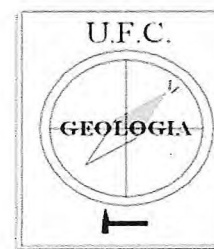




UFC

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



BENTO DE ALMEIDA RAMOS NETO

**ESPELEOMETRIA E CONTROLE ESTRUTURAL NA GÊNESE DAS FEIÇÕES
CÁRSTICAS SUPERFICIAIS DA CAVERNA CATEDRAL, MUNICÍPIO DE FELIPE
GUERRA - RN**

FORTALEZA

2012

BENTO DE ALMEIDA RAMOS NETO

**ESPELEOMETRIA E CONTROLE ESTRUTURAL NA GÊNESE DAS FEIÇÕES
CÁRSTICAS SUPERFICIAIS DA CAVERNA CATEDRAL, MUNICÍPIO DE FELIPE
GUERRA - RN**

Monografia de graduação submetida ao corpo docente do Departamento de Graduação em Geologia Da Universidade Federal do Ceará (UFC), como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Geólogo

Orientador: Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo

FORTALEZA

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R141e Ramos Neto, Bento de Almeida.
Espeleometria e controle estrutural na gênese das feições cársticas superficiais da Caverna Catedral,
Município de Felipe Guerra-RN / Bento de Almeida Ramos Neto. – 2012.
137 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Geologia, Fortaleza, 2012.
Orientação: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo.
1. Geologia. 2. Espeleometria. 3. Feições Cársticas - Controle estrutural. 4. Bacia Potiguar (RN) -
Mapeamento estrutural. I. Título.

CDD 551

BENTO DE ALMEIDA RAMOS NETO

**ESPELEOMETRIA E CONTROLE ESTRUTURAL NA GÊNESE DAS FEIÇÕES
CÁRSTICAS SUPERFICIAIS DA CAVERNA CATEDRAL, MUNICÍPIO DE FELIPE
GUERRA - RN**

Monografia de graduação submetida ao corpo docente do Departamento de Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Geólogo.

Aprovada em: 4 / 2 / 2011.

BANCA EXAMINADORA

Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo (orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. José de Araújo Nogueira Neto (coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Jefferson Lima dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Bel. Felipe Augusto Correia Monteiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Orientado:

Bento de Almeida Ramos Neto
Universidade Federal do Ceará-(UFC)

Ao meu Tio, pela oportunidade que ele não teve, que acabou proporcionando-me; e à Maria Cristina Francisca Diniz, minha adorada Mãe (*In Memoriam*), que sempre esteve ao meu lado, incentivando-me e iluminando meus caminhos. Onde ela estiver eu sei que estará olhando por mim.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui não foi nada fácil e, se hoje comemoro uma conquista, esta se deve àqueles que estiveram ao meu lado em todos os momentos; que fizeram de meus sonhos os seus e de meus objetivos sua própria luta. Quero compartilhar este, em especial, com vocês, pessoas tão especiais, que não pouparam esforços, para que o sorriso que, hoje, trago no rosto fosse possível. Foram muitas as vezes em que usei vocês como escudo, em que despejei minhas frustrações, mas o amor sempre foi maior, arrebatador e, no momento seguinte, vocês estavam lá, para me reerguer através do seu apoio incondicional. Nos momentos importantes, suportaram minha ausência; nos dias de fracasso, respeitaram meus sentimentos e enxugaram minhas lágrimas. Dizer a vocês obrigado não deve ser suficiente, para expressar meu sentimento de gratidão, pois o amor que sinto por vocês, nessa, hora fala mais altamente e não há outra forma de agradecer, a não ser, dizendo, agora e sempre, que AMO VOCÊS, meu tio Anacleto, tio Ismar, tia Maria, tio Hermógenes, tia Albertina, tio Evangelista, tia Gorrete, minha querida avó Francisca e toda a família Diniz.

À minha Mãe, uma figura serena, um laço de afeto, uma fonte de vida..., doces lembranças..., à tia Cleonice e tio João, que me adotaram como filho, por quem tenho como pais, pois, em todos esses anos, sempre estiveram presente comigo, na minha vida. Obrigado! ; à minha Nayandra, pela compreensão e pela paciência; a todos os professores, e em especial, ao professor César, pela amizade e dedicação prestada, pelo tempo concedido e pela valiosa sugestão ao trabalho; à Prof.^a Tereza Falcão, não tenho adjetivos suficientes, para qualificá-la e dizer a importância dela na minha formação; ao Prof.^o Nogueira, por ser o coorientador neste trabalho; ao Prof.^o Felipe Augusto Correia Monteiro, pela dedicação prestada, pelo apoio e pela sugestão ao trabalho; ao amigo e parceiro de campo Jefferson Lima, pelas horas dedicadas na realização deste trabalho; aos queridos funcionários do departamento, em especial, ao Leal e ao querido Valmir, pela ajuda nesses longos anos; à Universidade Federal do Ceará, pela realização deste trabalho; ao CECAV/IBAMA, pelas informações preciosas, em especial, a Jocy B. Cruz; aos colegas da turma de graduação, pelas reflexões, pelas críticas e pelas sugestões, e em especial à Débora e ao Junior, por me apoiar nos momentos em que sempre precisei, por, nas horas difíceis, estarem sempre presentes. Estes, sim, são amigos; aos colegas de infância, ao quais são conhecidos como “Los Perdidos”; a Deus, pela

força que me deu, para chegar até aqui e que me fará continuar; e aos que não mencionei, minhas sinceras desculpas.

“A vida é uma peça de teatro que não permite ensaios. Por isso, cante, chore, dance, ria e viva intensamente, antes que a cortina se feche e a peça termine sem aplausos.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

As atividades realizadas inerentes a este estudo compreendem o mapeamento estrutural, a descrição petrográfica, o mapa topográfico e a espeleometria da área de pesquisa na formação Jandaíra, pertencente à bacia Potiguar. O mapeamento estrutural das juntas corresponde aos seguintes parâmetros: comprimento, profundidade, espaçamento lateral entre as fendas (juntas), atitude, abertura das fraturas, geometria e preenchimento sedimentar. Os resultados mostram que as juntas em superfície ocorrem em duas direções preferenciais: E-W e NE-SW. Esse arranjo coincide com os sistemas de falhas e com as zonas de cisalhamentos da bacia Potiguar. As orientações das juntas internas da caverna coincidem com as da superfície em destaque (E-W). Isso indica, sobretudo, que as características do carste na formação Jandaíra apresentam uma influência na orientação e na extensão da caverna. Em lâminas petrográficas, foi possível diferenciar e classificar os níveis de formação da caverna de acordo com a sua composição e com a sua porosidade. Três foram as classes identificadas, sendo elas: “wackestone”, “paskstone” e “mudstone”, que diferenciam os níveis maciços dos cavernosos. Quanto à topografia e à espeleometria, gerou-se um mapa com informações de largura, de tamanho de condutos, de dimensão da caverna e de identificação dos espeleotemas.

ABSTRACT

The activities pertaining to this study include the structural mapping, petrography description, speleothems measurement and topographic mapping of the research area at the Jandaíra Formation which belongs to the Potiguar sedimentary basin. The structural map of the joints corresponds to the following parameters: length, depth, side spacing between the cracks, height, openings in the cracks, geometry and sedimentary filling. The results show that the joints happen mostly on two directions, East-West and Northeast –Southwest. This arrangement coincides to the faults system and the shear zones within the Potiguar Basin. The cave's intern joints orientations coincide to the ones occurred on the surface highlighted (E-W). These evidences indicate, overall, that Jandiara Formation karsts characteristics show an influence on the cave's orientation and extension. It was possible to distinguish and classify the caves formation levels on petrographic strips according to its composition and porosity. Three of them were identified. They are "wackstone", "Packstone" and "Mudstone". They are responsible for the distinction between the cave's massifs. Regarding to the topography and speleothems measurement a map was created containing the information of length, size of conducts, caves' dimension and speleothems identification.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Mapa de localização da área de pesquisa	25
FIGURA 2.1 - Distribuição climática do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2005).	30
FIGURA 2.2 - Mapa de relevo do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2005)	33
FIGURA 2.3 - Parte do relevo plano a suavemente ondulado da chapada do Apodi	34
FIGURA 3.1 – A. Arcabouço tectônico simplificado da bacia Potiguar (<i>onshore</i>) e sua localização geográfica. B. Perfil NW-SE do “graben” de Apodi (MATOS, 1992)	36
FIGURA 3.2 - Mapa geológico simplificado da bacia Potiguar (Dantas, 1998).....	36
FIGURA 3.3 - Carta estratigráfica da bacia Potiguar, parte I(Araripe & Feijó . 1994, modificada por Pessoa Neto, 2007)	38
FIGURA 3.4 - Carta estratigráfica da bacia Potiguar, parte II (Araripe & Feijó . 1994, modificada por Pessoa Neto, 2007).....	39
FIGURA 3.5 – Formação Pendência. (Bertani et al, 1987).....	40
FIGURA 3.6 - Abertura e evolução do Atlântico Sul: A. Início da separação continental a partir de uma extensa fratura N-S no supercontinente Gondwana. B. Pólo de rotação no Nordeste do Brasil. C. Pólo de rotação deslocado para Norte do Brasil. D. Predomínio de movimento transcorrente dextral. E. Evento compressivo de direção N-S (Fraçolin & Szatimari, 1987)	45
FIGURA 3.7 - Estágios “Sin-rift” II (A) e “Sin-rift” III (B) da Bacia Potiguar (Matos, 1992b).....	46
FIGURA 3.8 - Passagem do centro de espalhamento oceânico em frente à Bacia Potiguar, resultado de soerguimento, seguido de erosão (A) e início de estágio de resfriamento e subsidência da bacia Potiguar, após passagem de centro de espalhamento (B)- Cremonini & Karner, 1995.....	47
FIGURA 4.1- A. Bloco abatido com estratificação plano paralela e B.cruzada. Coordenadas: 647830/9384871-WGS-UTM-24S	48
FIGURA 4.2. A- Montagem da base fixa (estático) do GPS geodésio. B- GPS geodésio móvel (Stop In Go). Coordenadas: A-647779/93848190: B-647777/9384819-WGS-84-UTM-24S	49
FIGURA 4.3 - Esquema mostrando as quatro famílias de juntas sistemáticas (J1, J2, J3 e J4), que se cruzam	52

Figura 4.4 – A. Junta com extensão de 14m, abertura de 0,5m e profundidade de 1,8m. B. Interceptada por juntas mais jovens, com continuidade. Sua extensão é de 7,6m, abertura de 0,25m e profundidade de 1m. C. Cruzamento favorável à formação de dolinas, muito comum no local. Coordenadas: 647786/9384820 - WGS-84-UTM-24S	53
FIGURA 4.5 - Histograma de representação das direções das famílias de fraturas, num total de 101 medidas tomadas em campo: J1 (N-S), com 15.8%, sendo a menor concentração do total de fraturas; J2 (E-W), com 36.6%, é a maior concentração; J3 (NE-SW), com 27.8%, é a segunda maior concentração; e J4 (NW-SE), com 19.8%	54
FIGURA 4.6 - Diagrama de roseta	55
FIGURA 4.7 - Mapa de estruturas da superfície do lajedo plotado sobre o contorno da caverna Catedral	56
FIGURA 4.8 - A- Junta mais antiga J ₂ , com a extensão de 16 m, cruzada por junta mais jovem J ₁ , com extensão de 3m. B.Nível de dissolução paralelo ao plano de estratificação ou S0, levando ao deslocamento da superfície de erosão. Coordenadas: 647776/9384810 - WGS-84-UTM-24S	57
FIGURA 4.9 - Sistemas de juntas esquemático exemplificando tipos de terminações: em outras descontinuidades, em rocha, além dos limites do afloramento (ISRM – <i>International Society for Rock Mechanic</i> , 1983)	58
FIGURA 4.10 - Classes de comprimento segundo <i>ism</i> “ <i>International Society for Rock Mechanic</i> ” (1983)	59
FIGURA 4.11 - Gráfico de coluna de classificação da persistência das fraturas mostrando que estas apresentam tamanhos bastante variáveis. Destaque para a família J ₂ , com maior concentração na categoria muito grande	60
FIGURA 4.12 - De acordo com a classificação da ISRM, “ <i>International Society for Rock Mechanic</i> ” (1983), ocorrem na área de estudo tanto juntas persistentes, com comprimento excedente aos limites de exposição da rocha, como não persistentes, com terminações em outras descontinuidades. Coordenadas: A - 647741/9384862 - B - 647783/9384864 - WGS-84-UTM-24S	60
FIGURA 4.13 - Levantamento sistemático das juntas pelo método da linha, através da medida das distâncias entre fraturas sucessivas de um mesmo conjunto ao longo de uma linha de dez metros de comprimento, perpendicular à direção de cada uma das quatro famílias identificadas – J1, J2, J3 e J4, medidas feitas com GPS Geodésico. Coordenadas: 647764/9384812- WGS-84-UTM-24S	61

FIGURA 4.14 – Classes de espaçamento médio segundo <i>isrm</i> , “ <i>International Society for Rock Mechanic</i> ”, 1983.....	62
FIGURA 4.15 - Gráfico de coluna mostrando o espaçamento médio “e” entre fraturas sucessivas de um mesmo conjunto	63
FIGURA 4.16 - A -Preenchimento representado pela recristalização de calcita, ocupando todo plano de fratura. Coordenadas: 647738/9384821- WGS-84-UTM-24S	64
FIGURA 4.17 - Classes de abertura segundo <i>Isrm</i> –“ <i>International Society For Rock Mechanic</i> ”, 1983	65
FIGURA 4.18 - Gráfico de coluna mostrando as classes de abertura encontradas na área, com maior concentração na categoria “extremamente largas” e “ cavernosa”	65
FIGURA 4.19 - Mecanismos pós-deformacionais que influenciaram a abertura das descontinuidades. Abatimentos de blocos com direções de A- N170/ 22NE e B- N170/10SW. Coordenadas: 647821/9384870- WGS-84-UTM-24S..	66
FIGURA 4.20 - Mecanismos pós-deformacionais representado por: A. Formação de lapíás evoluindo para sulcos. Coordenadas, 647735/9384892- WGS-84-UTM-24S. B. Dolina de dimensões métricas formando um importante sistema da caverna Catedral, Coordenadas: 647807/9384815- WGS-84-UTM-24	67
FIGURA 4.21 – Classes de profundidades segundo, <i>isrm</i> “ <i>International Society for Rock Mechanic</i> ”,1983.....	68
FIGURA 4.22 - Gráfico de coluna da profundidade das fraturas, com maior concentração na categoria média e, em segundo lugar, na categoria profunda, com destaque para as juntas J2 e J3	68
FIGURA 4.23 – A. Diagramas de rosetas mostrando a frequência acumulada das direções levantadas em superfície, com GPS Geodésico- B. No interior da caverna.	70
FIGURA 4.24 - Distribuição, em planta, das fraturas internas da caverna, medidas com trena e com bússola	71
FIGURA 5.1 - Diagrama triangula para classificação composicional de rochas carbonáticas de Folk (1959)	73
FIGURA 5.2 - Classificatório de rochas carbonáticas desenvolvido por Folk (1959), obtida em SUGUIO, 1980	75
FIGURA 5.3 - Microscópio de polarização por luz transmitida com seus principais elementos indicados	78
FIGURA 5.4 - Guia para a estimativa de porcentagem de uma rocha sedimentar. Compton, j.r.,(1962)	79

FIGURA 5.5 - Classificação para rochas carbonáticas proposta por Dunham (1962)	79
FIGURA 5.6 - Classificação para rochas carbonáticas proposta por Folk (1959 e1962) .	81
FIGURA 5.7 - Amostra 1, coletada à leste da fratura da entrada principal da caverna Catedral, nível maciço. Coordenada: 647854/9384873-WGS-84-UTM-24	83
FIGURA 5.8 - Amostra 1. A.Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%), com a rocha. B. Material bioclástico distribuídos uniformemente na rocha,grunulometria 1mm à 2,5mm	83
FIGURA 5.9 - Lâmina BE 01/ e Nx objetiva de 4x, 5mm. A.Pelóides. B. " <i>Quinqueloculina</i> " cf. sp, C. Fragmentos de Gastrópodes	83
FIGURA 5.10 - Lâmina BE 01/ e Nx objetiva de 4x.5mm. A.Foraminífero " <i>Discorbis</i> " cf. SP. B. Gastrópodes preenchido por material carbonático	83
FIGURA 5.11 - Lâmina BE 01/ e Nx objetiva de 4x,5mm. A. Pelóide . B. Fragmentos de Gastrópodes. C.Porosidade secundária do tipo intragrão. D. Molusco Gastropode juvenil ...	84
FIGURA 5.12- Lâmina BE 01/ e Nx objetiva de 10x,2,5mm. A.Pelóides, exibindo estruturas esféricas á elipsoidais. B.Matriz carbonática	84
FIGURA 5.13 - Amostra 2. Coletada à leste da fratura da entrada principal da caverna Catedral, nível maciço. Coordenada: 647854/9384873-WGS-84-UTM-24	85
FIGURA 5.14 - Amostra 2, A.Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%), com a rocha. B.Material bioclastico distribuídos uniformemente na rocha,grunulometria 1mm à 2mm	85
FIGURA 5.15 - Lâmina BE-02/ e Nx objetiva de 4x,5mm. A. Fratura preenchida por veio carbonatico com porosidade intragrã	85
FIGURA 5.16 - Lâmina BE-02/ e Nx objetiva de 4x,5mm. A.Bioclastos. B. Material micrítico	85
FIGURA 5.17 - Lâmina BE-02/ e Nx objetiva de 4x,5mm. A." <i>Quinqueloculina</i> " cf.sp em corte transversal. B. Bioclastos. C. " <i>Quinqueloculina</i> " cf. sp em corte lateral	86
FIGURA 5.18 - Lâmina BE-02/ e Nx objetiva de 10x,2,5mm . A.Pelóide apresentando dissolução com estruturas elipsoidal	86
FIGURA 5.19 - Amostra 3.Coletada próxima à entrada principal da caverna Catedral, nível maciço.Coordenada: 647802/9384866-WGS-84-UTM-24	87
FIGURA 5.20 - Amostra 3. A.Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%), com a rocha. B.Material bioclástico distribuídos uniformemente na rocha	87
FIGURA 5.21 - Lâmina BE-03/ e Nx objetiva de 10x,2,5mm. Nicóis cruzados. A. Constituída por uma matriz fina. B. " <i>Quinqueloculina</i> " sp	87

FIGURA 8.22 - Lâmina BE-03/ e Nx objetiva de 4x,5mm. Nicóis cruzados. A. Peloides com uma granulometria fina	87
FIGURA 5.23 - Lâmina BE-03/ e Nx objetiva de 10x,2,5mm. Nicóis cruzados. A. Fratura preenchida por carbonatos com porosidade intragrã	88
FIGURA 5.24 - Lâmina BE-03/ e Nx objetiva de 4x,5mm. Nicóis cruzados. A. Dismicritização do carbonato	88
FIGURA 5.25 - Amostra 4. Coletada na entrada da caverna Catedral, nível estratigráfico. Coordenada: 637826/9384865-WGS-84-UTM-24	89
FIGURA 5.26 - Amostra 4. A. Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%), com a rocha. B. Material bioclástico	89
FIGURA 5.27 - Lâmina BE-04/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. Nicóis cruzados. A. Gastrópode. B. Porosidade intergrã	89
FIGURA 5.28 - Lâmina BE-04/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Oolito. B. Fratura preenchida por produto da dissolução do calcário	89
FIGURA 5.29 - Lâmina BE-04/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Pelóides elipsoidais. B. Bioclastos	90
FIGURA 5.30 - Lâmina BE-04/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. “Pellets”, B. Material micrítico	90
FIGURA 5.31 - Amostra 5. Coletada próxima à estação 16A, dentro da caverna Catedral, nível cavernoso	91
FIGURA 5.32 - Amostra 5. A. Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%), com a rocha. B. 1 Local bastante intemperizado	91
FIGURA 5.33 - Lâmina BE-05/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Porosidade intergrã	91
FIGURA 5.34 - Lâmina BE-05/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Material micrítico	91
FIGURA 5.35 - Lâmina BE-05/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Fratura preenchida por material carbonático	92
FIGURA 5.36 – Lâmina BE-05/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Intraclastos representados por agregado de fragmentos líticos carbonáticos	92
FIGURA 5.37 - Desenho esquemático mostrando o comportamento dos aloquímicos no calcário, de acordo com a análise petrográfica.....	93
FIGURA 5.38 - Desenho esquemático mostrando o comportamento do calcário de acordo com a análise petrográfica. As rochas classificadas como “Packestone” são as que representam os níveis com certa porosidade, favorável ao desenvolvimento em superfície das feições	

carsticas e em subsuperfície ao início dos níveis cavernosos. “Mudstone” representa os níveis de maior porosidade, portanto favorável ao desenvolvimento da caverna Catedral. “Wackestone” representa o calcário maciço, que faz toda a sustentação da caverna	95
FIGURA 6.1 - Formas de carstificação das rochas carbonáticas, Decifrando a Terra (2009 - Edição 2)	97
FIGURA 6.2 - Dolina com aproximadamente 2m de diâmetro e 3,10m de profundidade. Coordenadas, 647807/9384815- WGS-84-UTM-24	98
FIGURA 6.3 – Lapiás. Coordenadas, 647825/9384850-WGS-84-UTM-24	98
FIGURA 6.4 - Localização de cavidades naturais mapeadas no município de Felipe Guerra em relação à área do projeto de pesquisa.	101
FIGURA 7.1 – A. Bússola Brunton com clinômetro, instrumento fundamental na topografia, destinando-se a determinar a orientação da visada (observação do ponto atual ao seguinte) em relação ao norte magnético. B. Trena de” nylon”, essencial nas medidas de curta distância. C. Trena à laser- leica disto D2, destinada à medida de distâncias maiores , locais de difícil acesso, distâncias entre estações e altura do teto. D. Modelo de estação utiliza	104
FIGURA 7.2 - Metodologia aplicada no levantamento topográfico da caverna: A. Leituras tomadas. B e C. Distribuição das estações	105
FIGURA 8.1 - A – Entrada principal da caverna Catedral, A _I . Descida vertical. B. Ravina da entrada, B _I . Fratura de orientação W-E (J2), próxima a uma árvore (Carafba). Coordenadas: 647802/9384866-WGS-84-UTM-24	107
FIGURA 8.2- A – Fratura interna da entrada principal, A _I . Direção W-E (J2). B. Dolina que dar acesso ao salão principal da caverna Catedral. Coordenadas: 647807/9384815- WGS-84-UTM-24	107
FIGURA 8.3 – A. Salão de entrada com bloco abatido por dissolução. B. Salão principal com espeleotemas	108
FIGURA 8.4 – A. Perfil esquemático E-W, mostrando a altura do salão de entrada. B. Salão principal	109
FIGURA 8.5 – A. Passagem alta. B. Passagem baixa	110
FIGURA 8.6 - A- Desnível negativo, A _I . Mergulhando 45°. B. Desnível positivo. B _I Mergulhando 40°	110
FIGURA 8.7 – A. Estalactites em forma de tubos cônicos que crescem lentamente, em direção ao chão. B – Estalactites com mais de 1 metro de tamanho bem próximo do chão	112

FIGURA 8.8 – A. Estalactites em forma de bola. B. Estalactites de formas e de tamanhos variados	112
FIGURA 8.9 - Estalagmites cilíndricas	113
FIGURA 8.10 – A. Estalagmites cilíndricas formadas em cima de um maciço estalagmítico. B. Maciço estalagmítico, com cerca de 7m de largura por 5m de altura, formado por vários gotejamentos diferentes	114
FIGURA 8.11 - Coluna formada por uma estalactite cônica e por uma estalagmite em forma de bola	114
FIGURA 8.12 - Coluna formada por uma estalactite cônica e por uma estalagmite cilíndrica.....	115
FIGURA 8.13 - Cortina formando coluna	116
FIGURA 8.14 – A. Estalagmite quebrada por rebaixamento do chão. B. Coluna que se assemelha um elefante. C. Escorrimento de calcita formando uma rampa positiva de (C _I) 40°. D. fenda com orientação (D _I) W-E (J2).E . Maioria dos espeleotemas concentrado em um só lugar. (E _I) Cortina com direção W-E (J2), (E _{II}) coluna. (E _{III}) Estalagmite	117
FIGURA 8.15 - A .Árvore na entrada da caverna Catedral. Coordenadas: 647802/9384866-WGS-84-UTM-24	118
FIGURA 8.16 - Fauna representada por animais Troglóxenos (utilizam a caverna como abrigo, com reprodução ou como alimentação. Ex.: A.Morcegos. B Sapos)	119
FIGURA 8.17 - Fauna representada por animais Troglófilos, adaptados para viver toda sua vida dentro das cavernas. Ex.: Amblypygi	120
FIGURA 8.18 - Osso de um animal bem preservado	121
FIGURA 8.19 - Elevada porosidade da rocha permitindo a ação rápida da água, causando abatimento do teto no plano de estratificação	123
FIGURA 8.20 - Perfil esquemático E-W da gruta Catedral, ilustrando o processo de dissolução do calcário.....	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 - Coordenada dos vértices da área de pesquisa	24
TABELA 5.1 - Tabela mostrando a distribuição do aloquímicos por lâminas	93
TABELA 6.1 - Distribuição das cavidades por unidades da federação, em destaque RN, (CE-CAV, 2008)	99
TABELA 6.2 - Distribuição das cavidades topografadas pelo (LAGETEC/DEGEO e CE-CAV-RN/ ICMBIO, 2009), em destaque, a caverna Cathedral, objetivo de estudo pesquisa	100

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

1.1 – APRESENTAÇÃO:

A pesquisa envolve a análise geológica, estrutural e espeleológica de uma área localizada no município de Felipe Guerra, no Rio Grande do Norte, tendo, como objetivo principal, relacionar as estruturas rúpteis superficiais com a formação de feições cársticas e as cavidades naturais.

No município de Felipe Guerra, são encontradas as maiores cavidades subterrâneas do estado do Rio Grande do Norte, produzidas pela ação geológica da água e do tempo em rochas carbonáticas. Na mesma região, ainda existe intensa atividade mineira com exploração de óleo, de gás e de rochas ornamentais, colocando em risco o patrimônio espeleológico. O presente trabalho visa a obter informações geológicas das rochas calcárias fraturadas da área de estudo, bem como realizar o levantamento topográfico da caverna Catedral, com o objetivo de contribuir para a identificação das áreas de preservação e de interesse científico, bem como de estudar o controle das estruturas regionais na gênese da caverna.

1.2 – JUSTIFICATIVA:

Na área proposta, localizam-se algumas das maiores cavernas do estado do Rio Grande do Norte. A caverna Catedral possui uma diversidade de espeleotemas e de indicadores de atividades tectônicas importantes na formação de estruturas que podem influenciar no desenvolvimento de galerias e nos vazios em profundidades, servindo de caminho para a percolação e para o acúmulo de água na região. Este trabalho fornecerá dados estruturais e espeleológicos que contribuirão no entendimento de como ocorreu o processo de carstificação.

1.3 – OBJETIVOS:

1.3.1 - Objetivo Geral:

Caracterização geométrica das estruturas superficiais (fraturas, falhas, e dolinas) e das cavidades naturais subterrâneas existentes no Lajedo do Rosário, a nordeste de Felipe Guerra – RN, com o objetivo principal da análise da influência destas estruturas na gênese da caverna Catedral.

1.3.2 - Objetivos Específicos:

- Realizar o levantamento das estruturas rúpteis (descontinuidades) na superfície dos lajedos com (DGPS) e no interior da caverna com o auxílio de bússola, trena métrica e de trena a laser em escala de detalhe.
- Identificar e estabelecer as relações entre o controle das estruturas regionais na gênese da caverna em estudo.
- Criar uma “Base de Dados Georreferenciados das Cavidades Subterrâneas” encontradas.
- Descrever petrologicamente e classificar as rochas que contribuíram para a formação da caverna Catedral em diferentes níveis na superfície.

1.4 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo está localizada no município de Felipe Guerra, no estado do Rio Grande do Norte (FIGURA 1.1). O município de Felipe Guerra situa-se a oeste da bacia Potiguar, na microrregião da chapada do Apodi. Limita-se com os municípios de Governador Dix-sept Rosado a leste, Apodi a oeste, Caraúbas a sul. Abrange uma área total de 282 km², inseridas nas folhas Apodi (SB. 24-X-C-VI) e Quixeré (SB.24-X-C-III), editadas na escala 1:2.500 pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) .

O acesso à área pode ser feito pela CE 060, partindo de Fortaleza, através da BR 116 até o cruzamento com a BR 304, seguindo por esta até o município de Mossoró em seguida, o acesso é feito pela BR 405, finalizando o roteiro pela Rodovia Estadual RN 042, até chegar ao município de Felipe Guerra; e, deste, percorrendo-se cerca de 20 km em vias vicinais até a área de pesquisa (FIGURA 1.1). A área-alvo do estudo abrange 18.528 m², na qual foi realizado um mapeamento de estruturas, estando definido pelos seguintes vértices, segundo a coordenada UTM – WGS 84 (TABELA 01).

TABELA 1.1 - Coordenada dos vértices da área de pesquisa.

VÉRTICES	COORDENADAS UTM (m)	
	Norte	Leste
A	647.714	9.384.883
B	647.852	9.384.883
C	647.852	9.384.812
D	647.804	9.384.812
E	647.804	9.384.715
F	647.714	9.384.715

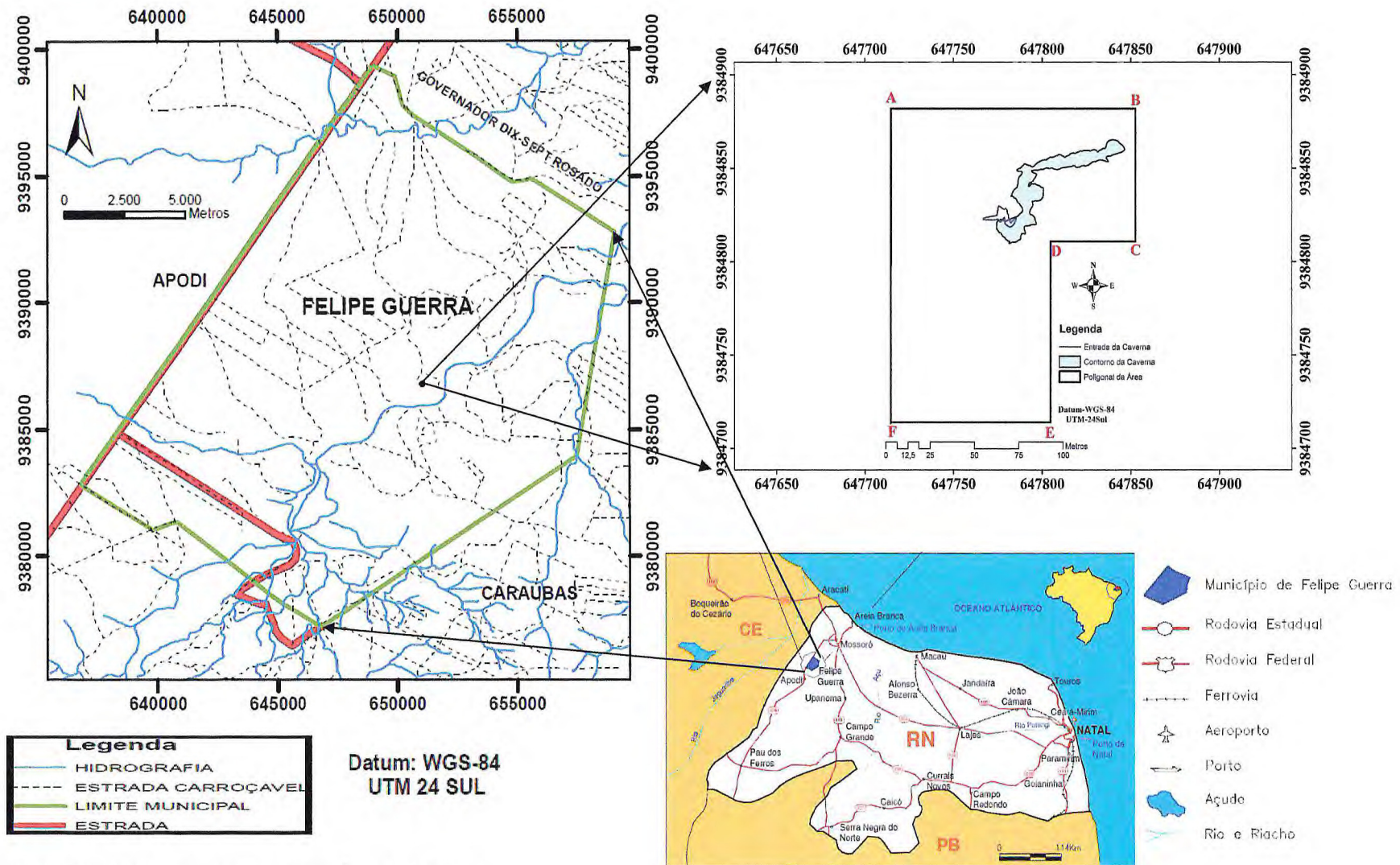


FIGURA 1.1 - Mapa de Localização da Área de Pesquisa

1.5 - METODOLOGIAS DO TRABALHO:

A metodologia a ser utilizada neste trabalho obedecerá às etapas descritas a seguir:

1.5.1 - Levantamento de Dados:

- Consulta bibliográfica dos trabalhos mais atuais e expressivos, juntamente com outros clássicos realizados na região sobre a geologia e sobre os aspectos fisiográficos.
- Diagnóstico e interpretação das imagens da área e dos mapas geológicos que englobam a área de estudo, focalizando feições estruturais e cársticas, tais como dolinas, sumidouros, fraturas e falhas.

1.5.2 - Etapa de Campo:

- O reconhecimento litológico, estrutural e estratigráfico com as principais estruturas rúpteis nas áreas de exposição do calcário Jandaíra, através de perfis geológicos.
- Coleta de amostras para a confecção de lâminas delgadas para a classificação dos litotipos.
- Obtenção de coordenadas (latitude e longitude) que possibilitem a representação e a localização em mapa das estruturas da caverna Catedral, com o auxílio de GPS.
- Levantamento das estruturas de interesse para a investigação das discontinuidades, cujos parâmetros mais importantes são: orientação espacial, persistência ou continuidade, espaçamento, abertura, profundidade e conectividade entre elas. Os equipamentos utilizados para a obtenção desses dados foram: a trena a

laser, o equipamento geodésico de precisão centimétrica DGPS e a trena de mão (5 m).

- Topografia da caverna Catedral, utilizando-se bússola adaptada com clinômetro, formulário de topografia, trena a laser e trenas de nylon. A distância lateral, a distância entre as estações e a altura do teto foram tiradas com a trena a laser.
- Aplicação do método da poligonal aberta para as galerias, com irradiação, a partir de uma base fixa nos salões mais extensos, em um grau de precisão não inferior a 3C- UIS. As orientações das galerias e a distância entre as bases topográficas e as paredes da gruta foram desenhadas em cróqui esquemático, durante o levantamento topográfico e, posteriormente, repassadas em escala adequada para o meio digital, utilizando-se o Software Auto CAD.

1.5.3 - Etapa de Laboratório

- Tratamento estatístico das estruturas rúpteis cartografadas em campo, utilizando-se diagramas de frequência e de projeção esférica.
- Confeção de lâminas delgadas para a análise, com o intuito de caracterizar as associações minerais presentes nas diferentes camadas e fácies do calcário Jandaíra.
- Tratamento dos dados topográficos da caverna Catedral, repassando para o meio digital em escala apropriada, utilizando-se o Software CAD e o Software Cavex, específicos para modelagem de cavernas.

CAPITULO II

ASPECTOS FISIOGRAFICOS E GEOMORFOLÓGICOS AMBIENTAIS

2.1 - CLIMA:

A área pesquisada apresenta um clima semi-árido com irregularidades nas precipitações, decorrentes da má distribuição do regime das chuvas (FIGURA 2.1). Apresenta umidade relativa média anual de 68%, com, apenas, dois tipos de estações: uma seca, durante os meses de julho a dezembro; e outra chuvosa, nos meses de janeiro a maio. As precipitações variam em média de 600 mm a 750 mm anuais, com máximas pluviométricas em março e em abril. As temperaturas oscilam entre 23°C (média das mínimas) e 29° C(média das máximas), com média anual em torno de 26° C (IDEMA, 2005).

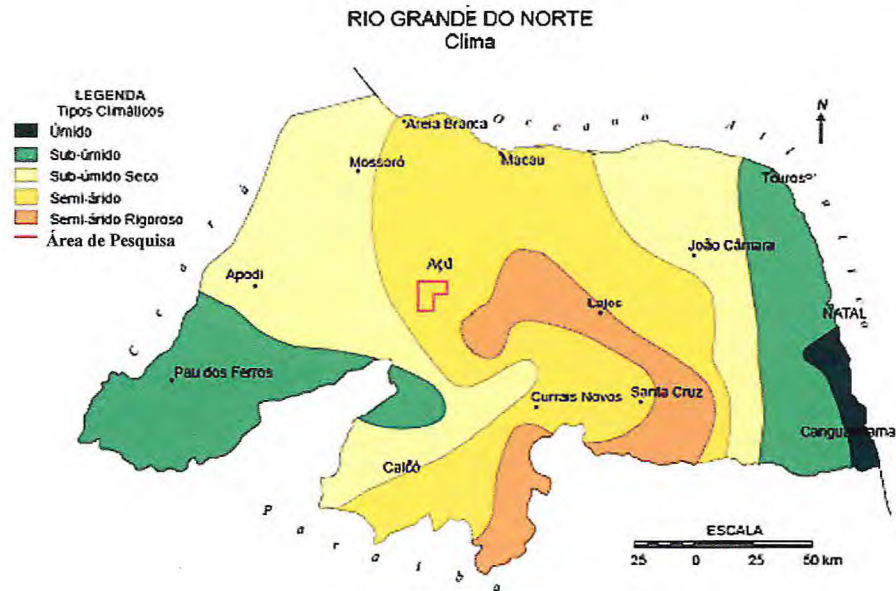


FIGURA 2.1 – Distribuição climática do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2005).

