



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

Relatório de Graduação

*Controle Estrutural da Caverna Complexo Suíço
no Lajedo do Rosário, Felipe Guerra (RN)*

Autores:

Oséas Marçal dos Santos
Harlem Enckel Sousa Cunha

Orientadores:

Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo
Prof (a). Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos

Fortaleza, julho de 2011.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

Relatório de Graduação

***Controle Estrutural da Caverna Complexo Suíço
no Lajedo do Rosário, Felipe Guerra (RN)***

Autores:

Oséas Marçal dos Santos
Harlem Enckel Sousa Cunha

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Ceará — UFC, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Fortaleza, julho de 2011.

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)

- S236c Santos, Oséas Marçal dos.
Controle estrutural da Caverna Complexo Suíço no Lajedo do Rosário, Felipe Guerra (RN) / Oséas Marçal dos Santos, Harlem Enckel Sousa Cunha. – 2011.
90 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2011.
Orientação: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo.
Coorientação: Profa. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos.
1. Lajedo do Rosário (RN) - Controle estrutural. 2. Geologia. I. Cunha, Harlem Enckel Sousa.
II. Título.

CDD 551

Comissão Examinadora


Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo


Prof. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos


Prof. Dra. Irani Clezar Mattos


Msc. Jefferson Lima dos Santos

Aprovada em: 15 / 07 / 2011.

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada, caminhando e semeando, no fim terás o que colher.”

(Cora Coralina)

“Desconfie do destino e acredite em você. Gaste mais horas realizando que sonhando, fazendo que planejando, vivendo que esperando, porque embora quem quase morre esteja vivo, quem quase vive já morreu.”

(Luís Fernando Veríssimo)

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter dado forças e iluminado meus caminhos para que pudesse concluir mais uma etapa da minha vida;

Aos meus pais Francisco de Assis Diógenes Cunha e Maria do Carmo de Souza Cunha, por todo amor e dedicação que sempre tiveram comigo.

A minha querida esposa Marcynha, por ser tão dedicada e amiga, por ser a pessoa que mais me apoiou e acreditou na minha capacidade, agradeço a ela pelas horas em que ficou ao meu lado não me deixando desistir, e me mostrando que sou capaz de chegar onde desejo, sem dúvida foi o meu maior incentivo para conseguir concluir esse trabalho;

Ao meu sogro Arãozinho e a minha sogra Pauletinha, por estar sempre torcendo e rezando para que meus objetivos sejam alcançados, e por terem sido minha estrutura familiar por esse período, pessoas que demonstrarão que muitas vezes um gesto marca mais que muitas palavras;

Ao meu cunhado Bename pelo carinho e atenção que sempre tem comigo;

Aos meus filhos Topázio, Tulipa, Jujuba e Chalaka (*in memoriam*), por propiciar felicidade e carinho nos melhores momentos;

Por fim, gostaria de agradecer aos meus amigos e familiares, pelo carinho e pela compreensão nos momentos em que a dedicação aos estudos que foi exclusivo, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que esse trabalho fosse realizado, meu eterno AGRADECIMENTO.

H.Enckel

Agradecimentos

Reconheço minha gratidão primeiramente a Deus, pela graça concedida do entendimento, perseverança e coragem, que me fortaleceu para o alcance de minha tão desejada conclusão do curso de geologia.

A minha família, muito obrigado, porque sem o apóio de vocês nada seria possível, pois dedicaram parte de suas vidas para auxiliar-me todos os dias na minha carreira, com compromisso e acreditando sempre em meu potencial e que se mantiveram presentes até os últimos minutos em todas as circunstâncias. Obrigado minha mãe (Francisca Azevedo), minha irmã (Cristiana) e cunhado (Francisco) e também meu tio (Raimundo Marques).

Serei eternamente grato também aos amigos de turma, em especial a Laura Terezinha pela amizade incondicional, ao Inácio, Denise, Virgínea, Alessandra, Talita, Joel Pedrosa, Alex, Wilkson, Fábio e Michele que tanto me proporcionaram momentos divertidos.

Agradeço também de forma muito especial ao orientador Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo pela paciência que me atribui ao longo dessa jornada de trabalho, pela atenciosidade, determinação e prestações de serviços em todos os setores de trabalhos e por tantos contratemplos que não foram poucos e também a orientadora Prof (a). Dr. Sônia Maria Silva Vasconcelos, muitíssimo obrigado por tudo.

Ao mestre Jéfesson Lima, Vanusa, Kelfrank, Elenilza, Eduardo e Magno, meu muito obrigado pela ajuda na confecção desse relatório e pela satisfação nas atividades em campo.

Muito obrigado a todos os professores, em especial à Prof (a). Dra. Cláudia pela excelente amizade, à Prof (a). Dra. Teresa que nos momentos mais difíceis de minha carreira acadêmica sempre se manteve a me ajudar, ao Prof. Dr. Cajaty pela atenciosidade que me foi tão importante durante o curso, ao chefe do Departamento Prof. Dr. Itabaraci meus agradecimentos pela força moral transmitida e ao Prof. Dr. Wellington pelo bom humor.

À Universidade Federal do Ceará pela realização desse trabalho.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Ao CECAV/IBAMA pelo auxiliou em campo de forma tão prestatível e amigável.

A todos os funcionários que trabalham no Departamento de Geologia.

