esclarecer o quadro confuso que se estabeleceu para o assunto, uma vez que diversos autores sugerem novos nomes para superfícies definidas anteriormente. Como exemplo disto destacamos o trabalho de Bigarella *et alli* (1965), que na tentativa de explicar a evolução do relevo brasileiro, baseando-se principalmente em estudos no Sul e Sudeste do Brasil, reconheceram três grandes fases erosivas desenvolvidas em ambiente árido a semi-árido, definindo três superfícies aplainadas por pedimentação. Estes autores denominaram estas superfícies de Pd1, Pd2 e Pd3. A superfície Pd3 corresponderia ao ciclo Paraguaçu de King (1956), Pd2 pode ser

correlacionada à superfície Velhas de King (1956) e a Pd1 estaria correlacionada a superfície Sul-americana de King (1956). Para Ross (1990) a aplicação da proposta de Bigarella *et alli* (1965) encontra dificuldades extremamente grandes, uma vez que ao conseguir-se identificar uma determinada superfície, é muito complicado encontrar-se o depósito correlativo correspondente que permitiria identificar a sua idade.

O trabalho de King (1956), ressalta muito a importância da tectônica como evento que marca o início de um ciclo de erosão, deixando de lado as alterações climáticas que também são tão importantes quanto a tectônica, no desencadeamento de um ciclo erosivo, que implica na dissecação ou recobrimento de uma superfície pré-existente. Por outro lado, outros autores (Bigarella *et alli*, 1965) levaram em consideração apenas as alterações climáticas como responsáveis pelo desenvolvimento das superfícies de aplainamento, menosprezando eventos tectônicos relevantes, que atuaram em escala regional no território brasileiro. Numa abordagem atual é preciso avaliar-se a importância de ambos fatores, e evitar de extrapolar dados obtidos em escala de trabalho local, para uma escala regional, como era de costume nos autores mais antigos.

Ponçano & Almeida (1993), salientam que o relevo brasileiro atual evoluiu a partir da grande planície formada pelo ciclo Sul-americano. Segundo eles, esta superfície serviu de base para o desenvolvimento das formas que compõem a atual paisagem brasileira, durante o Cenozóico. Neste mesmo trabalho os autores sugerem que não existe na literatura referências confiáveis que possam balizar explicações regionais a respeito da evolução do relevo. Para os mesmos, o desenvolvimento de pesquisas geomorfológicas de nível regional precisa vislumbrar duas premissas fundamentais. A primeira diz respeito a áreas chave, cujos resultados venham ser regionalizados no futuro. Nestas áreas é preciso o emprego de metodologias quantitativas, passíveis de algum tipo de comprovação, além de evidências de ordem estratigráfica e tectônica. A segunda premissa se refere a mapeamentos que busquem aprimorar as classificações de relevo. Estes mapeamentos devem agrupar as formas morfológicas considerando sua relação com a geologia e sua posição dentro das superfícies que definem os níveis planálticos.

De acordo com Braun (1971), o soerguimento oligocênico que desencadeou o ciclo, velhas, associado ao arqueamento que culminou com a abertura do Atlântico Sul, resultou numa série de 'grabbens' e 'horsts', que constituem o arcabouço tectônico da costa do centro-Sul do país. No interior, com a dissecação das planícies Sul-americanas a erosão alcançou as

áreas de substrato calcário, abrindo e drenando as galerias subterrâneas de dissolução. Desta forma esculpiram-se os relevos cársticos de Goiás, Minas Gerais e Bahia.

4.3- Instalação e desenvolvimento do sistema cárstico

O sistema cárstico é entendido aqui como um conjunto de paisagens, com feições superficiais e subsuperficiais de relevo peculiares, resultantes da dissolução da rocha, que vai provocar o desenvolvimento de uma alta permeabilidade secundária, culminando com a formação de uma rede de drenagem subterrânea no interior de condutos, abertos pela desagregação química da rocha. De acordo com Ford e Willians (1989), o sistema cárstico é um sistema aberto, constituído por outros dois subsistemas: hidrológico e geoquímico, que atuam sobre as rochas carstificáveis. Estes autores salientam ainda, que a alta solubilidade da rocha não é suficiente para a instalação e desenvolvimento de um sistema cárstico. É imprescindível a presença de estruturas que favoreçam o fluxo d'água, gerando gradientes hidráulicos.

Na literatura consultada é consenso geral que a elaboração da superfície Sulamericana se estendeu até o Terciário inferior (Braun, 1971; Nunes *et alli*, 1981 e Ponçano & Almeida, 1993). No Oligoceno iniciou-se a desagregação e entalhamento desta superfície, em função dos eventos tectônicos que culminaram com a abertura do Atlântico Sul. Nunes *et alli* (1981) sugerem que os planaltos cársticos do Norte e da borda oriental da Chapada Diamantina foram submetidos a uma evolução neógena (Plioceno e Mioceno, Terciário Superior), após a epirogênese que soergueu o bloco da região. De acordo com Braun (1971), os relevos cársticos do interior de Minas Gerais e Bahia foram esculpidos a partir do soerguimento Oligocênico, associado ao arqueamento que culminou com a abertura do Atlântico Sul.

De acordo com os dados obtidos no decorrer da pesquisa é possível delinear um quadro temporal dos passos gerais da evolução do sistema cárstico da região estudada. Os resultados são apresentados na **tabela-4.1** e discutidos a seguir.