2.2 - VEGETAÇÃO:

Na formação vegetal, surgem dois tipos predominantes:

- A vegetação de caatinga abrange todo o contexto do semi-árido, classificada em caatinga arbustivo-arbórea aberta, em caatinga arbustivo-arbórea fechada e em caatinga arbórea fechada. As plantas mais representativas da caatinga são: o Mandacaru, a Catingueira, a Aroeira, os Angicos e a Imbu-rana.
- A vegetação de carnaubal predominante é a palmeira ou a carnaúba. Os carnaubais são espaçados e habitam os ambientes de solos argilosos, aluviões e as margens de rios, com capacidade de suportar lugares alagados e com elevados teores de salinidade (IDEMA, 2005).

2.3 - SOLOS:

Segundo (IDEMA, 2005), os solos que ocorrem na região são classificados como: chernossolos e solos aluviais.

Os chernossolos, localizados na chapada do Apodi, são solos alcalinos rasos, moderados e imperfeitamente drenados, derivados do calcário. A marcante presença de fragmentos calcários constitui forte potencial de nutrientes para as plantas.

Os solos aluvionares são pouco desenvolvidos, originados de deposições recentes de natureza diversa. São medianamente profundos e encontram-se ao longo das margens do rio Apodi.

2.4 - HIDROGEOLOGIA:

2.4.1 - Águas Superficiais:

Felipe Guerra encontra-se, totalmente, inserido nos domínios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, que é o segundo rio de maior importância do estado. Possui nascente localizada na Serra de Luís Gomes, passa pelos municípios da chapada do Apodi e, depois de banhar a cidade de Mossoró, despeja suas águas no oceano Atlântico, entre os municípios de Grossos e de Areia Branca, onde estão situadas as Salineiras. Seus principais tributários são os rios: do Alazão, do Meio, do Abreu e Preto. Não existe na região açudes de grande porte, e todos os cursos d'água são intermitentes, entretanto podem ser citadas, como reservatórios de água, a barragem Mirador (685.000m³/comunitário) e a lagoa do Saco (CPRM, 2005).

2.4.2 - Águas Subterrâneas:

Segundo a CPRM (2005), o município de Felipe Guerra está inserido no domínio hidrogeológico intersticial e cárstico-fissural. O domínio intersticial é composto de rochas sedimentares da formação Açu e dos depósitos aluvionares. O domínio cárstico-fissural é constituído pelos calcários da formação Jandaíra, onde o aquífero Jandaíra apresenta água, geralmente salobra e composição química favorável a pequena irrigação. É, também, um aquífero livre ou confinado com vazões que variam até 30 m³/h, com média de 3 m³/h, e com poços com profundidade média em torno de 8m.

2.5 - ASPECTOS SÓCIO ECONÔMICOS:

Segundo o censo de 2010, o município de Felipe Guerra tem uma população total residente de 5.731 habitantes, com densidade demográfica de 19,72 hab/km². As principais atividades econômicas são: agropecuária, extração de petróleo e de gás natural, extrativismo e comércio. Em relação à infraestrutura, o município dispõe de hotéis, de pousadas, de agência bancária, de correios, de hospitais, de escolas de ensino municipal e estadual e é abastecido de água potável e de energia elétrica (IDEMA, 2005).

2.6 - GEOMORFOLOGIA:

Segundo o IDEMA (2005), as principais formas de relevo no domínio Rio Grande do Norte, são: planície costeira, planícies fluviais, tabuleiros costeiros, depressão sublitorânea, planalto da Borborema, depressão Sertaneja, chapada do Apodí e chapada da Serra Verde (FIGURA 2.2). A unidade geomorfológica de abrangência do presente trabalho corres-

ponde à chapada do Apodi. Segue-se uma breve descrição de suas características, bem como as formações calcárias presentes na área.

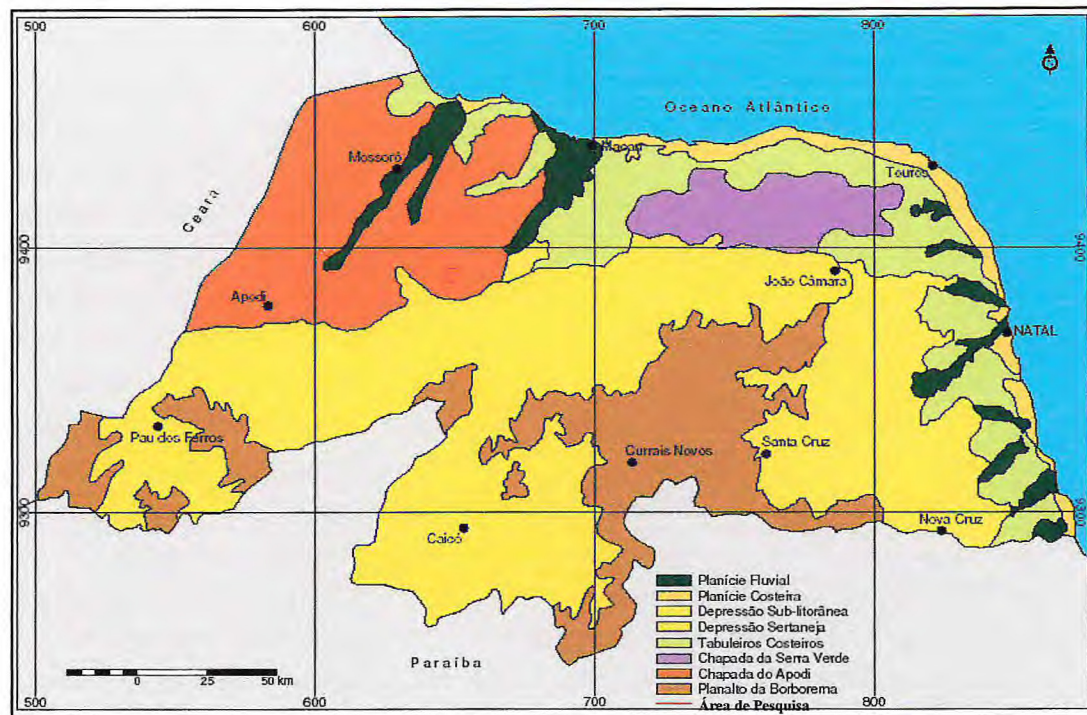


FIGURA 2.2 - Mapa de relevo do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2005)

Feição geomorfológica que se estende entre os cursos inferiores dos rios Jaguaribe e Açu, sendo atravessada pelo rio Apodi. Caracteriza-se por constituir relevo plano e suavemente ondulado, com cotas entre 10 m a 150 m de altitude, aumentando, gradativamente, do litoral para o interior, com maior elevação a oeste (FIGURA 2.3). Apresenta superfície bem conservada, capeada por calcários pertencentes à formação Jandaíra (Tutoriano-Campaniano). O topo é, levemente, rampeado para o Norte, conferindo ao relevo um aspecto cuestiforme, com drenagem não concentrada, devido à grande permeabilidade das rochas calcárias. Esse relevo monótono possui alguns vales abertos, de direção principal NNE-SSW, correspondendo a lineamentos estruturais do embasamento cristalino (vales dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas Açu) e vales de menor expressão, com orientação aproximada N-S. Esses vales de me-

nor expressão, às vezes, cruzam as estruturas regionais de maneira transversal (PROASNE, 2006).



FIGURA 2.3 - Parte do relevo plano a suavemente ondulado da chapada do Apodi.

CAPITULO III

SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL

3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS:

A área estudada encontra-se no contexto geológico da bacia Potiguar, que está localizada no estado do Rio Grande do Norte e que se instala na província Borborema, no extremo leste da margem equatorial brasileira (MATOS, 1992, FIGURA 3.1), sendo ela controlada por zonas de cisalhamento preexistentes do embasamento (ALMEIDA *ET AL.* 1977). Limita-se, a oeste, com o alto de Fortaleza (CE); ao sul com o embasamento cristalino; e, a norte, a nordeste e a leste, com a cota batimétrica de 200m, na plataforma continental. A província Borborema é composta por faixas de metassupracrustais, arrançadas sobre um embasamento gnáissico-migmatítico, cujo limite sul é a zona Cisalhamento de Patos, de direção geral E-W (JARDIM DE SÁ, 1995).

O estudo dessa bacia, em virtude da sua situação geográfica, especial entre as bacias da margem leste e equatorial, desempenha um papel importante no entendimento da evolução geotectônica do nordeste brasileiro. Além disso, o seu preenchimento representa um registro estratigráfico quase completo do Cretáceo Inferior ao Terciário Superior.

O domínio de abrangência da bacia Potiguar é de 48.000 km², englobando parte dos estados do Rio Grande do Norte e do Ceará. Trata-se de uma região de transição entre o continente e o oceano, com porção emersa de 21.500 km² e submersa de 26.500 km², estendendo-se até a isóbata de 2000 m. Desenvolveu-se sobre um substrato de rochas pré-cambrianas pertencentes à província Borborema, limitando-se, ao sul e a oeste, com rochas do embasamento cristalino; ao norte e a leste com o oceano Atlântico (DANTAS, 1998) (FIGURA 3.2).

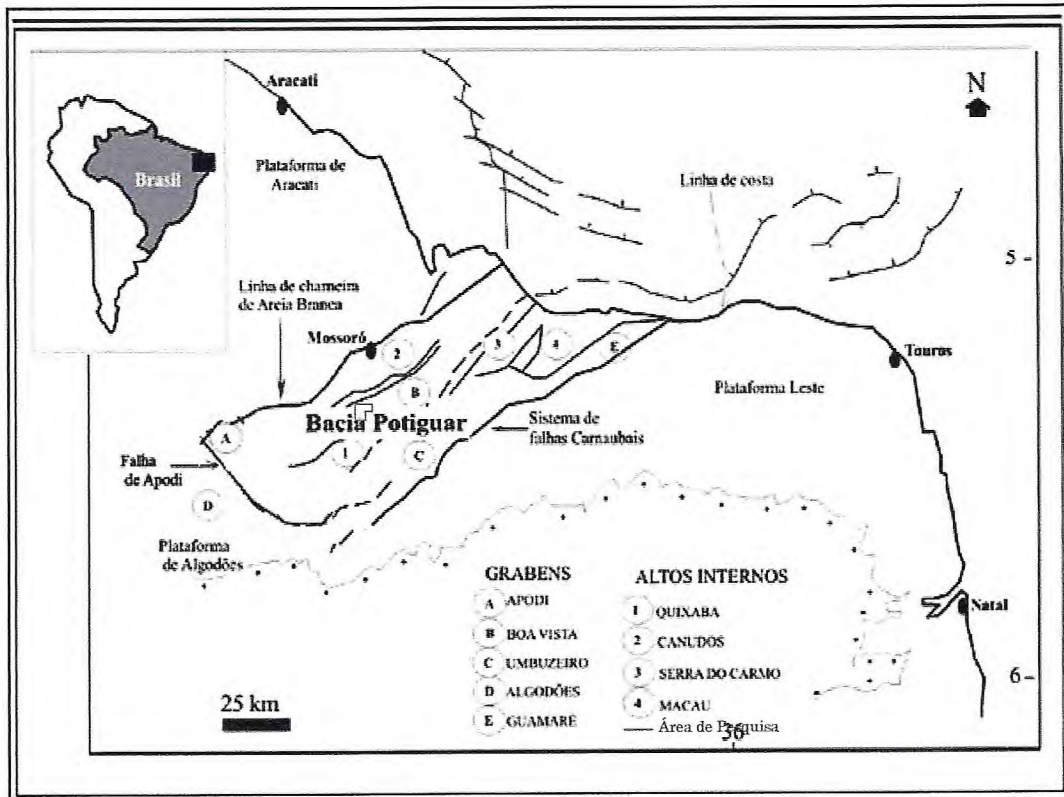


FIGURA 3.1 – A. Arcabouço tectônico simplificado da bacia Potiguar (*onshore*) e sua localização geográfica. B. Perfil NW-SE do “graben” de Apodi (MATOS, 1992).

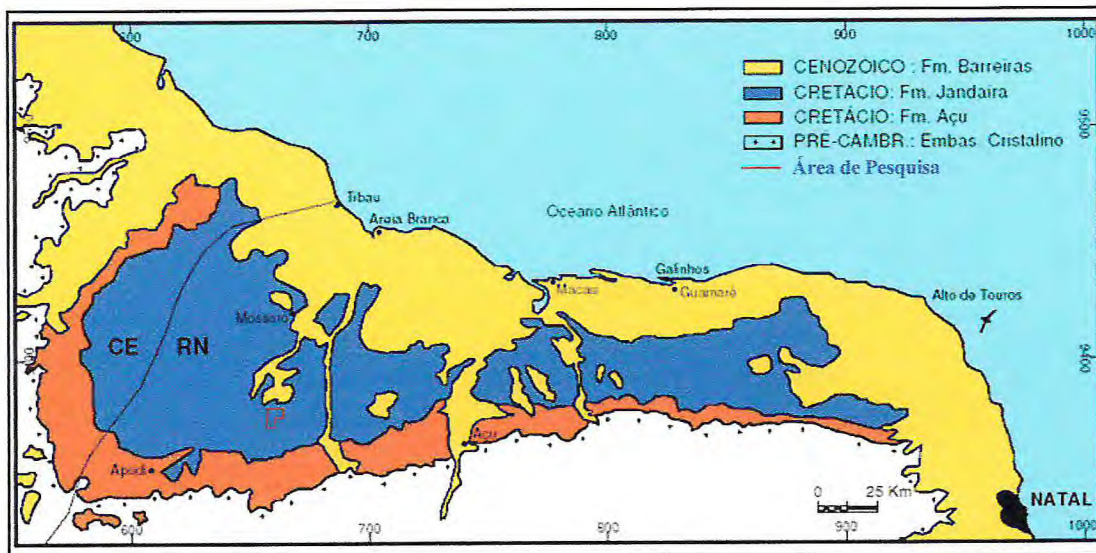


FIGURA 3.2 - Mapa geológico simplificado da bacia Potiguar (DANTAS, 1998)

3.2 - ARCABOUÇO ESTRATIGRÁFICO DA BACIA PONTIGUAR:

Segundo Araripe e Feijó (1994), o pacote sedimentar da bacia Potiguar é constituído por três grandes grupos, sendo estes distribuídos, da base ao topo, da seguinte forma: Areia Branca, Apodi e Agulha (FIGURA 3.3 e 3.4). O Grupo Areia Branca representa, com as formações Pendência e Pescada, Neocomianas, a fase rifte da bacia, que se trata de sedimentos de ambiente fluvial, respectivamente, lacustre, deltaico e leques aluvionais. Ao final da fase rifte, a formação Alagamar e Aptiana, de características também fluviais, deltaico e lagunar, depositaram-se sobre uma discordância angular, representando a fase de transição da bacia para um ambiente marinho de margem passiva. As formações Açú, Ponta do Mel, Quebradas e Jandaíra, do grupo Apodi, de idade Albaniana a Campaniana, constituem uma sequência transgressiva, que se inicia com sedimentos continentais clásticos, principalmente arenitos e pelitos, que gradam para sedimentos de plataforma rasa e carbonatos. A sequência termina com os folhelhos e com os carbonatos da formação Jandaíra, que afloram na bacia Potiguar, “*onshore*”. Na porção “*offshore*” da bacia, ocorrem, ainda, as formações Ubarana, Guamaré e Tibau do grupo Agulha (Campaniana a Terciária), uma sequência progradational composta por sedimentos siliciclásticos, por carbonatos, por folhelhos e por turbiditos.

A formação Pendência é sobreposta, discordantemente, ao embasamento cristalino e sotoposta, também em discordância angular, pela formação Alagamar (Bertani et al, 1987, FIGURA 3.5). É constituída por sedimentos de origem continental: conglomerados, arenitos e folhelhos aluvionares, flúvio deltaicos e lacustres, preenchendo, preferencialmente, os baixos estruturais. Della Fávera et al. (1992) propõem, para a formação Pendência, quatro sequências. Segundo os autores, as sequências 1 e 2 representam fases deposicionais de lago profundo; e as sequências 3 e 4, sistemas deltaicos de lago raso.

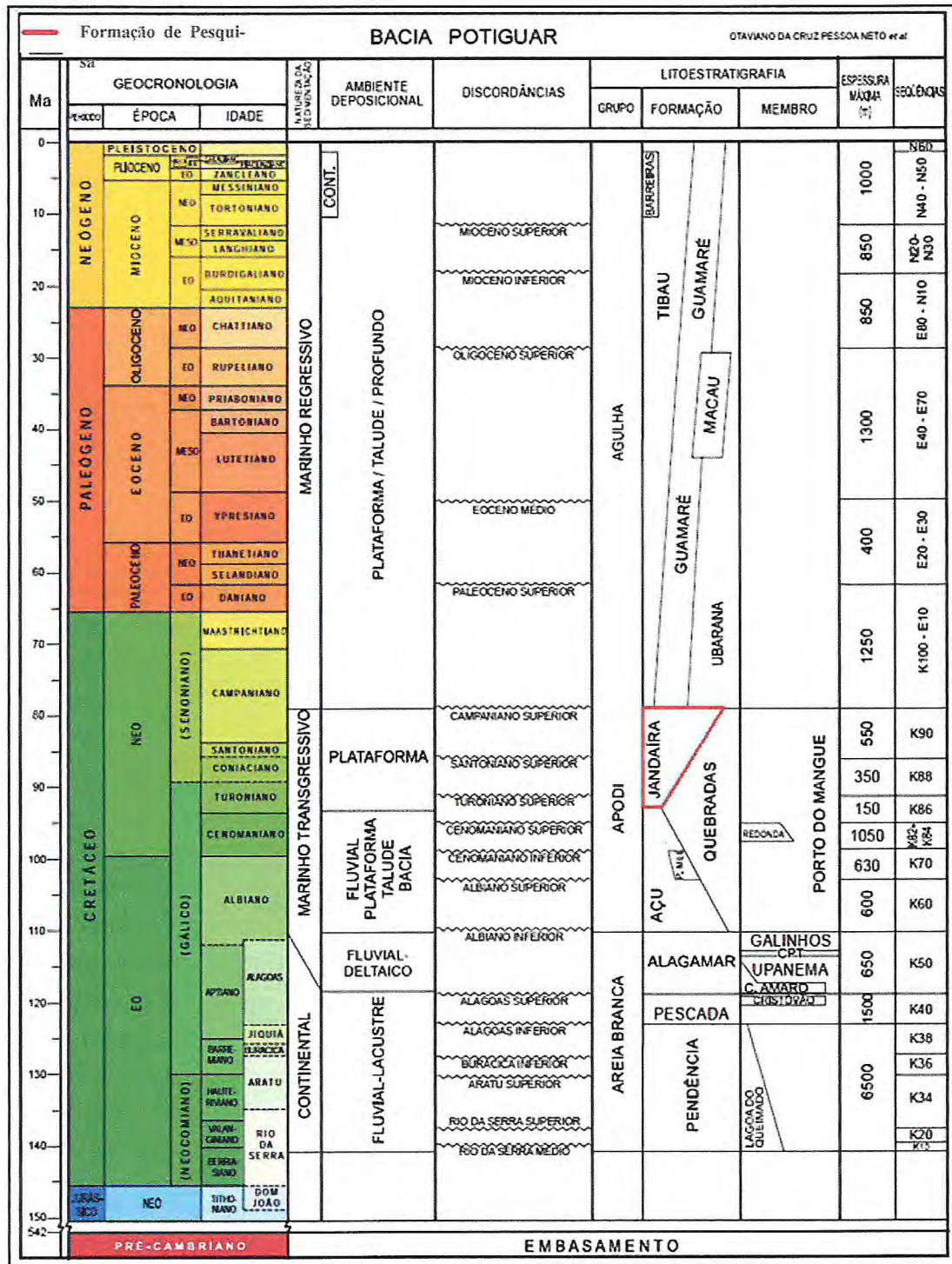


FIGURA 3.3 - Carta estratigráfica da bacia Potiguar, parte I (ARARIPE & FEIJÓ. 1994, modificada por PESSOA NETO, 2007)

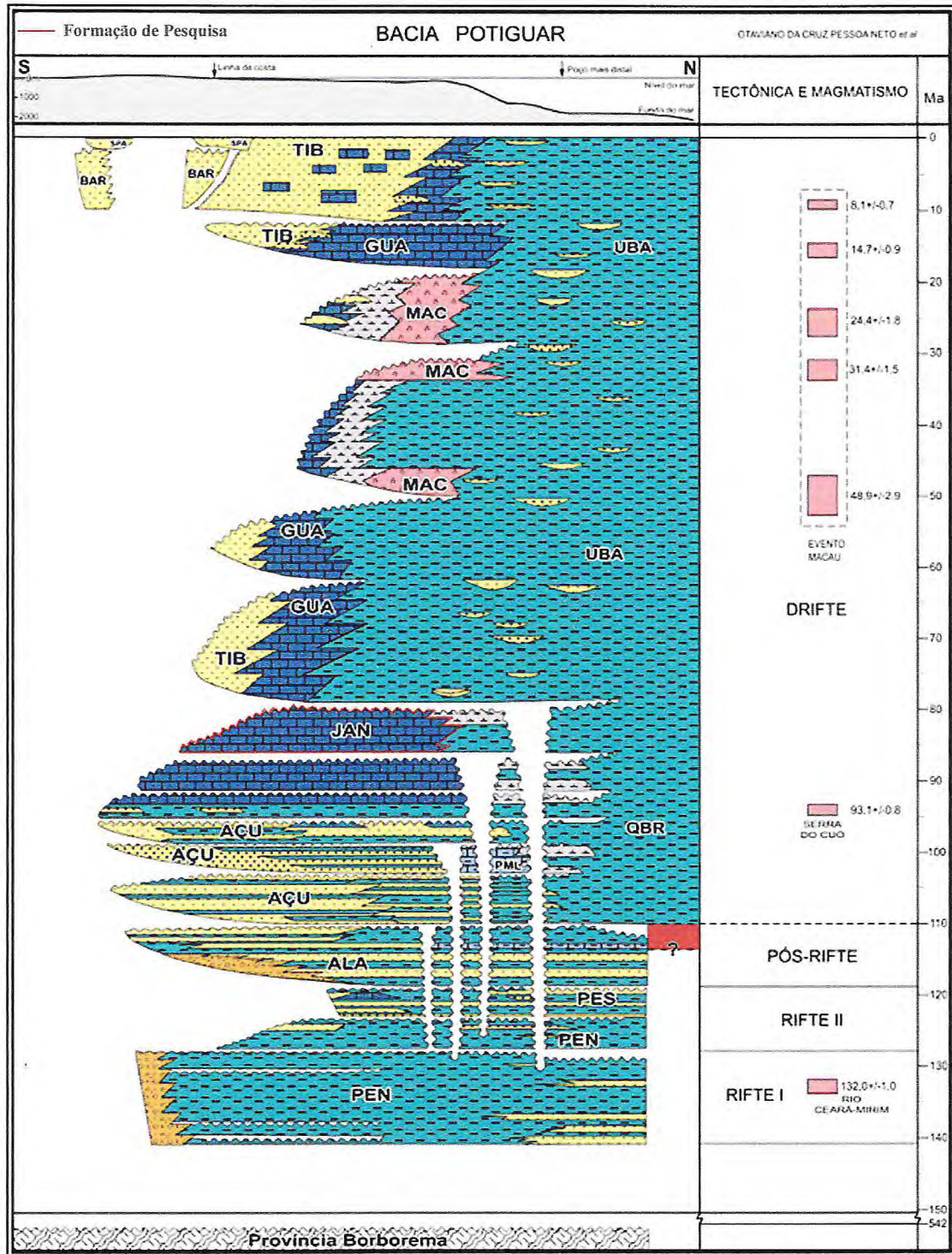


FIGURA 3.4 - Carta estratigráfica da bacia Potiguar, parte II (ARARIPE & FEIJÓ, 1994, modificada por PESSOA, 2007).

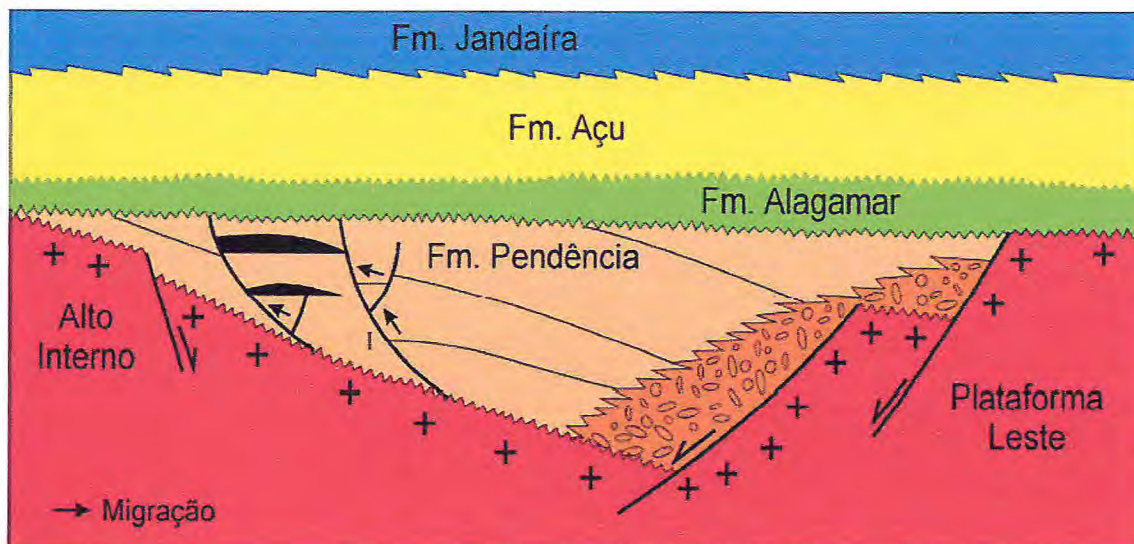


FIGURA 3.5 – Formação Pendência (Bertani et al, 1987).

3.3 - FASE “RIFT” (NEOCOMIANO/EOAPTIANO):

Caracteriza-se por um regime tectônico rúptil distensivo, com afinamento crustal e com formação de “*grabens*” assimétricos. Nesta fase, desenvolveram-se bacias tipo “*rift*” intracontinentais, controlados por grandes falhas normais e de transferência, definindo meio “*grabens*”. Neste período, foram gerados todos os sistemas de “*rifts*” cretáceos do nordeste brasileiro, também descrito como um período tectônico marcado por altas taxas de subsidência e de extensão litosférica.

Na bacia Potiguar, esta fase é representada por uma mega sequência continental, formada pelos sedimentos das formações Pendência e Pescada.

Ao longo dos grandes “*grabens*” formados, depositaram-se, discordantemente, sobre o embasamento cristalino, conglomerados de escarpa de falha, folhelhos lacustres e arenitos flúvio-deltaicos, que constituem a formação Pendência. Estima-se que estes sedimentos atinjam espessuras de até 6000m, tendo, como contato superior, a formação Pescada na porção submersa, representada por uma cunha clástica composta de arenitos intercalados a folhelhos e siltitos depositados em sistema de leques aluviais (DANTAS, 1998).

3.4 - FASE TRANSICIONAL (NEOAPTIANO/EOALBIANO):

Este estágio foi marcado por um período de relativa quietude tectônica, caracterizado por subsidência termal lenta e generalizada, devido ao início do processo de resfriamento da litosfera, previamente, distendida e aquecida na fase “*rift*”. Depositou-se a megasseqüência transicional, representada pelos sedimentos da formação Alagamar, subdividida nos membros Upanema (arenitos fluvio-deltaicos, intercalados a calcários e a folhelhos), camadas Ponta do Tubarão (folhelhos pretos e calciludito ostracoidal em sistema lagunar) e Galinhos (argilitos). A espessura desta formação é de, aproximadamente, 800 m, tendo, como contato discordante inferior, o embasamento cristalino e as formações Pendência e Pescada. Dantas (1998) sugere que a primeira incursão marinha na bacia tenha ocorrido nesta fase.

3.5 - FASE DE DERIVA CONTINENTAL (ALBIANO/HOLOCENO)

Corresponde a uma sedimentação marinha franca, controlada por um regime tectônico de subsidência termal e de compensação isostática típica de margem continental passiva (CHANG *ET AL*, 1992 *in* PESSOA NETO, 2003). Durante a deriva, o preenchimento foi marcado por duas fases: uma transgressiva e outra regressiva, que compreende à megasseqüência sedimentar marinha franca.

3.5.1 - Fase Transgressiva:

A fase transgressiva estende-se do Albiano ao Eocampaniano, formada por uma sedimentação de sistemas fluviais a ambiente marinho profundo, passando por uma plataforma carbonática. A deposição teve início com os sedimentos da formação Açú, composta de conglomerados, de arenitos e de siltitos de sistemas fluvial e deltáico-estuarino. Em direção ao mar, a formação Açú grada, lateralmente, para as formações Ponta do Mel e Ubarana.

A formação Ponta do Mel ocorre, apenas, na porção submersa da bacia, com espessura da ordem de 650m, sendo constituída por calcarenitos oncolíticos com bioclastos, por arenitos e por calciluditos intercalados a folhelhos.

A formação Ubarana, por sua vez, é formada por folhelhos, por siltitos, por calcilutitos, por arenitos, por diamictitos, por conglomerados e por olistólitos. Fazem parte, também, desta formação: pelitos intercalados a arenitos, que foram denominados de membro Quebrados e ocorrem sobrepostos à formação Ponta do Mel. O apogeu desta transgressão foi marcado pelo afogamento dos sistemas fluviais da formação Açú e pela implantação da ampla plataforma carbonática, designada de formação Jandaíra, sendo esta, composta por calcarenitos com bioclastos e com calciluditos, depositados em ambiente de planície de maré, de laguna rasa, plataforma e mar aberto, com espessura máxima de 650m. A formação Jandaíra repousa concordantemente sobre a formação Açú e do Membro Quebrados, apresentando contato superior com as formações Tibau, Guamaré e Ubarana, estando esta última interdigitada também, lateralmente (NOGUEIRA, 2004).

3.5.2 - Fase Regressiva:

A fase regressiva consiste em sistemas de leques costeiros e de bancos carbonáticos, instalados a partir do Neocampaniano, estendendo-se até o Holoceno. A deposição da sequência flúvio-marinha regressiva iniciou-se após forte evento erosivo, em resposta a um soerguimento causado por uma anomalia térmica: esta estaria associada à passagem de um centro de espalhamento da cadeia meso-oceânica na margem equatorial, em frente à bacia ou induzida, termicamente, pela presença de uma pluma mantélica. O registro sedimentar desta grande regressão na bacia se iniciou com a deposição da formação Tibau, constituída por arenitos grossos e por leques costeiros, com contatos gradacionais ou discordantes em suas porções superior e inferior. Esta sequência também envolveu a deposição da formação Guamaré, formada por calcarenitos e por calcilutitos de plataforma e de taludes carbonáticos, apresentando contatos laterais com as formações Tibau (em direção ao continente) e Ubarana (em direção ao mar). A sequência é finalizada por sedimentos do Grupo Barreiras, de idade

Terciária e por depósitos eólicos, aluvionares e “*beachrocks*”, de idade Quaternária (NOGUEIRA, 2004).

3.6 - MAGMATISMO:

Associados à evolução da bacia Potiguar ocorrem três eventos de vulcanismos. O primeiro evento magmático, conhecido como formação Rio Ceará Mirim (Jurássico à Cretáceo Inferior), está relacionado a gênese do “*rift*” na bacia. Tal magmatismo ocorre na forma de diques de diabásio toleíticos, com forte orientação E-W, na borda sul da bacia Potiguar, adjacente ao embasamento cristalino e apresentando idades entre 120 Ma e 140 Ma. Na porção centro-sul da bacia Potiguar, intercalados aos sedimentos da formação Açú, afloramentos de soleiras de diabásio, com tendência alcalina e de idade da ordem de $83 + 6$ Ma, caracterizam o evento magmático conhecido como Serra do Cuó (Santoniano a Campaniano). Outro evento magmático conhecido como formação Macau (Terciário) ocorre intercalado aos sedimentos das formações Ubarana, Guamaré e Tibau. É representado por derrames “*necks*” e “*plugs*” de olivinas-basalto afaníticos, diabásios e vulcânicas associadas, com pulsos datados de 45 Ma a 29 Ma. A espessura destes derrames atinge até 1.500 m em determinadas regiões, evidenciando sua grande magnitude (DANTAS, 1998).

3.7 - EVOLUÇÃO TECTÔNICA DA BACIA:

Muitos são os modelos geodinâmicos propostos por pesquisadores que tentam explicar a história evolutiva da bacia. Diversos estudos apontam um período de tempo que vai do Mesozóico ao Cenozóico

3.7.1 - Evolução Mesozóica:

Dois modelos que explicam a origem da bacia Potiguar no Cretácio são os mais apontados. Um deles refere-se ao proposto por Françolin & Szatmari (1987), que sugerem uma rotação horária do continente Sul-Americano em relação ao Africano, gerando compressão e distensão. Estes autores defendem a idéia de que, em meados do Jurássico Superior, o supercontinente Gondwana teria iniciado uma fragmentação ao sul, originando uma grande fratura, que se prolongou para norte, concomitantemente, a um movimento divergente E-W, formando um polo de rotação no NE brasileiro, ocasionando movimentos compressivos e distensivos. Após o rompimento de toda a crosta continental, houve a separação E-W entre a América do Sul e a África, gerando um cisalhamento lateral dextral, permitindo a entrada do mar (Figura 3.6). Fato este que causou a transgressão marinha, atingindo todas as bacias da margem equatorial brasileira (DANTAS, 1998). Por outro lado, em contraposição à primeira conjectura, Matos (1992b) sugere uma hipótese alternativa, baseada numa evolução, puramente, extensional de direções NW-SE e E-W, dividida em três estágios: “*sin-rift*” I, II e III.

Na fase “*sin-rift*” I iniciaram-se estágios distensivos, gerando extensas depressões, com formação de bacias rasas, a partir do seu preenchimento. A fase subsequente “*sin-rift*” II, desenvolveu “*rifts*” resultantes de extensões máximas (WNW-ESE), associadas a grandes fraturas na porção superior da crosta. E, finalmente, a fase “*sin-rift*” III corresponde à extensão propriamente dita, configurando a geometria final da margem leste da América do Sul, resultante da mudança dos esforços distensivos WNE-ESE (fase “*sin-rift*” II) para E-W (MATOS, 1992b, FIGURA 3.7). O mesmo autor também sugere que o “*Rift*” Potiguar iniciou-se no Neocomiano-Barresiano e não no Jurássico Superior, como sugerido por Françolin & Szatmari (1987).

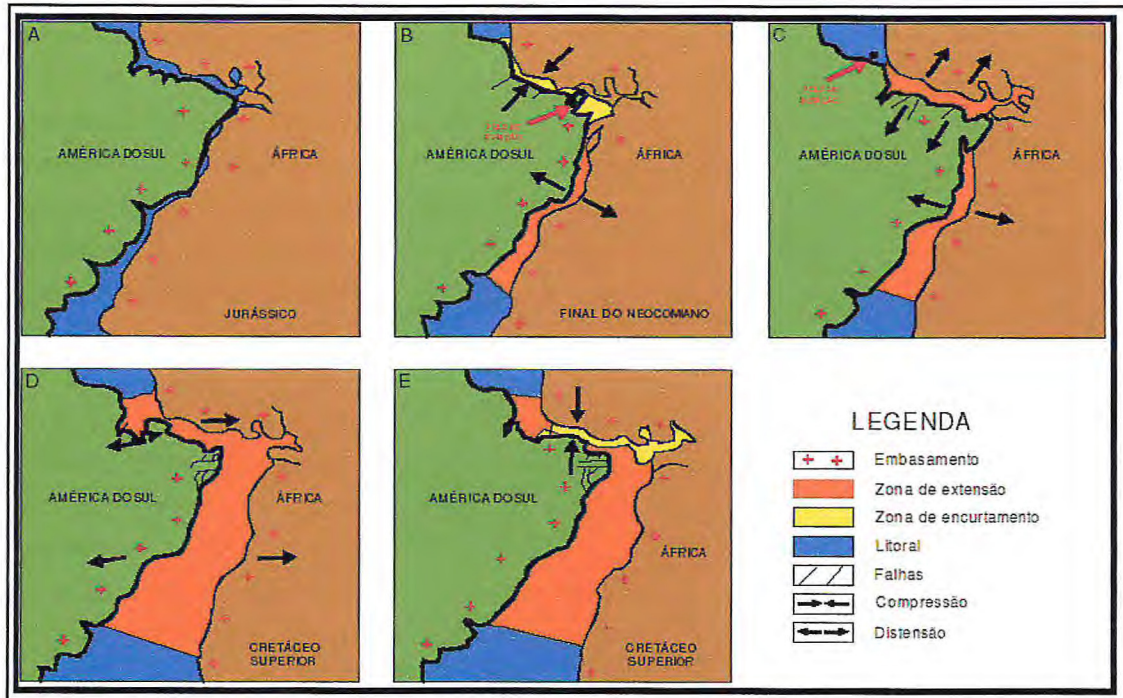


FIGURA 3.6 - Abertura e evolução do Atlântico Sul: A Início da separação continental, a partir de uma extensa fratura N-S no supercontinente Gondwana; B. Polo de rotação no nordeste do Brasil. C) pólo de rotação deslocado para o norte do Brasi.; D Predomínio de movimento transcorrente destal. E. Evento compressivo de direção N-S, Fraçolin & Szatimari, 1987.