Reconheço assim, minha eterna gratidão a todos que me fizeram merecer a finalização desse trabalho.

OSÉAS MARÇAL

ABSTRACT

The study was conducted at Lajedo of the Rosary, located in the municipality of Felipe Guerra (RN), where there are natural cavities developed in the limestone of the Cretaceous Formation Jandaíra belonging to Potiguar, with an area of research equivalent of 1,44 Km² whose activity was to investigate the influence of structures in the development and control of Swiss cave Complex.

The studies were initially carried out by means of imaging satellites, seeking to filter the main regional structures that dominate the area of research, consisting in preparing a contour map. In another step, the structures were mapped on the surface of the flooring of the Rosary, obtaining the following information: persistence, spatial orientation and openness, then represented by diagrams of rosettes and evaluated according to statistical methods.

It was also established, the Swiss espeleometria cave Complex in order to obtain the orientation of the structures of endokarst and correlate with fractures exocarste, and acquire a more detailed result of the development system of ducts, galleries and speleothems.

It was seen then, from what was obtained by the analysis of structural lineaments, there are four preferred orientations occurring in the search: F1 (NS), F2 (EW), F3 (NE-SW) and F4 (NW-SE). These structures, observed by satellite images, as well as those obtained by mapping detail, F3 classified the fractures as more continuous character, and strong relationship in conditioning the development of galleries and passages of the cave Complex Swiss.

The research system also consisted of a petrographic study of the levels that cross the package inside the rocky Swiss Complex, Where it was possible to obtain a possible explanation regarding the changes of karst features along the vertical section of the cave.

The results show that the package in the rocky sections I, II and V related to secondary porosity type vug and mouldic (non-tectonic origin) supported by aloquímicos grains, does not induce significant in the evolution of karst features, while sections III and VI in the rock carbonate appears more vulnerable to dissolution, because it is a pure limestone.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	III
Resumo.....	V
Abstract.....	VI
Lista de Figuras.....	IX
Lista de Fotomicrografias.....	XI
Lista de Tabela.....	XII
1. Introdução.....	1
1.1 – Apresentação.....	1
1.2 – Justificativa.....	2
1.3 – Mapa de Localização e Acesso à Área de Pesquisa.....	4
1.4 - Objetivos.....	5
1.4.1 – Objetivos Específicos.....	5
1.5 – Metodologia de Trabalho.....	6
1.6 – Condicionantes Geoambientais.....	8
1.6.1 – Clima.....	8
1.6.2 – Vegetação.....	8
1.6.3 – Solos.....	10
1.7 – Hidrografia.....	11
1.7.1 – Águas Superficiais.....	11
1.7.2 – Águas Subterrâneas.....	11
1.8 – Aspecto Sócio-Econômico.....	11
2. – Geomorfologia.....	12
2.1 – Geomorfologia Cárstica.....	13
3. – Contexto Geológico Regional.....	19
3.1 – A Gênese da Bacia Potiguar.....	20
3.2 – Arcabouço Estrutural.....	23
3.3 – Litoestratigrafia e Ambientes de Deposição.....	24
3.4 – Caracterização Fossilífera da Bacia Potiguar.....	26
3.5 – Magmatismo na Bacia Potiguar.....	27
3.6 – Evolução Tectônica Cenozóica da Bacia Potiguar.....	28

4. – Geologia Estrutural.....	31
4.1 – Parâmetros Descritivos das Descontinuidades.....	32
4.1.1 – Juntas.....	32
4.2 – Orientações Espaciais.....	35
4.3 – Persistência ou Continuidades.....	39
4.4 – Aberturas das Descontinuidades.....	40
4.5 – Profundidade.....	41
4.6 – Resultados.....	43
5. – Petrografia.....	45
5.1 – Classificações Adotadas para as Rochas Carbonáticas Detríticas.....	46
5.1.1 – Classificação de Dunham, 1962.....	46
5.1.2 – Classificação de Folk, 1959.....	47
5.2 – Porosidades das Rochas Carbonáticas.....	49
5.3 – Coleta Sistemática do Material Carbonático.....	50
5.4 – Resultados Obtidos.....	51
5.4.1 – Grainstone (Dunham, 1968) ou Intraesparito (Folk, 1959).....	51
5.4.2 – Packstone (Dunham, 1968) ou Biosparito (Folk, 1959).....	52
5.4.3 – Calcário Cristalino (Dunham, 1962).....	53
5.4.4 – Mudstone (Dunham, 1962) ou Biomicrito (Folk, 1959).....	54
5.4.5 – Packstone (Dunham, 1962) ou Pelsparito (Folk, 1959).....	55
5.4.6 – Carbonato Cristalino (Dunham, 1962).....	56
5.5 – Discussão dos Valores Obtidos.....	58
6. – Espeleometria da Caverna Complexo Suíço.....	59
6.1 – Formação de Espeleotemas.....	65
7- Conclusão.....	71
8- Bibliografia.....	73

Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa de Localização e Acesso a Área de Pesquisa.....	Pág. 4
Figura 1.6.1 – (A)-Vegetação Hiperxerófila e (B) Floresta Ciliar de Carnaubeiras ao longo do Rio Apodi	Pág. 9
Figura 1.6.3 – Solos Alcalinos Rasos. Coord. UTM-WGS 84: 646508 / 9387065.....	Pág. 10
Figura 2.1 – Mapa de Relevô do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2004)	Pág. 12
Figura 2.2 – Característica do relevo da Chapada do Apod	Pág. 13
Figura 2.3 – Cova circular com fundo plano arredondado. Coord. UTM-WGS 84: 648256 / 9385462.....	Pág. 14
Figura 2.4 – Caneluras delimitadas por cristas muito agudas. Coord. UTM-WGS 84: 648352 / 9385453.....	Pág. 14
Figura 2.5 – Formas apresentadas pelas diferentes de passagens de cavernas em relação às orientações dos estratos e juntas.....	Pág. 15
Figura 2.6 – Modelo de desenvolvimento de cavernas abaixo do lençol freático em relação à frequência de fraturas.....	Pág. 17
Figura 2.7 – Esboço que representa a evolução de um abismo.....	Pág. 18
Figura 3.1 – Mapa simplificado da Bacia Potiguar.....	Pág. 19
Figura 3.2 – Mecanismo de evolução da margem continental brasileira e processos genéticos iniciais do Rife Potiguar (Françolin e Szatmari, 1987).....	Pág. 21
Figura 3.3 – Modelo de reconstrução tectônica do nordeste brasileiro e sudoeste africano durante os estágios sin-rift I, II e III.....	Pág. 22
Figura 3.4 – Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar.....	Pág. 23
Figura 3.5 – Carta estratigráfica e evolução tectono-sedimentar da Bacia Potiguar.....	Pág. 24
Figuras 4.1- (A) Juntas não tectônicas e (B) fraturas preenchidas por calcita. Coord. UTM-WGS 84: 648532 / 9383362.....	Pág. 32
Figura 4.2 – Conjunto de juntas sistemáticas apresentando faixas estreitas, cíclicas com densidade maior de fraturas. Coord. UTM-WGS 84: 648334 / 9386532.....	Pág. 33
Figura 4.3 – Dolina de subsidência. Coord. UTM-WGS 84: 648225 / 9385236.....	Pág. 33
Figura 4.4 –(A) Fenda da entrada da caverna Complexo Suíço. Coord. UTM-WGS 84: 648233 / 9325627, (B) Planos de estratificações no exocarste e (C) Nível de dissolução paralelo ao plano de estratificação ou S0	Pág. 34

Figura 4.5 – Mapa de fotolineamentos do Lajedo do Rosário a partir de imagem de satélite, escala, 1:3.000.....	Pág. 35
Figura 4.6 – (A) Diagrama de roseta e histograma referente as família de lineamento total no Lajedo do Rosário	Pág. 36
Figura 4.6- (B) – Mapa de detalhe das estruturas rúpteis da área de estudo com diagrama de roseta e histograma.....	Pág. 37
Figura 4.6 (C) – Mapa das estruturas rúpteis da caverna com diagrama de roseta e histograma.....	Pág. 38
Figura 4.7 – Histograma de classificação do comprimento da fraturas.....	Pág. 39
Figura 4.8 – Histograma mostrando a classe de abertura das famílias de fraturas.....	Pág. 40
Figura 4.9 – Histograma da profundidade das fraturas.....	Pág. 41
Figura 4.10 – Compartimentação do litoral sententrional (Fonseca 1996) e sistemas de falha de Afonso Bezerra e Carnaubais	Pág. 43
Figura 5. – Perfil transversal da caverna Complexo Suíço.....	Pág. 49
Figura 6.1 – Georeferenciamento do ponto na entrada da caverna Complexo Suíço....	Pág. 59
Figura 6.2 – Detalhe da descida no interior do abismo para instalação de base topográfica no interior da caverna Complexo Suíço.....	Pág. 60
Figura 6.3 – Representação esquemática da caverna em planta baixa.....	Pág. 61
Figura 6.4 – Representação da seção longitudinal.....	Pág. 62
Figura 6.5 – Representação das seções transversais das galerias da caverna.....	Pág. 63
Figura 6.6 – Ilustração da galeria NW-SE localizada na porção inferior da caverna Complexo Suíço com a Seção transversal	Pág. 63
Figura 6.8 – Formação de espeleotemas ao longo das galerias formalmente conhecidas como couve-flor.....	Pág. 65
Figura 6.9 – Ilustração do sistema de gotejamento na formação dos anéis de calcita evoluindo para estalactites.....	Pág. 66
Figura 6.10 – Ilustração de diversas formas de precipitados químicos que ornamentam o teto da caverna	Pág. 66
Figura 6.11 – Assoalho da caverna com desenvolvimento de represa de água.....	Pág. 67
Figura 6.12 – Formação de espeleotemas no teto da caverna Complexo Suíço cuja extremidade capilar assemelha-se ao sistema de desenvolvimento das estalactites.....	Pág. 68
Figura 6.13 – Espeleotemas (estalactites) desenvolvendo-se orientada pela fratura F3 (NE – SW) no teto da caverna Complexo Suíço.....	Pág. 68