4.3.1- Espeleogênese

De acordo com Palmer (1991), praticamente todas as feições cársticas de superfície tem sua origem em função da abertura e desenvolvimento de condutos pela drenagem subterrânea. A maioria das feições exocársticas resultam de subsidência e colapso. Estes processos, por sua

- 01 - Fecho da sedimentação ao aplainamento Sulamericano (King 1956, Braun 1971, Nunes 1981, Ponçano e Almeida 1993)
- 02 - Soerguimento (King 1956, Braun 1971, Nunes 1981, Ponçano e Almeida 1993)
- 03 - Evolução dos sistemas cársticos da Chapada Diamantina, segundo Nunes (1981)
- 04 - Exposição e drenagem dos condutos subterrâneos, segundo Braun (1971)
- 05 - Iniciação dos condutos freáticos
- 06 - Desenvolvimento freático
- 07 - Rebaixamento do nível de base, desmoronamentos e entalhamentos vadosos associados a oscilações do nível de base
- 08 - Entalhamento do vale do Rio Una
- 09 - Captura dos rios de superfície pelas drenagens subterrâneas

Tabela-4.1: Distribuição temporal aproximada dos eventos geomórficos durante o Cenozóico na área de estudo.

vez, são desencatilhados pela abertura de cavidades subterrâneas. Assim sendo, a história de um sistema cárstico está intimamente relacionada à formação e evolução de sistemas de condutos.

Baseando-se na literatura consultada (Lowe, 1992; Karmann, 1994), a espeleogênese pode ser subdividida em três fases: 1- pré iniciação, 2- iniciação, 3- desenvolvimento. A pré-iniciação compreende todos os processos envolvidos na formação e instalação dos sistemas de descontinuidades que vão favorecer o desenvolvimento dos condutos subterrâneos. A iniciação refere-se ao início de abertura das cavidades, estendendo-se até o ponto de avanço, marcado pelo momento onde as cavidades começam a ser alargadas e há a instalação de uma rota vencedora. O ponto de avanço representa ainda o início da terceira fase da espeleogênese, o desenvolvimento. Os parâmetros que condicionam a iniciação são os fatores geológicos (estruturas da rocha encaixante), o regime de fluxo da água subterrânea (vazão), o gradiente e o tipo de recarga hidráulica. Na região estudada é possível delinear alguns aspectos da espeleogênese, apresentados a seguir:

Pré iniciação

Nesta fase foram geradas as rochas carbonáticas do Grupo Una e as estruturas que, mais tarde, condicionariam a iniciação e desenvolvimento dos condutos subterrâneos. De acordo com as observações de campo, as estruturas mais importantes no condicionamento da iniciação e desenvolvimento do sistema cárstico da bacia do rio Una são os planos de acamamento (**figura-2.5**) e as fraturas verticais e subverticais (**figura-2.6**).

De maneira geral, as rochas da Formação Salitre apresentam em campo, um acamamento horizontal a sub-horizontal, com ondulações suaves de tamanho métrico. Segundo Bonfim & Pedreira (1990), os planos de acamamento destas rochas estão estruturadas em ampla sinforma assimétrica, com eixo genericamente a N/S e flancos com mergulhos entre 0 e 30°. Em campo observou-se atitudes de acamamento entre 0 e 35°, sendo mais frequentes mergulhos menores que 10°, caracterizando as ondulações suaves, do plano de acamamento, com amplitude métrica. Localmente notou-se mergulhos de até 35°, associados a dobras de arrasto em falhamentos. Com relação às estruturas disruptivas, foram registrados conjuntos de fraturas verticais e subverticais. A maior densidade de fraturas se concentra entre N10-20E, N40-50E, N80-90W, N50-60W e N60-70W. De maneira geral estas fraturas apresentam espaçamento

variando de decimétrico a métrico, sendo muito escassa a ocorrência de fraturas com preenchimento de qualquer natureza.

Iniciação

De acordo com as observações de campo, constatou-se que na região estudada, as cavernas tiveram a iniciação condicionada pela interseção do plano de acamamento subhorizontal ondulado com planos de fratura verticais a subverticais. Nas cavernas Lapa do Bode, Fazenda Natal e Poço Encantado, verificou-se a presença de condutos anastomosados, com orientação N-NE ou W-NW, desenvolvidos sobre o plano do acamamento, ao longo da interseção com fraturas verticais com direção N0-10E. Os cortes transversais destes condutos são representados nas seções EF e GH, nos mapas das Cavernas Faz. Natal e Poço Encantado, e seções da porção central da Lapa do Bode. Na caverna Lapa do Bode registramos ainda um segundo conjunto de fraturas com direção N80-90W, cuja interseção com o acamamento condiciona a iniciação de condutos anastomosados. De maneira geral, estes condutos ocorrem na parte mais superior destas cavernas, registrando os primeiros momentos de sua evolução. Nas paredes destes condutos constatou-se a presença de *scallops* (estruturas formadas por dissolução, indicadoras de fluxo d'água) simétricos, com tamanhos métricos. Estas evidências sugerem um fluxo de iniciação freática, com velocidades muito baixas, condicionados por baixos gradientes hidráulicos.

A idade máxima para a iniciação do sistema cárstico está associada à instalação e evolução da superfície Sulamericana, sendo assim anterior à abertura do Atlântico Sul. Desta forma, o nível de base associado a este período ainda não se refere ao rio Una, tratando-se de um nível de base pretérito, talvez associado a um proto rio Paraguai. Diante deste quadro, a iniciação pode ser inserida em tempos pré a sin Oligocênicos.

Desenvolvimento

Nas cavernas de padrão em rede, ou ainda nos trechos com morfologia primária preservada das cavernas com grandes salões de abatimento, verificou-se a presença de *canyons* vadosos entalhando a base dos condutos freáticos elípticos de iniciação, formando seções do tipo buraco de fechadura. Os melhores exemplares desta situação foram registrados nas cavernas Lapa do Bode e Fazenda Natal e são apresentados na **figura-4.1**. Estas evidências sugerem uma situação de desenvolvimento normal de condutos do tipo singenética, com

Figura-4.1: Seções transversais do tipo 'buraco de fechadura', das cavernas Fazenda Natal (1) e Lapa do Bode (2-9), ilustrando a iniciação freática, seguida de entalhamento vadoso.

iniciação freática no topo, seguida do rebaixamento do nível de água e entalhamento vadoso em direção a base do conduto, aproveitando os planos de fratura subverticais.