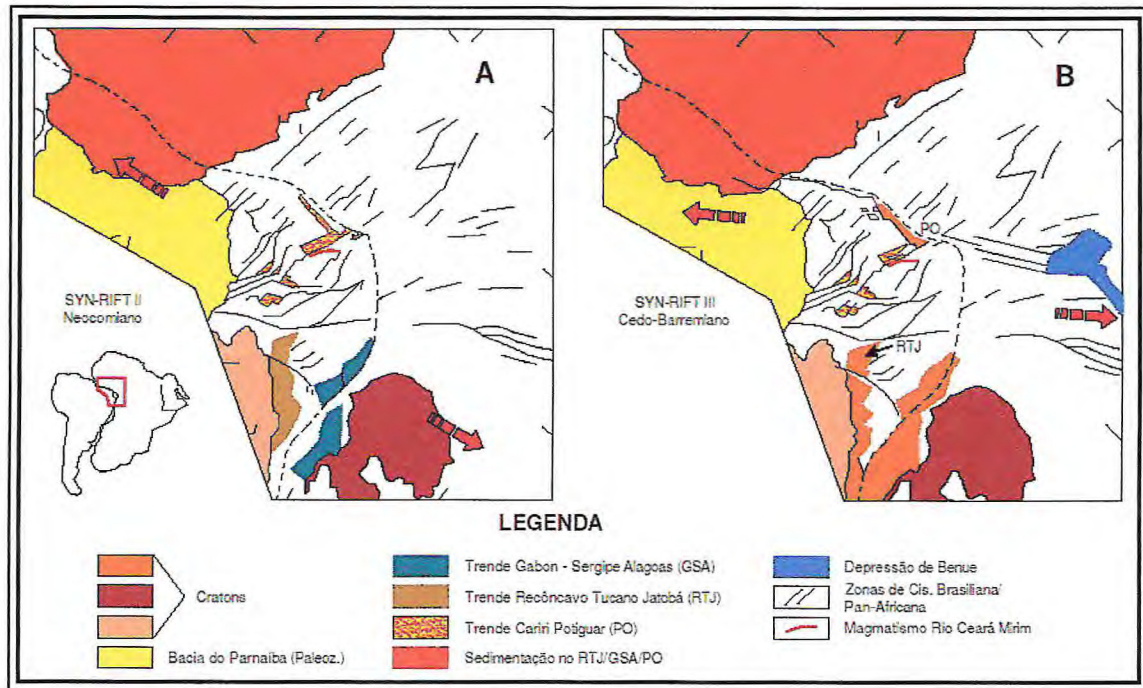


FIGURA 3.7 - Estágios “Sin-rift” II. (A). E “Sin-rift” III. (B) Da bacia Potiguar (MATOS, 1992b)

3.7.2 - Evolução Cenozóica:

A Era Cenozóica do nordeste brasileiro, apesar de muito estudada, ainda não tem sua evolução, completamente, definida. Um evento marcante ocorrido na passagem do Mesozóico para o Cenozóico na Bacia Potiguar refere-se aos diques de diabásio que compõem a formação Serra do Cuó, cujas consequências levaram ao soergimento de vários estratos da formação Jandaíra, provocando dissecação e erosão (DANTAS, 1998). A literatura também dá ênfase a uma discordância de alcance regional denominada pré-Ubarana, com idade Mesocampaniana. Sua origem deve-se à erosão causada por soergimento termal da crosta continental, na passagem de um centro de espalhamento oceânico ao longo da margem equatorial brasileira (CREMONINI & KARNER, 1995, FIGURA 3.8). Este evento forneceu energia suficiente capaz de reativar diversas falhas pré-existentes, além de causar intenso processo erosivo de ampla abrangência (ARARIPE & FEIJÓ, 1994).

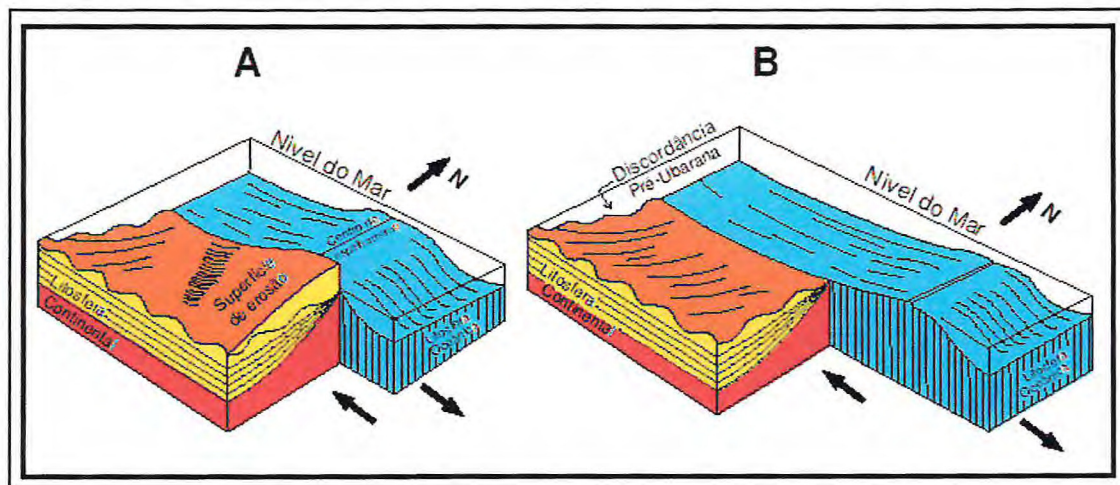


Figura 3.8 - Passagem do centro de espalhamento oceânico em frente à bacia Potiguar, resultado de soerguimento, seguido de erosão (A) e início de estágio de resfriamento e de subsidência da bacia Potiguar, após passagem de centro de espalhamento (B) -CREMONINI & KARNER, 1995.

Na Era Cenozóica não ocorreram tectonismos de grande expressividade como a formação dos “*rifts*” mesozoicos. No entanto, sua história é marcada por reativações de importantes falhas, como o sistema de falhas de Carnaubais e de Afonso Bezerra, além de dobramentos significativos e ascensão de magmas (SIAL, 1975).

Durante o Quaternário, eventos geológicos, têm despertado interesse de geocientistas voltados a estudos neotectônicos, principalmente no litoral do Rio Grande do Norte, onde a reativação da estruturação pré-existente estaria refletindo nos processos da sedimentação costeira (BEZERRA *ET AL*, 2001).

CAPITULO IV

GEOLOGIA ESTRUTURAL

4.1 – APRESENTAÇÃO:

Os calcários do Lajedo do Rosário encontram-se expostos na superfície com mais de 1km de comprimento, no sentido NW-SE, e com mais de 3 Km, na direção NE-SW, com estruturas variando entre centenas de metros a pouco centímetros. As feições estruturais encontradas na área de estudo são reflexo do comportamento geotectônico regional, resultado de eventos deformacionais rúpteis, característicos de regime crustal superficial. Em alguns pontos da superfície, podem-se observar estruturas sedimentares como estratificação plano paralela e cruzada (FIGURA 4.1).



FIGURA 4.1- A. Bloco abatido com estratificação plano paralela e B.Cruzada. Coordenadas: 647830/9384871-WGS-UTM-24S

A escolha do afloramento para a realização do mapeamento geológico e para a análise estrutural corresponde à área de abrangência das cavernas Catedral e Abissal. O método empregado no estudo envolveu a identificação de diversas famílias de fraturas. Para a caracterização das fraturas, foram tomadas, em campo, as atitudes dos planos, dos comprimentos, das profundidades e das aberturas. O levantamento dessas estruturas, na superfície do lajedo, foi realizado por meio de (DGPS), com o auxílio de bússola, de trena métrica e de trena a “laser”. O DGPS corresponde a uma base fixa (estática) que coleta sinais de transmissão de satélites, armazenando estas informações em sua memória interna; o móvel “stop in go”, que coleta sinais de transmissão de satélites, armazena os dados na memória interna, que deverão ser corrigidos com os dados da base fixa, por meio do “software Ashtech Solutions” (FIGURA 4.2).

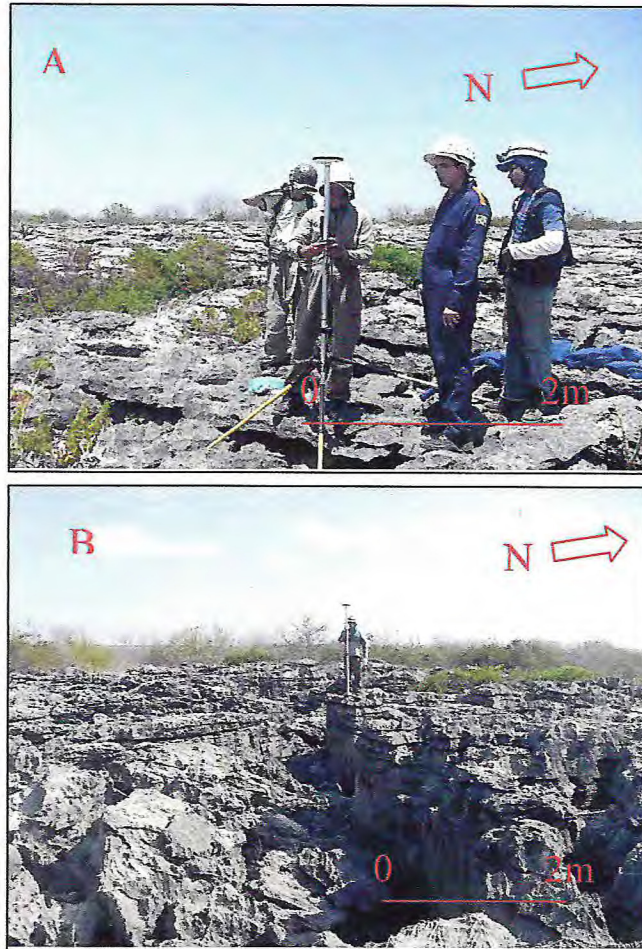


FIGURA 4.2 – A. Montagem da base fixa (estática) do GPS geodésio. B. GPS geodésico móvel (Stop In Go). Coordenadas: A. 647779/93848190: B. 647777/9384819-WGS-84-UTM-24S.

Desta forma foi estabelecido um banco de dados, para, posteriormente, correlacionar a influência dessas estruturas na formação de superfícies de dissolução e consequentemente, no desenvolvimento de cavernas. Na coleta dos dados, foi tomado o cuidado na classificação de falhas, lembrando que o termo fratura engloba todas as deformações acompanhadas de uma ruptura da rocha e cuja deformação não é penetrativa, embora, em algumas situações, ela possa aparecer em profundidades mais elevadas, pois se desenvolve sob condições crustais superficiais ou, simplesmente, é um plano que separa em duas partes um bloco de rocha ou uma camada, e ao longo do qual não se deu deslocamento. O espaçamento entre elas pode ser de centímetros a metros, no entanto é possível estabelecer, em função dos movimentos ao longo do plano de ruptura, uma subdivisão entre falha e junta. Juntas são fraturas que não apresentam movimento paralelo ao plano de ruptura, podendo ser abertas, fechadas ou preen-

chidas, distintas das falhas, que apresentam deslocamento paralelo à superfície (ARTHAUD, 2002).

4.2- PARÂMETROS DESCRITIVOS DAS DESCONTINUIDADES:

Com o intuito de compreender o comportamento das estruturas existentes na área de estudo, as estruturas de interesse à investigação aplicada foram descontinuidades, cujas propriedades mais importantes são: origem, orientação espacial, persistência ou continuidade, espaçamento, natureza do preenchimento, abertura, profundidade e conectividade entre elas, sendo de suma importância no entendimento de formação das fraturas, já que elas são planos de fraqueza favorável à formação de estruturas maiores. Para a análise estatística destas estruturas foram utilizados os “softwares Stereonett 2.46 e o Excel”, que permitiram a confecção de histogramas e de diagramas de roseta, a partir de um banco de dados organizado em tabelas, com todas as medidas obtidas em campo.

O diagrama de roseta é uma forma de representação de análises mais comuns para a determinação de padrões de fraturas, onde são utilizados, apenas, dados de direção das estruturas planares. Trata-se de um semicírculo, subdividido de 10° em 10°, semelhante a um transferidor, onde a linha N-S coincide com a linha do 0°(zero grau).

Já a linha E-W coincide com linha de 90°, subdivide-se o semicírculo em dois quadrantes: NW (0° a 90° W) e NE (0° a 90° E). A linha E-W é subdividida em porcentagens. A escala poderá ir de 0% a 100% (de 10% em 10%). Tanto para W, quanto para E, a partir do centro da linha ou, então, ser subdividida, tendo, por base, a quantidade máxima de atitudes de fraturas para uma dada direção qualquer. Assim, conta-se a quantidade de fraturas de uma determinada área e calcula-se a porcentagem de fraturas direcionadas em um mesmo sentido (FIGURA 4.7). Já o histograma é uma outra forma de representar este complexo de estruturas em colunas verticais de gráficos subdivididos por cores e por tamanhos (FIGURAS 4.6).

De forma mais detalhada segue-se com a descrição das juntas e das fraturas, envolvendo cada uma das propriedades, anteriormente, citadas.

4.2.1 - As Falhas:

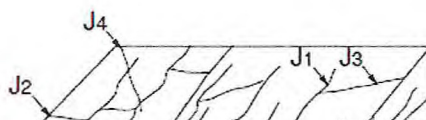
Na área de estudo, essas feições não foram identificadas, mas sabe-se que, em forma regional, as falhas desempenham papel importante na evolução da bacia Potiguar, unidade geológica onde está inserida a presente pesquisa. São estruturas que atuam no controle da sedimentação e no modelado atual do relevo. Possui também, grande importância em obras de captação de água subterrânea, e, principalmente, de petróleo e de gás, por terem servido como conduto, para a migração de hidrocarbonetos na bacia.

4.2.2- As Juntas:

De modo geral, as juntas representam-se com as estruturas que ocorrem com mais frequência na área. Tais estruturas, quando ocorrem no calcário, são abertas (sem preenchimento) ou preenchidas por carbonato de cálcio. As juntas abertas foram analisadas com mais cuidado, pois, caso fosse detectado, em campo, alguma movimentação paralela ou oblíqua ao plano de ruptura, já não seria mais uma junta, porém não foi detectada no mesmo.

O estudo das juntas, no levantamento estrutural regional, é de fundamental importância nas pesquisas geológicas. Do ponto de vista geotécnico, as juntas por, serem planos de menor coesão, podem evoluir para planos de movimento. No caso do Lajedo do Rosário, existe ainda a possibilidade da formação de cavernas. Quanto à metalogênese, estas discontinuidades podem representar caminhos preferenciais para a percolação de fluidos mineralizadores ou petrolíferos e, hidrogeologicamente, falando, as juntas também desempenham papel fundamental na dinâmica de aquíferos.

A partir da análise em campo, foram identificadas quatro famílias de juntas (J1, J2, J3 e J4), que são o conjunto de juntas paralelas com padrão regular, podendo, assim, ser classificadas como sistemáticas (FIGURA 4.3), no entanto surgem, ocasionalmente, juntas com distribuição irregular de pequena extensão.



4.2.3 - Origem:

Quanto à origem, estas estruturas se desenvolvem tanto sob condições tectônicas, quanto não tectônicas e ocorrem, de maneira bastante expressiva, em todo o afloramento.

As juntas de origem tectônica são representadas por fraturas de extensão com planos verticais, sem movimento aparente, representadas por fraturas abertas, resultado da separação de um bloco em duas partes ou de uma camada (FIGURA 4.4). Assumem formas tabulares ou em veios e, em algumas vezes, ocorrem preenchidas por minerais de calcita.

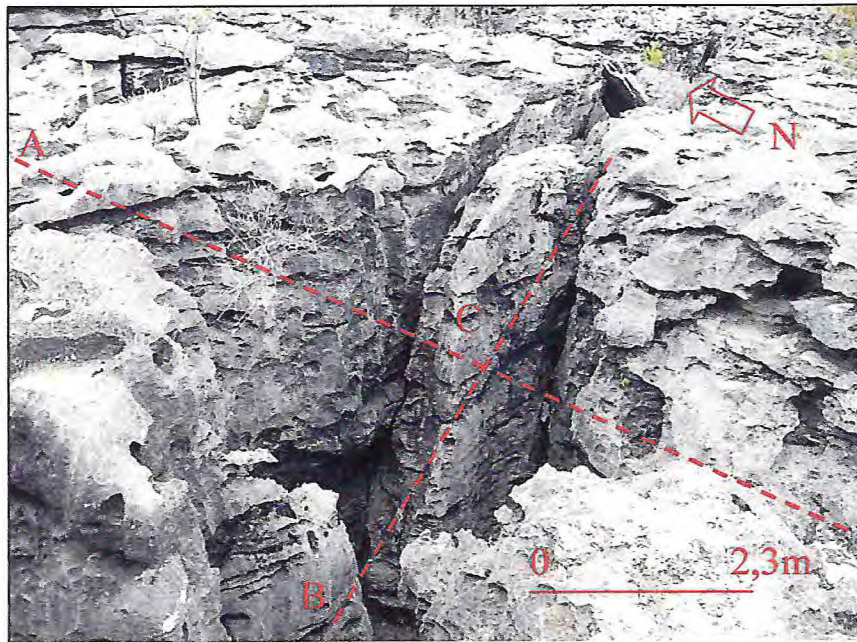


FIGURA 4.4 – A. Junta com extensão de 14m, abertura de 0,5m e profundidade de 1,8m. B. Interceptada por juntas mais jovens, com continuidade. Sua extensão é de 7,6m, abertura de 0,25m e profundidade de 1m. C- Cruzamento favorável à formação de dolinas, muito comum no local. Coordenadas: 647786/9384820 - WGS-84-UTM-24S.

4.2.4 - Orientação Espacial:

As estruturas encontradas na área de estudo foram organizadas em um banco de dados. Distribuídas espacialmente, segundo orientações preferenciais, agrupadas em sistemas ou em famílias, denominadas de J_1 , J_2 , J_3 e J_4 , respectivamente, aceitando-se um erro de 10° para menos ou para mais. Assim, os conjuntos de descontinuidades foram registrados por meio de diagramas, a partir de suas atitudes, que forneceram os percentuais referentes a cada família em um total de 101 medidas tomadas em campo (FIGURA 4.5).

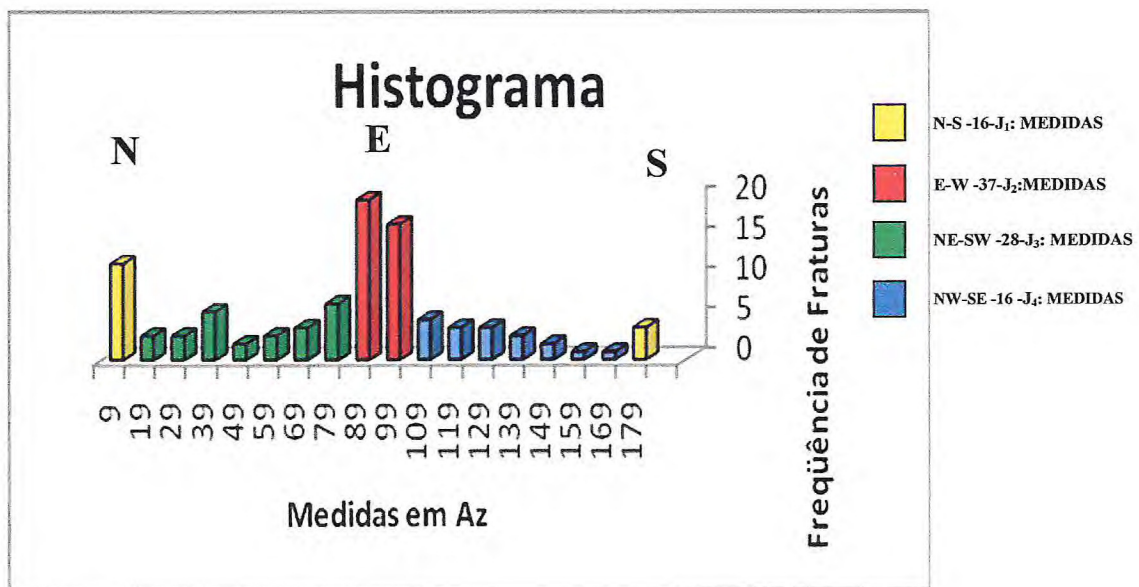


FIGURA 4.5 - Histograma de representação das direções das famílias de fraturas, num total de 101 medidas tomadas em campo: J_1 (N-S), com 15.8%, sendo a menor concentração do total de fraturas; J_2 (E-W), com 36.6%, é a maior concentração; J_3 (NE-SW), com 27.8%, é a segunda maior concentração; e J_4 (NW-SE), com 19.8%.

O histograma anterior mostra a distribuição das quatro famílias de fraturas (FIGURA 4.6). Em destaque a família de direção E-W (ou J_2), representando 36.6% do total de 101 medidas, sendo que as demais famílias não são menos expressivas no afloramento. Outra maneira de visualizar este complexo de fraturas que se cruzam foi feita, utilizando-se o diagrama de rosetas, que ilustra as maiores concentrações dos planos de descontinuidades que ocorrem na área. Este gráfico confirma a existência das quatro orientações anteriormente citadas, onde a família de juntas E-W surge com o maior número de fraturas, enquanto a família de juntas N-S é a menos expressiva (FIGURA 4.6). É importante ressaltar que todos os planos apresentam mergulhos verticais ou subverticais. Para uma melhor visualização da distribuição espacial das juntas, foi elaborado um mapa que mostra todas as famílias de juntas distribuídas na superfície do lajedado (FIGURA 4.7)

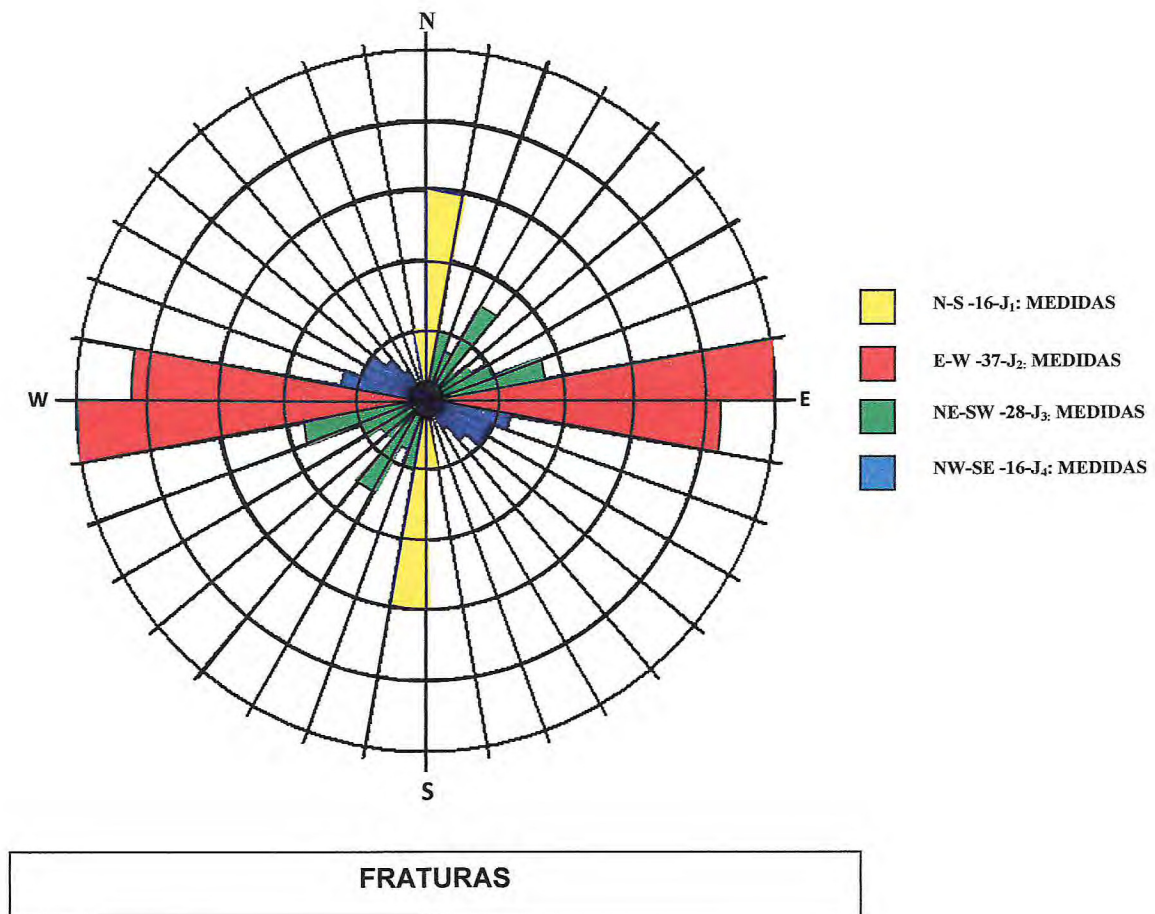


FIGURA 4.6 - Diagrama de roseta

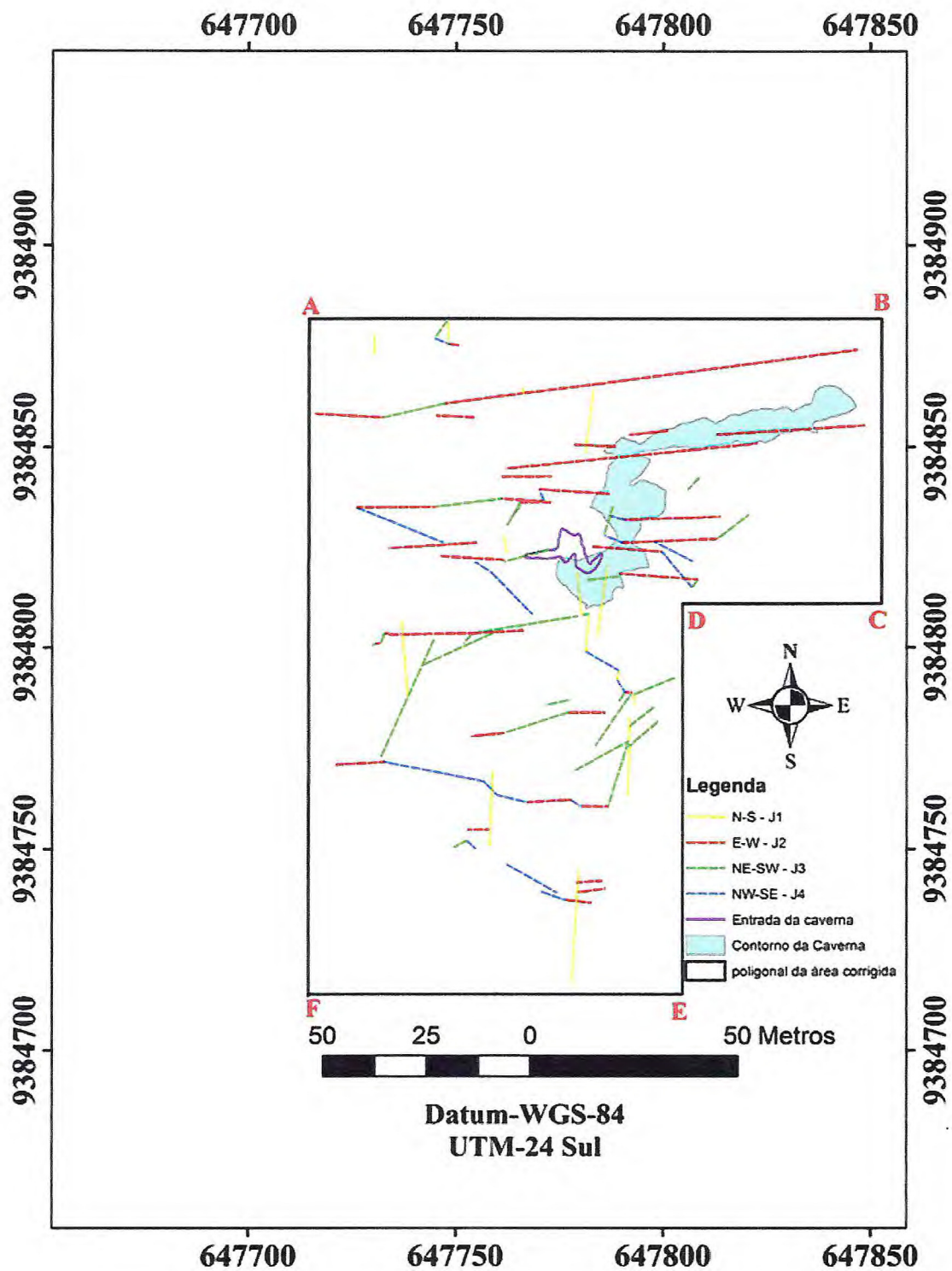


FIGURA 4.7 - Mapa de estruturas da superfície do lajedo plotado sobre o contorno da caverna Cathedral

4.2.4.1 - Persistência:

Persistência ou continuidade de uma fratura é um parâmetro ligado ao tamanho e à forma geométrica da estrutura, estando, intimamente, associado à orientação e à dimensão da superfície rochosa na qual ela se expõe.

A maioria das juntas que aflora na área de estudo ocorre perpendicularmente à superfície de acamamento, porém surgem, ainda, juntas geradas pela separação de estratos, formando níveis de dissolução. Em campo, as juntas menos persistentes são, também, as mais recentes, pois intersectam as estruturas maiores, tendo, às vezes, continuidades ou não, o que induz que as juntas mais persistentes são as mais antigas (FIGURA 4.8).

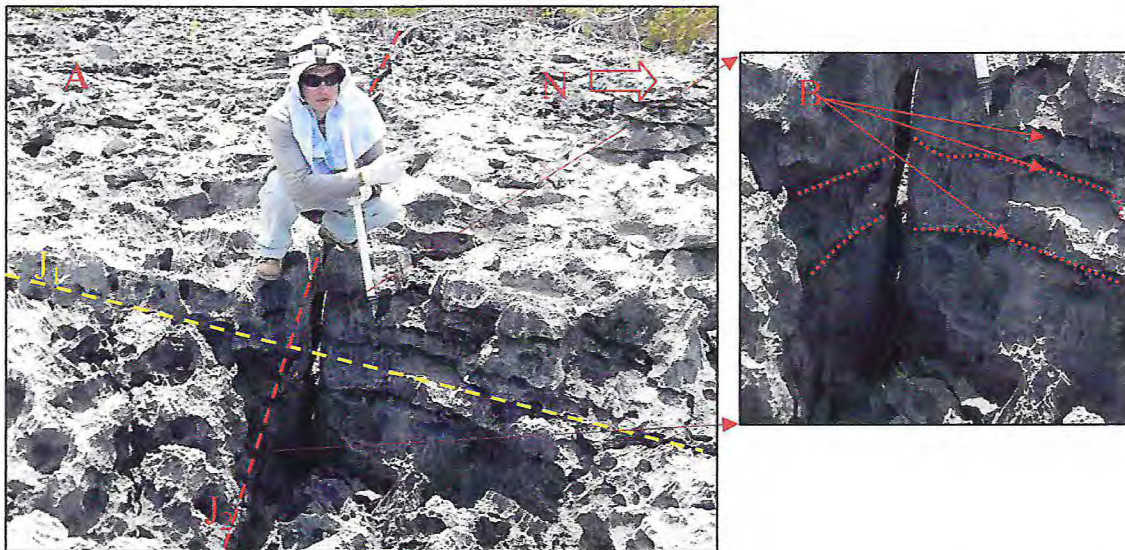


FIGURA 4.8 – A. Junta mais antiga J_2 , com extensão de 16 m, cruzada por junta mais jovem J_1 , com extensão de 3m. B. Nível de dissolução paralelo ao plano de estratificação ou S0, levando ao deslocamento da superfície de erosão. Coordenadas: 647776/9384810 - WGS-84-UTM-24S

Assim, as discontinuidades mais recentes apresentam a tendência de originar-se, a partir de outra superfície mais antiga ou de encerrar-se em outras discontinuidades. Às vezes, apresentam continuação, mas de pequena ordem, na própria rocha matriz. Por outro lado, as fraturas com comprimento excedente aos limites de exposição da rocha foram classificadas como mais antigas (FIGURA 4.9). Estas são de grande extensão, chegando a uma extensão de 63 m, com abertura entre suas paredes, podendo ultrapassar os 50 cm.

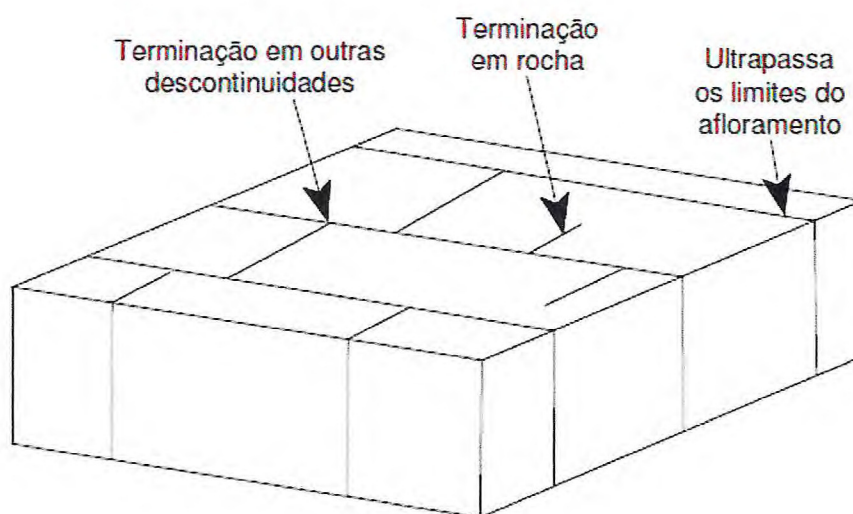


FIGURA 4.9 - Sistemas de juntas esquemático exemplificando tipos de terminações: em outras descontinuidades, em rocha, além dos limites do afloramento (ISRM – *International Society for Rock Mechanic*, 1983)

De acordo com a classificação da ISRM (*International Society for Rock Mechanic*, 1983, FIGURA 4.10), o comprimento das fraturas para as quatro famílias de juntas apresenta tamanhos bastante variáveis, com destaque para as juntas J₂, apresentando maior concentração na categoria “grande”. Em outras palavras, os dados de campo mostram que estas fraturas (J₂) são as de caráter mais contínuo, enquanto os outros três grupos (J₁, J₃ e J₄), a maior parte das fraturas, apresentam-se em sua maioria, como “média” (FIGURAS 4.11 e 4.12).

COMPRIMENTO (m)	DESCRIÇÃO
< 1 m	Muito Pequena
1 a 3 m	Pequena
3 a 10 m	Média
10 a 20 m	Grande
> 20 m	Muito Grande

FIGURA 4.10 - Classes de comprimento segundo *isrm* “*International Society for Rock Mechanic*” (1983)

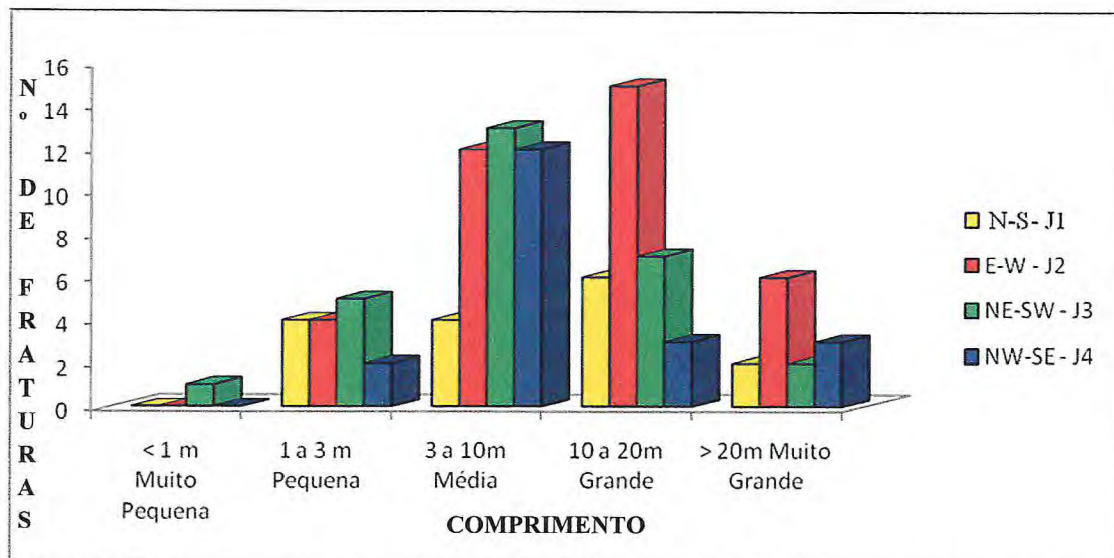


FIGURA 4.11 - Gráfico de coluna de classificação da persistência das fraturas mostrando que estas apresentam tamanhos bastante variáveis. Destaque para a família J₂ com maior concentração na categoria muito grande

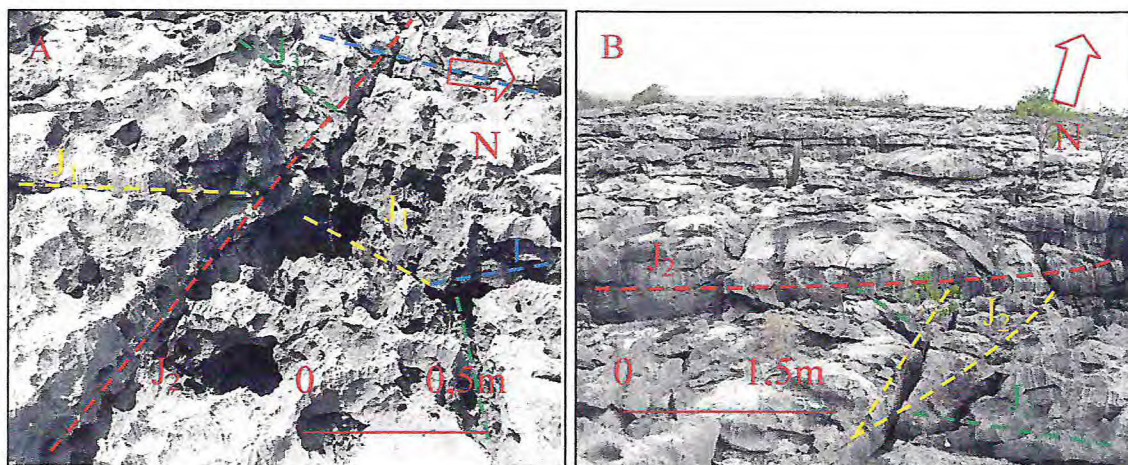


FIGURA 4.12. De acordo com a classificação da ISRM, “*International Society for Rock Mechanics*” (1983), ocorrem na área de estudo tanto juntas persistentes, com comprimento excedente aos limites de exposição da rocha, como não persistentes, com terminações em outras discontinuidades. Coordenadas: A - 647741/9384862 - B - 647783/9384864 - WGS-84-UTM-24S

4.2.4.2 - Espaçamento:

O espaçamento corresponde à distância entre duas discontinuidades adjacentes de uma mesma família. Em termos práticos, considera-se a distância entre quaisquer duas discontinuidades contíguas. O espaçamento pode ser expresso por meio da adoção de intervalos de variação numérica. Para o levantamento sistemático das juntas dos afloramentos optou-se pelo método da linha, por sua simplicidade de execução e pela aplicabilidade. Em sentido amplo, o espaçamento baseou-se na média aritmética das distâncias entre fraturas sucessivas de um mesmo conjunto, ou seja, obtendo-se medidas ao longo de uma linha de dez metros de comprimento, perpendicular a direção de cada uma das quatro famílias identificadas – J_1 , J_2 , J_3 e J_4 (FIGURA 4.11).