Lista de Fotomicrografia

- Fotomicrografia 5.1** – Amostra (A01) – Vista da microfácies Grainstone (Dunham, 1998) ou Intraesparito (Folk, 1959). (A – Luz polarizada e B – Luz natural)..... **Pág. 50**
- Fotomicrografia 5.2** – Amostra (A02) – Vista da microfácies Packstone (Dunham, 1998) ou Bioesparito (Folk, 1959).**Pág. 51**
- Fotomicrografia 5.3** – Amostra (A03) – Vista da microfácies Calcário Cristalino (Dunham, 1998)..... **Pág. 52**
- Fotomicrografia 5.4** – Amostra (A04) – Vista da microfácies Mudstone (Dunham, 1998) ou Biomicrito (Folk, 1959).**Pág. 53**
- Fotomicrografia 5.5** – Amostra (A05) – Vista da microfácies Packstone (Dunham, 1998) ou Intraesparito (Folk, 1959)..... **Pág. 54**
- Fotomicrografia 5.6** – Amostra (A06) – Vista da microfácies Carbonato Cristalino (Dunham, 1998).**Pág. 55**

Lista de Tabela

Tabela 1 – Coordenadas UTM (Zona 24) da área de pesquisa.	Pág. 3
Tabela 4.1 – Classe de comprimento segundo ISRM – International Society for Rock Mechanic (1983).....	Pág. 39
Tabela 4.2 – Classes de abertura segundo ISRM– International Society for Rock Mechanic (1983).	Pág. 40
Tabela 4.3 – Classes de profundidade segundo ISRM– International Society for Rock Mechanic (1983).	Pág. 41
Quadro 5.0 – Classificação de rochas carbonáticas, segundo a textura deposicional (Dunham, 1962).	Pág. 45
Quadro 5.1 – Esquema qualitativo de classificação de calcário utilizando-se o critério de Folk, 1968.....	Pág. 46
Quadro 5.2 – Classificação de rochas carbonáticas segundo Folk, 1959.....	Pág. 47
Quadro 5.3 – Tipos básicos de porosidades nos sedimentos.....	Pág. 48
Quadro 5.4 – Resultado dos valores obtidos mediante descrição das rochas carbonáticas.	Pág.57

1. Introdução

1.1 Apresentação

O pavimento cárstico no Lajedo do Rosário abrange uma área de aproximadamente 10 Km², configurando um amplo afloramento carbonático da seqüência transgressiva eoturoniana denominada de Formação Jandaíra (Grupo Apodi), que corresponde a maior área de ocorrência de carbonatos nos estados do nordeste brasileiro localizado na porção oeste da Bacia Potiguar.

A área de pesquisa que corresponde a um trecho de 1,44 Km² concentra-se a oeste do Lajedo do Rosário, próximo a cidade de Felipe Guerra (RN). Na região, encontra-se o maior número e as maiores cavernas do Estado do Rio Grande do Norte, a exceção de Furna Feia, localizado no Município de Baraúnas, RN. Tais ocorrências cársticas geraram uma série de estudos científicos realizados por pesquisadores da UFRN e UFC a partir de 2006 envolvendo relatórios de graduação, dissertações de mestrado e publicações de artigos científicos relacionados ao controle litológico e estrutural na geração de feições cársticas. O objetivo deste trabalho foi dar continuidade aos estudos do carste Jandaíra, contribuindo com as pesquisas realizadas anteriormente e cumprir com as normas de relatório de graduação.

O conhecimento gerado pela pesquisa constitui o ponto de partida para uma série de outros estudos e pesquisas incluindo: o estudo da porosidade secundária (tipo vugs) de interesse para a indústria de óleo e gás; estudos ambientais relacionados à proteção e conservação de cavernas, estudos paleontológicos e arqueológicos frente às ameaças provocadas pela atividade mineira (exploração de pedra tosca, cal, cimento e rochas ornamentais); estudos hidrológicos relacionados aos riscos de contaminação do aquífero cárstico por diversas formas (resíduos de agrotóxicos, óleos lubrificantes, combustíveis, disposição de lixo etc.); bem como voltados à captação de água para indústria, agricultura e consumo humano.

1.2 Justificativas

Na segunda metade do século XIX, as cavernas começaram a ser objeto de estudo científico, notadamente na Europa, onde pioneiros como o francês A. Martel e o iugoslavo Racovitza deram-lhe o arcabouço teórico e a correspondência sistematização. Nascia então, a espeleologia que tem por base o estudo e a defesa das cavernas.

No Brasil, os primeiros estudos científicos em cavidades subterrâneas foram realizados no campo da paleontologia pelo Dinamarquês Peter Lund, divulgando o Brasil em termos internacionais, produzindo uma riquíssima coleção de fósseis Pleistocénico, e descobrindo os primeiros esqueletos humanos da “raça de Lagoa Santa”, nossos mais antigos ancestrais

No território brasileiro, os relevos cársticos ocupam uma área relativamente reduzida, com cerca de 7% do total, concentrando-se principalmente na região central do país. Os estudos relacionados à gênese dos relevos cársticos no Brasil, que abrangem os Estados do nordeste ainda são escassos, cujos trabalhos mais importantes tiveram início na década de noventa com atenção voltada especialmente para estudos paleoclimáticos (e.g., Auler 1999; Auler & Smart 2001; Wang et al., 2005).

Em função da necessidade de enriquecer o conhecimento espeleológico do carste Jandaíra, realizou-se estudos das estruturas rúpteis no Lajedo do Rosário, possibilitando compreender a fragilidade desses ecossistemas e a potencialidade das cavernas para o turismo, bem como, a investigação da área de influência das cavernas frente à pressão exercida pela atividade mineira (exploração de pedra tosca, cal, cimento e rochas ornamentais). Neste contexto, o presente trabalho fornece dados essenciais para incentivos de novas pesquisas na área do carste Jandaíra.