O alargamento e desenvolvimento freático dos condutos subterrâneos pode ser associado aos momentos finais da evolução da superfície Sulamericana, dentro do Terciário médio a superior. Posteriormente, em função do soerguimento associado à abertura do Atlântico e fragmentação da superfície Sulamericana, houve um rebaixamento do nível de base. Este rebaixamento do nível de base é correlacionado aqui às seções do tipo buraco de fechadura, representadas pelo entalhamento vadoso na base de condutos freáticos, com formas elípticas. Estas oscilações do nível de base ocasionaram o alargamento dos vazios subterrâneos, tanto por desmoronamentos, para aqueles vazios que já se encontravam em ambiente vadoso; quanto por dissolução, para aqueles que ainda estavam em ambiente freático, ou na zona periodicamente inundada, a mais rica em soluções mais agressivas. Segundo Braun (1971), o entalhamento da superfície Sulamericana, no interior do Brasil, ocorre defasado da faixa litorânea, iniciando-se no final do Terciário superior (Plioceno), com soerguimento lento e homogêneo.

4.3.2- Desenvolvimento da superfície cárstica

Com a instalação da superfície Sulamericana estava se iniciando a formação da cobertura superficial, a partir da alteração da rocha carbonática em um clima mais úmido do que o atual, que estava decompondo o feldspato potássico, presente nos calcários e acumulando óxidos de Ferro, culminando com a formação de um latossolo espesso e avermelhado. De acordo com o que foi constatado, a rocha carbonática que serviu de substrato para instalação e desenvolvimento do sistema cárstico da Bacia do Rio Una apresenta um teor de resíduos insolúveis ao redor de 10%, conforme os testes de dissolução da rocha (**vide tabela-3.1B**), chegando localmente a estimativas de até 30%, com base nas análises de seções delgadas. Na porção Oeste, a cobertura estava sendo acrescida ainda, de material transportado por erosão das serras de rochas siliciclásticas da Chapada Diamantina.

Ainda associado a instalação do aplainamento Sulamericano, sobre a superfície carbonática estavam sendo entalhados vales fluviais, que atualmente correspondem aos vales sem cursos d'água ativos ou com fluxo restrito aos períodos de chuvas. Alguns destes vales ocorrem hoje em dia, muitas vezes de maneira isolada, e não se conectam com nenhum outro

sistema de drenagem superficial ou terminam em pontos de absorção do escoamento superficial, chegando a constituir um sistema fluvial reliquiar. O vale do rio Una, vinha se desenhando desde estes tempos, passando a constituir, mais tarde, uma rota vencedora.

Com o desenvolvimento do sistema cárstico e a instalação de um sistema de condutos subterrâneos, teve início a captura dos sistemas de drenagens superficiais, que culminou com a formação de vales fluviais com feições cársticas superpostas, na forma de grandes depressões fechadas, observados hoje em dia na região e representados no Mapa de Fenômenos Cársticos. As variações do nível de base, associadas ao entalhamento dos vales e captura das drenagens, estariam associadas às variações climáticas e eventos geotectônicos que atuaram sobre a região, numa relação de causa e efeito, onde o resultado interfere significativamente na continuidade e desenrolar do processo. Assim sendo, com a captura das drenagens de superfície inicia-se também a formação dos pontos de absorção. Já neste momento estariam se delineando as primeiras depressões cársticas, formadas pela subsidência do material de cobertura superficial. Provavelmente a maior parte desta cobertura foi gerada no período anterior, sob um clima mais úmido que o atual, necessário para a formação de uma cobertura tão espessa e enriquecida em Ferro.

4.3.3- Quadro atual

Considera-se aqui o quadro atual como o último capítulo da história da paisagem cárstica da Bacia do rio Una. Assim sendo, este seria um quadro descritivo e interpretativo da paisagem vislumbrada no decorrer do trabalho. A ocupação mais intensa das terras na região remota ao final da década de cinquenta, quando iniciou-se o assentamento da colônia de reforma agrária do INCRA. De acordo com o relato verbal dos primeiros colonos, a região tinha uma mata verde e alta, de onde extraiu-se madeira de lei em abundância, como jacarandás, pau d'arco e 'bastião'. A medida que explorava-se, de maneira desordenada, a madeira-de-lei e o carvão, abria-se terras para implantação de roças e pastagens. Os moradores afirmam que nos primeiros anos do assentamento, até meados dos anos sessenta, chovia regularmente. Desta forma as roças de milho, mamona e feijão rendiam frutos.

Com a escassez da madeira, e a irregularidade das chuvas, a economia local entrou em crise. Muitos colonos venderam suas terras para fazendas de gado. No loteamento da Colônia restam ainda muitos moradores que sobrevivem às custas de roças e pequenos rebanhos de

gado bovino, ou trabalhando nas grandes fazendas de gado. Em função do desmatamento, a espessa cobertura superficial tornou-se mais vulnerável e processos de colapso e subsidência lenta do terreno tornaram-se muito comuns na região, principalmente a partir do final da década de oitenta. No ano de 1989, vários moradores, inclusive dirigentes da política local como ex-prefeitos e ex-secretários municipais, relatam a respeito de um episódio de colapso catastrófico do terreno no loteamento da Colônia, durante o qual teria desaparecido uma árvore frutífera de grande porte (pé-de-manga) e um reservatório de água (de 2000m³ de capacidade). Estes objetos teriam sido engolidos para o interior de um 'buraco' que se formou no local.

A cobertura superficial do sistema cárstico quando exposta às chuvas torrenciais, comuns nos períodos de chuva daquela região, são erodidas em função do transporte do material inconsolidado para o interior das cavidades subterrâneas. Este processo provoca inclusive um assoreamento do sistema de drenagens subterrâneas. Na literatura consultada é consenso geral que os colapsos e subsidências em terrenos cársticos resultam do rompimento do teto de cavernas, ou da migração de material inconsolidado da cobertura para o interior de cavidades da rocha carbonática (Ogden, 1984; Parate, 1984; Newton & Tanner, 1987). Também é muito difundido que esta migração de material se inicia na interface rocha/cobertura e cresce de baixo para cima. Todos autores consultados concordam que estes processos resultam principalmente de rebaixamento do nível d'água, ou por excesso de carga induzida, ou ainda devido a saturação sobre material inconsolidado. Hyatt & Jacobs (1996), salientam que colapsos associados a elevação do nível d'água em coberturas superficiais são atribuídas a 1- saturação e perda da coesão dos sedimentos que recobrem aberturas na rocha, 2- aumento da carga em função do aumento de peso do sedimento saturado e 3- liquefação e *piping* do sedimento inconsolidado para o interior de cavidades.