FIGURA 4.13 - Levantamento sistemático das juntas pelo método da linha, através da medida das distâncias entre fraturas sucessivas de um mesmo conjunto, ao longo de uma linha de dez metros de comprimento, perpendicular à direção de cada uma das quatro famílias identificadas, J_1 , J_2 , J_3 e J_4 , medidas feitas com GPS Geodésico. Coordenadas: 647764/9384812- WGS-84-UTM-24S.

Assim, temos que:

$$e = l / n,$$

onde:

e – Espaçamento médio

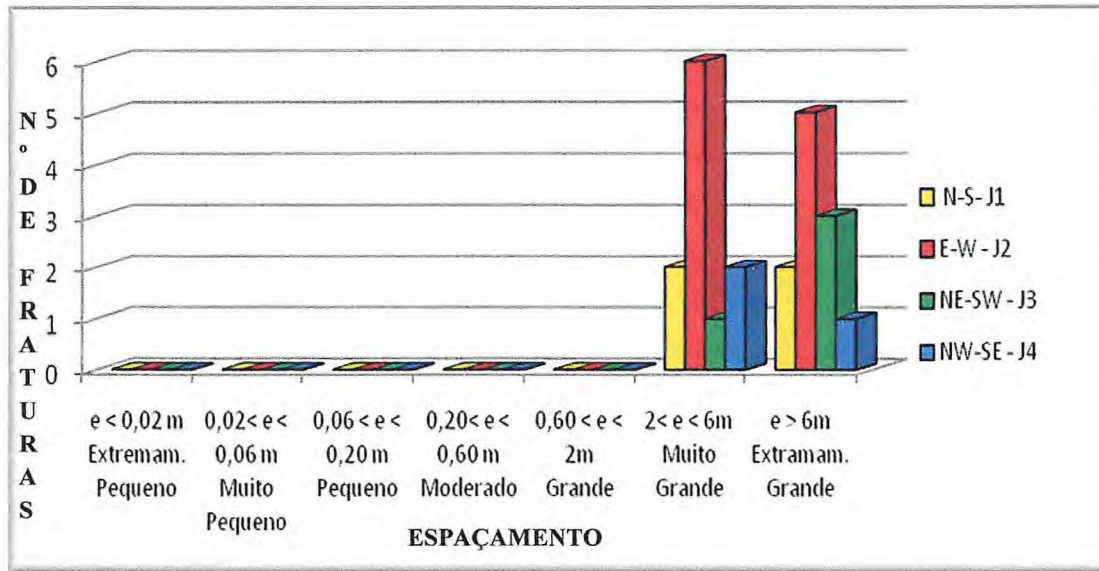
l – Comprimento da linha

n – Quantidade de fraturas por intervalo de comprimento.

Para representar, graficamente, os resultados, foi utilizada a seguinte terminologia, como mostra a (FIGURA 4.14), segundo ISRM (1983):

ESPAÇAMENTO (m)	DESCRIÇÃO
< 0,02 m	Extremamente Pequeno
$0,02 \leq e < 0,06$ m	Muito Pequeno
$0,06 \leq e < 0,20$ m	Pequeno
$0,20 \leq e < 0,60$ m	Moderado
$0,60 \leq e < 2,00$ m	Grande
$2,00 \leq e < 6,00$ m	Muito Grande
$e \geq 6,00$ m	Extremamente Grande

FIGURA 4.14 – Classes de espaçamento médio segundo *isrm*, “*International Society for Rock Mechanic*”, 1983.



FI15 - Gráfico de coluna mostrando o espaçamento médio “e” entre fraturas sucessivas de um mesmo Conjunto.

O gráfico anterior mostra que as fraturas possuem espaçamentos, variando-se desde muito grande a extremamente grande. Observa-se que todas as fraturas chegam a alcançar a classificação de espaçamento muito grande e extremamente grande, mas, assim como a família J_2 , apresentam maior concentração na categoria muito grande. Já a família J_3 se enquadra em segundo lugar, com o seu destaque na classe de espaçamento extremamente grande (FIGURA 4.15). Assim, nota-se que J_2 e J_3 formam conjuntos de fraturas com espaçamentos maiores que as juntas J_1 e J_4 .

4.2.4.3 - Abertura:

A abertura das juntas é importante no estudo da percolação de água no interior do maciço rochoso e caracteriza-se como espaço, vazio ou preenchido por água, o que separa suas paredes, distinguindo-se, nesse aspecto, eventuais preenchimentos ou mineralizações que podem ocupar o plano de descontinuidade.

Nas juntas em questão, em algumas vezes, o preenchimento que ocorre, ocupando todo o plano da fratura, está representado pela recristalização de calcita, cuja fonte se deve ao processo de intemperismo da própria rocha-mãe (FIGURA 4.16).

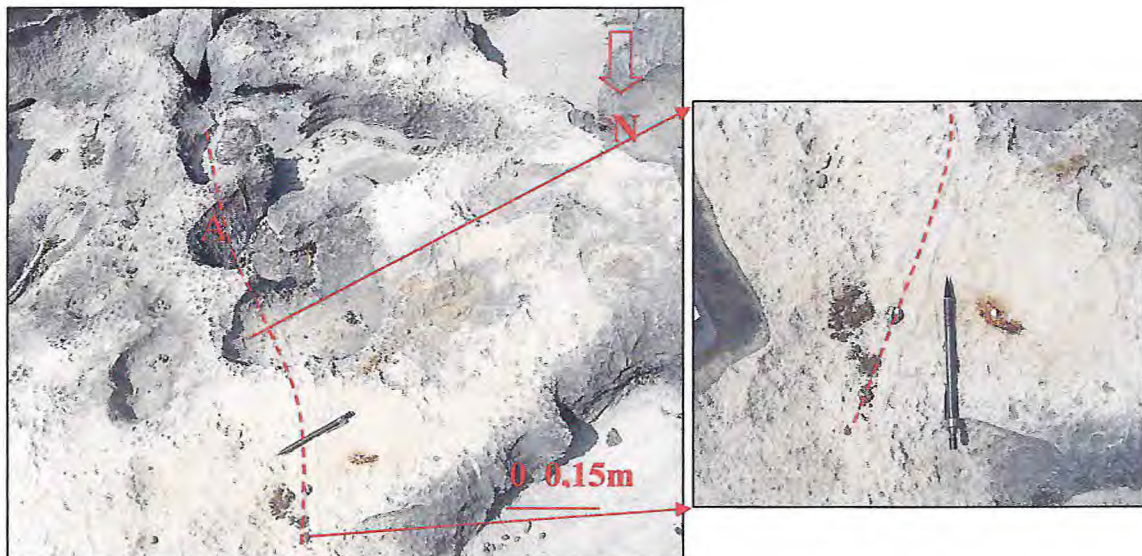


FIGURA 4.16 – A. Preenchimento representado pela recristalização de calcita, que ocupa todo o plano de fratura. Coordenadas: 647738/9384821- WGS-84-UTM-24S.

As aberturas foram caracterizadas de acordo com os critérios da *International Society for Rock Mechanic*, ISRM (1983), como mostra as terminologias da figura abaixo (FIGURA 4.17).

ABERTURA (cm)	DESCRIÇÃO
0	Compacta ou Fechada
$0 < A \leq 1$ cm	Aberta
$1 < A \leq 10$ cm	Muito larga
$10 < A \leq 100$ cm	Extremamente Larga
$A > 100$ cm	Cavernosa

FIGURA 4.17 - Classes de abertura segundo Isrm, “*International Society For Rock Mechanic*”, 1983.

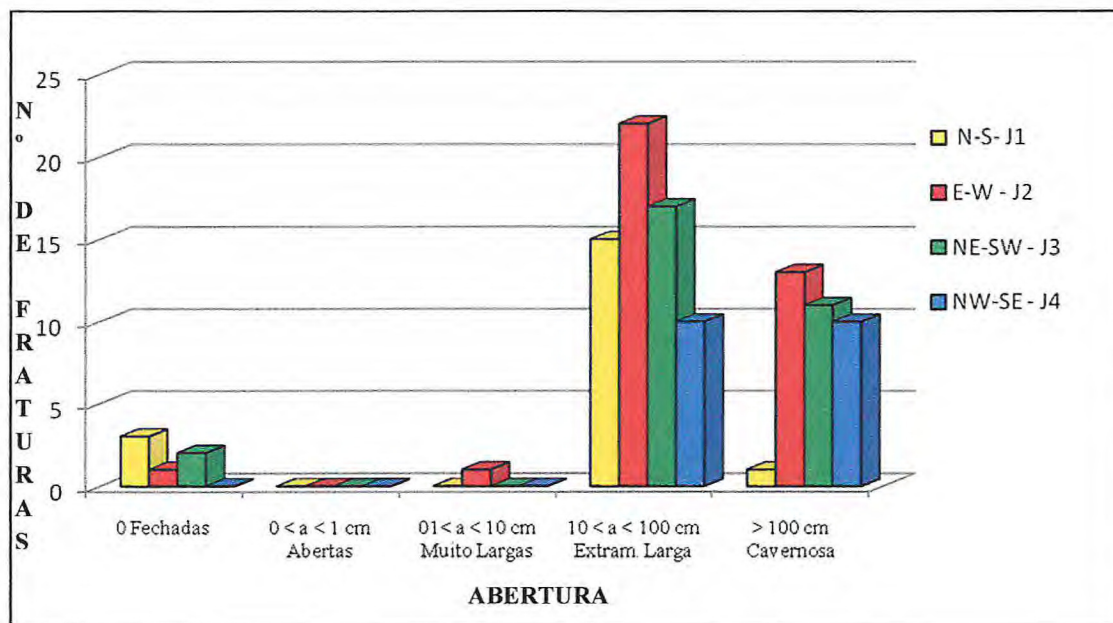


FIGURA 4.18. Gráfico de colunas mostrando as classes de abertura encontradas na área, com maior concentração na categoria “extremamente largas” e cavernosa”.

Conforme essa divisão em classes, na área estudada, as aberturas das fraturas variam desde “fechadas” até “cavernosas”, com maior concentração na categoria “extremamente largas”, sendo, ainda, a maior quantidade de fraturas representada pela família J_2 (FIGURA 4.18).

Percebe-se, em campo, que o sistema fraturado, embora primário, aos poucos, vem sendo modificado por estágios posteriores à sua formação, ou seja, mecanismos pós-deformacionais influenciam na abertura das discontinuidades. Entre esses mecanismos, principalmente, por se tratar de litotipos carbonáticos, estão as dissoluções do próprio calcário, manifestando-se das seguintes formas:

- i. Frequentes abatimentos de blocos (FIGURA 4. 19);
- ii. Formação de lapiás, evoluindo para sulcos (FIGURA 4. 20 A); e
- iii. Entre os mais marcantes estão as dolinas formando importantes cavernas (FIGURA 4.20 B).

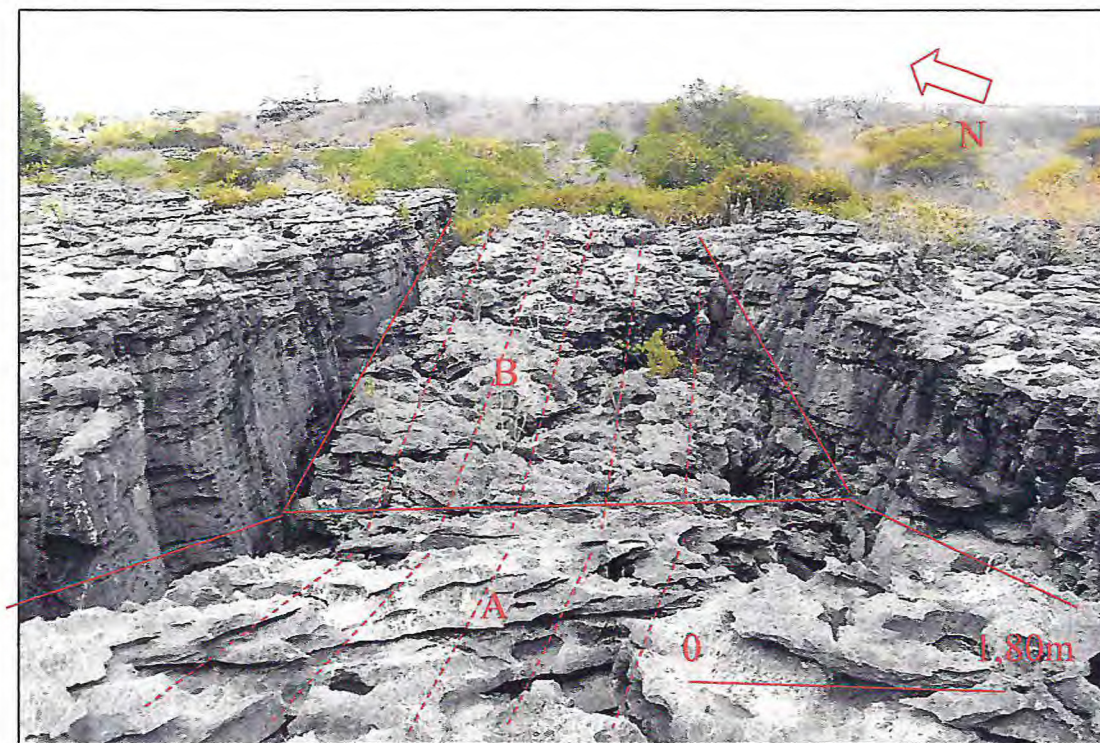


FIGURA 4.19 - Mecanismos pós-deformacionais que influenciaram a abertura das discontinuidades. Abatimentos de blocos, com direções de A. N170/ 22NE e B. N170/10SW. Coordenadas: 647821/9384870- WGS-84-UTM-24S.



FIGURA 4.20 - Mecanismos pós-deformacionais representados por: A. Formação de lapiás ,evoluindo para sulcos, Coordenadas: 647735/9384892- WGS-84-UTM-24S. B. Dolina de dimensões métricas formando um importante sistema na caverna Catedral. Coordenadas: 647807/9384815- WGS-84-UTM-24.

4.2.4.4 - Profundidade:

O levantamento consistiu em tomar medidas de profundidade ao longo da fratura, fazendo-se uma média aritmética desses valores, de acordo com as classes determinadas pela *International Society For Rock Mechanic*, ISRM, 1983 (FIGURA 4.21). Na área, existe uma predominância de estruturas “média”, maior que 1m, no entanto também existem fraturas consideradas “muito profundas”, com profundidades superiores a 4 m (FIGURA 4.22). Em campo, correspondem a fraturas com profundidades variando de 5m até 10 m.

PROFUNDIDADE (m)	DESCRIÇÃO
$\leq 1m$	Pequena
$1 < a \leq 2$	Média
$2 < a \leq 4$	Profunda
$> 4m$	Muito Profunda

FIGURA 4.21 – Classes de profundidades segundo, *isrm* “*International Society for Rock Mechanic*”, 1983.

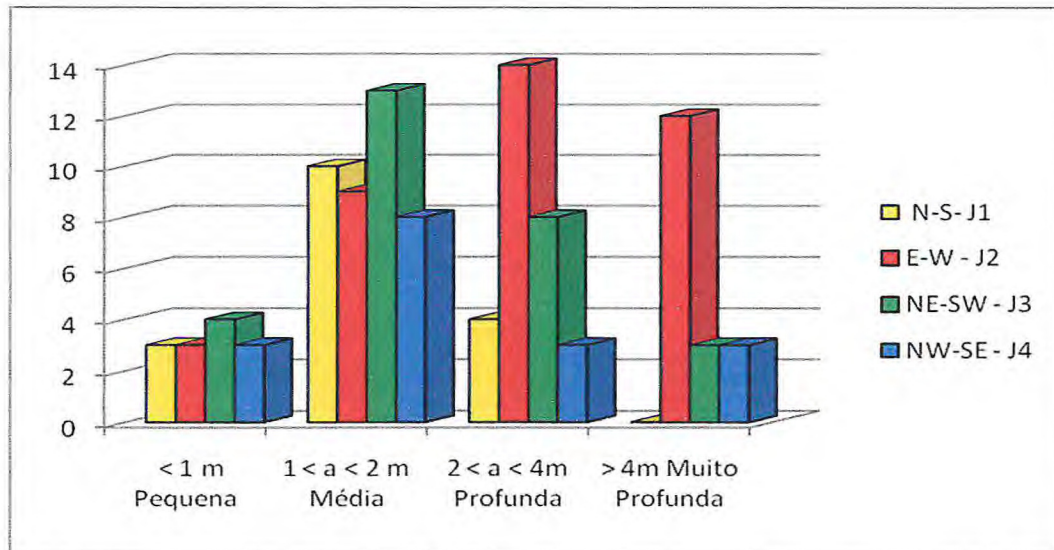


FIGURA 4.22 - Gráfico de colunas da profundidade das fraturas, com maior concentração na categoria média, e, em segundo lugar, na categoria profunda, com destaque para as juntas J_2 e J_3 .

4.2.4.4.1 - Fraturas Externas x Internas:

Com base no presente estudo, voltado à deformação em nível superficial, percebe-se a grande importância da estruturação no controle da paisagem, destacando-se as direções E-W, NE-SW, uma vez que a concentração dessas fraturas na área favorece a ação da água em esculpir a rocha, atribuindo-lhe forte tendência à formação de cavernas e desenvolvimento de espeleotemas. Tentou-se correlacionar as direções tomadas no interior da caverna com aquelas medidas em superfície, através de GPS geodésico (FIGURA 4.14), que ofereceu precisão centimétrica à localização dessas fendas. Verifica-se, que em superfície, as estruturas ocorrem em diversas orientações aleatórias, porém existe uma concentração maior na direção E-W (A). Por outro lado, no interior da caverna, as juntas evidenciadas pelo alinhamento de estalactites e de fraturas no teto encontram-se orientadas segundo duas direções preferenciais: E-W e NE-SW (B), ANEXO I.

As figuras 4.8 e 4.24 exibem a distribuição, em planta, destas fraturas externas e internas da caverna respectivamente. O procedimento permitiu diagnosticar que essas estruturas, tanto em superfície, como em subsuperfície, assumem direção aproximada ao desenvolvimento da caverna. Grande parte das fraturas mapeadas em superfície é, extremamente, aberta ou cavernosa, em outras palavras, é possível dizer que essas fraturas tiveram e têm importante participação na gênese e na morfologia da caverna Catedral.

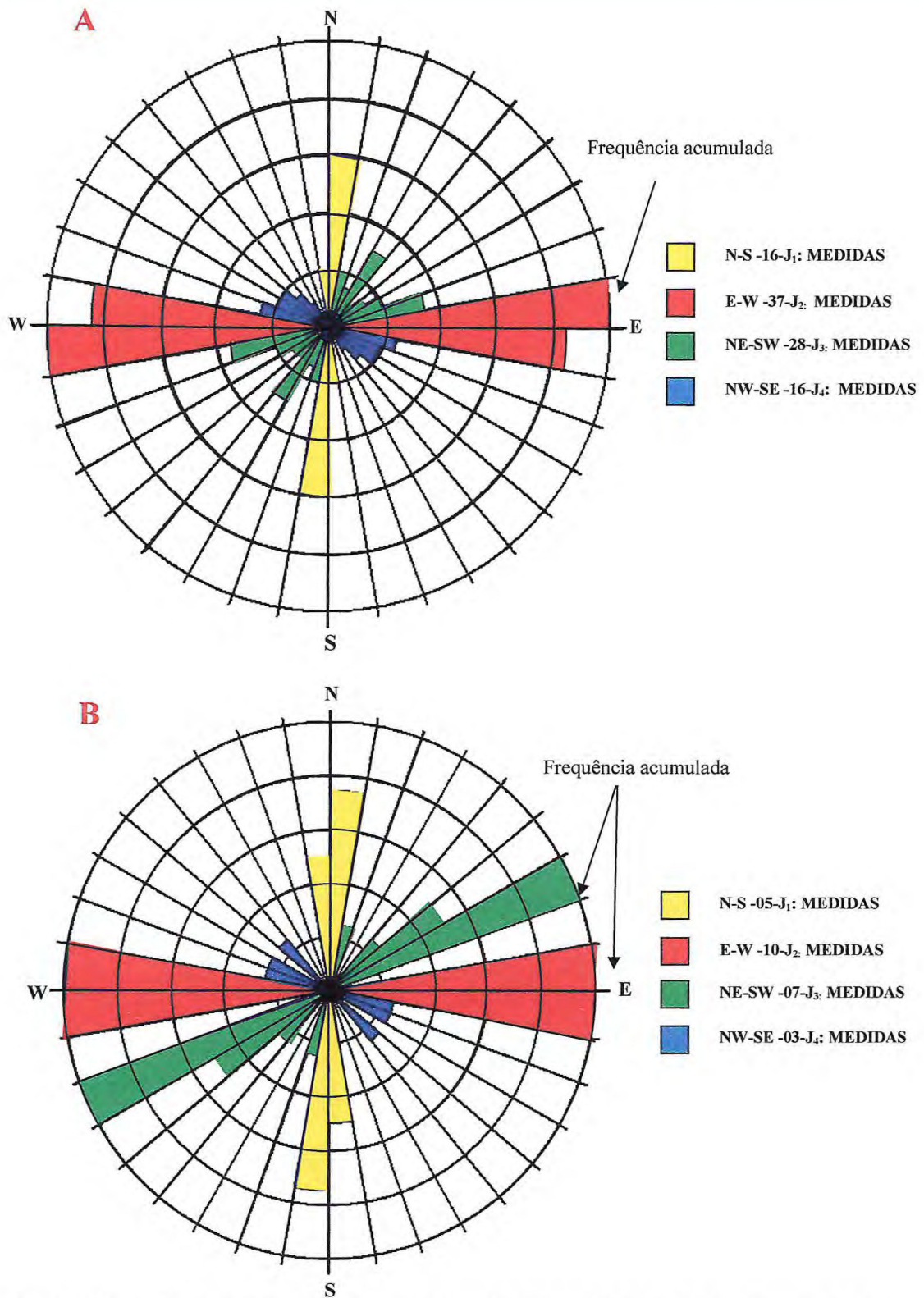


FIGURA 4.23 – A. Diagramas de rosetas mostrando a frequência acumulada das direções levantadas em superfície, com GPS Geodésico e – B. No interior da caverna.

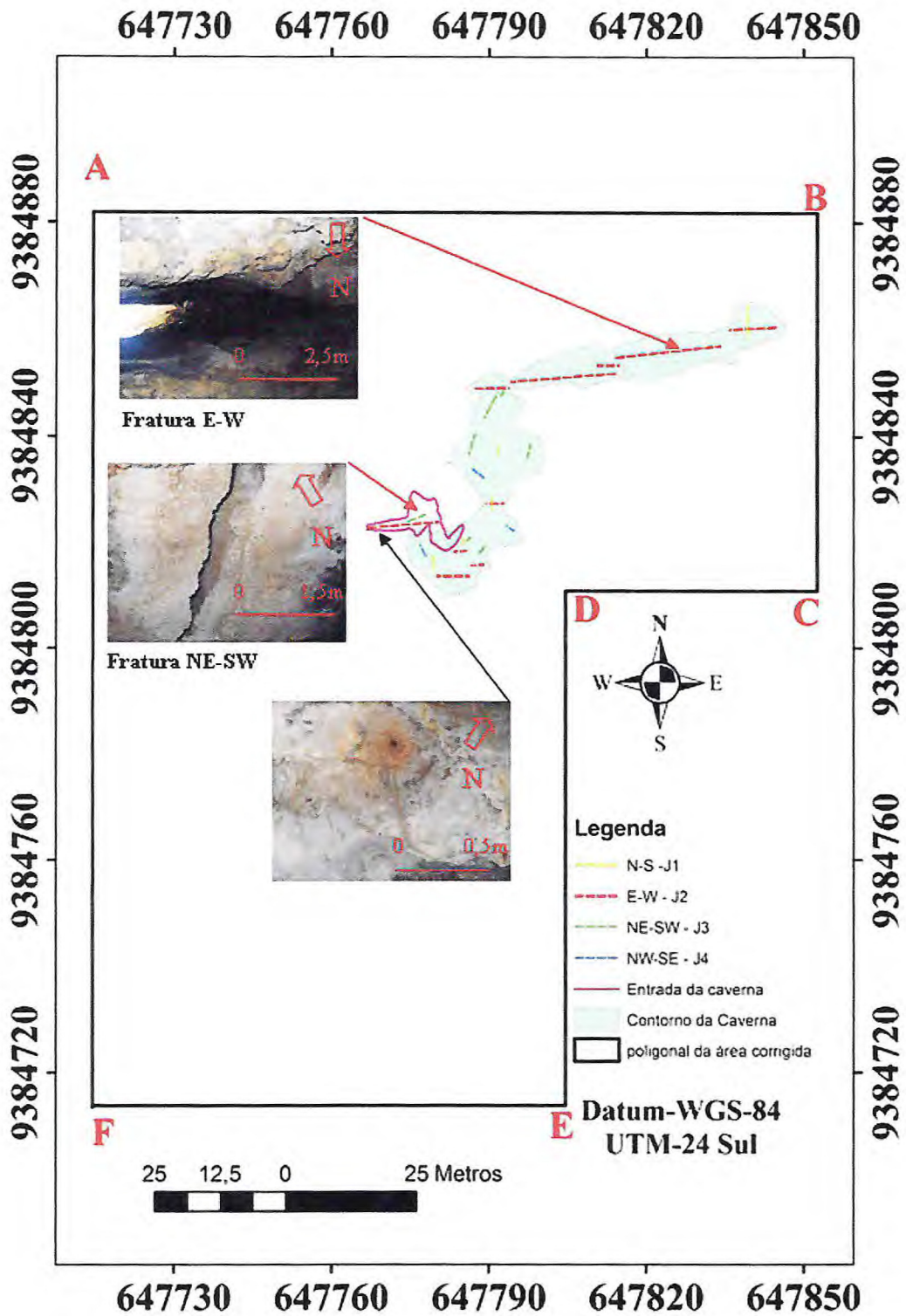


FIGURA 4.24 - Distribuição, em planta, das fraturas internas da caverna, medidas com trena e com bússola.

CAPITULO V

PETROGRAFIA

5.1 - APRESENTAÇÃO:

As principais rochas carbonáticas abrangem calcários e dolomitos, sendo os mármore, os seus correspondentes metamórficos. Os calcários são rochas sedimentares, compostas, principalmente, de calcita (CaCO_3), enquanto dolomitos são rochas também sedimentares, formadas, sobretudo, por dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Outros minerais carbonáticos, notadamente a siderita (FeCO_3), a ankerita ($\text{CaMgFe}(\text{CO}_3)_4$) e a magnesita (MgCO_3), estão, frequentemente, associados com calcários e com dolomitos, mas, geralmente, em pequenas proporções. O diagrama de Folk (1959) classifica os calcários como rochas que contenham, pelo menos, 50% de carbonato em sua composição (FIGURA 5.1).

Argilo-minerais (caulinita, illita, clorita, smectitas, etc.) e seus produtos metamórficos (sericita, muscovita, flogopita, biotita, tremolita, actinolita, diopsídio, etc.) constituem impurezas comuns, tanto disseminadas, quanto laminadas nas rochas carbonáticas. Quartzo e sulfetos são acessórios frequentes como cristais isolados ou em disseminações na matriz. A matéria orgânica pode estar, também, finamente disseminada, conferindo cores marrom-escuras e negras às rochas portadoras. Quanto à nomenclatura, existem várias possibilidades.

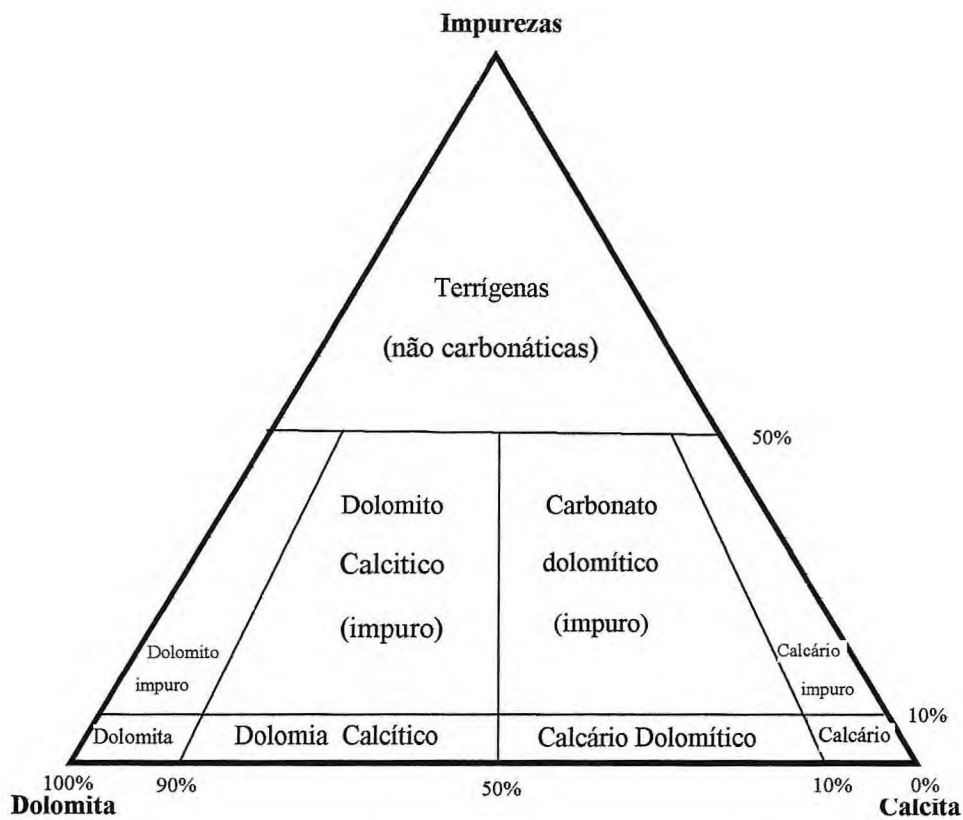


FIGURA 5.1 - Diagrama triangular para classificação composicional de rochas carbonáticas de Folk (1959).

A maior parte das rochas carbonáticas tem origem biológica ou, mais propriamente, biodentrítica, formando-se, em ambientes marinhos, pela deposição de conchas e de esqueletos de outros organismos (corais, briozoários, etc.). Essas conchas e esqueletos podem ser preservados como fósseis e estão, frequentemente, fragmentados, mas podem ser observados e classificados, biologicamente, nas rochas pouco ou não metamorfizadas. Processos deposicionais conduzidos por precipitação química e bioquímica direta de carbonatos em ambientes de água doce, determinam a formação de rochas heterogêneas do tipo travertino e marga. Calcários, epicalcários e mármore calcíticos contêm calcita (CaCO_3) predominantemente, enquanto dolomitos, metadolomitos e mármore dolomíticos são rochas similares com predominância de dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Impurezas comuns incluem argilas, quartzo, micas, anfíbios, matéria orgânica/grafitosa e sulfetos. Esses materiais conferem uma ampla variedade de cores, de texturas e de formas, e alguns organismos fossilizados podem ser observados imersos na essa matriz rochosa.

Não existe uma classificação rigorosa aceita, para agrupar os tipos de calcários, entretanto pode-se dividi-los em seis grupos de acordo com alguns autores, como Embry e Klovan (1971):

- marga: quando possui uma quantidade de argila entre 35% e 50%.
- caliche: calcário rico em carbonato de cálcio, formado em ambientes semi-áridos;
- tufo: calcário esponjoso, encontrado em águas de fonte, devido à precipitação do carbonato de cálcio, associado com matéria orgânica resultante da decomposição de vegetais;
- conquífero: formado pelo acúmulo de esqueletos e de conchas;
- giz: calcário poroso de coloração branca, formado pela precipitação de carbonato de cálcio com microorganismos;
- travertino: são calcários densos, encontrados em grutas e em cavernas compostas por calcite, por aragonite e por limonite;
- dolomita: um mineral de carbonato de cálcio e de magnésio;
- recifal: é um calcário de edificação, que resulta da fixação de carbonato de cálcio por seres vivos, nomeadamente os corais.

Existem outras classificações de acordo com os aspectos texturais dos carbonatos, baseadas no tamanho e no tipo dos grãos. Quanto à nomenclatura, na classificação de Folk (1959), o arcabouço fornece o prefixo do nome da rocha: oo (para oóide), bio (para fósseis), pel (para pelotilhas) e intra (para intraclastos). O carbonato intersticial fornece o sufixo do nome da rocha: micrito (para matriz lamítica calcária, com ambiente de deposição calmo) e esparito (cristais de carbonato, maiores que 30 mm, precipitado em calcarenito de alta energia, FIGURA 5.2). Folk (1956) classifica os componentes aloquímicos no retrabalho de substâncias químicas precipitadas na própria bacia de sedimentação. Entre esses, pode-se citar: conchas de moluscos, oólitos, pisólitos e fragmentos calcários penecontemporâneos. Os componentes ortoquímicos são precipitados normais e produzidos, quimicamente, na bacia, sem evidências significativas de transporte ou de agregação, por exemplo: calcita, dolomita, microcristalina e alguns evaporitos.



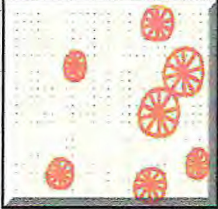


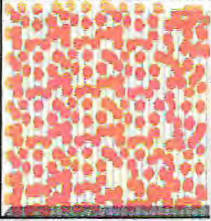


Oóides	Ooesparito		Bioclastos	Bioesparito	
	Oomicrito			Biomicrito	
Intraclastos	Intraesparitico		Pelotinas	Pelesparito	
	Intramicro			Pelmicro	

FIGURA 5.2 - Classificatório de rochas carbonáticas desenvolvida por Folk (1959), obtida em SUGUIO, 1980.

5.1 - Oólitos:

Também designados por “ooides”, os oólitos são grãos carbonáticos, de forma esférica ou subsférica, compostos por lamelas concêntricas, formando o córtex, circundando um núcleo, normalmente, constituído por um grão de quartzo, por um peloide, por um fragmento esquelético ou pelo pedaço quebrado de outro oólito (BATHURT, 1971).

Quimicamente, os oólitos são compostos, quase que totalmente, por calcita (CaCO_3), com pequenas quantidades de magnésio (Mg), de estrôncio (Sr), de outros elementos traços e de quantidades variáveis de matéria orgânica.

5.1.2 - Bioclastos:

Os bioclastos (ou grãos esqueléticos) são os mais importantes e abundantes tipos de grãos que ocorrem ao longo do Fanerozoico. Eles podem ser constituídos por fósseis inteiros ou por fragmentos de fósseis nos mais diversos estágios de abrasão, podendo estar associados com outros tipos de grãos carbonáticos. Os grãos esqueléticos são compostos por aragonita, por calcita com baixo teor de magnésio ou por calcita magnesiana. Restos de vertebrados e de braquiópodes inarticulados, geralmente, são compostos por fosfato de cálcio. A composição original dos fragmentos fósseis pode ser alterada durante a diagênese. Dessa forma, grãos esqueléticos constituídos por aragonita, via de regra, alteram-se para calcita, para dolomita, ou, ainda, podem ser substituídos por sílica (CARVALHO, 1986).

5.1.3 - Intraclastos:

Intraclastos são fragmentos de rochas carbonáticas, com fração granulométrica entre areia fina e matacão, que foram erodidos e incorporados a um novo sedimento carbonático no interior da bacia de deposição (FOLK, 1959, ADAMS E MACKENZIE, 1998).

5.1.4 - Pelóides:

Pelóides são grãos carbonáticos sem estruturação interna, que exibem formas esféricas, elipsoidais ou angulares, compostos por carbonato de cálcio criptocristalino. As dimensões dos pelóides são variáveis, predominando, entretanto, na faixa entre 0,1mm a 0,5 mm (FOLK, 1959). A origem dos pelóides pode estar associada à micritização de grãos aloquímicos ou à atividade fecal de organismos metazoários. Os pelóides de origem fecal são denominados peletes. Estes são agregados de calcita microcristalina, bem arredondados e bem selecionados, com diâmetro entre 0,03mm e 0,2 mm, gerados por uma variedade de organis-

mos que ingerem lama carbonática, enquanto se alimentam de sedimentos ricos em matéria orgânica (FOLK, 1974).

5.1.4.1 - Matriz micrítica:

A lama carbonática (ou micrita) é constituída por cristais de carbonato de cálcio microcristalino, com dimensões entre 1cm a 5 cm, ocorrendo como matriz entre os grãos do arcabouço. A micrita possui origem diversa, todavia cinco processos são relevantes na produção da lama carbonática nos dias atuais: (a)- morte e a decomposição de algas calcárias, principalmente do gênero “*Penicillus*”; (b)- a abrasão de partículas carbonáticas; (c)- a acumulação de biota planctônica; (d)- a precipitação direta da água do mar; (e) a bioerosão, a partir de atividade endolítica de fungos, de algas e de esponjas (CARVALHO, 1986).

A lama carbonática acumula-se em uma ampla variedade de ambientes recentes, que se estendem da planície de maré até as regiões abissais. É, altamente, susceptível às alterações diagenéticas, podendo ser substituída, através do neomorfismo, por um mosaico espático grosso.

5.2 - ANÁLISES PETROGRÁFICAS:

Elas consiste na observação e na descrição das rochas por meio de análise visual e de seções delgadas dessas rochas, utilizando-se o microscópio petrográfico com polarizador. Em amostra de mão, priorizou-se uma descrição de feições e de estruturas observadas nas rochas e tipos de grãos, de conteúdo fossilífero e de feições diagenéticas, entre outras características. Em lâminas, foram caracterizadas texturas, classificação fossilífera, morfologia e feições diagenéticas, entre outras.

As análises das lâminas petrográficas foram realizadas por meio do microscópio óptico Olympus BX41, com objetivas de 4x e 10x e com ocular com ampliação de 10x do laboratório de microscopia da Universidade Federal do Ceará / UFC, do Departamento de Geociências (FIGURA 5.3).