1.3 Mapa de Localização e Acesso à Área de Pesquisa

A sede do município de Felipe Guerra apresenta coordenadas 05°36'10,8" de latitude sul e 37°41'20,4" de longitude oeste, distando cerca de 445 km da capital, Natal. Seu acesso, a partir de Fortaleza-CE, pode ser efetuado através de rodovias pavimentadas em boas condições de tráfego. Inicialmente toma-se a BR-304, seguindo-se por esta até o município de Mossoró, finalizando o roteiro pela BR-405 até o município de Felipe Guerra, e deste, percorrendo-se 17 Km² em vias não pavimentadas até a área de pesquisa, correspondendo ao Lajedo do Rosário. (Figura 1.5)

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 e Caraúbas a sul. Abrange uma área total de 282 Km², inseridos nas folhas Apodi (SB.24-X-C-VI) editadas na escala 1:100.000 pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE (1982).

A área alvo de estudo abrange 1,44 Km² estando definido pelos seguintes vértices, segundo coordenadas (tabela 1):

VÉRTICE	LATITUDE	LONGITUDE
1	0647669	9385441
2	0648869	9385441
3	0648869	9384249
4	0647669	9384249

Tabela 1 – Coordenadas UTM – WGS 84 (Zona 24) da área pesquisada.

Mapa de lineamento do Lajedo do Rosário

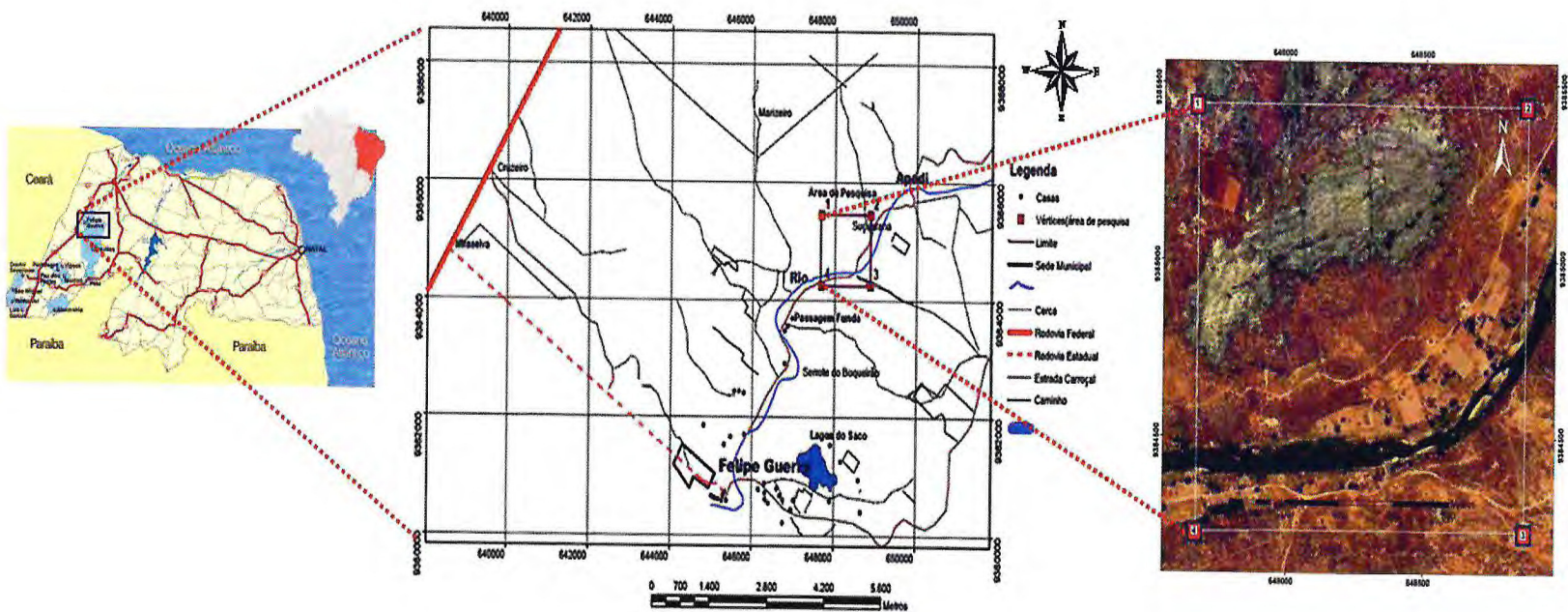


Figura 1- Mapa de localização, acesso e aérea de pesquisa

1.4 Objetivos

A pesquisa estabeleceu como meta principal o estudo das estruturas rúpteis favoráveis ao desenvolvimento das feições cársticas, especialmente na gênese da Caverna Complexo Suíço no calcário Jandaíra, localizada no município de Felipe Guerra (RN).

1.4.1 Objetivos Específicos

- Efetuar levantamento de detalhe das estruturas rúpteis de superfície tais como: juntas, fraturas e falhas no lajedo do Rosário localizado no município de Felipe Guerra, RN;
- Prospectar e realizar a espeleometria da caverna Complexo Suíço;
- Estabelecer relações entre os dados estruturais sob o controle na gênese da caverna Complexo Suíço;
- Investigar trechos de acumulação de água (surgências e sumidouros) no interior da caverna;
- Realizar análises petrográficas de rochas calcárias coletadas em diferentes níveis no interior da caverna mapeada;
- Adicionar a importância da porosidade primária e secundária na dissolução;
- Elaborar mapa delimitando o Lajedo do Rosário ilustrando as estruturas superficiais para posterior comparação com direções lineares e morfologia da caverna em sub superfície;
- Realizar tratamento estatístico de parâmetros tais como: orientação espacial, persistência, profundidade e abertura das descontinuidades;
- Interpretar os resultados.