Cooke & Doornkamp (1990) afirmam que as flutuações do nível d'água são os maiores responsáveis por subsidência em terrenos cársticos e ressaltam que, nos E.U.A., as ocorrências resultantes da ação antrópica são geralmente as mais trágicas, uma vez que se desenvolvem mais rapidamente em regiões povoadas. Segundo Newton & Tanner (1987) os colapsos induzidos pelo homem, nos E.U.A., superam as ocorrências naturais.

Com base nestes dados e no quadro observado em campo, sugere-se aqui que os processos de subsidência recente, relatados pelos moradores da região, foram acelerados pelos desmatamentos em larga escala que acarretaram uma maior exposição do solo à irradiação

solar, provocando um rebaixamento do nível da água superficial acumulada na cobertura cárstica, na zona epicárstica. Este ressecamento pode provocar ainda o aumento de fissuras intersticiais, através de um gretamento do material que constitui a cobertura, favorecendo uma maior infiltração de água, por ocasião das chuvas. Durante os eventos de chuvas torrenciais, o material inconsolidado, desprotegido em função da retirada da vegetação, fica saturado de água facilitando seu transporte para o interior de cavidades subterrâneas. Uma análise do condicionamento atual destes processos de subsidência requer um monitoramento mais minucioso, inclusive mapeando estas ocorrências, cuja frequência tem aumentado com o passar dos anos. Até o momento é possível sugerir que as zonas que apresentaram os maiores números de pontos de absorção por Km² (**figura-3.7**), são mais suscetíveis a ocorrência de colapsos.

Capítulo V

5.1- Conclusões e recomendações

A partir dos dados apresentados pode-se estabelecer algumas conclusões do trabalho, apresentadas de maneira itemizada, a seguir.

1- O rio Una apresenta um vale assimétrico, com uma recarga autogênica na sua margem direita e uma recarga de natureza mista (autogênica e alogênica) na margem esquerda. O carste apresenta uma rugosidade média regional $IR=0,998$ (em escala 1:100.000), confirmando o seu caráter aplainado, com uma densidade de depressões cársticas de $0,080$ depressões/ Km^2 e uma densidade de sumidouros autogênicos de $0,218/km^2$, medidas em escala 1:60.000. As principais feições de relevo mapeadas são: 1- escarpamentos, 2- cristas, 3- vales fluviais, 4- vales intermitentes, 5- depressões cársticas, 6- pontos de absorção, 7- surgências cársticas e 8- cavernas. As rugosidades medidas em mapa e no campo apresentam valores muito semelhantes, sugerindo que o mesmo padrão de relevo pode ser identificado em diferentes escalas de análise.

2- Os fotolineamentos detectados a partir de fotografias aéreas 1:60.000, apresentam uma orientação preferencial NW (**figura3.2**), discordante dos principais conjuntos de fraturas identificados em campo. As cavernas mapeadas apresentam desenvolvimento preferencial nas direções N/S variando até N30E, ou N60-70W variando até E/W, de maneira concordante com os principais sistemas de fraturas mapeados. A iniciação cárstica dos condutos subterrâneos parece estar condicionada pela interseção do plano do acamamento subhorizontal ondulado, com sistemas de fraturas subverticais com direções preferenciais N0-20E e N70-90W (**figura2-5**). Esta iniciação se dá através de um fluxo muito lento, abrindo uma rede de condutos anastomosados e labirínticos. Esta situação está evidente nos condutos de seções elípticas com *scallops* métricos e simétricos, mapeados nas cavernas Lapa do Bode e Fazenda Natal (**figura-4.1**). A caverna Lapa do Bode (vide mapa geoespeleológico, **anexo-2**) representa ainda, o melhor testemunho deste sistema de condutos em rede, que ilustra o padrão de iniciação do aquífero cárstico. O entalhamento dos principais condutos subterrâneos é singenético, acompanhando o rebaixamento do lençol freático, desenvolvendo *canyons* vadosos, encontrados na base dos tubos de iniciação freática. Posteriormente, ocorre um colapso deste sistema de condutos labirínticos, formando grandes salões de abatimento.

3- O material de recobrimento da superfície cárstica, na sua margem direita é, na sua maioria, de natureza autóctone. De acordo com as observações das seções delgadas, as rochas carbonáticas apresentam um teor de até 30% de material insolúvel, sendo constituído basicamente por quartzo e feldspato. Os testes de dissolução da rocha carbonática revelaram que esta rocha apresenta um teor de 10% resíduo insolúvel. Nos teste de difração de raios-X, constatou-se que o material insolúvel é constituído por quartzo, feldspato e mica branca. As análises químicas confirmam estes resultados, registrando ainda um alto teor de Fe na rocha carbonática. Desta maneira considera-se que o material inconsolidado da cobertura é produto de alteração intempérica da rocha carbonática.

4- O desmatamento da mata primária desencadeou uma série de processos de subsidência do material de cobertura da superfície cárstica. Com a retirada da vegetação rebaixou-se o nível d'água presente em meio ao material inconsolidado da zona epicárstica, devido a maior exposição à irradiação solar. Além disto diminuiu-se a sustentação fornecida pelas raízes sobre este material. Por ocasião das chuvas, a cobertura fica encharcada de água, perdendo coesão e migrando para o interior das cavidades subterrâneas através de *piping*. Desta forma, recomenda-se a recuperação da vegetação original, como medida de remediação dos processos de subsidência comuns na região.