Foi realizada a análise petrográfica em cinco lâminas delgadas de cinco amostras, cortadas perpendicularmente à compactação, coletadas em diferentes níveis da caverna Catedral, com a finalidade de diferenciar os modos de dissolução através das suas variações texturais. Por se tratar de uma rocha com mais de 90% de calcita (CaCO_3), com uma mineralogia formada, geralmente, por um único mineral (monominerálica), a descrição torna-se, relativamente, mais fácil, mas com texturas, extremamente, diversas. A complicação está no fato de não apresentarem um único modo de deposição, podendo ser vistas numa mesma seção delgada texturas de múltiplas origens, com componentes tanto ortoquímicos, quanto aloquímicos.



FIGURA 5.3 - Microscópio de polarização por luz transmitida, com seus principais elementos indicados.

A classificação das rochas carbonáticas foi definida de acordo com a metodologia de descrição proposta por Dunham (1962) e por Folk (1959). De acordo com o critério de Dunham, os componentes carbonáticos fornecem uma ideia sintética da textura da rocha, baseada na presença ou não de lama carbonática e de características do arcabouço. Dunham (1962) impõe a textura deposicional original (FIGURA 5.5), e Folk (1956) acrescenta a relação entre os 4 tipos de aloquímicos (FIGURA 5.6). Todas as amostras de mão foram submetidas ao ácido clorídrico (HCl 10%) a fim de confirmar a presença de carbonato de cálcio na rocha. Para as estimativas em porcentagem das lâminas, foi utilizado o guia de Compton, j.r., (1962, FIGURA 5.4). Dessa forma, tem-se:

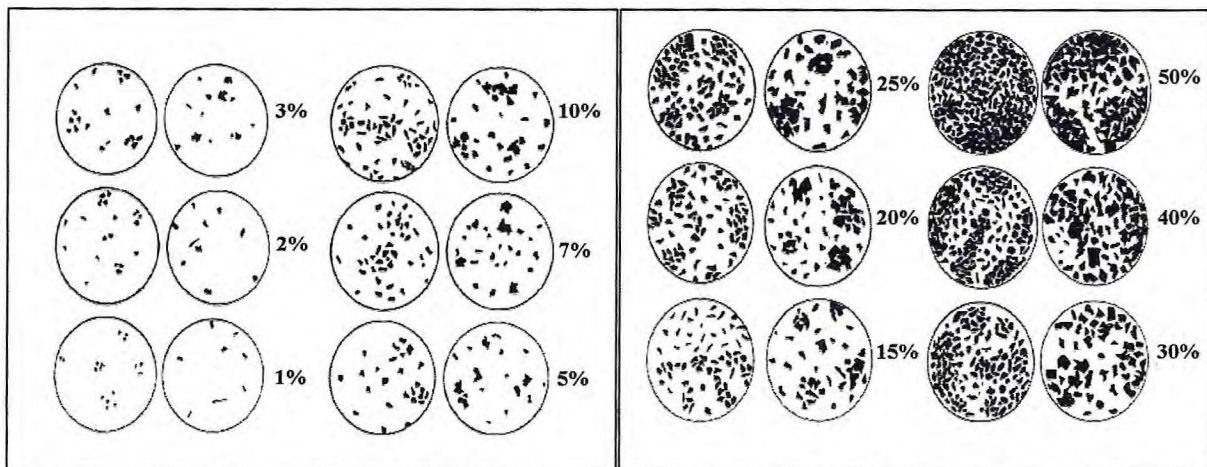


FIGURA 5.4 - Guia para a estimativa de porcentagem de uma rocha sedimentar. Compton, (1962).

Componentes originais não unidos organicamente durante a deposição				Componentes originais organicamente unidos durante a deposição	Textura deposicional não reconhecível
Com matriz micrítica		Sem matriz micrítica			
Suporte de matriz (grãos flotantes)		Suporte de grãos (grãos em contato)			
Menos de 10% de aloquímicos	Mais de 10% de aloquímicos				
MUDSTONE	WACKESTONE	PACKSTONE	GRAINSTONE	BOUNDSTONE	CARBONATO CRISTALINO

FIGURA 5.5 - Classificação para as rochas carbonáticas proposta por Dunham (1962).

- “Mudstones”: rochas com menos de 10% de grãos no arcabouço, imersos em matriz micrítica (lama carbonática).
- “Wackestones”: rochas contendo entre 10% e 30% de grãos no arcabouço, suportados por matriz micrítica.
- “Packstones”: rochas com arcabouço suportado por grãos, contendo micrita.
- “Grainstones”: rochas com arcabouço suportado por grãos, com total ausência de micrita.
- “Boundstones”: bioconstruções preservadas “in situ”, como, por exemplo: recifes algálicos, estromatolitos, etc.

A metodologia utilizada para nomear as microfácies possui um caráter, predominantemente, qualitativo e segue os critérios descritos abaixo:

1º) Nome da rocha, segundo a classificação de Dunham (op. cit.). Caso as fácies exibam uma transição entre dois tipos litológicos ou possuam ambos os tipos, os nomes devem ser usados, separadamente por uma barra.

2º) Em seguida, descrevem-se os principais grãos presentes nas microfácies, seguindo uma hierarquia impressa pela quantidade de cada tipo de grão. Os tipos dominantes são colocados após a denominação da rocha, como, por exemplo, no nome “Grainstone” oolítico. Em menores quantidades, diz-se que os grãos estão associados, como, por exemplo, na designação “Grainstone” oncolítico com pelóides associados. Em pequenos, volumes classificam-se os grãos em subordinados, por exemplo, em “Packstone” peloidal com intraclastos subordinados.

A classificação de Folk (1959) é litológica, baseada, essencialmente, nos componentes da rocha carbonática, isto é, grãos aloquímicos, matriz e cimento. Ela identifica quatro grupos básicos: carbonatos em que os grãos aloquímicos estão cimentados por calcita espática, carbonatos com os grãos aloquímicos em matriz micrítica, carbonatos microcristalinos sem aloquímicos e sem estruturas orgânicas desenvolvidas “in situ”, denominados biolíticos. Os dois primeiros grupos constituem as rochas aloquímicas (FIGURA 5.6).

ROCHAS ALOQUIMICAS (mais de 10% de aloquimicos)	Mais de 25% de intracristalinos		Menos de 25% de intraclastos			
	-		Mais de 25% de oolitos	Menos de 25% de oolitos		
			-	Relação de fósseis e pellets		
				Maior de 3:1	Entre 3:1 – 1:3	Menor de 1:3
	Mais micrita que esparita	INTRAMICRITA	OOMICRITA	BIOMICRITA	BIOPELMICRITA	PELMICRITA
Mais esparita que micrita	INTRAESPARITA	OOESPARITA	BIOESPARITA	BIOPELESPARITA	PELESPARITA	
ROCHAS ORTOQUIMICAS (menos de 10% de aloquim)	Aloquimicos entre 1 e 10%			Menos de 1% de aloquimicos		
	Aloquimicos mais abundantes				MICRITA DISMICRITA se a micrita está parcialmente recristalizada a esparita.	
	Intraclastos	Oolitos	Fósseis	Pellets		
	MICRITA C/ INTRACLASTOS	MICRITA C/ OOLITOS	MICRITA C/ FÓSSEIS	MICRITA C/ PELLETS		

FIGURA 5.6 - Classificação para as rochas carbonáticas proposta por Folk (1959 e 1962).

5.3 - PRINCIPAIS MICROFÁCIES OBSERVADAS NA ÁREA DE ESTUDO:

Com o estudo ao microscópio foram identificadas três variações da rocha, segundo o critério de Dunham (1962): (1)- wackestone; (2)- packstone; e (3)- mudstone.

Os três tipos contêm lama (*mud*), que Dunham define como silte (ou grãos de argila). “*Mudstones*” são, também, conhecidos como calcilitos ou lamas carbonáticas, que correspondem a rochas carbonáticas com mais de 90% de matriz micrítica (Giannini, 2003). Essas lamas se acumulam em áreas de águas tranquilas, não afetadas por ondas, por marés, nem por correntes oceânicas fortes, típicos de ambiente de plataforma profunda. Por fim, “*wackestone*” e “*packstone*” são fácies transicionais entre as lamas de baixa energia e os “*grainstones*” de alta energia. Acumulam-se em ambientes plataformais, de clima quente, onde a energia das correntes não foi suficiente, para remover toda a lama existente, mais distante da borda da plataforma ou em porções mais profundas, onde há certa proteção.

Em área de energia alta, são, organicamente, aglutinados, muitos deles formados por pelotas fecais (Suguio, 1980).

5.3.1 - “Packestones” Bioclástico (DUNHAM, 1962) ou Pelmicrito (FOLK, 1959).

A primeira amostra coletada corresponde a um estrato acima do nível cavernoso, estando localizada a leste da fratura da entrada principal da caverna Catedral (FIGURA 5.7). Macroscopicamente, a rocha mostra-se maciça, apresenta uma matriz fina e densa com pequenos bioclastos bem preservados de granulometria, que variam entre 0,5mm a 2,5mm de tamanho, distribuídos uniformemente. O processo de dissolução não é visível na amostra de mão, a sua cor é creme claro, a amostra efervesceu com o ácido clorídrico (HCl 10%), (FIGURA 5.8).

Dessa amostra, foi obtida uma lâmina que foi denominada como: BE-01. Ao microscópio, sua composição aloquímica é de 50%, a ortoquímica é de 45% e a porosidade intragrão é de 5% (FIGURA 5.11). Desses 50%, são constituídos 9% de Foraminífero “*Discorbis*” cf. *SP*, que variam de 0,5mm a 3mm de tamanho; 14% de Gastrópodes, que variam de 0,5mm a 4,5mm de tamanho; 3% de “*Quinqueloculina*” sp, de tamanho 3mm; e 24% de Peloides, que variam de 0,5mm a 3mm de tamanho, exibindo estruturas esféricas e elipsoidais (FIGURA 5.12). Possuem, em maiores quantidades, bioclastos e Peloides associado com contatos entre grãos predominantemente, pontuais a retos e, secundariamente, côncavo-convexos (FIGURA 5.9 e 5.10).

Os fragmentos possuem natureza carbonática e bioclástica, com tamanhos variados. A porosidade ocorre intragrão, (FIGURA 5.11). Os eventos diagenéticos são: sedimentação, compactação, cimentação e dissolução.

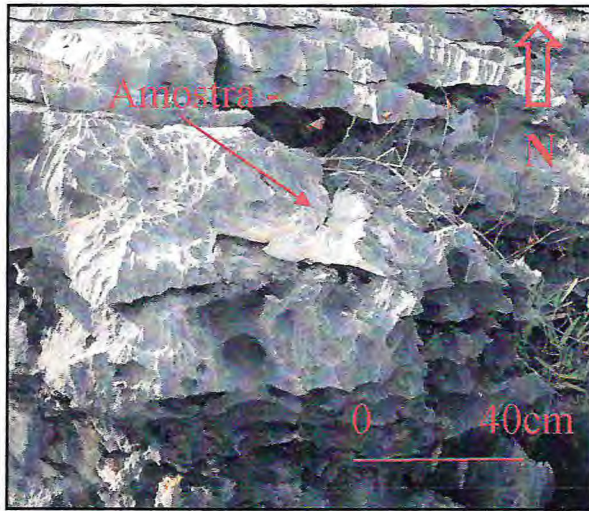


FIGURA 5.7 - Amostra 1. Coletada à leste da fratura da entrada principal da caverna Catedral, nível maciço. Coordenada: 647854/9384873-WGS-84-UTM-24.



FIGURA 5.8 - Amostra 1: A. Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%), com a rocha. B. Material bioclástico distribuído, uniformemente na rocha, (granulometria 1 mm a 2,5mm).

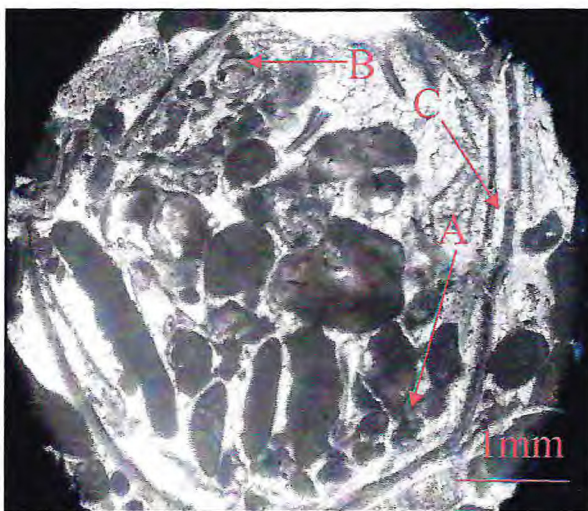


FIGURA 5.9 - Lâmina BE 01/ e Nx objetiva de 4x, 5mm. A. Pelóides. B. "Quinqueloculina" cf. SP. C. Fragmentos de Gastrópodes.

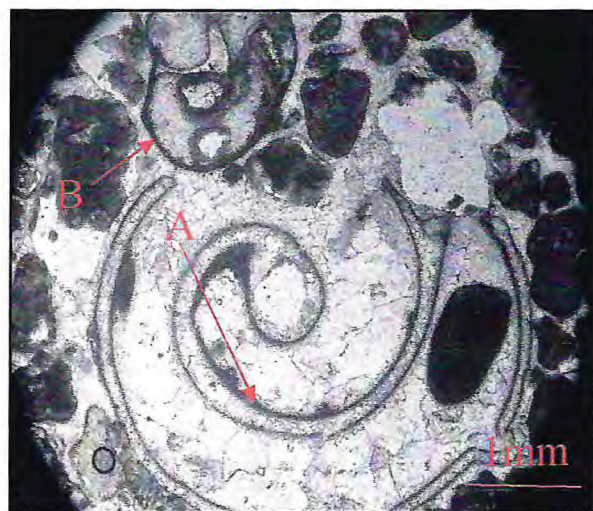


FIGURA 5.10 - Lâmina BE 01/ e Nx objetiva de 4x, 5mm. A. Foraminífero "Discorbis" cf. SP. B. Gastrópodes preenchidos por material carbonático.

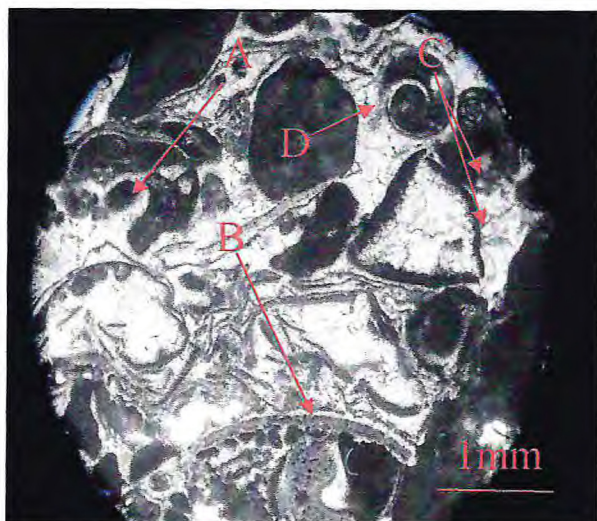


FIGURA 5.11 - Lâmina BE 01/ e Nx objetiva de 4x,5mm. A. Pelóide. B. Fragmentos de Gastrópodes. C. Porosidade secundária do tipo intragrão. D. Molusco Gastropode juvenil.

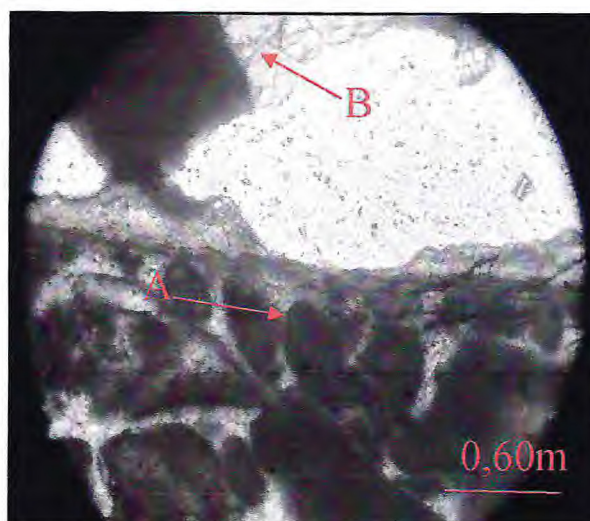


FIGURA 5.12- Lâmina BE 01/ e Nx objetiva de 10x,2,5mm. A. Pelóides, exibindo estruturas esféricas a elipsoidais. B. Matriz carbonatica.

5.3.2 – “Packestones” Intraclástico (DUNHAM, 1962) ou Intramicrito (FOLK, 1959):

A segunda amostra coletada corresponde a um estrato acima do nível cavernoso, estando localizada a leste da fratura da entrada principal da caverna Catedral (FIGURA 5.13). Macroscopicamente, a rocha mostra-se maciça, uma matriz fina e bastante densa com pequenos bioclastos bem preservados de granulometria, que variam entre 1mm a 2mm de tamanho, distribuídos uniformemente. O processo de dissolução não é visível na amostra de mão, a sua cor é creme claro, a amostra efervesceu com o ácido clorídrico (HCl, 10%), (FIGURA 5.14).

Dessa amostra, foi obtida uma lâmina, que foi denominada: BE-02. Ao microscópio, sua composição aloquímica corresponde a 35% e a ortoquímica é de 55% (FIGURA 5.16). A matriz corresponde a 45% e o cimento, aproximadamente, a 10%. A porosidade que ocorre intragrão é 10% (FIGURA 5.15). O material biclástico é composto por Pelóides, com 30% e por “*Quinqueloculina*” SP, com 5% (FIGURA 5.17).

A sua granulometria (ou tamanho médio dos Pelóides) é de 0,25mm, apresentando dissolução e estrutura elipsoidal, com característica de energia média (FIGURA 5.18).

Os eventos diagenéticos são: sedimentação, compactação, cimentação, dolomitização e dissolução (FIGURA 5.18).

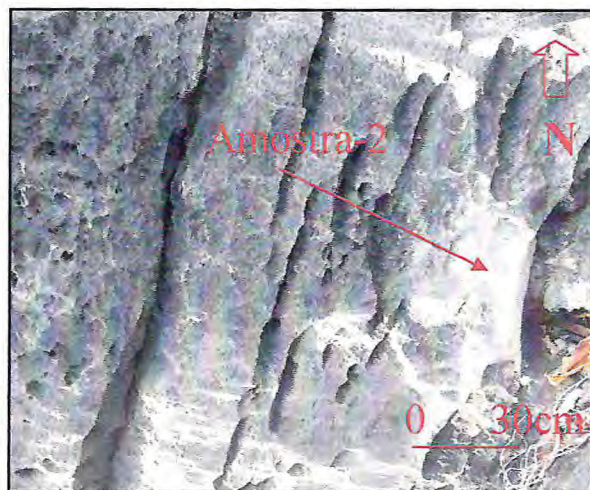


FIGURA 5.13 - Amostra 2. Coletada à leste da fratura da entrada principal da caverna Cathedral, nível maciço. Coordenada: 647854/9384873-WGS-84-UTM-24.

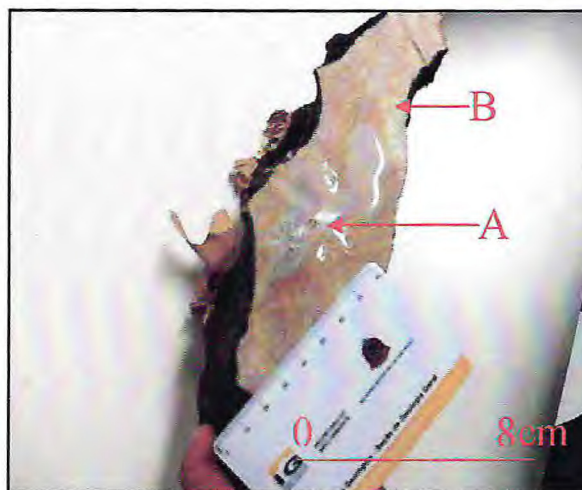


FIGURA 5.14 - Amostra 2. A. Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%) com a rocha. B. Material bioclástico distribuído, uniformemente, na rocha, granulometria 1mm a 2mm.

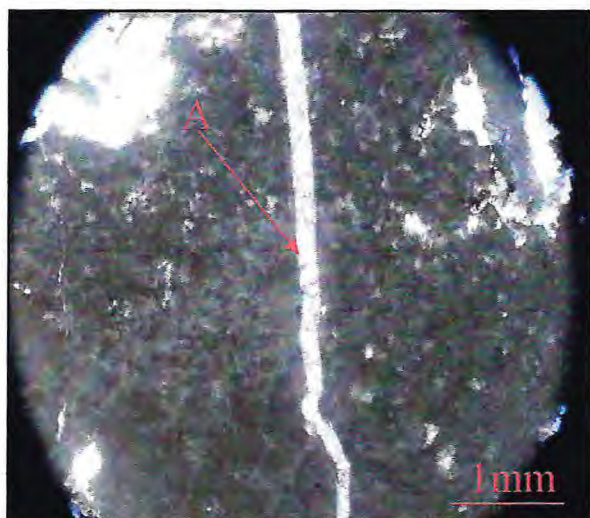


FIGURA 5.15 - Lâmina BE-02/ e Nx objetiva de 4x,5mm. A. Fratura preenchida por veio carbonático com porosidade intragrã.

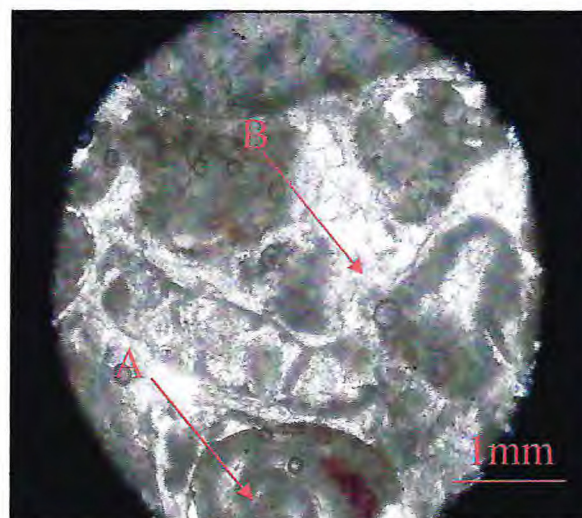


FIGURA 5.16 - Lâmina BE-02/ e Nx objetiva de 4x,5mm. A. Bioclóstos e B. Material micritico.

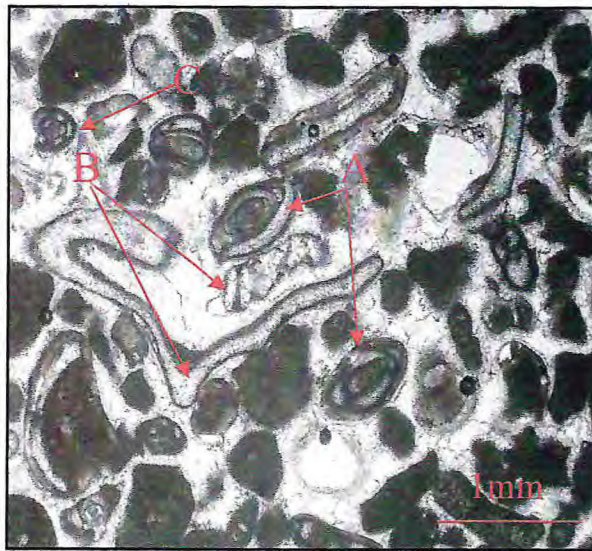


FIGURA 5.17 - Lâmina BE-02/ e Nx objetiva de 4x,5mm. A. “*Quinqueloculina*” cf.sp em corte transversal. B. Bioclóstos. C. “*Quinqueloculina*” cf. sp em corte lateral.

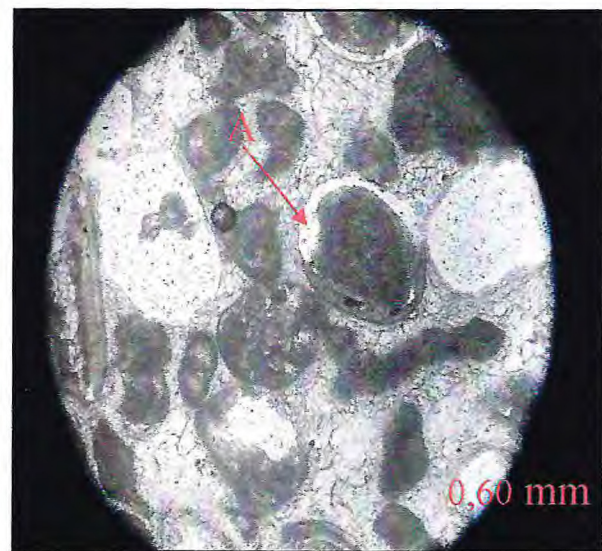


FIGURA 5.18 - Lâmina BE-02/ e Nx objetiva de 10x,2,5mm . A. Pelóide apresentando dissolução com estruturas elipsoidal.

5.3.3 – “Wackestones” Intraclástico (DUNHAM, 1962) ou Intramicrito (FOLK, 1959):

A terceira amostra coletada corresponde a um estrato acima do nível cavernoso, estando localizando-se, proximamente, à entrada principal da caverna Catedral (FIGURA 5.19). Macroscopicamente, a rocha mostra-se maciça, bastante densa e com pequenos bioclastos de granulometria 1,5mm de tamanho, distribuídos uniformemente. O processo de dissolução não é visível na amostra de mão, a sua cor é creme-claro. A amostra efervesceu com o ácido clorídrico (HCl, 10%, FIGURA 5.20).

Dessa amostra, foi obtida uma lâmina que foi denominada: BE-03. Ao microscópio, sua composição aloquímica corresponde a 30%, a ortoquímica é de 69%, com uma porosidade de 1%, que ocorre em fratura (FIGURA 5.23). Desses constituintes, 59% são matriz micritica; 9% são cimento carbonático; e 1%, “*Quinqueloculina*” sp (Figura 5.21). A sua granulometria (ou tamanho médio dos Peloides) é de 0,08mm, com características de energia baixa (FIGURA 5.22).

Possui em menores quantidades bioclóstos; e em maiores, intraclóstos associados com contato entre grãos, predominantemente, pontuais a retos (FIGURA 5.21). Ocorre o processo de dismiticrização com o material carbonático (FIGURA 5.24). Como evento diagenético, pode ser considerado a seguinte sequência: sedimentação, micritização, compactação mecânica/química, cimentação, dolomitização e dissolução.

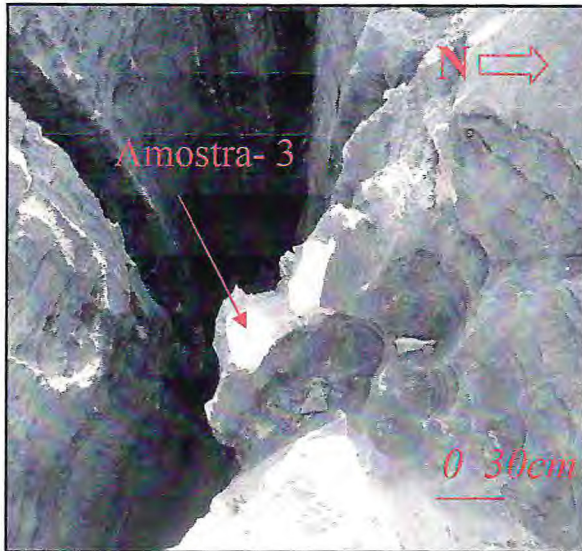


FIGURA 5.19- Amostra 3. Coletada próximo à entrada principal da caverna Catedral, nível maciço. Coordenada: 647802/9384866-WGS-84-UTM-24.

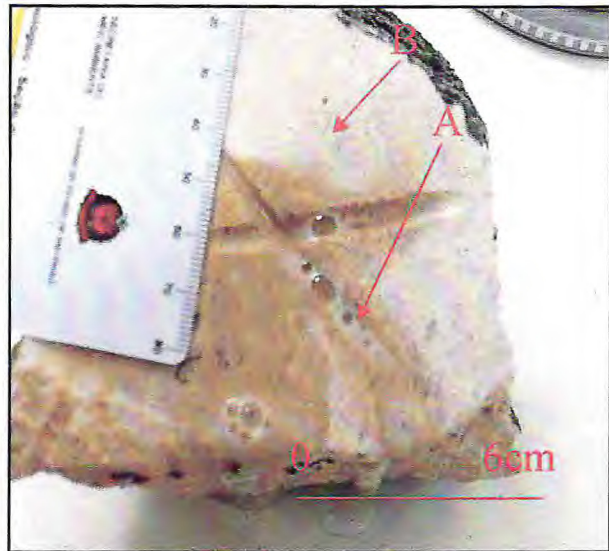


FIGURA 5.20 - Amostra 3. A. Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%) com a rocha. B. Material bioclástico distribuído, uniformemente, na rocha.

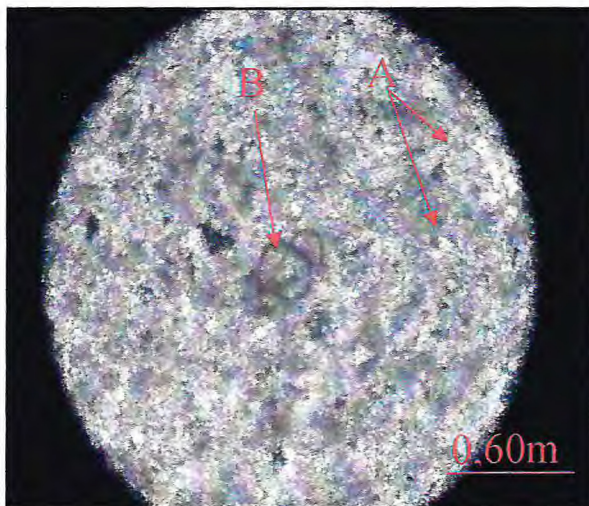


FIGURA 5.21 - Lâmina BE-03/ e Nx objetiva de 10x, 2,5mm. Nicóis cruzados. A. Constituída por uma matriz fina. B. "*Quinqueloculina*" sp.

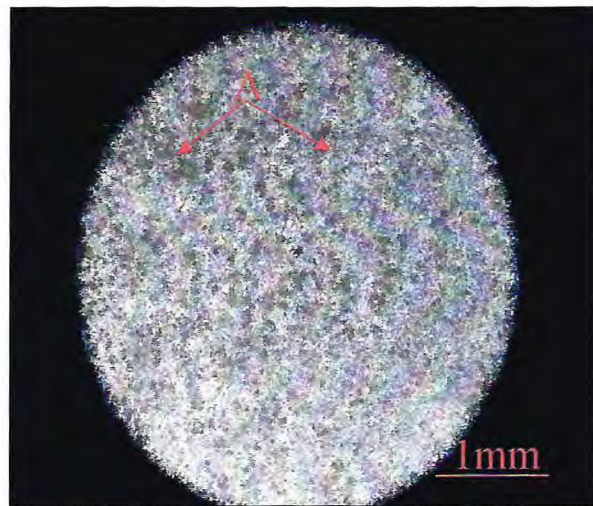


FIGURA 8.22 - Lâmina BE-03/ e Nx objetiva de 4x, 5mm. Nicóis cruzados. A. Pelóides com uma granulometria fina.

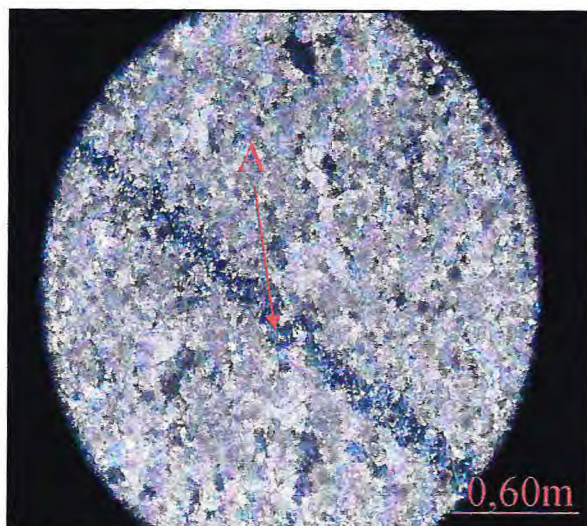


FIGURA 5.23 - Lâmina BE-03/ e Nx objetiva de 10x,2,5mm. Nicóis cruzad., A. Fratura preenchida por carbonátos com porosidade intragrã.

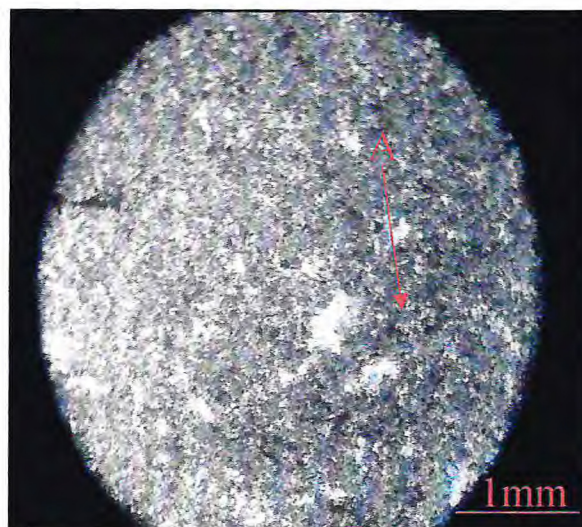


FIGURA 5.24 - Lâmina BE-03/ e Nx objetiva de 4x,5mm. Nicóis cruzado. A. Dismicritização do carbonáto.

5.3.4. – “Packestones” Pelóidal (DUNHAM, 1962) ou Pelmicrito (FOLK, 1959):

A quarta amostra coletada corresponde a um estrato acima do nível cavernoso, estando localizando-se na entrada principal da caverna Catedral (FIGURA 5.25). Macroscopicamente, a rocha mostra-se maciça, bastante densa, de cor creme-claro, com pequenos bioclásticos bem preservados, de granulometria 1,5mm, apresentando um material micrítico fino e bioclastos. A amostra efervesceu com o ácido clorídrico (HCl, 10%, FIGURA 5.26).

Dessa amostra, foi obtida uma lâmina que foi denominada: BE-04. Ao microscópio, sua composição aloquímica é de, aproximadamente, 50%, a ortoquímica, de 45% e a porosidade intergrão é de 5% (FIGURA 5.27). Desses 50%, são, 9% de Oóides, que variam de 0,5mm a 1,5mm de tamanho (FIGURA 5.28). Aproximadamente, 38% de Pelóides, que variam de 0,24mm a 3mm de tamanho, exibem estruturas elipsoidais; e 3%, de bioclastos (FIGURA 5.29). Ela possui, em maior quantidade, material micrítico e Pelóides (FIGURA 5.20).

Os fragmentos possuem natureza carbonática e bioclástica com tamanhos variados. A porosidade ocorre intergrão. Os eventos diagenéticos são: a sedimentação, a compactação, a cimentação e a dissolução.

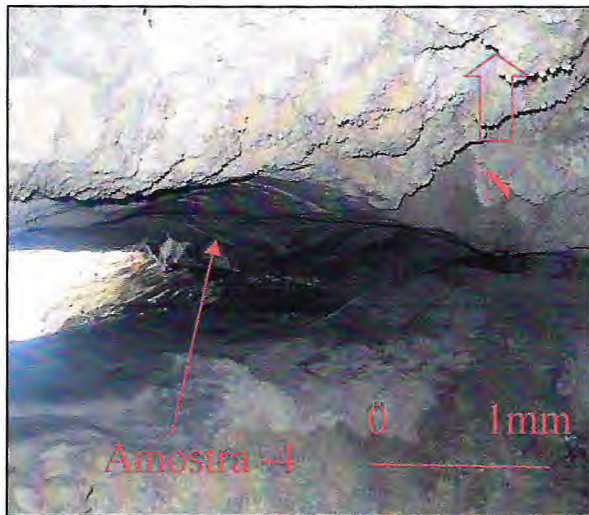


FIGURA 5.25 - Amostra 4. Coletada na entra da caverna Catedral, nível estratigráfico. Coordenada: 637826/9384865-WGS-84-UTM-24.

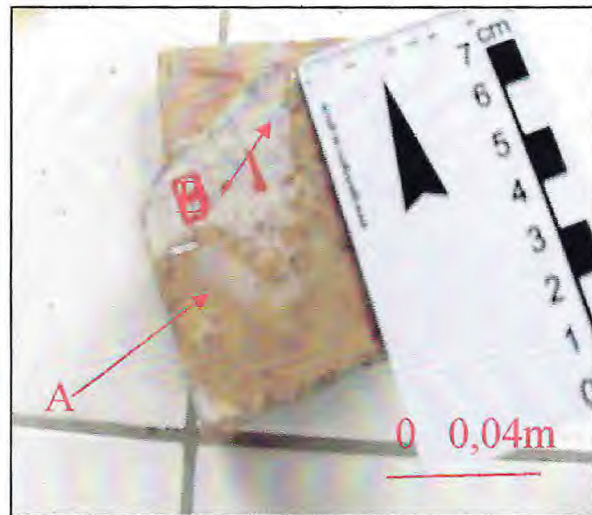


FIGURA 5.26 - Amostra 4. A. Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%) com a rocha. B. Material bioclástico.

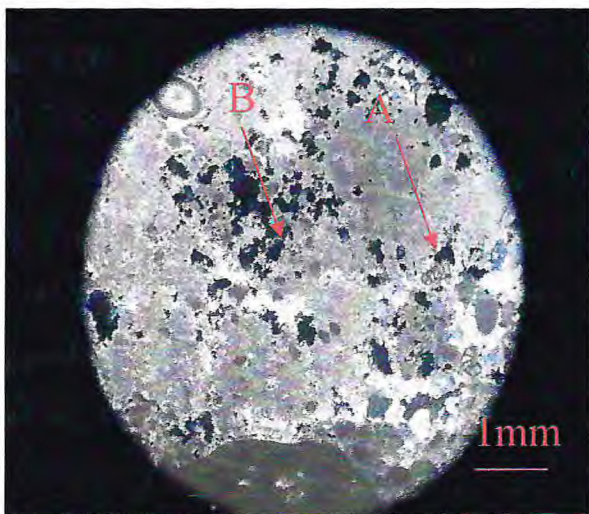


FIGURA 5.27 - Lâmina BE-04/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. Nicóis cruzados. A. Gastrópode. B. Porosida intergrão.