1.5 Metodologia de Trabalho

O planejamento operacional para realização desse trabalho obedeceu às seguintes etapas:

1º Etapa Pré-Campo:

O início do trabalho consistiu de uma pesquisa bibliográfica e cartográfica, com o intuito de analisar e coletar informações geológica, geomorfológica e espeleológica sobre

carste Jandaíra, variando de escala regional até de semi detalhe a partir de periódicos, revistas, livros, relatórios e teses.

Em seguida, com auxílio de imagens de sensoriamento remoto, foram realizadas interpretações e tratamentos da área de afloramento do calcário da Formação Jandaíra, objetivando a delimitação no contorno do lajedo do Rosário e as estruturas rúpteis existentes (descontinuidades, fraturas, juntas e falhas), para a classificação dessas feições estruturais, foi utilizada a direção preferencial ou *trends* de ocorrência, como critério para individualizar o sistema de fraturas. Essa fase resultou na elaboração de um mapa base preliminar do lajedo na escala 1:40.000, com indicação de estradas, caminhos, acessos e localidades.

2º Etapa de Campo:

Nessa fase de pesquisa, o trabalho foi efetuado durante duas semanas, cujo levantamento da orientação dos principais conjuntos de juntas e falhas ocorreu em 4 dias úteis.

A realização do mapeamento geológico consistiu da utilização dos parâmetros de identificação das famílias de juntas e falhas, onde foram caracterizadas de acordo com sua orientação e atitude planar. Em outras circunstâncias, essas estruturas foram medidas a fim de obter-se o espaçamento entre as descontinuidades, a abertura e o comprimento das mesmas. O estudo das medidas das fraturas limitou-se à análise da orientação, considerando o mergulho como 90°, já que uma grande proporção dessas medidas apresentou mergulho próximo a verticalidade, mostrando pouco confiável o sentido de caimento.

No interior da caverna Complexo Suíço, mediante uma autorização preliminar do (ICMBio / CECAV), que envolveu a licença para coleta de amostras de calcário para confecções de lâminas delgadas, foram coletados 6 amostras dos diferentes estratos, camadas de calcário desde o topo (superfície) até a cota baixa (base) no interior da caverna para estudos petrográficos.

Como parte importante do estudo, foi realizado um levantamento de zonas de infiltrações que acarretam a formação de precipitados químicos ornamentais (espeleotemas), posteriormente, classificados segundo a literatura espeleológica.

Outra atividade desenvolvida nessa etapa foi à topografia da caverna Complexo Suíço no Município de Felipe Guerra, ocorrido em cinco dias, onde foi realizado o mapeamento com

os seguintes instrumentos de trabalho: um clinômetro, bússola *brunton*, trena a laser e trena de nylon. A altura de teto, distâncias laterais e distâncias entre as estações foram tomadas com auxílio de trena de mão e a laser. O método empregado foi o da poligonal aberta para as galerias. As direções das galerias e as distâncias entre as bases topográficas e as paredes da gruta foram desenhadas em croqui esquemático durante o levantamento topográfico e repassadas em escala 1:125.

3º Etapa de Laboratório e Escritório (Pós-Campo):

Nessa etapa, de posse dos dados estruturais levantados a partir da interpretação de imagens de satélites, do mapeamento local e das estruturas obtidas durante a topografia da caverna Complexo Suíço. Os dados foram estatisticamente analisados por meio da interpretação de diagramas de roseta, representado pela sua direção, não importando neste caso o mergulho das estruturas planares. Trata-se de um semicírculo, subdividido de 10° em 10°, semelhante a um transferidor. A linha N-S, coincide com o retículo do 350° a 10° graus, já a linha E-W, coincide com o retículo de 80° a 100°. Subdivide-se o semicírculo em dois quadrantes: NW (280° a 349°) e NE (10° a 80°). Onde foram utilizados os *Softwares stereonet, excel (versão 2007) e o Gps Geodesico* de marca *Promark 2*, sendo necessário processar as informações obtidas antes de usá-las.

Para os estudos das feições cársticas, foi realizada também em laboratório a descrição petrográfica de lâminas delgadas das amostras de calcário coletadas em campo, conforme a classificação utilizada por Dunham (1962) e Folk (1959).

Os croquis obtidos durante o levantamento topográfico das interseções verticais (seções transversais), horizontal (seção longitudinal) e do assoalho da caverna Complexo Suíço (planta baixa), foram repassados para um mapa esquemático definitivo, de forma a resultar na arte final da topografia.

Concluída essa fase e com posse de todos os dados coletados durante as diversas etapas de pesquisa, foi realizada a análise final da influência das estruturas na formação e desenvolvimento das galerias e condutos da caverna e sua relação com o meio externo. Com os dados devidamente obtidos e tratados, permitiu a confecção do Relatório de Graduação.