5- Através do balanço hídrico, constatou-se que a região apresenta uma deficiência hídrica de 24,5 mm no período analisado, sendo Dezembro o mês de reposição de água no solo. Com base no gráfico de pluviometria anual (**figura-2.7**) constata-se que a região apresenta anualmente uma distribuição irregular de chuvas. De acordo com o que foi observado, ocorrem eventos de chuvas catastróficas e períodos secos de duração irregular. Vale salientar, que apesar de apresentar uma distribuição irregular das chuvas, os valores máximos da pluviometria anual, não são baixos. Em função destes resultados, sugere-se que os agricultores da região cultivem produtos mais adequados ao clima local.

Referências bibliográficas:

- Aubert, D.; Pochon, M. -1977-** Aplissement karstique dans le Jura. Bull. Sciences Géologiques, tome 30, fascicule 4. Univ. Louis-Pasteur de Strasbourg (France).
- Batistucci, N.L.N. -1988-** Mapeamento geoespeleológico da caverna Água Suja: desenvolvimento de métodos. FAPESP, 45p. (Relatório de Iniciação Científica nº 87/2104-1).
- Beggs, T.F.; Ruth, B.E. -1984-** Factors affecting the collapse of cavities. *in* proceedings of the 1st Multidisciplinary Conference on Sinkholes. P.-183-188. Orlando FL. USA.
- Bigarella, J.J.; Mousinho, M.R.; Silva, J.X. -1965-** Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. Bol. Paran. de Geog. n.16 e 17, Curitiba.
- Bonfim, L.F.C.; Pedreira, J.A. -1990-** Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Folha SD 24V-A-V (Lençóis), escala 1:100.000. DNPM/CPRM. Brasília.
- Braun, O.P.G. -1971-** Contribuição à geomorfologia do Brasil central. Revista Brasileira de Geografia, ano 32, volume 3, p.-3-39. Rio de Janeiro.
- Dominguez, J.M.L. -1993-** As coberturas do Craton do São Francisco: uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. *In: Dominguez, J.M.L.; Misi, A. (Ed.).* O Craton do São Francisco: trabalhos apresentados na reunião preparatória do II Simpósio sobre o Craton do São Francisco, realizada em Salvador, Bahia, 8 e 9 de Maio de 1992. Salvador: SBG, 1993.p.-137-159.
- Cooke, R.U.; Doornkamp, J.C. -1990-** Geomorphology in environmental management, a new introduction. p.-368-372. Oxford University Press, New York. U.S.A.
- Day, M.J. -1979-** Surface roughness as a discriminator of tropical karst styles. Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, Suppl. Bd. 32, p.-1-8.

- Ferrari, J.A. -1990-** Interpretação de feições cársticas na região de Iraquara, Bahia. 93p. (Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Universidade Federal da Bahia).
- Ford, D.C.; Willians, P.W.-1989-** Karst geomorphology and hydrology. London, Unwin Hyman, 601p.
- Gordon, M.M. -1987-** Sinkhole repair: The bottom line. *in* proceedings of the of the 2nd Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Environmental Impacts of Karst. P-419-424. Orlando FL. USA.
- Guerra, A.M. -1986-** Processos de carstificação e hidrogeologia do Grupo Bambuí na região de Irecê-BA. São Paulo. 132 p. (Tese de doutoramento) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- Harland, W.B.; Armstrong, R.L.; Cox, A.V.; Craig, L.E.; Smith, A.G.; Smith, D.G. - 1989-** A Geologic Time Scale. Cambridge University Press. Great Britain. 263p.
- Hobson, R.D. -1972-** Surface roughness in topography: quantitative approach. In: CHORLEY, R.J. (ed.) Spatial Analysis in Geomorphology. New York, Harper and Row, p. 221-245.
- Hyatt, J.A.; Jacobs, P.M. -1996-** Distribution and morphology of sinkholes triggered by flooding following Tropical Storm Alberto at Albany, Georgia, USA. In Geomorphology 17, p-305-316.
- Inda, H.A.V.; Barbosa, J.F. -1978-** Texto Explicativo para o Mapa Geológico do Estado da Bahia, escala 1:1.000.000. SME/CPRM, Salvador.
- Inda, H.A.V.; Schorscher, H.D.; Dardene, M.A.; Schobbenhaus, C.; Haralyi, N.L.E.; Branco, P.C. de A.; Ramalho, R. - 1984-** O Craton do São Francisco e a Faixa de Dobramentos Araçuaí. In: Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Coord. Carlos Schobbenhaus. Brasília, DNPM. P.-196-248.
- Janasi, V.A. -1996-** Boletim Científico IG-USP. Série Científica, vol. 26, pp 45-58.

- Jennings, J.N. -1985-** Karst Geomorphology. Basil Blackwell. Oxford. UK. 293p.
- Karmann, I.; Sanchez, L.E. -1979-** Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. Revista Espeleotema (SBE), vol.-13, p.-105-165.
- Karmann, I. -1994-** Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo, 228p. (Tese de Doutorado, IGc-USP).
- Karmann, I.; Pereira, R.F.; Ferrari, J.A. -1996-** Índice de rugosidade: parâmetro morfométrico da intensidade de relevo. Exemplo do carste da bacia do Rio Una, Bahia. Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Vol.-4, p.-575-579.
- King, L.C. -1956-** A geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia. Ano-18, n.-2, p.-147-265.
- Kohler, H.C. -1989-** A geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa, MG., 113p. (Tese de Doutorado, FFLCH-USP).
- Lowe,D.J. -1992-** A historical review of concepts of speleogenesis. *In* Cave Science, Vol. 19, n.- 3, p.63-90. Transactions of the British Cave Research Association.
- Martinet,B.; Sougy, J. -1961-** Utilization pratique des classifications chimiques des roches cabonatées. Annales de la Faculté des Sciences de L'Université da Dakar, 6:81-92.
- Mendes, L.F. -1995-** Ecologia populacional e comportamento de uma nova espécie de bagres cavernícolas da Chapada Diamantina, BA (siluriformes, pinelodidae). (Tese de Mestrado, Instituto de Biociências-USP).
- Misi, A. -1979-** O grupo Bambuí no Estado da Bahia. *In*: Inda, H.V.A.(Ed.) Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia: textos básicos. Salvador: SME, V.1, p.- 119-154.