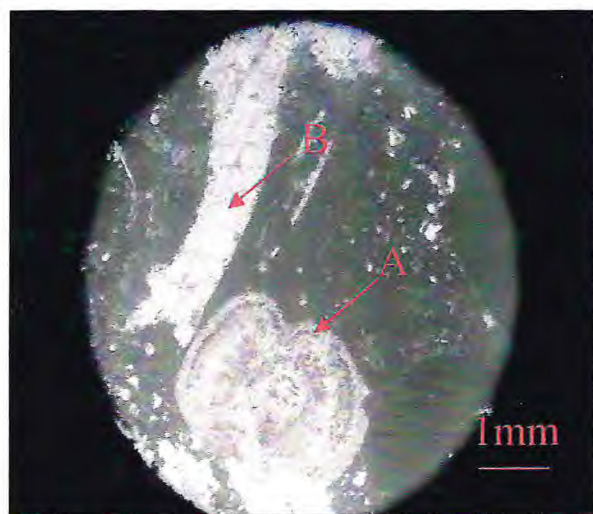


FIGURA 5.28 - Lâmina BE-04/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Oolito. B. Fratura preenchida por produto da dissolução do calcário.

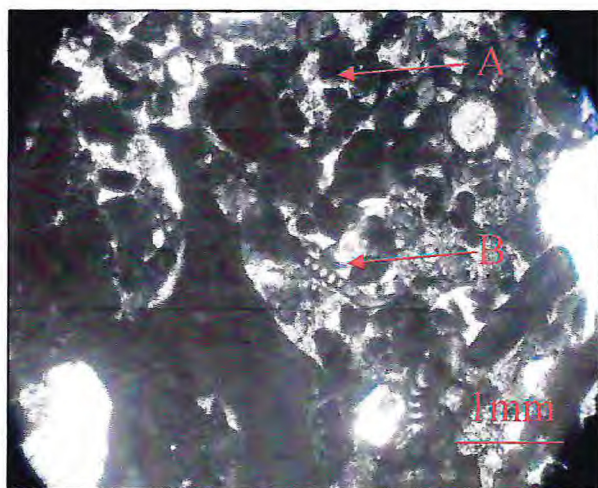


FIGURA 5.29 - Lâmina BE-04/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Pelóides elipsoidais. B. Bioclásticos.

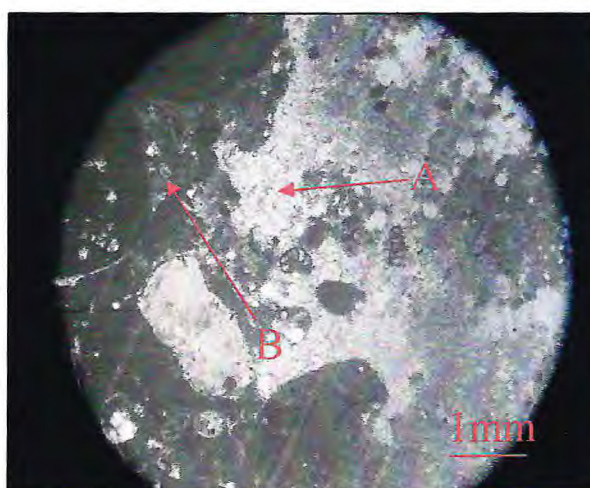


FIGURA 5.30 - Lâmina BE-04/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Pellets. B. Material micrítico.

5.3.4.1 – “Mudstone” Intraclástico (DUNHAM, 1962) ou Intramicrito Folk (1959):

A quinta amostra coletada corresponde a um nível cavernoso, estando localizando-se próxima à estação 16A (ANEXOII) dentro da caverna Catedral (FIGURA 5.31). Macroscopicamente apresenta material micrítico, locais bastante afetados pelo intemperismo e um estrato bem poroso. A amostra efervesceu com o ácido clorídrico (HCl, 10%, FIGURA 5.32).

Dessa amostra, foi obtida uma lâmina, que foi denominada: BE-05. Ao microscópio, sua composição é de cerca de 90% de material micrítico, e 3% de cimento ocorrem, preenchendo os espaços vazios e uma porosidade intergrão (FIGURA 5.3 e 5.34). Desses 10% correspondem a intraclasto líticos (FIGURA 5.36). Em lâmina, apresentou uma porosidade de 15%; um tanto alta, em relação a todas as lâminas analisadas, anteriormente, nesta pesquisa. Os eventos diagenéticos são: a sedimentação, a compactação e a cimentação.

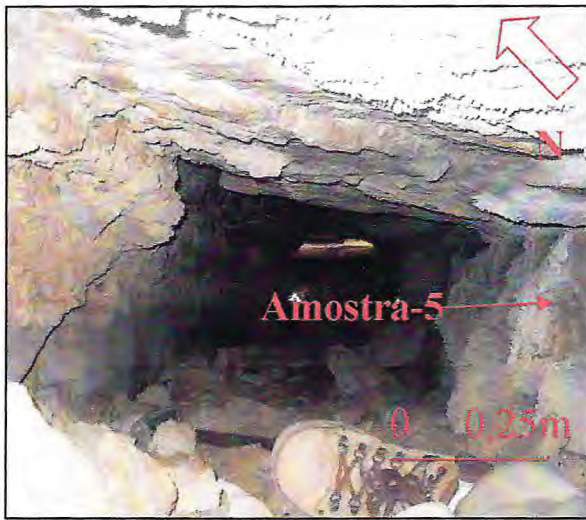


FIGURA 5.31 - Amostra 5. Coletada próxima à estação 16ª, dentro da caverna Catedral, nível cavernoso.

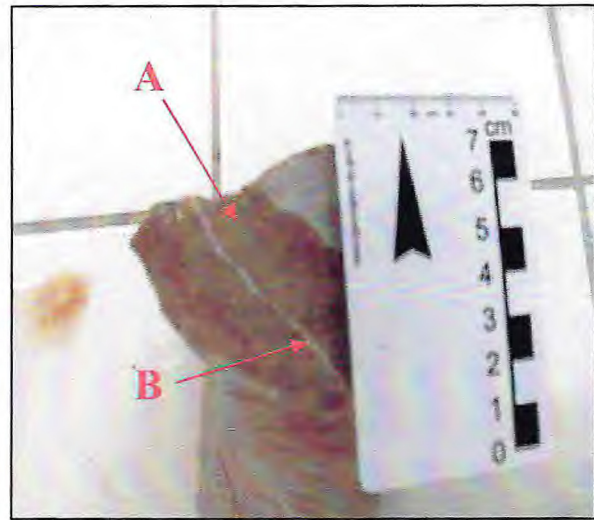


FIGURA 5.32 - Amostra 5. A. Reação do ácido clorídrico (HCl, 10%) com a rocha. B. Local bastante intemperizado.

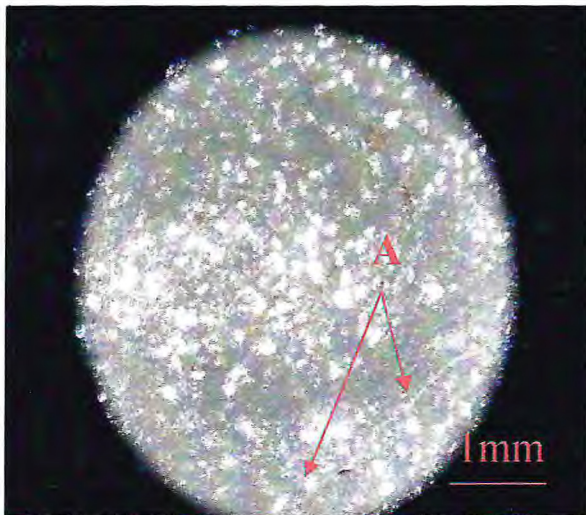


FIGURA 5.33 - Lâmina BE-05/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Porosidade intergrão.

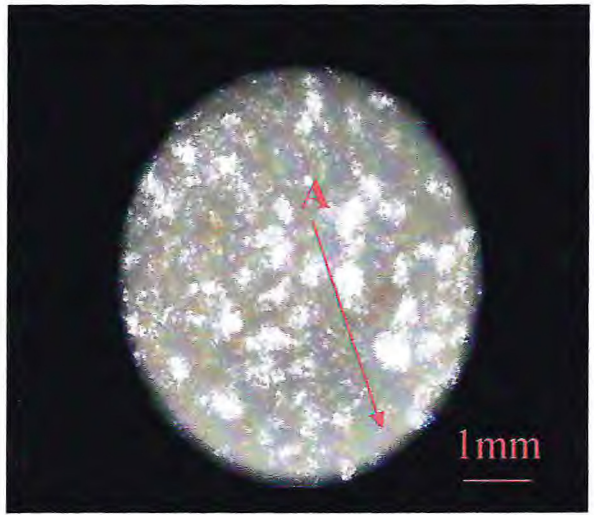


FIGURA 5.34 - Lâmina BE-05/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Material micrítico.

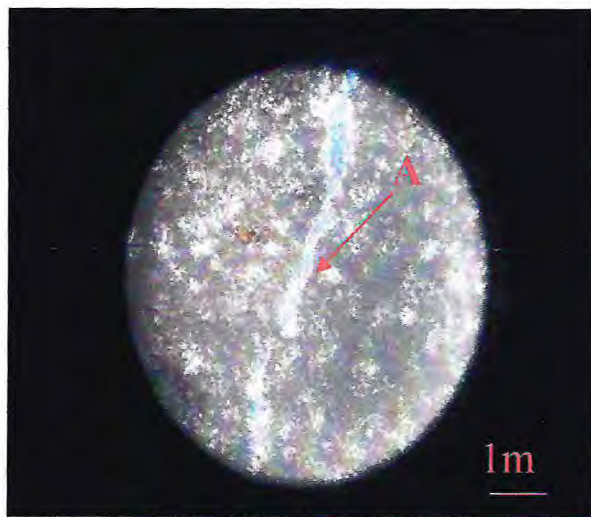


FIGURA 5.35 - Lâmina BE-05/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Fratura preenchida por material carbonático.

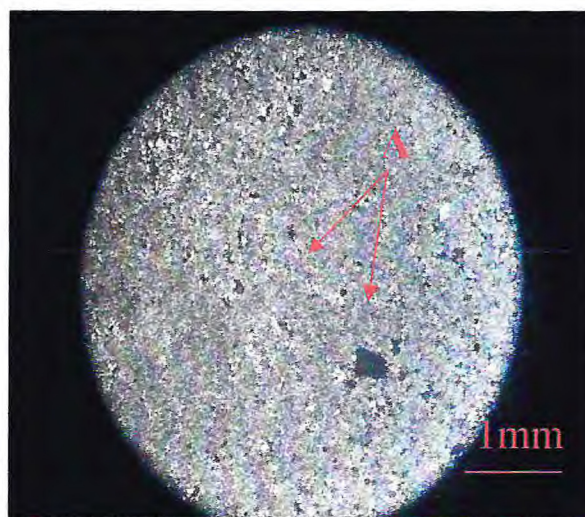


FIGURA 5.36 - Lâmina BE-05/ e Nx, Objetiva de 4x,5mm. A. Intraclastos representados por agregado de fragmentos líticos carbonáticos.

5.4 - INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE PETROGRÁFICA:

5.4.1 – Aloquímicos Identificados em Lâminas Petrográficas:

Em lâmina petrográfica foram, reconhecidos diversos aloquímicos, tais como: fosseis de Gastrópodes, foraminíferos do gênero da espécie “*Quinqueloculina*” sp, Pelóides e fragmentos fossilizados de Algas (TABELA 5.1 e FIGURA 5.37). Tal associação é típica de ambiente marinho de Inframaré, que, segundo Altiner & Savini (1991), vem, para confirmar as condições paleoambientais de mar raso para o carbonato em estudo.

TABELA 5.1 - Tabela mostrando a distribuição do aloquímicos por lâminas

Lâminas	Aloquímicos	Litologia
BE-01	Gastrópodes, "Quinqueloculina" cf. sp, "Discorbis" cf. sp, fragmentos de Gastrópodes e Pelóides	"Packstones"
BE-02	"Quinqueloculina" sp e Pelóides	"Packstones"
BE-03	"Quinqueloculina" cf. sp e Pelóides	"Wackestone"
BE-04	Pelóides, Oolitos e Gastrópodes	"Packstones"
BE-05	Ausente	"Mudstones"

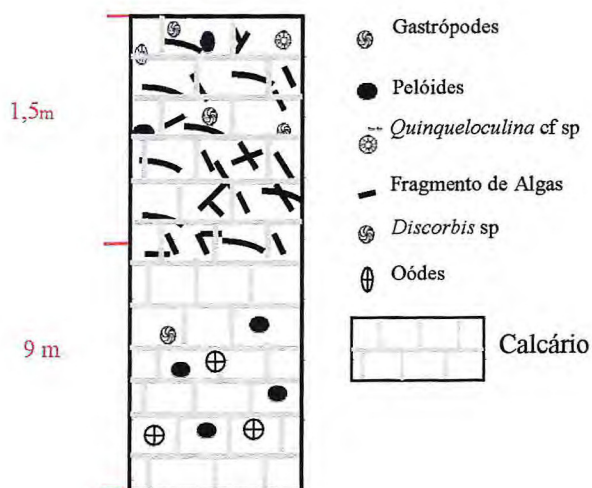


FIGURA 5.37 - Desenho esquemático mostrando o comportamento dos aloquímicos no calcário, de acordo com a análise petrográfica.

5.4.2 - Interpretação das Lâminas:

Com a análise petrográfica, pode-se dizer que as rochas “Packestones” apresentam uma porosidade razoável, que favorece a formação das estruturas cársticas em superfície e em subsuperfície no início dos níveis cavernosos, com maiores quantidades de bioclóstos mal selecionados e de grãos. Já as rochas “wackestones” são as de menores porosidades e de bioclóstos, representando os níveis maciços da caverna. Assim sendo, os níveis de menor alteração, em função da dissolução, são responsáveis por toda a estrutura de sustentação da caverna Catedral.

“Mudstones” é a rocha de porosidade mais elevada, assim sofre uma maior percolação e, conseqüentemente, maiores dissoluções. Ela representa os níveis cavernosos da Catedral. As porosidades encontradas foram: intergrão, intragão, preenchendo fraturas (FIGURA 5.38).

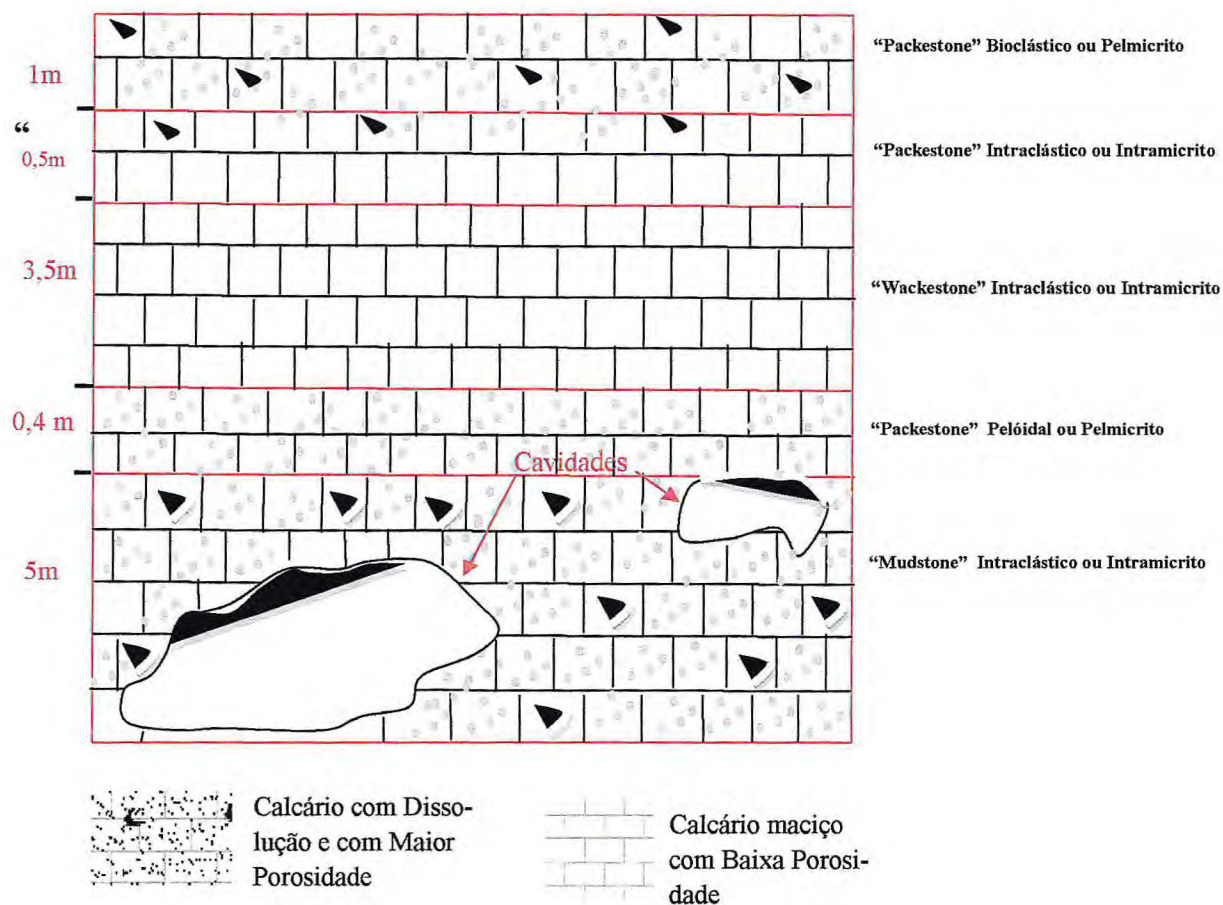


FIGURA 5.38 - Desenho esquemático mostrando o comportamento do calcário de acordo com a análise petrográfica. As rochas classificadas como "Packestone" são as que representam os níveis com certa porosidade, favorável ao desenvolvimento em superfície das feições cársticas e em subsuperfície ao início dos níveis cavernosos. "Mudstone" representa os níveis de maior porosidade, portanto favorável ao desenvolvimento da caverna Catedral. "Wackestone" representa o calcário maciço, que faz toda a sustentação da caverna.

CAPITULO VI

DIAGNÓSTICO ESPELEOLÓGICO DA ÁREA

6.1 - APRESENTAÇÃO:

Serão explanadas, aqui, diversas formas cársticas presentes na área, desde o exocarste ao endocarste. Respectivamente, correspondem aos relevos superficiais e subterrâneos de domínio do relevo cárstico.

Observa-se que o relevo exocárstico é resultado, na maioria das vezes, da evolução do endocarste (abatimentos). No domínio das formas exocársticas, destacam-se as feições negativas, como as dolinas e as formas recentes de pequena dimensão, como lapiás (FIGURA 6.2 e 6.3).

As dolinas são depressões fechadas e típicas na paisagem, geralmente do tipo abatimento, com configuração circular ou elíptica, de dimensões métricas tanto em diâmetro, como em comprimento (FIGURA 6.2). Os lapiás são caneluras de espessura centimétrica, que sulcam a superfície da rocha cárstica. Na área, são observados campos de lapiás, que correspondem a grandes superfícies recobertas por lapiesamento. O canalículo ocorre em forma de “V”, com comprimentos métricos e padrão retangular, em paralelo ao intenso sistema de fraturas existentes na área.

O endocarste é caracterizado pelo ambiente subterrâneo, com cavernas ornamentadas por espeleotemas (colunas, cortinas, estalactites e estalagmites), FIGURA 6.1. A morfologia desses condutos é controlada por uma hierarquia de influências, dentre as quais estão, principalmente, a hidrologia subterrânea, o grau de solubilidade da rocha e o seu padrão estrutural. Em cada uma das fases evolutivas de uma caverna, há um tipo característico da morfologia. Na sua fase inicial, predomina a corrosão. Para exercer a ação corrosiva, a água necessita de tempo e de impregnação de CO₂, pois uma circulação rápida produz erosão e não produz corrosão.

Com o aparecimento da erosão, a caverna aumenta suas dimensões, dando início à fase *juvenil*. Quando se inicia a produção de galerias, e a água circula livremente, surge a morfologia de afundamento, momento em que a caverna atinge a sua *maturidade*.

Nessa etapa, a água, com grande poder dissolvente, chega às fendas carregando carbonato de cálcio suficiente, para iniciar as primeiras formas de estalactites. As estalagmites vêm em seguida, pois dependem da circulação inferior.

A caverna entra na sua última fase evolutiva, originando a morfologia senil, com abundantes espeleotemas. Segundo Kohler.apud. Guerra e Cunha (2005), a evolução de um carste no tempo leva a sua dissolução total e absoluta. Trata-se de um processo dinâmico, enquanto houver água e rocha. Assim, a evolução de uma paisagem cárstica não é um fenômeno estático. O processo tem seu nascimento e se desenvolvimento, até alcançar a maturidade, quando entra em um estado destrutivo, até desaparecer (FIGURA.6.1).

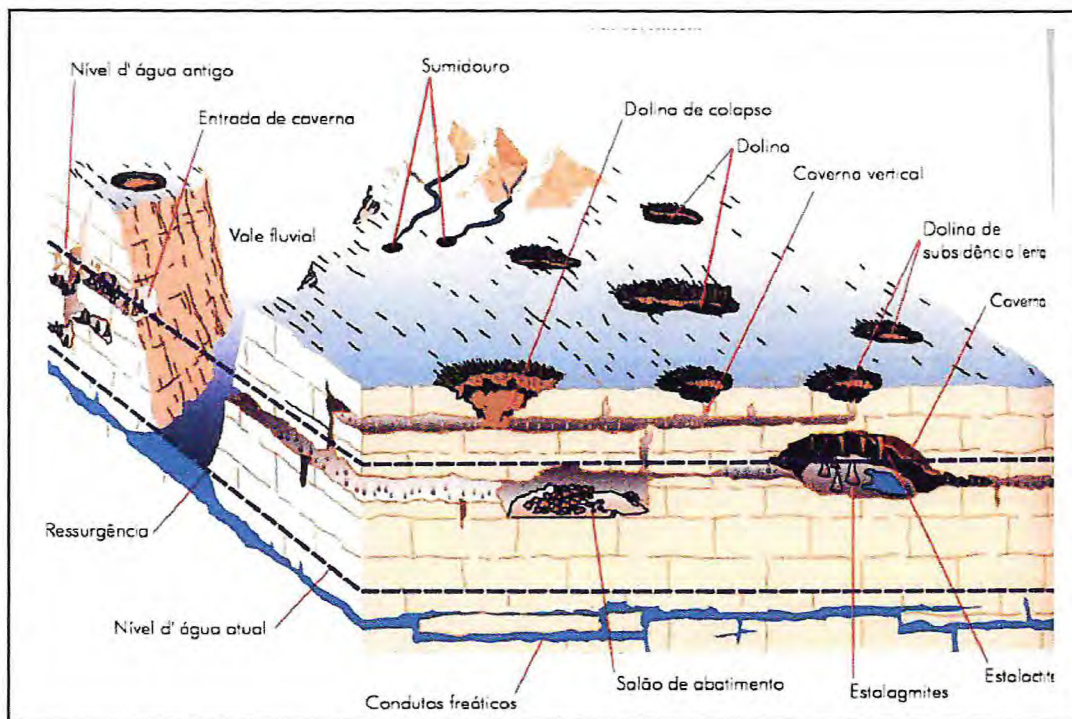


FIGURA 6.1 - Formas de carstificação das rochas carbonáticas: Decifrando a Terra (2009 - Edição 2)

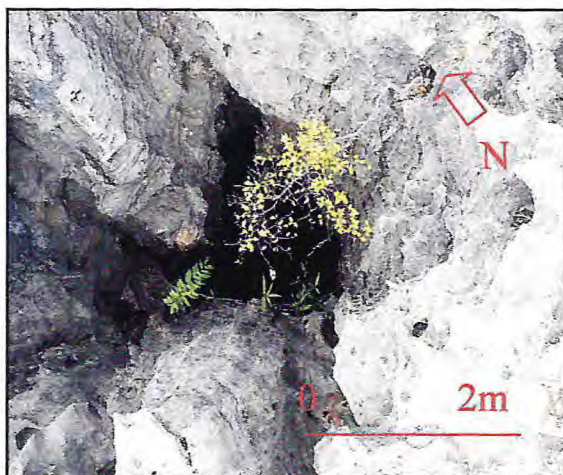


FIGURA 6.2 - Dolina com, aproximadamente, 2m de diâmetro e 3,10m de profundidade. Coordenadas: 647807/9384815- WGS-84-UTM-24.

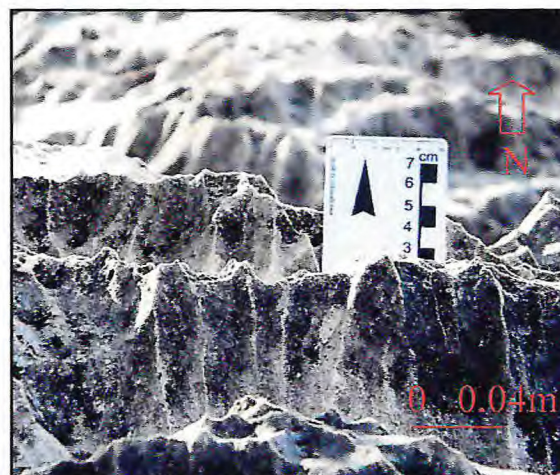


FIGURA 6.3 - Lapiás. Coordenadas: 647825/9384850- WGS-84-UTM-24.

6.2 - POTENCIAL ESPELEOLÓGICO E CAVERNAS EXISTENTES NA ÁREA :

Os calcários cretáceos do grupo Apodi correspondem a uma das maiores áreas de ocorrência de carbonatos nos estados do nordeste brasileiro, os quais afloram, em grande parte no Rio Grande do Norte e, em estreita faixa, no leste do Ceará. Apesar de sua grande extensão, existem pouco mais de duzentas cavernas registradas no Cadastro Nacional de Cavernas (CNC), TABELA 6.1. A maior concentração de grutas ocorre nos arredores da cidade de Felipe Guerra. A maior gruta do estado, de acordo com CECAV/RN, é a caverna do Trapiá, localizada no município de Felipe Guerra, com uma extensão de aproximadamente 2.325 metros de desenvolvimento linear. Para adentrá-la, é preciso enfrentar 18 metros de abismo, vencidos, apenas, com técnicas de rapel. O potencial espeleológico do setor oeste da bacia Potiguar, bem como o controle estrutural na gênese das cavernas têm sido objeto de pesquisas recentes, desenvolvidas por Veríssimo et al. (2006, 2007), Gomes et al. (2007) e Camara et al. (2007).

TABELA 6.1 - Distribuição das cavidades por unidades da federação, em destaque RN, (CECAV, 2008).

REGIÃO	ESTADO	Nº DE CAV	REGIÃO	ESTADO	Nº DE CAV
SUL (S)	RIO GRANDE DO SUL	7	CENTRO-OESTE (CO)	MATO GROSSO DO SUL	151
	SANTA CATARINA	7		MATO GROSSO	273
	PARANÁ	266		GOIÁS	689
	SÃO PAULO	441		DISTRITO FEDERAL	48
SUDESTE (SE)	MINAS GERAIS	2284	NORDESTE (NE)	BAHIA	435
	ESPÍRITO SANTOS	8		SERGIPE	11
	RIO DE JANEIRO	22		ALAGOAS	-
	AMAZONAS	7		PARAÍBA	5
NORTE (N)	PARÁ	467	PERNAMBUCO	2	
	RONDÔNIA	13	RIO GRANDE DO NORTE	267	
	RORAIMA	-	MARANHÃO	9	
	ACRE	-	CEARÁ	43	
	TOCANTINS	547	PIAUI	38	
	AMAPÁ	-			
TOTAL					6.040

No pavimento cárstico do Lajedo de Rosário, foram topografadas vinte e seis cavernas (FIGURA 6.13 e TABELA 6.2), recentemente, pelo projeto “Espeleometria e caracterização ambiental de cavidades naturais e subterrâneas no município de Felipe Guerra”, realizado pelo convênio LAGETEC/DEGEO-UFC-CECAV/IBAMA, coordenado pelo Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo.

TABELA 6.2 - Distribuição das cavidades topografadas pelo (LAGETEC/DEGEO e CECAV-RN/ICMBIO, 2009), em destaque, a caverna Catedral, objetivo de estudo e de pesquisa.

PONTOS	DATUM - WGS-UTM - 24S		NOMES DAS CAVIDADES
Ponto	Longitude	Latitude	Nome da Cavidade
1	647769.00	9384804.00	Abissal
2	651093.66	9386618.89	Ade
3	651907.79	9386133.94	Beira Rio
4	648505.00	9385066.00	Canyon dos Corredores
5	647766.00	9384822.00	Catedral
6	651440.21	9386431.86	Chi
7	648321.55	9385255.90	Chocalho
8	648341.00	9385066.00	Complexo Suíço
9	648050.00	9385412.00	Couve-Flor
10	647902.00	9385242.00	Craibeira
11	648220.00	9385800.00	Dona Tereza
12	648102.63	9385630.90	F9AB108
13	648107.00	9385636.00	F9B109
14	648184.00	9385750.00	Filme
15	645295.00	9381054.00	Folhas
16	645286.00	9381054.00	Geilson Feijão Bravo
17	645302.00	9381094.00	Maribondo
18	652442.41	9384319.42	Maringá
19	648963.66	9383844.91	Mulungu
20	645374.00	9381640.00	Pau
21	647720.00	9384920.00	Ravina do Desafio
22	648057.00	9385596.00	Tejo
23	644241.45	9384588.89	Toca da Lapa
24	652619.54	9384521.00	Trapiá
25	648335.00	9385252.00	Tuberculoso Cupinzeiro
26	651855.04	9387262.96	Zé Juvino

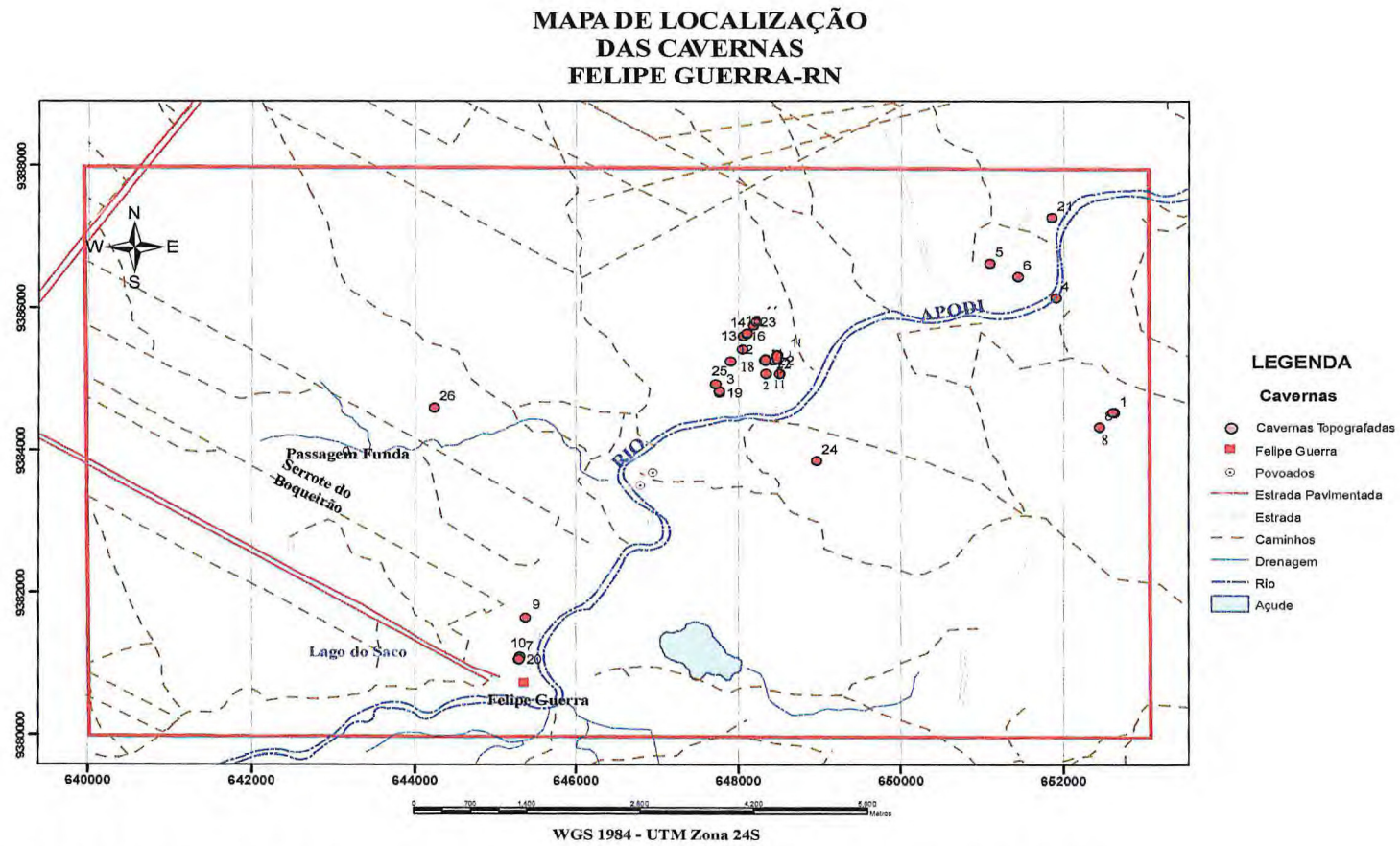


FIGURA 6.4 - Localização de cavidades naturais mapeadas no município de Felipe Guerra, em relação à área do projeto de pesquisa.

Entre as cavernas citadas, as que merecem destaque, por apresentarem sedimentos clásticos (bloco desmoronado e material detrítico) e espeleotemas (deposições minerais), com formas peculiares e com dimensões variadas (centímetros a metros) são as cavernas Abissal, Ravina do Desafio e a Gruta da “Catedral 5”, (a de estudo deste trabalho, FIGURA 6.4).

CAPITULO VII

TOPOGRAFIA

7.1- APRESENTAÇÃO:

Na topografia da caverna Catedral, utilizou-se bússola adaptada com clinômetro, com formulário de topografia, com trena a laser e com trenas de “nylon” (FIGURA 7.1). Para a realização deste trabalho, foi necessária uma equipe composta por quatro pessoas, com funções específicas como:

- O instrumentista responsável pelas leituras que determinam o azimute e a inclinação entre as bases, que levava consigo a bússola com clinômetro e uma das pontas da trena de “nylon”;

- O ponta de trena, responsável pela determinação da posição de cada nova base topográfica e pela leitura da distância, leitura esquerda (LE), leitura direita (LD), distância das costas (DC), altura do teto (HT) e profundidade da base(HB):

- O desenhista responsável pelos desenhos de detalhamento da caverna, representando tudo o que a compõe em cada intervalo entre bases (visada) em croqui esquemático (perfis longitudinais, transversais e em planta baixa);

- O anotador responsável por registrar, no formulário específico, de maneira legível, todas as informações do levantamento, devendo confirmar, por repetição, cada dado “cantado” pelos outros membros da equipe (FIGURA 7.2). Todos os membros da equipe usavam os seus equipamentos de proteção individual como capacetes: luvas, lanternas e roupas apropriadas.

A distância lateral entre as estações e a altura do teto foi tirada com trena a laser. Foi utilizado o método das bases fixas, em que as bases são marcadas com estações (ferro e etiquetas de identificação), fixadas no piso da caverna, com exceção de alguns pontos, onde foram colocadas as estações flutuantes (não fixas), sendo, apenas, tiradas as medidas de largura e de altura dos condutos.

Quando a galeria da caverna adquire grandes dimensões, como é o caso dos salões, a opção utilizada é a aplicação do método da poligonal aberta para as galerias, com irradiação, a partir de uma base fixa no centro dos salões, efetuando, assim, várias visadas para pontos-chave, de forma a cobrir toda a área (FIGURA 7.2B). As orientações das galerias, a distância entre as bases topográficas e as paredes da gruta foram desenhadas em crôqui esquemático.

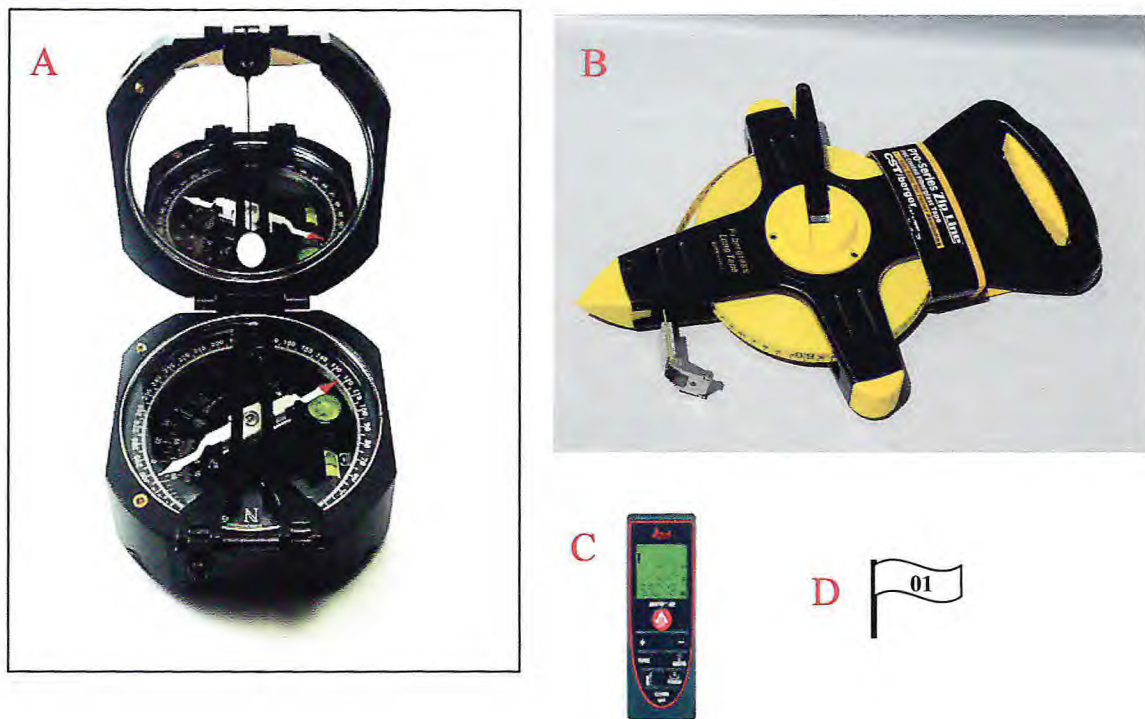


FIGURA 7.1 – A. Bússola “Brunton” com clinômetro, instrumento fundamental na topografia. Destinando-se a determinar a orientação da visada (observação do ponto atual ao seguinte) em relação ao norte magnético. B. Trena de “nylon”, essencial nas medidas de curta distância. C. Trena a laser, leica disto D2, destinada à medida de distâncias maiores ,de locais de difícil acesso, de distâncias entre estações e de altura do teto . D. Modelo de estação utilizada.