1.6 Condicionantes Geoambientais

1.6.1 Clima

No Estado do Rio Grande do Norte predominam quatro tipos de climas:

- Clima árido que abrange uma área de 18% da superfície estadual, ocorrendo no centro e litoral setentrional do Estado, prolongando-se numa faixa estreita até o extremo sul do Estado;
- Clima Semi-Árido ocorre de forma quase contínua em todo o interior do RN e a oeste prolonga-se até o litoral setentrional e representa 57% da superfície estadual;
- Clima sub-Úmido Seco ocorre no litoral oriental e nas serranas do interior do Estado, abrangendo 20% da superfície estadual;
- Clima Úmido localizado no litoral oriental representando 5% da área estadual (IDEMA/2005).

Na região que caracteriza a área de estudo predomina um clima quente e semi-árido, marcado por um sistema de chuvas irregulares, com umidade média anual de 68%, cujas oscilações, tipicamente, marcam uma estação seca durante os meses de junho a dezembro e outra chuvosa nos meses de janeiro a maio, com máximas pluviométricas em março e abril. A demanda de chuvas varia entre 600 mm a 750 mm anuais, e as temperaturas oscilam entre 23°C (média mínima) e 29°C (média máxima), com média anual em torno de 26°C (IDEMA, 2005).

1.6.2 Vegetação

A caatinga de denominação tupi que significa “mato-branco,” é a vegetação predominantemente no Estado do Rio Grande do Norte, sendo observadas, ainda, doze formações distintas de vegetações na região estadual do RN, incluindo as mais expressivas: a Floresta Estacional Semi-Residual; Floresta Ciliar Sem Carnaúbas; Manguezal; Floresta Esclerófila; Restinga Arbustiva; Caatinga Arbórea, Floresta de Carnaúbas etc.

A cobertura vegetal desenvolvida sobre as porções do relevo cárstico, é formada por uma vegetação de característica típica de solos rasos e condicionada por fatores morfoclimáticos. As espécies mais comuns são as de Caatinga Hiperxerófila (figura 1.6.1),

que apresentam aspecto seco, densa em raros trechos, formando moitas e uma grande dominância de cactáceas distribuídas em áreas pediplanadas. Entre as mais comuns e predominantes no Estado do Rio Grande do Norte estão: Catingueira, Mororó, Jurema Preta, Pinhão Roxo, Faveleiro, Xique-Xique, Imbuzeiro, Marmeleiro etc.

Nas mediações deprimidas do relevo e ao longo de várzeas de rios da porção setentrional do Estado do RN, situados ao longo de margens dos rios Apodi e Mossoró, predomina uma vegetação típica de Floresta Ciliar de Carnaúbas (figura 1.6.2), apresentando condições naturais de mata fechada em alguns trechos da margem do rio Apodi, em decorrência da densidade extrema, assim como das condições de terreno, muitas vezes alagados, como também, pela proximidade de palmeiras novas. (IDEMA, 2005).

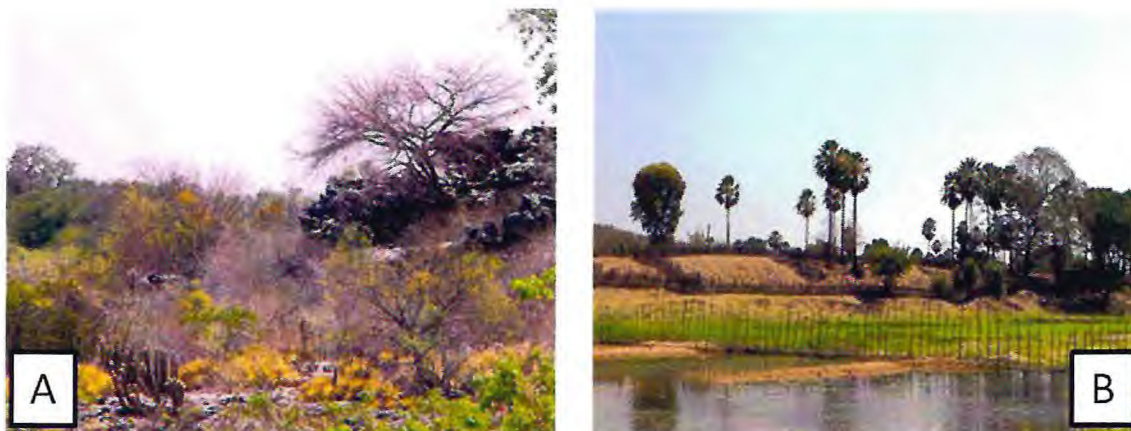


Figura 1.6.1: A- Vegetação Hiperxerófila. B- Floresta Ciliar de Carnaúbas ao longo da margem do Rio Apodi

1.6.3 Solos

Dentre os vários tipos de solos do Estado, predominam na Chapada do Apodi, solos aluvionares e chernossolos. (IDEMA, 2005).

Os chernossolos (rendizinas) são solos alcalinos rasos moderados a imperfeitamente drenados e derivam do intemperismo de calcários. Apresentam textura moderadamente areno-argiloso, cor variando do amarelo ao vermelho e uma granulometria bastante heterogênea. Em função das características físicas e químicas serve como fonte de nutrientes para o cultivo de grãos na região (figura 1.6.3).