- Nakazawa, V.A.; Prandini, F.L.; Ávila, I.G.; Ponçano, W.L.; Braga, A.C. de O.; Bottura, J.A.; Santoro, E.; -1987-** Cajamar - Carst e urbanização: investigação e monitoramento. 5^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. ABGE. Vol.2, p.-443-460.
- Newton, J.G.; Tanner, J.M. -1987-** Case histories of induced sinkholes in the eastern United States.*in* proceedings of the of the 2nd Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Environmental Impacts of Karst. P.- 15-23. Orlando FL. USA.
- Nunes, B.T.A., Ramos, V.L.S., Dilillinger, A.M.S., -1981-** Geomorfologia da folha Salvador. In: Projeto Radambrasil. Folha SD 24 (Salvador). Min. das Minas e Energia. Secretaria Geral. Rio de Janeiro.
- Ogden, A.E. -1984-** Methods for describing and predicting the occurrence of sinkholes. *in* proceedings of the 1st Multidisciplinary Conference on Sinkholes. P.-177-182. Orlando FL. USA.
- Ogden, A.E., Curry W.A., Cummings -1989-** Morphometric analysis of sinkholes and caves in Tennessee comparing the Eastern Highland Rim and Valley and Ridge physiographic provinces. *In* proceedings of the 3rd Multidisciplinary Conference on Sinkholes. P.-135-142. St Petersburg Beach, FL. USA.
- Palmer, A.N. -1975-** The origin of maze caves. National Speleological Society Bulletin v.37. P.-56-76.
- Palmer, A.N.-1991-** Origin and morfphology of limestones caves. Geological Society of America Bulletin, 103, p.-1-21.
- Parate, N.S. -1984-** Sinkholes and subsidence damage and protective measures. *In* proceedings of the 1st Multidisciplinary Conference on Sinkholes. P.-379-383. Orlando FL. USA.
- Ponçano, W.L.; Almeida, F.F.M. de -1993-** Superfícies erosivas nos planaltos cristalinos do leste paulista e adjacências: uma revisão. Cadernos do I.G.-Unicamp, v. 3, n-l.

Projeto Radambrasil. Folha SD 24 (Salvador). Min. das Minas e Energia. Secretaria Geral -1981. Rio de Janeiro.

Ross, J.L.S. -1991- O relevo brasileiro, as superfícies de aplainamento e os níveis morfológicos. Revista do Departamento de Geografia, USP, N.-5, p.7-24. São Paulo.

Silva, A.B. da -1984- Análise morfoestrutural e sua aplicação no estudo do aquífero cárstico da Jaíba, norte de Minas Gerais. São Paulo, 192 p. (Tese de doutoramento) Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Souza, S.L.; Brito,P.C.R.; Silva,R.W.S. -1993- Estratigrafia, sedimentologia e recursos minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia. Integração e síntese por Augusto José Pedreira. CBPM, Salvador. Vol.2.

Sowers, G.F. -1984- Correction and protection in limestone terrane. *In* proceedings of the 1st Multidisciplinary Conference on Sinkholes. P.-373-378. Orlando FL. USA.

Williams, P.W. -1972- The analysis of spatial characteristics of karst terrains. In: **CHORLEY, R.J.** (ed.) Spatial Analysis in Geomorphology. New York, Harper and Row, p.-136-166.

NÃO CIRCULA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

Mapa de Fenômenos Cársticos Bacia do Rio Una Itaetê - BA

Anexo I

(Apoio FAPESP Proc.: 96/2886-9)

Elaborado a partir das fotografias aéreas (1:60.000)
Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul
nºs de 06667 a 06677, de 06715 a 06719 e de 06687 a 06697

Legenda:

- Rios
- Drenagens Intermitentes
- Cristas
- Escarpas
- Depressão Cárstica de Perfil Suave
- Depressão Cárstica de Perfil Escarpado
- Depressão Cárstica de Perfil Misto
- Ponto de Absorção
- Surgência Cárstica
- Rotas de Fluxo de Água Subterrânea
- Estradas
- Cidades

Litologias:

- Rochas Carbonáticas da Formação Salitre (Proterozóico Superior)
- Metarenitos e Diamictitos da Formação Bebedouro (Proterozóico Superior)
- Rochas Siliciclásticas do Grupo Chapada Diamantina (Proterozóico Médio)
- Complexo Metamórfico do Embasamento Arqueano

Localização das Cavernas:

- Ω C1 - Caverna Baixão
- Ω C2 - Abismo da Estrada
- Ω C3 - Caverna Pedro Gomes
- Ω C4 - Caverna Faz. Natal
- Ω C5 - Caverna Rio Negro I
- Ω C6 - Caverna Poço Encantado
- Ω C7 - Caverna Lapa do Bode
- Ω C8 - Caverna Lagoa Preta
- Ω C9 - Caverna Velho Mulungu
- Ω C10 - Caverna Faz. Sta. Clara I
- Ω C11 - Caverna Faz. Sta. Clara II
- Ω C12 - Abismo do Sr. Ireno
- Ω C13 - Caverna Morro da Arara

Perfil Geológico

270,000

8578,500

287,500

8560,500

8545,500

254

8530

Escala:
0 1200 2400m

NÃO CIRCULA

Caverna Lapa do Bode

Mapa Geoespeleológico

Anexo 2

Município: Itaetê, BA
Coordenadas da entrada: 8569,37 N
276,08 E

Equipe de topografia: Carlos Henrique Grohmann de Carvalho,
Reinaldo M. Tavares da Silva, Renato Gaban Lima, Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