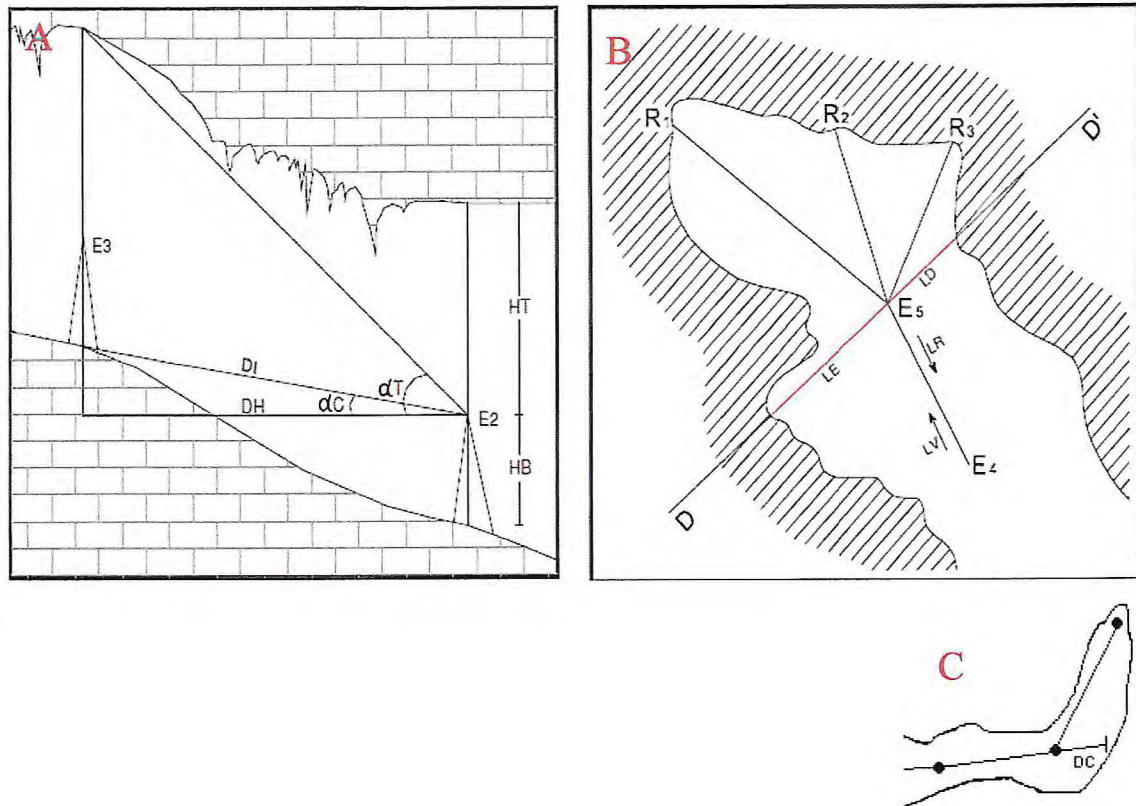


FIGURA 7.2 - Metodologia aplicada no levantamento topográfico da caverna: A. Leituras tomadas. B e C. Distribuição das estações.

CAPITULO VIII

ESPELEOMETRIA

8.1-ESPELEOMETRIA DA CAVERNA CATEDRAL:

Localizada proximamente a Felipe Guerra-RN, a caverna Catedral é uma das mais bonitas e representativas do município, por apresentar salões de fácil acesso e ornamentos, sendo possível fazer o percurso em sua maioria, em pé. Existe grande quantidade de espeleotemas como: estalactites e estalagmites métricas, além de dolinas que permitem a entrada de luz solar, facilitando a boa visibilidade.

A sistemática da pesquisa segue com a descrição endocárstica e exocárstica desta caverna, ou seja, um estudo mais detalhado da sua situação atual. Entende-se por mapeamento espeleológico o conjunto de medidas de ângulos e de distâncias que possibilitam a construção de um mapa (planta baixa), com sessões longitudinais (perfis) e transversais (cortes), que define a visão da caverna em três planos de projeções diferentes: comprimento “x”, largura “y” e altura “z”. A partir desse mapeamento, foi possível obter-se a configuração do arcabouço espeleológico do interior da caverna.

8.2 - CARACTERÍSTICAS:

Essa cavidade possui entrada vertical, com abertura de 50 cm e profundidade de, aproximadamente, 10 metros (FIGURA 8.1 A e 8.2 A). A descida só é possível com o uso de equipamentos apropriados para tal, devendo ser feita a penetração normal por uma ravina localizada a meio caminho da entrada da cavidade infradescrita, Abissal. A ravina principal desenvolve-se na fratura de orientação W-E (J2), precipitando-se num alargamento de 5 m por 4 m, no qual se encontram diversos galhos secos e, dentre outras coisas, uma árvore viva, chamada carafba (FIGURA 8.1 B). Essa cavidade possui uma clarabóia principal oval, que vaza do interior à superfície do Lajedo do Rosário (FIGURA 10.2 B).

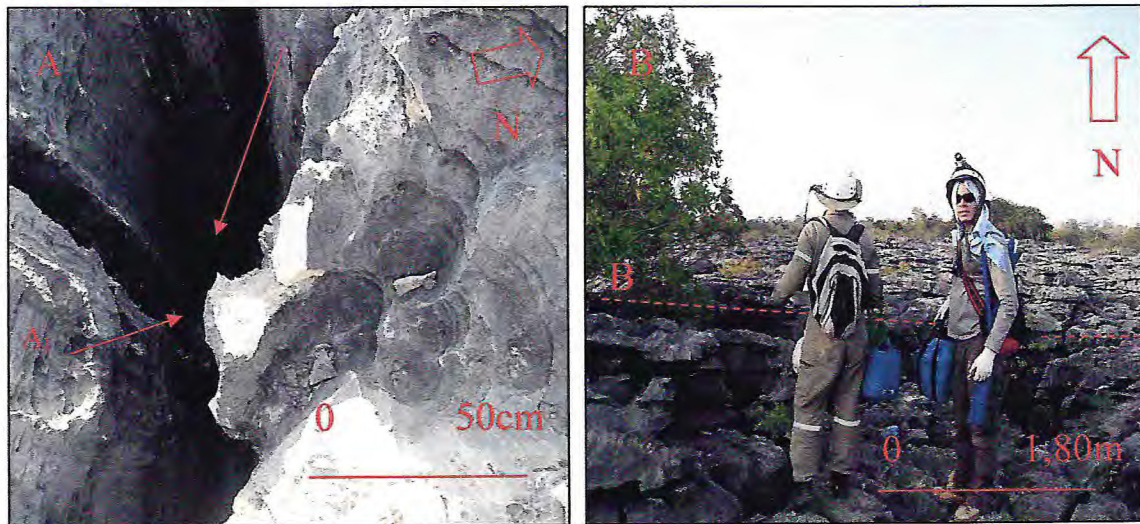


FIGURA 8.1 – A. Entrada principal da caverna Catedral. A₁ Descida vertical. B. Ravina da entrada. B₁ Fratura de orientação W-E (J₂), próxima a uma árvore (Caraíba). Coordenadas: 647802/9384866- WGS-84-UTM-24.

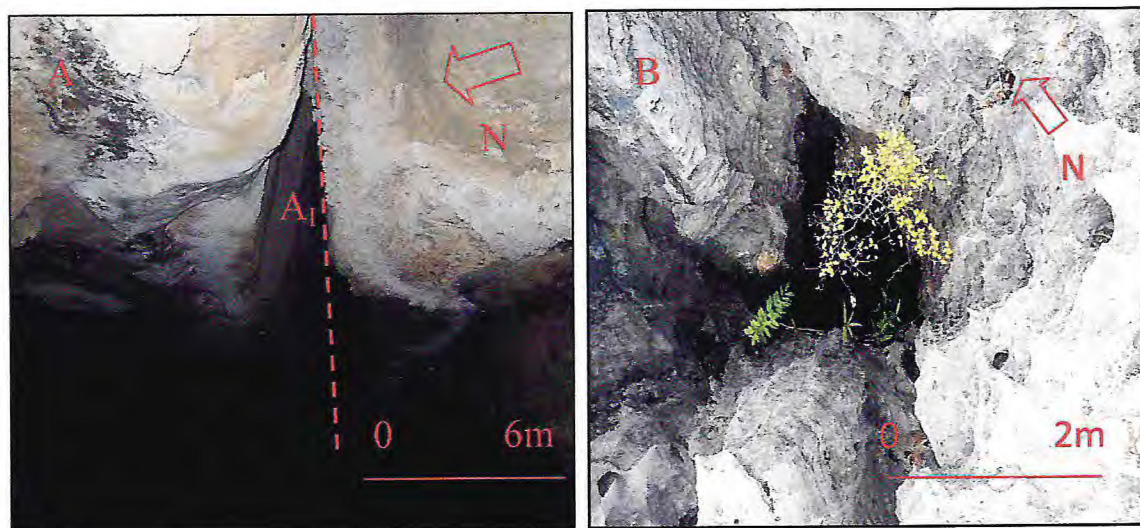


FIGURA 8.2- A. Fratura interna da entrada principal. A₁. Direção W-E (J₂). B. Dolina que dá acesso ao salão principal da caverna Catedral. Coordenadas: 647807/9384815- WGS-84-UTM-24.

8.2.1 - Umidade:

Não existem cursos de água em meio a suas galerias de acesso, o ambiente pode ser considerado pouco úmido, não foi verificada a presença de água infiltrada proveniente do exterior nos meses em que ocorreu a pesquisa, mas, talvez, nos meses de chuva da região haja, a presença de água no interior da caverna, provavelmente, por acúmulo pluviométrico.

8.2.2 - Espaços Internos:

A caverna é dotada de dois salões principais com direção E-W, quase conjugados, ornamentados com inúmeras estalactites e estalagmites (FIGURA 8.3 e 8.4).

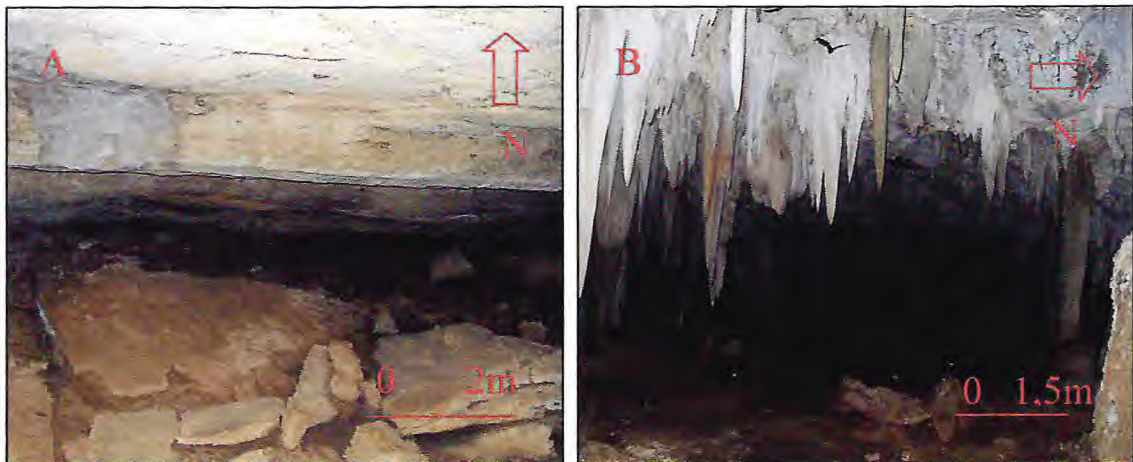


FIGURA 8.3 – A. Salão de entrada com bloco abatido por dissolução. B. Salão principal com espeleotemas.

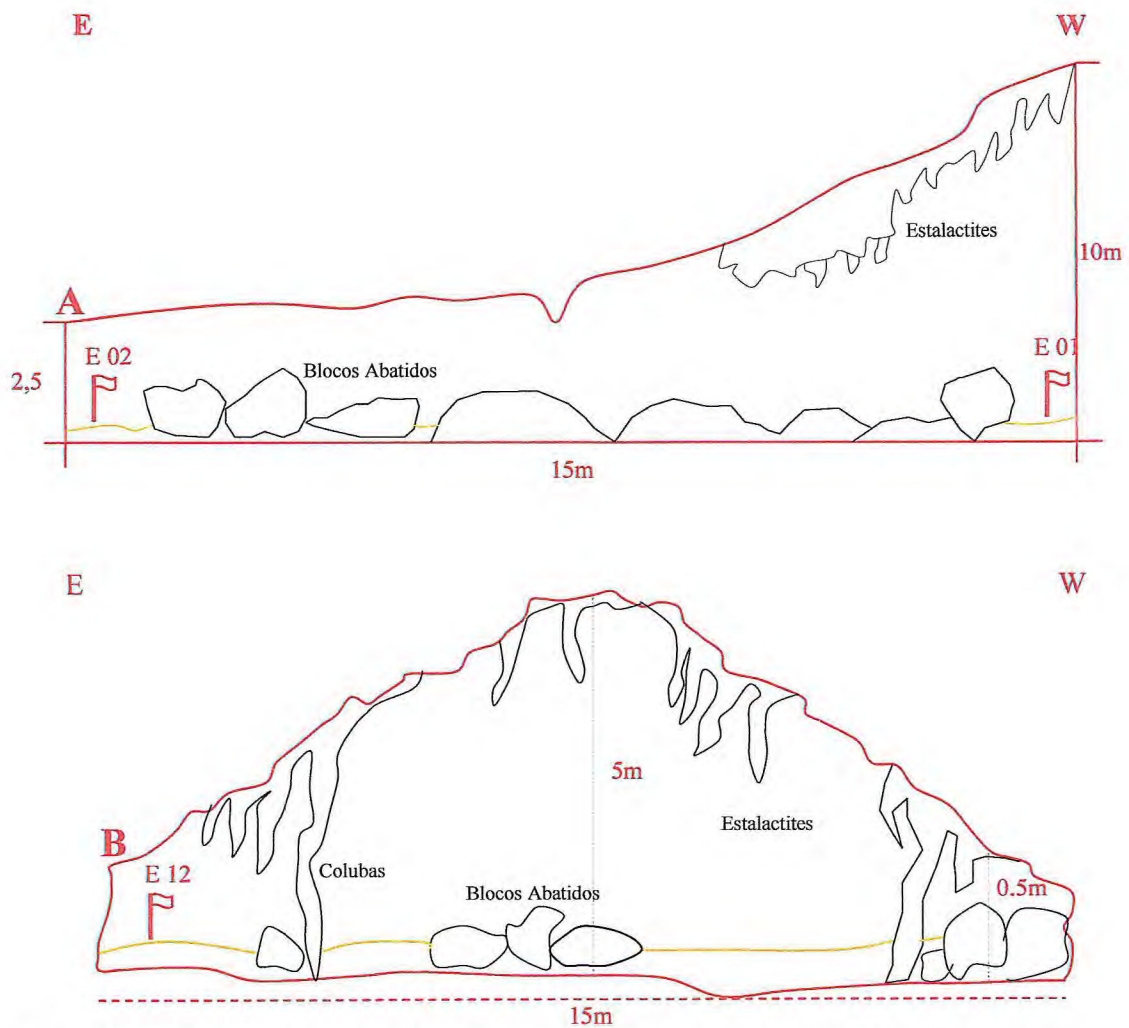


FIGURA 8.4 – A. Perfil esquemático E-W, mostrando a altura do salão de entrada e B. Salão principal.

Em alguns pontos, a caverna é larga e alta, podendo-se fazer todo o trajeto em pé (FIGURA 8.5 A). Mas, quando estreita, é muito baixa, exigindo da pessoa que se rasteje (FIGURA 8.4 B). Também podem ser percebidos desníveis de ângulos com inclinação, tanto negativos, como positivos, sendo o maior deles de 45° (FIGURA 8.6).

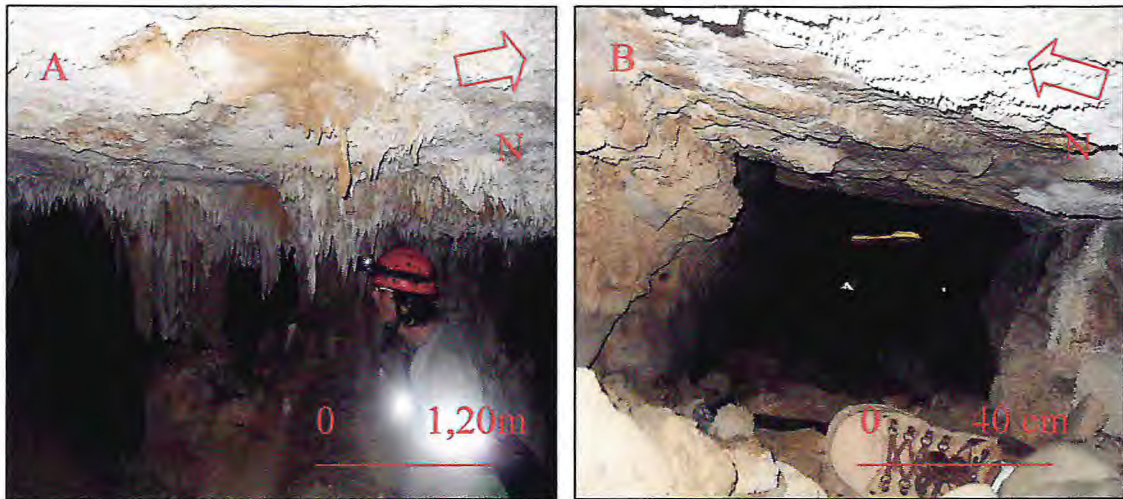


FIGURA 8.5 – A. Passagem alta. B. Passagem baixa.

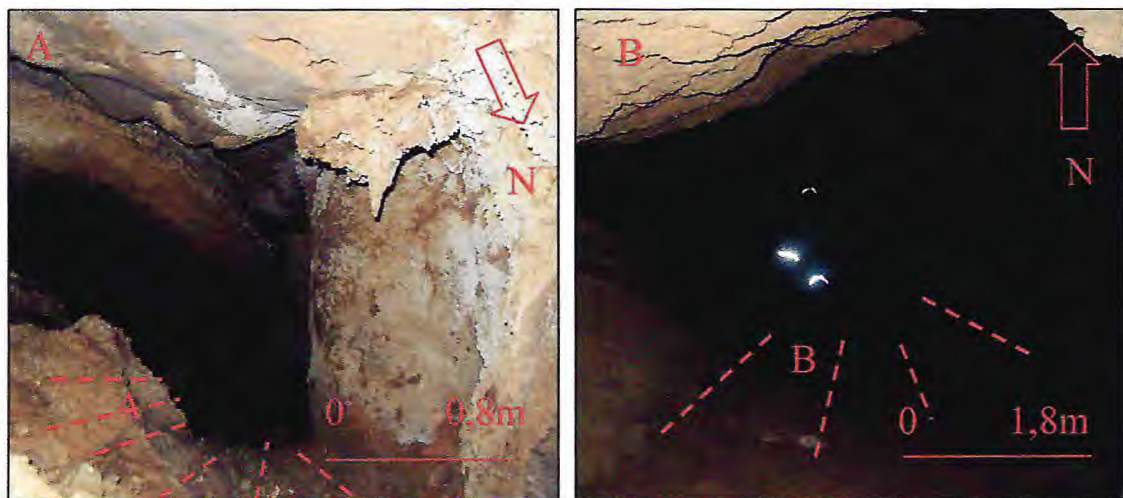


FIGURA 8.6 – A. Desnível negativo. A_I Mergulhando 45°. B. Desnível positivo. B_I Mergulhando 40°.

8.2.3 - Espeleotemas:

Os espeleotemas são formações rochosas que ocorrem, por ação da água, em terrenos constituídos por rochas carbonatadas (calcário, mármore e rochas dolomíticas). No interior da caverna, os espeleotemas são resultado da carstificação construtiva, ou seja, os minerais que foram removidos das camadas superiores da rocha e dissolvidos na água se cristalizaram e criaram diversos tipos de formações no teto, nas paredes e no piso. Isso ocorre, porque a água rica em carbonato de cálcio, ao entrar em contato com a atmosfera da caverna, libera gás carbônico, tornando a solução mineral supersaturada, provocando precipitação (KARMAM APUD TEIXEIRA, 2003).

Essas formações são resultado de gotejamentos por fendas no teto, por deslocamento da água através da porosidade das paredes e do teto (exsudação) e, também, por sedimentação e por decantação em poças, se considerarmos os equilíbrios envolvidos e as pequenas deslocamentos desses, é extremamente lenta, com velocidades de formação entre 0.1 -10 Cm/milênio . Isso significa que uma corriqueira estalactite de 1 metro demorou entre 1 milhão e 10 000 anos, para formar-se. Basicamente, as formações observadas foram:

- Estalactites: formações rochosas sedimentares, que se originam no teto de uma gruta ou de uma caverna., cuja formação se deve ao gotejamento através de fendas (FIGURA 8.7 A). A gota, em seu percurso, forma anéis que se sedimentam e que se cristalizam. Esses anéis, aos poucos, se juntam uns aos outros, formando cones com diâmetros variáveis, desde milimétricos a centimétricos, agrupados em conjuntos, que crescem, lentamente, em direção ao chão, pela deposição (precipitação) de carbonato de cálcio arrastado pela água que goteja do teto (FIGURA 8.7 B e 8.8 B). Também podem ser vistas formas especiais, como as estalictites em forma de bolas, KARMAM APUD TEIXEIRA, 2003, (FIGURA 8.8 A).

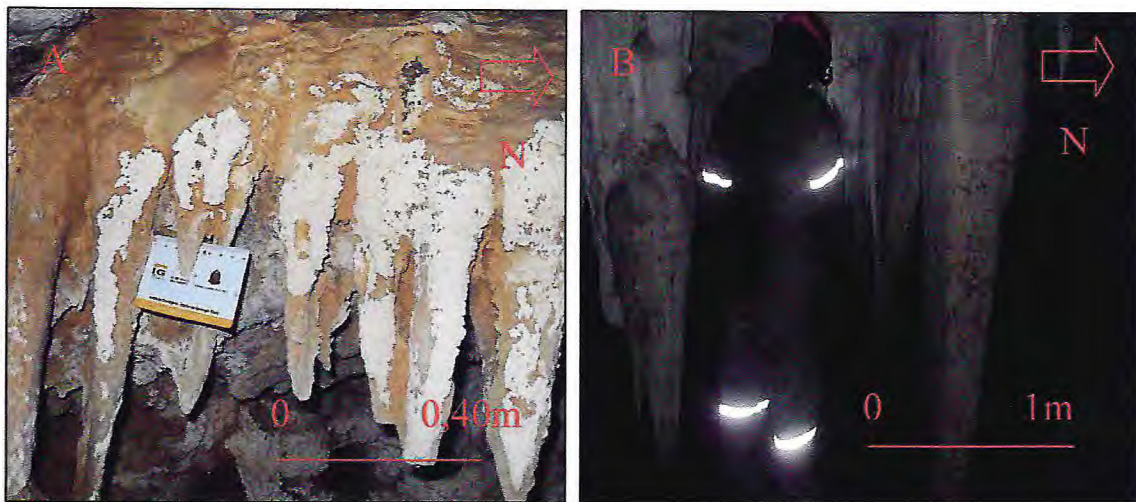


FIGURA 8.7 – A. Estalactites em forma de tubos cônicos, que crescem, lentamente, em direção ao chão. B. Estalactites com mais de 1 metro de tamanho, bem próximo do chão.

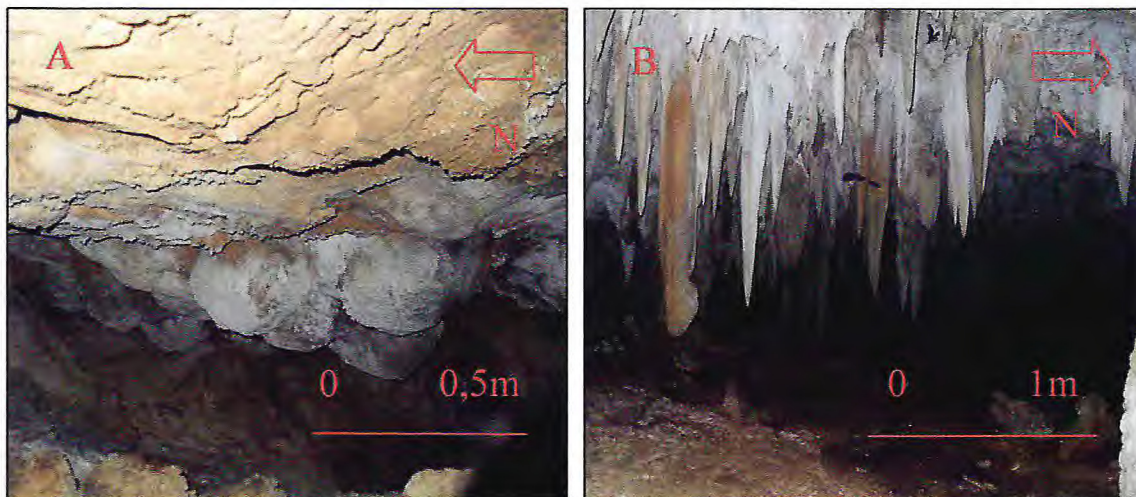


FIGURA 8.8 – A. Estalactites em forma de bola. B. Estalactites de formas e de tamanhos variados.

- Estalagmites: formam-se, de baixo para cima, pelo crescimento de sucessivas camadas de pequenos cristais alongados de calcita, orientados, perpendicularmente, à superfície de crescimento, ao contrário da anterior (Figura 8.9). Assumem formatos e dimensões métricas, diversos. A maior delas apresenta cerca de 7 m de largura por 5 m de comprimento. Essa estalagmite, provavelmente, se formou por vários gotejamentos diferentes, formando um maciço estalagmítico ou pela acumulação de contato de calcário (FIGURA 8.10 B). Existem, também, estalagmites, aproximadamente, cilíndricas (FIGURA 8.10 A).

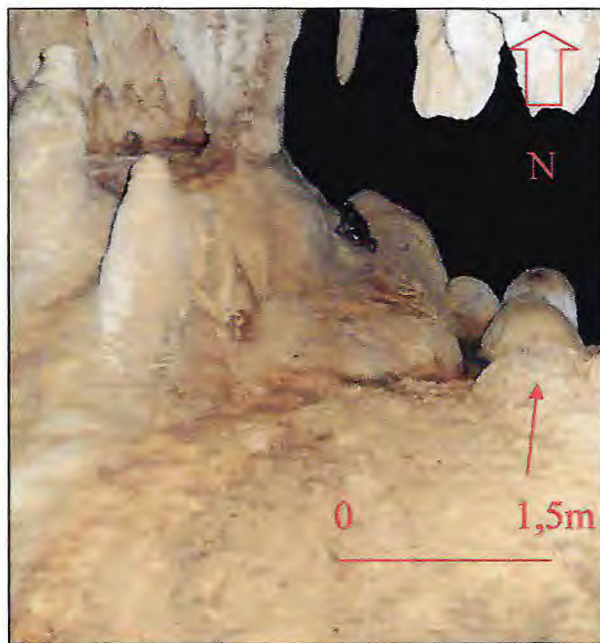


FIGURA 8.9 - Estalagmites cilíndricas.



FIGURA 8.10 – A. Estalagmites cilíndricas formadas em cima de um maciço estalagmítico. B. Maciço estalagmítico, com cerca de 7m de largura por 5m de altura, formado por vários gotejamentos diferentes.

- Colunas: formações caracterizadas pela união de uma estalactite com uma estalagmite, que se encontraram, durante seus desenvolvimentos, entre o teto e o chão (FIGURA 8.11 e 8.12).



FIGURA 8.11 - Coluna formada por uma estalactite cônica e por uma estalagmite em forma de bola.



FIGURA 8.12 - Coluna formada por uma estalactite cônica e por uma estalagmite cilíndrica.

- Cortinas: feições que se desenvolvem ao longo de fraturas, onde a percolação de água é mais intensa. Nesses casos, a água não goteja: ela escorre, sempre, pelo mesmo caminho, ao longo do teto, criando uma parede de rocha cheia de ondulações (FIGURA 8.13).



FIGURA 8.13 - Cortina formando coluna.

Diversas outras formações são encontradas, por exemplo, há uma variedade de testemunhos da ação da água, tais como: fendas, escorrimento de calcita formando rampa, estalactite quebrada por rebaixamento do chão e por cavidades no teto, além de uma coluna semelhante a um elefante (FIGURA 8.14).

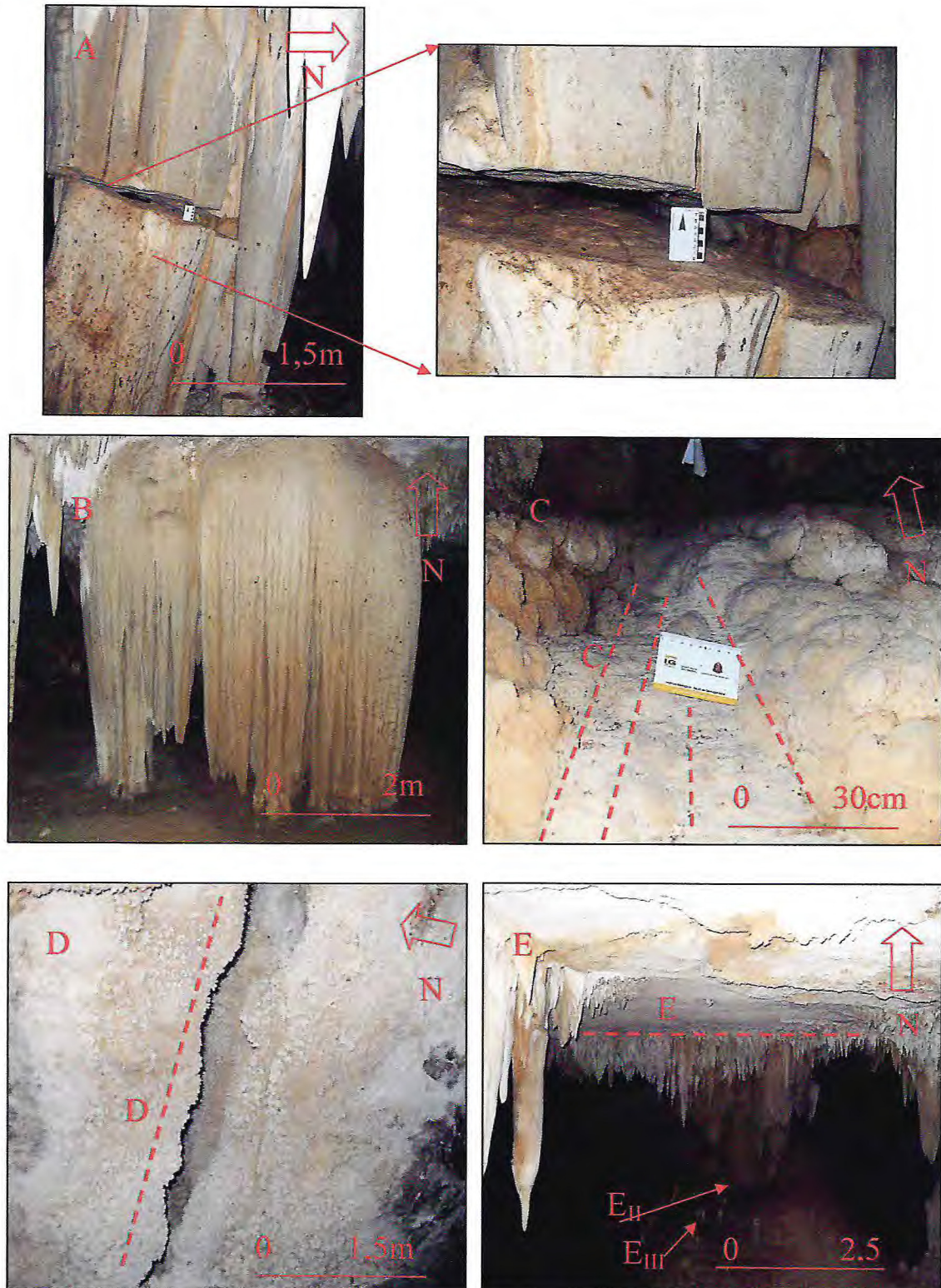


FIGURA 8.14 – A. Estalagmite que brada por rebaixamento do chão. B. Coluna que se assemelha a um elefante. C. Escorrimento de calcita formando uma rampa positiva de (C_I) 40° . D. Fenda com orientação (D_I) W-E (J2). E. Maioria dos espeleotemas concentrado em um só lugar. (E_I) Cortina com direção W-E (J2), (E_{II}) Coluna, (E_{III}) Estalagmite.

Troglóxenos: animais que utilizam a caverna como abrigo, como reprodução ou como alimentação, mas saem, para realizar outras etapas de suas vidas. Esse grupo é representado por diversos morcegos e por sapos (FIGURA 8.16).

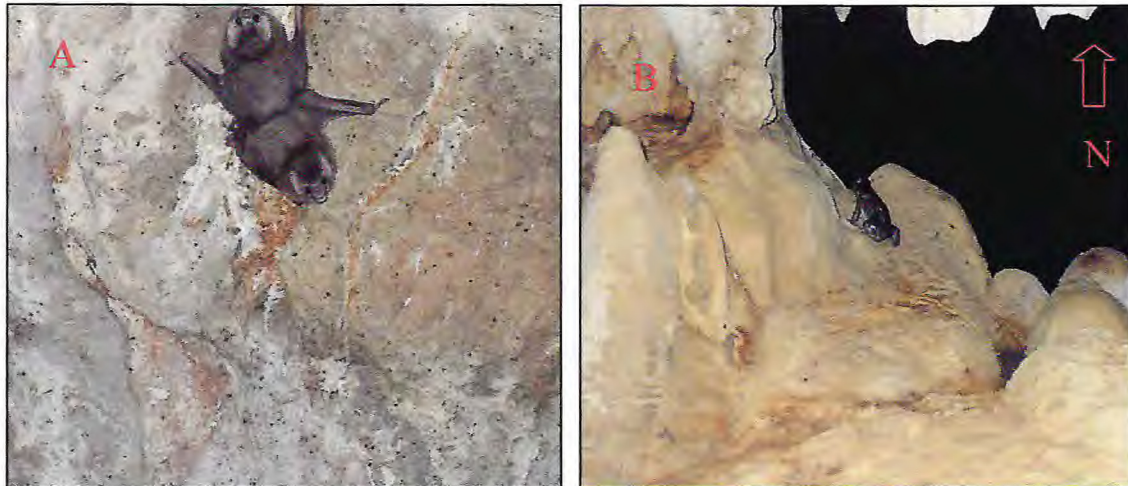


FIGURA 8.16. Fauna representada por animais Troglóxenos (que utilizam a caverna como abrigo, como reprodução ou como alimentação. Ex.: A. Morcegos (*Desmodus rotundus*). B. Sapos).

- Troglófilos: espécies, suficientemente, adaptadas, para viver toda a sua vida dentro das cavernas, mas nada impede que vivam, igualmente, bem, fora dela, podendo ser citados Amblypygi (FIGURA 8.17).



FIGURA 8.17. Fauna representada por animais Troglófilos, adaptados para viver toda a sua vida dentro das cavernas. Ex.: Amblypygi.

8.2.4.1 - Registros Fósseis:

Na caverna Catedral, onde se localiza a estação topográfica E-4 (mapa topográfico – (ANEXO II), foram encontrados registros de um animal (osso), bem preservado, posicionado, diretamente, sobre o piso da gruta, que parece ser bem recente, pois não mostra sinais de mineralização por CaCO_3 (FIGURA 8.18).

Não deve ser descartada a possibilidade de achados paleontológicos futuros, já que existem registros de fósseis da megafauna pleistocênica no interior de ravinas em calcários da formação Jandaíra, localizada no lajedo de Soledade, em Apodi (SANTOS *ET AL.*, 2002).



FIGURA 8.18. Osso de um animal bem preservado.

8.3 - GÊNESE

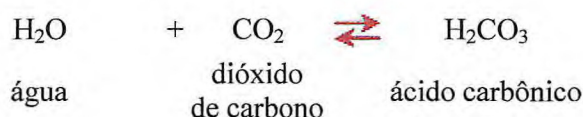
O litotipo alvo da pesquisa é o calcário da formação Jandaíra, pertencente à bacia Potiguar. O calcário é uma rocha sedimentar, isto é, forma-se através de “restos de animais”, sob pressão, depositados em ambiente marinho raso e, com o tempo, ficam compactados. Com o movimento das placas tectônicas, essas camadas de calcário emergiram, dando origem ao que é, atualmente, a formação Jandaíra.

Toda a história evolutiva da bacia Potiguar, conseqüentemente, da Formação Jandaíra, é marcada por intensas atividades tectônicas, pertencente à província Borborema que apresenta, como direção principal NE, além de um importante sistema de zonas de cisalhamento E-W e NE-SW (ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B,1977). Certamente, aliadas ao fator estrutural, as cavernas formaram-se, porque o calcário é uma rocha frágil à acidez que o dissolve, quando entra em contato com a água que contém suficiente teor

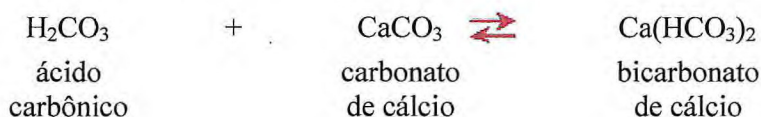
de ácidos. Estes são provenientes da chuva ácida ou do dióxido de carbono (CO_2) existente na atmosfera e na decomposição da matéria orgânica, que em contato com a água, formam o ácido carbônico, (H_2CO_3).

Num segundo momento, a água ácida penetrando as fendas do calcário, ataca a rocha, produzindo o bicarbonato de cálcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), que é solúvel e, facilmente, transportado pela água. Com a dissolução do bicarbonato de cálcio, as fendas vão-se alargando lentamente e formando as cavernas (FIGURA 8.20).

1- Acidulação da água (formação do ácido carbônico):



2- Dissolução da rocha pelo ácido carbônico:



Essa água, circulando pelas fendas e pelos planos de estratificação, alarga, lentamente, todo o sistema de juntas, formando cavidades na rocha. Os espaços porosos, os condutos e os vazios continuam sendo modelados pela ação dessas soluções químicas e exercem, até hoje, importante papel no ornamento da caverna. Os agentes físicos, embora considerados mínimos, merecem citação pelo trabalho que desempenham, tais como: o arrasto de partículas e o impacto causado pelo escoamento das águas, que gera desagregação; e a gravidade atua, indiretamente, na conformação de grandes blocos colapsados dentro da caverna (FIGURA 8.19).



FIGURA 8.19 - Elevada porosidade da rocha permitindo a ação rápida da água, causando abatimento do teto no plano de estratificação.

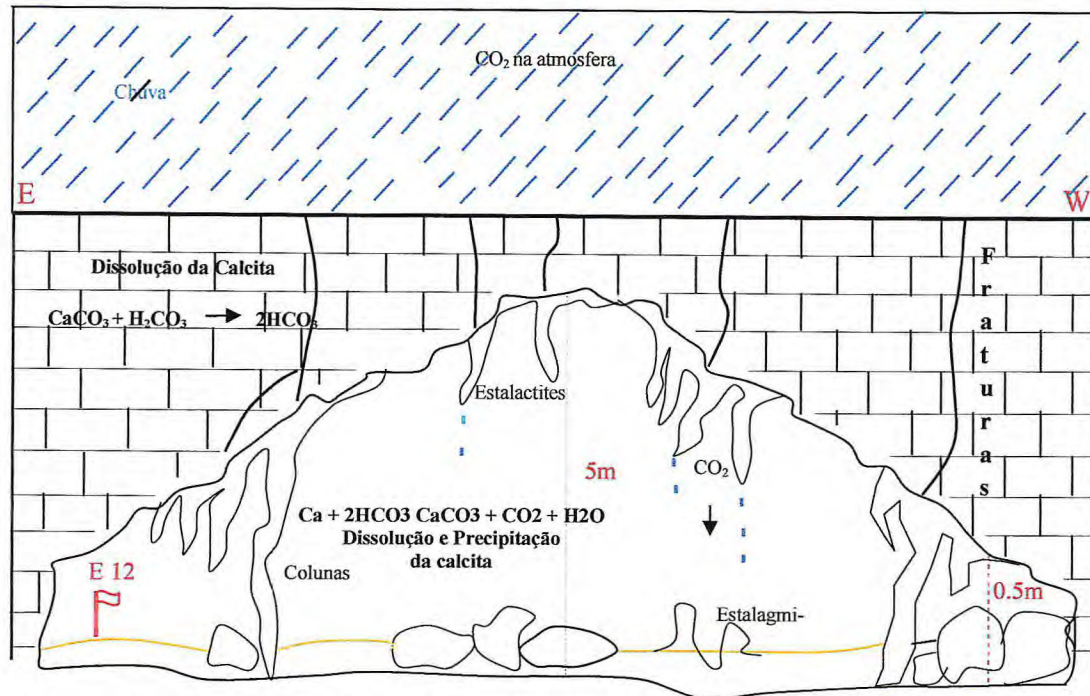


FIGURA 8.20 - Perfil esquemático E-W da gruta Catedral, ilustrando o processo de dissolução do calcário.

CAPITULO IX

CONCLUSÕES

9.1 – CONCLUSÕES:

O estudo mostrou que a área compreende um relevo cárstico, onde a formação e a evolução dos lapiás, das dolinas, das cavernas e fraturas produzidas pela ação geológica da água superficial e subterrânea sobre as rochas solúveis da formação Jandaíra, nas quais os diferentes níveis do calcário são controladas pelo grau de porosidade e pelo seu padrão estrutural.

Em campo, as juntas foram identificadas e distribuídas espacialmente segundo suas orientações preferenciais, agrupadas em sistemas ou em famílias, denominadas de J_1 (N-S), de J_2 (E-W), de J_3 (NE-SW) e de J_4 (NW-SE). A família J_2 é a de caráter mais contínuo e com comprimentos superiores, às vezes, a 60 metros. As outras três famílias (J_1 , J_3 e J_4), são menos persistentes, com as fraturas variando de 1m a 27m de comprimento. O parâmetro espaçamento oscila entre muito grande a extremamente grande, com destaque para as famílias (J_2 e J_3). Quanto à abertura, as juntas podem ocorrer desde fechadas até cavernosas, com maiores concentrações, nas categorias extremamente largas e cavernosas, (J_2 e J_3). Em relação à profundidade, as juntas estão bem distribuídas nas categorias médias e profundas, onde predominam as direções J_2 e J_3 .

Fazendo-se a analogia entre o sistema de juntas da área de pesquisa e o sistema de falhamentos da bacia Potiguar, é possível arriscar a hipótese de que a formação da caverna pode estar relacionada a essas estruturas. Essa ideia é evidenciada pelas direções E-W e NE-SW das galerias principais, que coincidem com a orientação da maior parte das fraturas da área. Com base nesse contexto, supõe-se que as famílias de fraturas presentes na área, com direções preferenciais J_1 (N-S), J_2 (E-W), J_3 (NE-SW) e J_4 (NW-SE), são reflexos de uma tectônica de expressão regional, ligada à evolução da margem continental brasileira.

Os resultados dos levantamentos efetuados mostram que as direções estruturais condizem com o desenvolvimento dos “trends” estruturais regional, que apresenta, como direção principal, NE, além de um importante sistema de zonas de cisalhamento E-W e NE-SW.

As direções E-W e NE-SW da superfície coincidem, também, com o levantamento topográfico realizado na caverna Catedral, que aliado a fatores como a persistência, o espaçamento, o grau de abertura e a profundidade, exerce forte controle e influência direta na formação das cavidades subterrâneas.

A petrografia das lâminas revela uma relação entre a porosidade e a formação das cavidades, visto que o nível onde ocorreu a maior dissolução e a geração de vazios foi nas lâminas nas quais a porosidade foi maior que (10%). Sua forma surge como: intergrão, intra-grão e em fraturas. Acredita-se em que as porosidades ligadas às fraturas são ponto de partida para o desenvolvimento da caverna, pois, através do fraturamento em que a água inicia sua atuação de desagregação lenta e contínua da rocha, passando, em longo prazo, de microporosidade a cavidades subterrâneas.

Quanto à sua composição, em lâminas, ela mostra três variações de rochas: “*wackestone*”, “*paskstone*” e “*mudstone*”. Também foram identificados diversos aloquímicos, tais como: fósseis Gastrópodes, “*Quinqueloculina*” sp, Pelóides e fragmentos de Algas. Tal associação é típica de ambiente marinho de Inframaré, confirmando as condições paleo-ambientais de mar raso para o carbonato de estudo.

CAPITULO X

REFERÊNCIA

ADAMS, A.E. & MACKENZIE, W.S. 1998. Carbonate Sediments and Rocks Under the Microscope. London, Manson Publishing, 180p.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SBG / Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 7 , Campina Grande, Atas, 363-391.

ALTINER, D.; SAVINI, R. 1991. Pennsylvanian Foraminifera and Carbonate Microfácies from the Amazon and Solimões Basins: Biostratigraphic, Paleotologic and Paleogeographic Results. Rio de Janeiro, PETROBRÁS(Relatório Interno).

ARARIPE PT & FEIJÓ FJ. 1994. Bacia potiguar. Rio de Janeiro, Boletim de Geociências da PETROBRAS, 8(1): 127-141.

ARTHAUD, M. H. Apostila: Introdução à Geologia Estrutural. UFC. DEGEO. 2002.131p.

BATHURST, R.G.C. 1971. Carbonate Sediments and Their Diagenesis. Amsterdam,

BERTANI, R.T.; Neto, A.F.A.; MATOS, R.M.D., 1987. *O habitat do petróleo da Bacia Potiguar Emersa.* Boletim de Geociências da PETROBRÁS. 1(1): 41-49.

BEZERRA, F. H. R., AMARO, V. E., VITA-FINZI, C., SAADI, A., MOREIRA, J. A. M., LINS, F. A. P. L., NOGUEIRA, A. M. B., MACEDO, J. W. P., LUCENA, L. F. & NAZARÉ JR. D. Pliocene-Quaternary Fault Control of Sedimentation and Coast Plain Morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 2001.

CARVALHO, M.D. 1986. Ambientes deposicionais carbonáticos. Rio de Janeiro, 21p.(Seminário de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro).

CECAV – Centro Nacional de Estudo, Prospecção e Manejo de Cavernas. Diagnóstico Espeleológico do Rio Grande do Norte. Organizado por: CRUZ, J. B; COELHO, D. C ; SILVA, F. J; FREITAS, J. I; CASTRO, T. J & CAMPOS, U. P. Rio Grande do Norte-RN, 2008. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/cecav>>.

CHANG H. K. ET AL, 1992. In: PESSOA NETO, O.C. Estratigrafia de Sequências da Plataforma Mista Neogênica na Bacia Potiguar, Margem Equatorial Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 2003. Volume 33, p. 263-278, 200

COMPTON, J.R., 1962. *Manual of Field Geology*. New York, John Willy & Sons, Inc. 378 p.

CPRM – MASCARENHAS J. C., BELTRÃO, B. A., SOUZA JUNIOR L. C., PIRES, S. T. M., ROCHA, D. E. G. A. & CARVALHO, V. G.D Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Felipe Guerra, estado do Rio Grande do Norte. Recife, 2005. 11 p.

CREMONINI, O. A. & KARNER, G. D. Soerguimento Termal e Erosão na Bacia Potiguar Submersa e seu Relacionamento com a evolução da margem **equatorial** brasileira. Simpósio de Geologia do Nordeste, 16, 1995. Anais... Recife: SBG/NE, V. 1, p. 152-156.

DANTAS, E. P. Gravimetria e Sensoriamento Remoto: uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte. 1998. 97p. Natal. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). CCET, UFRN.

Decifrando a Terra (2009 - Edição 2) Autor: Wilson Teixeira | Thomas Rich Fairchild | M. Crist.

DELLA FÁVERA, J.C., ROSSETTI, E.L., GUZZO, J., MATSUDA, N., SOARES, U.M., HASHIMOTO, A.T., ALVES, D.B., CASTRO, J.C., AZAMBUJA, N.C., RODRIGUES, R. Estratigrafia de seqüências da formação pendência, bacia Potiguar. Petrobras/Depex- Cenes. Relatório Interno, 1992. 46 p.descontinuidades em maciços rochosos. Edição autorizada pela Pergaman Press LTD Oxford-England. São Paulo, 1983. p. 132.

DUNHAM, R. J. (1962). In: _____ Petrografia Básica: textura, clasificación y nomenclatura de rocas. Editorial Paraninfo, Madrid, 1989. Cap. 3., p. 78-92.
Elsevier Scientific Publishing Company, 620p.

Embry, AF, and Klován, JE, 1971, A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, NWT: Canadian Petroleum Geology Bulletin, v. 19, p. 730-781.

FOLK, R.L. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Austin, Hemphill publishing Co, 182p.

FOLK, R.L., 1959, Practical petrographic classification of limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 43, p. 1-38.

FRANÇOLIN, J. B. L. & SZATMARI, P. (1987). Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira. Revista Brasileira de Geociências, 17, p. 196-207.

GOMES, I.P.; CÂMARA, J.R.F.; BEZERRA, F.H.R; VERISSIMO, C.U.V. Controle Estrutural do Karst na Formação Jandaira, Bacia Potiguar: Dados Preliminares. In: XI Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, XI, Natal, Anais, p.322.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente. Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte, 2005. Disponível em: <<http://www.idema.gov.br>>.

ISRM – *International Society for Rock Mechanics*. Suggested methods for the

JARDIM DE Sá, E.P. 1995. Dobras e zonas de cisalhamento: modelos da deformação em seções profundas de faixas orogênicas. In: SIMP. NAC. EST. TECTÔNICOS, 5, p. 43-44

KARMANN, I. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: _____, Decifrando a terra. 2ª. Reimpressão. Oficina de Textos, São Paulo, 2003. Cap.7, p. 113-138.

KOHLER, Heinz Charles. Geomorfologia Cárstica. In: Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. 6ª ed – Rio de Janeiro: BERTRAND BRASIL, 2005.

MATOS, R.M.D. Deep seismic profiling, basin geometry and tectonic evolution of intracontinental rift basins in Brazil. U.S.A.: Cornell University, 1992. 276p. (Ph.D. Dissertation).

NOGUEIRA, F. C. C. Método Ground Penetrating Radar (GPR) e Análise Estrutural Aplicados ao Estudo da Geometria Tridimensional de Estruturas Cenozóicas na Bacia Potiguar. 2004. 79p. Fortaleza. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). DEGEO, UFC.

PROASNE- Projeto Água Subterrânea do Nordeste do Brasil. Modelamento Matemático da Área de Recarga do Aquífero Açú. Rio de Grande do Norte, 2006.
quantitative description of rock masses. Traduzido pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Método para descrição quantitativa de

SANTOS, M.F.C.F., LIMA FILHO, F.P & BERGQVIST. Fósseis Pleistocênicos da Ravina do Leon, Lajedo de Soledade, Apodi/RN. Revista de Geologia. UFC, 2002.15:23-29.

SIAL, A. N. Significado Tectônico de Posicionamento de Rochas Basáltica Póspaleozóica do Nordeste Brasileiro, SBG/NE, 1975. Boletim 3: p. 35-51.

SOUTO, M.V.S. 2004. Análise multitemporal dos elementos geoambientais da Planície estuarina de Região da Ponta do Tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra Município de Macau, RN. 2004. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

SUGUIO, K. Rochas Sedimentares: Propriedades, Gênese, Importância Econômica. São Paulo:Edgar Blücher, 1980.

VERÍSSIMO, C.U.V.; PAIVA NETO, A.O.; LESSA, F.G.N.; MAGINI, C.; CÂMARA, J.R.F. Potencial Espeleológico do Sítio João Pedro, Zona Rural e Cárstica do Apodi, RN. XLIII Congresso Brasileiro de Geologia. 2006.

VERISSIMO, C.U.V.; PAIVA, A. DE O.; LESSA, F. G. N.; MAGINI, C.; CÂMARA, J.R.F. Potencial Espeleológico do Sítio João Pedro, Zona Rural e Cárstica do Apodi, RN. Espeleologia, v. 12, p. 49-54, 2007.

ANEXOS

ANEXO I

ESTRUTUTAS EXTERNAS DA CAVERNA CATEDRAL

PONTOS DE AMARRAÇÃO	UTM-24S		Datum	PROFUNDIDADE (Metros)	ABERTURA (Metros)	TAMANHO (Metros)	ORIENTAÇÃO	
	Longitude	Latitude					Datum	PROFUNDIDADE(M)
Início (1)	647716,074	9384858,357	WGS-84	6	1	16.3	94°	E
Fim (2)	647732,385	9384857,335	WGS-84					
Início (1)	647732,385	9384857,335	WGS-84	5,8	1,1	15.4	77°	NE
Fim (2)	647747,389	9384860,849	WGS-84					
Início (1)	647730,427	9384877,903	WGS-84	2	0,6	5.3	3°	N
Fim (2)	647730,139	9384872,598	WGS-84					
Início (1)	647744,866	9384877,022	WGS-84	3	0,8	3.96	103°	SE
Fim (2)	647748,512	9384875,465	WGS-84					
Início (1)	647748,512	9384875,465	WGS-84	2,8	1	2.16	93°	E
Fim (2)	647750,669	9384875,365	WGS-84					
Início (1)	647745,293	9384857,793	WGS-84	2	0,5	9.3	92°	E
Fim (2)	647754,548	9384857,414	WGS-84					
Início (1)	647747,389	9384860,849	WGS-84	5,5	1	18.8	82°	E
Fim (2)	647766,046	9384863,403	WGS-84					
Início (1)	647766,046	9384863,403	WGS-84	4	0,8	1.3	1°	N
Fim (2)	647766,068	9384864,739	WGS-84					
Início (1)	647766,046	9384863,403	WGS-84	5,8	1,2	18.4	83°	E
Fim (2)	647784,301	9384865,686	WGS-84					
Início (1)	647784,301	9384865,686	WGS-84	6	1,25	63.2	82°	E
Fim (2)	647846,938	9384874,168	WGS-84					
Início (1)	647783,141	9384864,231	WGS-84	4	1	16	187°	S
Fim (2)	647781,134	9384848,387	WGS-84					
Início (1)	647786,811	9384845,644	WGS-84	4,5	1	60.8	264°	W
Fim (2)	647788,492	9384850,146	WGS-84					
Início (1)	647801,289	9384854,192	WGS-84	1,1	0,1	9.6	83°	E
Fim (2)	647791,743	9384852,99	WGS-84					

Início (1)	647805,926	9384839,482	WGS-84	1	0,3	4	42°	NE
Fim (2)	647808,678	9384842,56	WGS-84					
Início (1)	647761,575	9384844,461	WGS-84	6	1	10.3	92°	E
Fim (2)	647788,492	9384850,146	WGS-84					
Início (1)	647760,699	9384842,692	WGS-84	4	0,8	12.3	270°	W
Fim (2)	647773,005	9384842,748	WGS-84					
Início (1)	647748,512	9384875,465	WGS-84	3	1,5	4.6	128°	SE
Fim (2)	647732,385	9384857,335	WGS-84					
Início (1)	647747,958	9384881,728	WGS-84	3,1	1,4	2.7	182°	S
Fim (2)	647747,958	9384875,465	WGS-84					
Início (1)	647744,866	9384877,022	WGS-84	3	1,2	0.9	253°	SW
Fim (2)	647747,958	9384881,728	WGS-84					
Início (1)	647770,032	9384839,505	WGS-84	4,5	1,2	17	94°	E
Fim (2)	647786,987	9384838,37	WGS-84					
Início (1)	647771,273	9384836,513	WGS-84	10	2	3.15	155°	SE
Fim (2)	647769,938	9384839,37	WGS-84					
Início (1)	647761	9384837,157	WGS-84	12	0,6	10.3	274°	W
Fim (2)	647771,273	9384836,513	WGS-84					
Início (1)	647745,083	9384835,18	WGS-84	11	0,7	16	263°	W
Fim (2)	647761	9384839,37	WGS-84					
Início (1)	647725,997	9384834,989	WGS-84	10	0,5	19	269°	W
Fim (2)	647745,083	9384835,18	WGS-84					
Início (1)	647746,983	9384826,224	WGS-84	8	0,55	22.7	103°	SE
Fim (2)	647725,997	9384834,989	WGS-84					
Início (1)	647755,047	9384826,242	WGS-84	2,5	0,8	21.2	266°	W
Fim (2)	647733,871	9384824,813	WGS-84					
Início (1)	647772,838	9384824,547	WGS-84	2,5	1,2	1.2	287°	NW
Fim (2)	647774,028	9384824,184	WGS-84					
Início (1)	647772,838	9384824,547	WGS-84	2,3	1	11.6	257°	SW
Fim (2)	647761,481	9384821,94	WGS-84					
Início (1)	647761,481	9384821,94	WGS-84	2,5	1,2	15	273°	W
Fim (2)	647746,372	9384822,789	WGS-84					
Início (1)	647754,557	9384821,433	WGS-84	4,5	1,4	20.4	134°	SE

Fim (2)	647758,346	9384818,965	WGS-84					
Início (1)	647790,551	9384831,908	WGS-84	1,5	0,2	4	118°	SE
Fim (2)	647786,752	9384833,168	WGS-84					
Início (1)	647813,765	9384832,665	WGS-84	3	6	23.2	88°	E
Fim (2)	647790,551	9384831,908	WGS-84					
Início (1)	647785,663	9384828,148	WGS-84	3,5	6	4.7	114°	SE
Fim (2)	647790,039	9384826,243	WGS-84					
Início (1)	647790,039	9384826,243	WGS-84	3	6	23	88°	E
Fim (2)	647813,067	9384827,209	WGS-84					
Início (1)	647813,067	9384827,209	WGS-84	2,5	4,8	9.5	51°	NE
Fim (2)	647820,517	9384833,176	WGS-84					
Início (1)	647807,07	9384821,556	WGS-84	2	1	10.3	115°	SE
Fim (2)	647797,67	9384825,904	WGS-84					
Início (1)	647807,07	9384821,556	WGS-84	2,5	1,2	5.4	92°	E
Fim (2)	647761	9384837,157	WGS-84					
Início (1)	647799,616	9384823,987	WGS-84	1,5	0,2	16.7	94°	E
Fim (2)	647782,951	9384825,22	WGS-84					
Início (1)	647806,897	9384814,92	WGS-84	3,1	2	11.6	141°	SE
Fim (2)	647799,616	9384823,987	WGS-84					
Início (1)	647808,273	9384816,99	WGS-84	3,1	1,8	2.5	34°	NE
Fim (2)	647806,897	9384814,92	WGS-84					
Início (1)	647808,273	9384816,99	WGS-84	1,54	0,25	19.4	274°	W
Fim (2)	647738,393	9384787,575	WGS-84					
Início (1)	647781,516	9384816,766	WGS-84	1	0,2	7.6	258°	SW
Fim (2)	647738,393	9384787,575	WGS-84					
Início (1)	647786,471	9384820,481	WGS-84	1,8	0,5	18	187°	S
Fim (2)	647784,118	9384802,53	WGS-84					
Início (1)	647779,167	9384819,025	WGS-84	1,8	0,57	11.2	175°	S
Fim (2)	647780,236	9384807,89	WGS-84					
Início (1)	647780,236	9384807,89	WGS-84	1,6	0,5	1.9	75°	NE
Fim (2)	647782,041	9384808,385	WGS-84					
Início (1)	647782,041	9384808,385	WGS-84	1,4	0,55	9.4	185°	S
Fim (2)	647781,292	9384798,991	WGS-84					

Início (1)	647781,292	9384798,991	WGS-84	1,3	0,5	9.3	121°	SE
Fim (2)	647789,303	9384794,236	WGS-84					
Início (1)	647789,303	9384794,236	WGS-84	1,4	0,4	2.3	190°	S
Fim (2)	647788,907	9384791,923	WGS-84					
Início (1)	647788,907	9384791,923	WGS-84	2	0,25	3.6	149°	SE
Fim (2)	647790,763	9384788,849	WGS-84					
Início (1)	647790,763	9384788,849	WGS-84	1,45	0,5	1.7	90°	E
Fim (2)	647792,482	9384788,839	WGS-84					
Início (1)	647792,482	9384788,839	WGS-84	3	1,3	15.8	214°	SW
Fim (2)	647783,694	9384775,648	WGS-84					
Início (1)	647792,891	9384788,279	WGS-84	2	0,7	10.7	247°	SW
Fim (2)	647802,752	9384792,429	WGS-84					
Início (1)	647793,096	9384785,442	WGS-84	1,8	0,9	2.8	176°	S
Fim (2)	647792,891	9384788,279	WGS-84					
Início (1)	647791,714	9384782,307	WGS-84	1,7	1	3.4	204°	SW
Fim (2)	647793,096	9384792,429	WGS-84					
Início (1)	647791,625	9384776,718	WGS-84	1,9	0,8	5.6	181°	S
Fim (2)	647791,714	9384782,307	WGS-84					
Início (1)	647791,625	9384776,718	WGS-84	1,8	0,7	16.9	197°	SW
Fim (2)	647786,674	9384760,592	WGS-84					
Início (1)	647786,674	9384760,592	WGS-84	2,55	1,6	6.7	270°	W
Fim (2)	647779,985	9384760,635	WGS-84					
Início (1)	647779,985	9384760,635	WGS-84	2	1,4	2.8	305°	NW
Fim (2)	647777,646	9384762,279	WGS-84					
Início (1)	647777,646	9384762,279	WGS-84	2,3	1,4	10.4	267°	W
Fim (2)	647767,235	9384761,669	WGS-84					
Início (1)	647767,235	9384761,669	WGS-84	3	1,4	7.4	284°	NW
Fim (2)	647760,006	9384763,406	WGS-84					
Início (1)	647760,006	9384763,406	WGS-84	3,1	1,4	4.7	316°	NW
Fim (2)	647756,708	9384766,826	WGS-84					
Início (1)	647756,708	9384766,826	WGS-84	2,8	1,35	24.5	281°	NW
Fim (2)	647732,687	9384771,604	WGS-84					
Início (1)	647732,687	9384771,604	WGS-84	2,9	1,45	11.6	267°	W

Fim (2)	647721,125	9384770,956	WGS-84					
Início (1)	647758,089	9384750,415	WGS-84	2,08	0,8	19.2	182°	S
Fim (2)	647758,916	9384769,579	WGS-84					
Início (1)	647752,804	9384754,834	WGS-84	2,6	0,56	5.5	86°	E
Fim (2)	647758,311	9384755,183	WGS-84					
Início (1)	647731,837	9384772,492	WGS-84	1,7	0,6	33.3	204°	SW
Fim (2)	647744,701	9384802,061	WGS-84					
Início (1)	647738,393	9384787,575	WGS-84	1	0,5	19.2	176°	S
Fim (2)	647736,919	9384806,766	WGS-84					
Início (1)	647729,853	9384800,441	WGS-84	1	0,5	7.9	207°	SW
Fim (2)	647738,393	9384787,575	WGS-84					
Início (1)	647730,701	9384800,999	WGS-84	1,2	0,4	1	57°	NE
Fim (2)	647729,853	9384800,441	WGS-84					
Início (1)	647731,976	9384801,031	WGS-84	1	0,38	1.3	86°	E
Fim (2)	647730,701	9384800,999	WGS-84					
Início (1)	647732,743	9384803,562	WGS-84	1,2	0,45	2.6	17°	NE
Fim (2)	647731,976	9384801,031	WGS-84					
Início (1)	647732,743	9384803,562	WGS-84	1,3	0,5	1.5	99°	E
Fim (2)	647734,186	9384803,325	WGS-84					
Início (1)	647753,936	9384803,561	WGS-84	2,57	1,4	19.8	86°	E
Fim (2)	647734,149	9384803,2	WGS-84					
Início (1)	647753,936	9384803,561	WGS-84	2	1,2	3.2	218°	SW
Fim (2)	647751,948	9384801,012	WGS-84					
Início (1)	647761,759	9384804,955	WGS-84	2	1,1	21.7	65°	NE
Fim (2)	647741,873	9384795,958	WGS-84					
Início (1)	647781,282	9384808,158	WGS-84	2,4	1,5	5.9	265°	W
Fim (2)	647766,276	9384804,266	WGS-84					
Início (1)	647777,081	9384783,832	WGS-84	1,8	1	23.4	182°	S
Fim (2)	647766,276	9384804,266	WGS-84					
Início (1)	647761,908	9384778,875	WGS-84	4,9	1	16	252°	SW
Fim (2)	647777,081	9384783,832	WGS-84					
Início (1)	647753,824	9384777,938	WGS-84	3,9	0,9	7.8	264°	W
Fim (2)	647761,604	9384778,748	WGS-84					

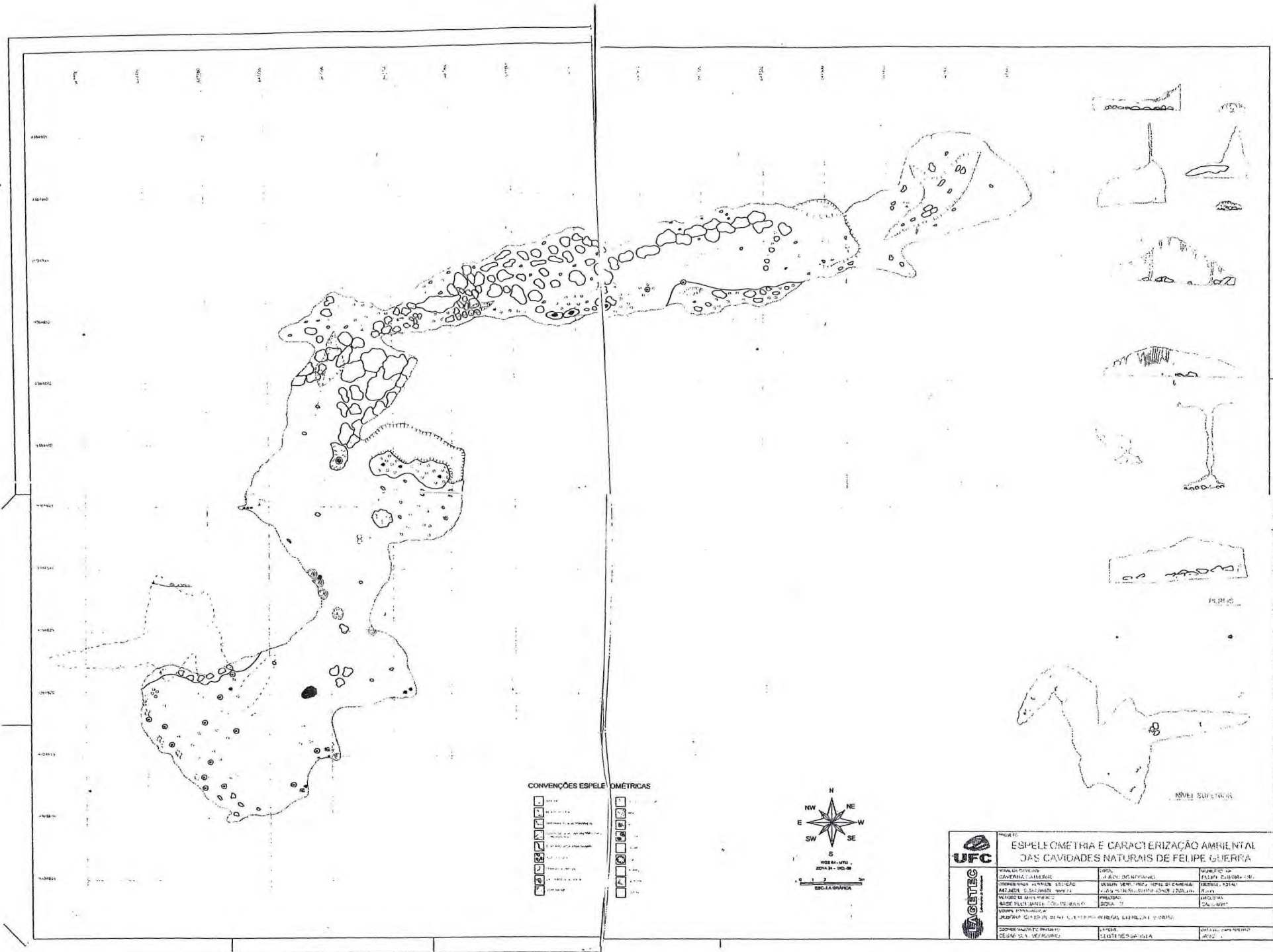
Início (1)	647777,142	9384786,85	WGS-84	2,57	1,57	5.6	258°	SW
Fim (2)	647771,66	9384785,681	WGS-84					
Início (1)	647785,987	9384783,767	WGS-84	2	2,6	8.9	270°	W
Fim (2)	647777,081	9384783,832	WGS-84					
Início (1)	647790,763	9384788,849	WGS-84	2,2	2	2.9	211°	SW
Fim (2)	647789,244	9384786,345	WGS-84					
Início (1)	647791,679	9384780,122	WGS-84	1,9	1,7	7.9	230°	SW
Fim (2)	647797,748	9384785,125	WGS-84					
Início (1)	647791,757	9384775,464	WGS-84	1,6	1	9.6	229°	SW
Fim (2)	647798,946	9384781,82	WGS-84					
Início (1)	647791,485	9384763,386	WGS-84	1,4	0,8	12.1	181°	S
Fim (2)	647791,757	9384775,464	WGS-84					
Início (1)	647752,593	9384752,09	WGS-84	1,05	0,5	3.4	243°	SW
Fim (2)	647749,526	9384750,5	WGS-84					
Início (1)	647752,593	9384752,09	WGS-84	1,15	1	3.4	132°	SE
Fim (2)	647780,676	9384783,631	WGS-84					
Início (1)	647762,249	9384746,277	WGS-84	0,73	0,4	14.2	120°	SE
Fim (2)	647774,504	9384739,093	WGS-84					
Início (1)	647770,315	9384739,524	WGS-84	1,1	0,4	6.3	110°	SE
Fim (2)	647776,274	9384737,411	WGS-84					
Início (1)	647776,274	9384737,411	WGS-84	1,2	0,45	6.5	97°	E
Fim (2)	647782,705	9384736,639	WGS-84					
Início (1)	647778,021	9384717,495	WGS-84	1	0,4	27.4	183°	S
Fim (2)	647779,592	9384744,888	WGS-84					
Início (1)	647779,097	9384741,737	WGS-84	1,1	0,43	5.9	87°	E
Fim (2)	647785,299	9384742,108	WGS-84					
Início (1)	647779,377	9384739,291	WGS-84	1	0,41	6.8	83°	E
Fim (2)	647786,145	9384740,143	WGS-84					
Início (1)	647778,258	9384769,231	WGS-84	3,15	2,5	15.3	61°	NE
Fim (2)	647791,625	9384776,718	WGS-84					
Início (1)	647761,655	9384827,78	WGS-84	1,5	1	4.2	174°	S
Fim (2)	647762,102	9384823,591	WGS-84					
Início (1)	647765,413	9384836,259	WGS-84	6	0,8	6.5	218°	SW

Fim (2)	647762,406	9384830,485	WGS-84					
Início (1)	647765,726	9384835,638	WGS-84	1,3	1	4	218°	SW
Fim (2)	647763,213	9384832,384	WGS-84					
Início (1)	647790,543	9384776,002	WGS-84	1,4	0,4	6.7	168°	SE
Fim (2)	647764,469	9384838,825	WGS-84					
Início (1)	647765,413	9384836,259	WGS-84	5,9	0,8	7.7	90°	E
Fim (2)	647773,152	9384836,32	WGS-84					
Início (1)	647787,784	9384835,187	WGS-84	2	0,6	7.4	196°	SW
Fim (2)	647785,764	9384828,076	WGS-84					
Início (1)	647781,282	9384808,158	WGS-84	8	0,5	27.7	80°	E
Fim (2)	647753,936	9384803,561	WGS-84					

ESTRUTURAS INTERNAS DA CAVERNA CATEDRAL			
PONTOS DE AMARRAÇÃO	LOC	ORIENTAÇÃO	
Pontos	Estações	Em Graus	Direção
1	Próx à estação E1	80°	E
2	Próx à estação E12B	90°	E
3	Próx à estação E12	100°	E
4	Próx à estação E12	85°	E
5	Próx à estação E13	95°	E
6	Próx à estação E16A	93°	E
7	Próx à estação E16C	86°	E
8	Próx à estação E16D	98°	E
9	Próx à estação E16E	81°	E
10	Próx à estação E16F	87°	E
11	Próx à estação E1	66°	NE
12	Próx à estação E12	65°	NE
13	Próx à estação E12B	50°	NE
14	Próx à estação E15	60°	NE
15	Próx à estação E18	56°	NE

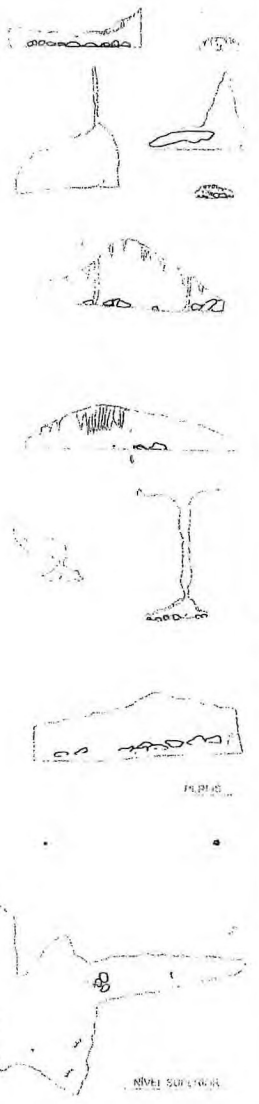
Observação: Em todas as orientações externas e internas, foi aceito um erro de 10° para menos ou para mais.

16	Próx à estação E16	68°	NE
17	Próx à estação E16A	44°	NE
18	Próx à estação E12B	10°	N
19	Próx à estação E12	180°	S
20	Próx à estação E13	170°	S
21	Próx à estação E14	5°	N
22	Próx à estação E16G	8°	N
23	Próx à estação E11	350°	NW
24	Próx à estação E13	135°	SE
25	Próx à estação E18	290°	NW



CONVENÇÕES ESPELEOMÉTRICAS

- | | | | |
|--|-------------------|--|--------------------|
| | Entrada | | Chambera |
| | Passagem | | Passagem com fluxo |
| | Passagem com água | | Passagem com urso |
| | Passagem com urso | | Passagem com urso |
| | Passagem com urso | | Passagem com urso |
| | Passagem com urso | | Passagem com urso |
| | Passagem com urso | | Passagem com urso |
| | Passagem com urso | | Passagem com urso |
| | Passagem com urso | | Passagem com urso |
| | Passagem com urso | | Passagem com urso |



		PROJETO ESPELEOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAZ CAVIDADES NATURAIS DE FELIPE GUERRA	
INSTITUIÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO DE GEOLOGIA LABORATÓRIO DE GEOMORFOLOGIA	LOCAL A 8 KM DO MUNICÍPIO DE FELIPE GUERRA - PA	DATA 2014	AUTORES FELIPE GUERRA - PA
TÍTULO ESPELEOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAS CAVIDADES NATURAIS DE FELIPE GUERRA	INSTITUIÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO DE GEOLOGIA LABORATÓRIO DE GEOMORFOLOGIA	LOCAL A 8 KM DO MUNICÍPIO DE FELIPE GUERRA - PA	DATA 2014
INSTITUIÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ INSTITUTO DE GEOLOGIA LABORATÓRIO DE GEOMORFOLOGIA	LOCAL A 8 KM DO MUNICÍPIO DE FELIPE GUERRA - PA	DATA 2014	AUTORES FELIPE GUERRA - PA