NÃO CIRCULA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

NÃO CIRCULA

NÃO CIRCULA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

NÃO CIRCULA

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Sedimentos Arenosos
- Sedimentos Argilosos
- Escorrimento de Calcita
- Rocha Calcária
- Nível d'água
- Fraturas
- Acamamento
- Estalactite
- Estalactite e Estalagmite

Caverna Lagoa Preta

Mapa Geoespeleológico

Anexo 3

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8566,86 N
282,75 E

Equipe de topografia: Fernando Laureano, Ivo Karmann,
Murilo Valle, Rafael Hernandez e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1996 -

NÃO CIRCULA

NÃO CIRCUL

Legenda:

- Desnível Abrupto
- Curvas de Nível
- Blocos Abatidos
- Escorrimento de Calcita
- Rocha Calcária
- Fraturas
- Acamamento
- Estalactite
- Estalagmite
- Colunas
- Pareda Externa
- Depósito de Guano
- Galeria Inferior
- Piso Estalagmítico

NÃO CIRCULA

Caverna Faz. Santa Clara I

Mapa Geoespeleológico

Anexo 4

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8569,01 N
276,88 E

Equipe de topografia: Reinaldo M. Tavares da Silva,
Renato Gaban Lima e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

10 C. 1 A

Caverna Morro da Arara

Mapa Geoespeleológico

Anexo 5

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8571,53 N

280,68 E

Equipe de Topografia: Reinaldo M. Tavares da Silva,

Renato Gaban Lima, e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)

Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina

Mestrando: Ricardo Fraga

Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

Caverna Baixão

Mapa Geoespeleológico

Anexo 6

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8547 N
275 E

Equipe de topografia: Ivo Karmann, José Antonio Ferrari, Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1995 -

NAO CIRCULA

NAO CIRCULA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
— BIBLIOTECA —

Caverna Poço Encantado

Mapa Geoespeleológico

Modificado a partir da base elaborada pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas
Anexo 7

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8567,96 N
271,64E

Equipe de topografia: G. Abio, L. S., L.E. Sanches, E. Trajano (parte aérea);
A.S. Auler, A. Boller, L.F. Mendes, E.L. Rubbioli (parte subaquática).

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1993 -

NÃO CIRCULA

0 10 20m

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Sedimentos Arenosos
- Escorrimento de Calcita
- Nível d'água
- Fraturas
- Acamamento
- Parede Externa

31m
0

42m
0

NÃO CIRCULA

Caverna Fazenda Natal

Mapa Geoespeleológico

Anexo 8

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8562,25 N
273,29 E

Equipe de topografia: Fernando Laureano, Ivo Karmann,
Murilo Valle, Rafael Hernandez e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1996 -

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -
NÃO CIRCULA

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Sedimentos
- Jangadas
- Colunas
- Escorrimento de Calcita
- Rocha Calcária
- Nível d'água
- Fraturas
- Acamamento

Caverna Faz. Santa Clara II

Mapa Geoespeleológico

Anexo 9

Município: Itaetê, BA
Coordenadas da entrada: 8569,01 N
276,88 E

Equipe de topografia: Reinaldo M. Tavares da Silva,
Renato Gaban Lima e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

72578
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
BIBLIOTECA

Caverna Pedro Gomes

Croquis

Anexo 10

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8558,94 N
275,69 E

Desenho: Ivo Karmann e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina

Mestrando: Ricardo Fraga

Orientador: Ivo Karmann

- 1996 -

Escala Aproximada:

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Sedimentos Areno-siltosos
- Fraturas
- Parede Externa (Inferida)

Caverna Rio Negro I

Croquis

Anexo 11

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8565,72 N
273,10 E

Desenho: Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1996 -

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Nível d'água
- Sedimentos Argilo-Siltosos
- Parede Externa (Inferida)
- Parede (Inferida)

Escala aproximada:

NÃO CIRCULA

Caverna Velho Mulungu

Croquis

Anexo 12

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8557,98 N
285,60 E

Desenho: Ivo Karmann e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina

Mestrando: Ricardo Fraga

Orientador: Ivo Karmann

- 1995 -

NÃO CIRCULA

Abismo da Estrada

Croquis

Anexo 13

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8558,38 N
273,28 E

Desenho: Carlos Henrique Grohmann de Carvalho
Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

Legenda:

Declives

Blocos Abatidos

Sedimentos Argilosos

Rocha Calcárea

Nível d'água

Escala Aproximada:

T2578

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
BIBLIOTECA

Abismo do Sr. Ireno

Croquis

Anexo 14

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8558,22 N
276,98 E

Desenho: Carlos Henrique Grohmann de Carvalho

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina

Mestrando: Ricardo Fraga

Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

Legenda:

Declives Suaves
Declives Abruptos
Blocos Abatidos

Escala Aproximada:
0 4 8m

MAO CIRCULA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

Mapa de Fenômenos Cársticos Bacia do Rio Una Itaetê - BA

Anexo I

(Apoio FAPESP Proc.: 96/2886-9)

Elaborado a partir das fotografias aéreas (1:60.000)
Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul
nºs de 06667 a 06677, de 06715 a 06719 e de 06687 a 06697

Legenda:

- Rios
- Drenagens Intermitentes
- Cristas
- Escarpas
- Depressão Cárstica de Perfil Suave
- Depressão Cárstica de Perfil Escarpado
- Depressão Cárstica de Perfil Misto
- Ponto de Absorção
- Surgência Cárstica
- Rotas de Fluxo de Água Subterrânea
- Estradas
- Cidades

Litologias:

- Rochas Carbonáticas da Formação Salitre (Proterozóico Superior)
- Metarenitos e Diamictitos da Formação Bebedouro (Proterozóico Superior)
- Rochas Siliciclásticas do Grupo Chapada Diamantina (Proterozóico Médio)
- Complexo Metamórfico do Embasamento Arqueano

Localização das Cavernas:

- Ω C1 - Caverna Baixão
- Ω C2 - Abismo da Estrada
- Ω C3 - Caverna Pedro Gomes
- Ω C4 - Caverna Faz. Natal
- Ω C5 - Caverna Rio Negro I
- Ω C6 - Caverna Poço Encantado
- Ω C7 - Caverna Lapa do Bode
- Ω C8 - Caverna Lagoa Preta
- Ω C9 - Caverna Velho Mulungu
- Ω C10 - Caverna Faz. Sta. Clara I
- Ω C11 - Caverna Faz. Sta. Clara II
- Ω C12 - Abismo do Sr. Ireno
- Ω C13 - Caverna Morro da Arara

Perfil Geológico

270,000

8578,500

287,500

8560,500

8545,500

254

8530

Escala:
0 1200 2400m

MAO CIRCULA

Caverna Lapa do Bode

Mapa Geoespeleológico

Anexo 2

Município: Itaetê, BA
Coordenadas da entrada: 8569,37 N
276,08 E

Equipe de topografia: Carlos Henrique Grohmann de Carvalho,
Reinaldo M. Tavares da Silva, Renato Gaban Lima, Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

NÃO CIRCULA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

NÃO CIRCULA

NÃO CIRCULA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

Escala
0 2 4 6 8 10m

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Sedimentos Arenosos
- Sedimentos Argilosos
- Escorrimento de Calcita
- Rocha Calcária
- Nível d'água
- Fraturas
- Acamamento
- Estalactite
- Estalactite e Estalagmite

Caverna Lagoa Preta

Mapa Geoespeleológico

Anexo 3

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8566,86 N
282,75 E

Equipe de topografia: Fernando Laureano, Ivo Karmann,
Murilo Valle, Rafael Hernandez e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1996 -

NÃO CIRCULA

NÃO CIRCUL

Legenda:

- Desnível Abrupto
- Curvas de Nível
- Blocos Abatidos
- Escorrimento de Calcita
- Rocha Calcária
- Fraturas
- Acamamento
- Estalactite
- Estalagmite
- Colunas
- Pareda Externa
- Depósito de Guano
- Galeria Inferior
- Piso Estalagmítico

NÃO CIRCULA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

Caverna Morro da Arara

Mapa Geoespeleológico

Anexo 5

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8571,53 N

280,68 E

Equipe de Topografia: Reinaldo M. Tavares da Silva,

Renato Gaban Lima, e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)

Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina

Mestrando: Ricardo Fraga

Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

Caverna Baixão

Mapa Geoespeleológico

Anexo 6

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8547 N
275 E

Equipe de topografia: Ivo Karmann, José Antonio Ferrari, Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1995 -

NAO CIRCULA

NAO CIRCULA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
— BIBLIOTECA —

Caverna Poço Encantado

Mapa Geoespeleológico

Modificado a partir da base elaborada pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas
Anexo 7

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8567,96 N
271,64E

Equipe de topografia: G. Abio, L. S., L.E. Sanches, E. Trajano (parte aérea);
A.S. Auler, A. Boller, L.F. Mendes, E.L. Rubbioli (parte subaquática).

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1993 -

NÃO CIRCULA

0 10 20m

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Sedimentos Arenosos
- Escorrimento de Calcita
- Nível d'água
- Fraturas
- Acamamento
- Parede Externa

NÃO CIRCULA

Caverna Fazenda Natal

Mapa Geoespeleológico

Anexo 8

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8562,25 N
273,29 E

Equipe de topografia: Fernando Laureano, Ivo Karmann,
Murilo Valle, Rafael Hernandez e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1996 -

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -

NÃO CIRCULA

Escala:
0 3 6m

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Sedimentos
- Jangadas
- Colunas
- Escorrimento de Calcita
- Rocha Calcária
- Nível d'água
- Fraturas
- Acamamento

Caverna Faz. Santa Clara II

Mapa Geoespeleológico

Anexo 9

Município: Itaetê, BA
Coordenadas da entrada: 8569,01 N
276,88 E

Equipe de topografia: Reinaldo M. Tavares da Silva,
Renato Gaban Lima e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

72578
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
BIBLIOTECA

Caverna Pedro Gomes

Croquis

Anexo 10

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8558,94 N
275,69 E

Desenho: Ivo Karmann e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina

Mestrando: Ricardo Fraga

Orientador: Ivo Karmann

- 1996 -

NÃO CIRCULA

Escala Aproximada:

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Sedimentos Areno-siltosos
- Fraturas
- Parede Externa (Inferida)

Caverna Rio Negro I

Croquis

Anexo 11

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8565,72 N
273,10 E

Desenho: Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1996 -

Legenda:

- Declives
- Blocos Abatidos
- Nível d'água
- Sedimentos Argilo-Siltosos
- Parede Externa (Inferida)
- Parede (Inferida)

Escala aproximada:

NÃO CIRCULA

Caverna Velho Mulungu

Croquis

Anexo 12

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8557,98 N
285,60 E

Desenho: Ivo Karmann e Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina

Mestrando: Ricardo Fraga

Orientador: Ivo Karmann

- 1995 -

NÃO CIRCULA

Abismo da Estrada

Croquis

Anexo 13

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8558,38 N
273,28 E

Desenho: Carlos Henrique Grohmann de Carvalho
Ricardo Fraga

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina
Mestrando: Ricardo Fraga
Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

Legenda:

Declives

Blocos Abatidos

Sedimentos Argilosos

Rocha Calcárea

Nível d'água

Escala Aproximada:

T2578

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
BIBLIOTECA

Abismo do Sr. Ireno

Croquis

Anexo 14

Município: Itaetê, BA

Coordenadas da entrada: 8558,22 N
276,98 E

Desenho: Carlos Henrique Grohmann de Carvalho

Apoio: FAPESP (proc. 96/2886-9)
Instituto de Geociências, USP

Projeto: Geomorfologia Cárstica e Geoespeleologia
da Bacia do Rio Una - Borda Leste da Chapada Diamantina

Mestrando: Ricardo Fraga

Orientador: Ivo Karmann

- 1997 -

Legenda:

Declives Suaves
Declives Abruptos
Blocos Abatidos

Escala Aproximada:
0 4 8m