Os aluviões de um modo geral são poucos desenvolvidos, entretanto, em alguns trechos da margem do rio Apodi, é observado a formação de pacotes espessos de sedimentos

aluvionares originados de deposições recentes de natureza diversa. São medianamente profundos e cobertos por uma vegetação nativa de grande importância, que mantém estável o solo, impedindo o assoreamento do rio mencionado anteriormente.



Figura 1.6.3: Solos alcalinos rasos de grande importância para o cultivo de grãos (milho). Coordenadas UTM-WGS 84: 646508 / 9387065.

1.7 Hidrografia

1.7.1 Águas Superficiais

O município de Felipe Guerra está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró cujo curso está na direção SW-NE. Seus principais afluentes são os rios: do Alazão, do Meio, Abreu e do Preto. Na região, não existem açudes de grande porte e todos os cursos d'água são intermitentes, apresentando drenagem não concentrada devido à grande permeabilidade das rochas calcárias. A região constitui dois reservatórios de água, a Barragem Miradora (685.000m³/comunitário) e a lagoa do Saco (CPRM, 2005).

1.7.2 Águas Subterrâneas

O Domínio Hidrogeológico Intersticial e Cárstico-fissural onde está inserido o Município de Felipe Guerra (RN), são compostos de rochas sedimentares da Formação Açu e Depósitos Aluvionares. O Domínio Cárstico-fissural é formado pelas rochas calcárias da Formação Jandaíra. (CPRM, 2005).

O Aquífero Jandaíra fornece água geralmente de qualidade salobra e composição química favorável a pequena irrigação. É um aquífero livre com vazões que variam até 30 m³/h, com média de 3 m³/h e poços com profundidade média em torno de 8m (IDEMA, 2005).

O Aquífero aluvião é livre, sendo constituído por sedimentos depositados nos leitos e terraços dos rios e riachos de maior porte. Estes depósitos caracterizam-se pela alta permeabilidade, boas condições de realimentação e uma profundidade média em torno de 7 m. A qualidade da água é boa e pouco explorada.

1.8 Aspecto Sócio-Econômico

O município de Felipe Guerra, de acordo com o censo de 2010, apresenta aproximadamente uma população total residente em torno de 5.731 habitantes, com uma densidade populacional com cerca de 20,26 habitantes por Km². (IBGE, 2010).

As principais atividades econômicas são: agropecuária, extração de petróleo e gás natural, extrativismo e comércio. Em relação à infra-estrutura, o município dispõe de hotéis, pousadas, agência bancária, correios, hospitais, escolas, abastecimento de água potável, energia elétrica e saneamento básico (IDEMA, 2005).

Capítulo 2

2. Geomorfologia

O relevo do Estado do Rio Grande do Norte foi subdividido pelo (IDEMA, 2005) em oito compartimentos principais: Depressão Sertaneja, Planalto da Borborema, Tabuleiros Costeiros, Planícies Fluviais, Planície Costeira, Depressão sub Litorânea, Chapada do Apodi e Chapada Serra Verde (Figura 2.1).

O estudo na região da Chapada do Apodi, que representa uma unidade geomorfológica típica de áreas de rochas carbonáticas, configura feições peculiares de dissolução que ocorreram ao longo dos milhares de anos, cuja pesquisa aborda a descrição morfológica específica do relevo cárstico originada no calcário Jandaíra.

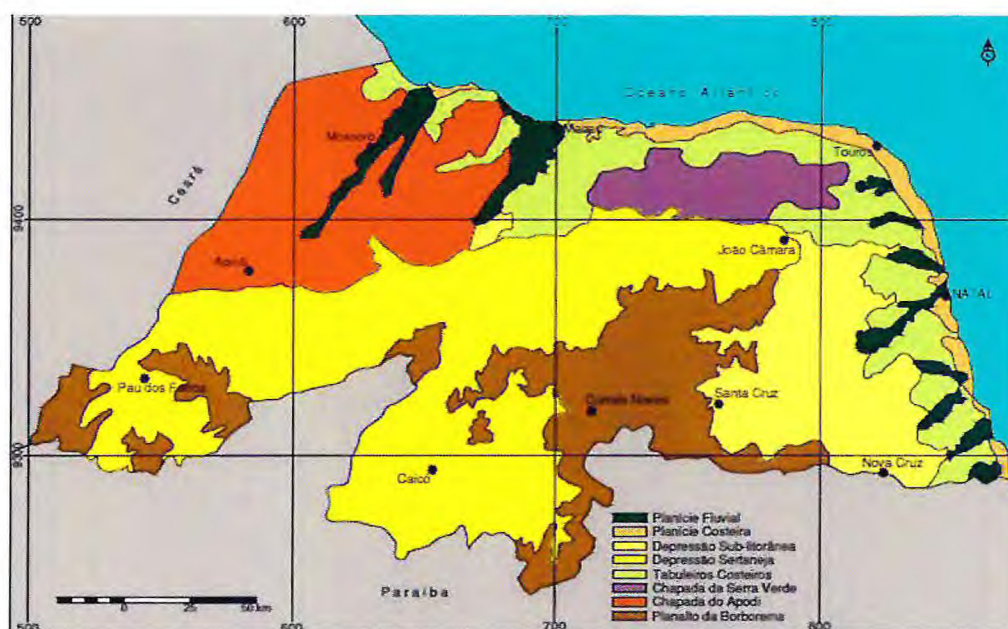


Figura 2.1 – Mapa de relevo do Rio Grande do Norte (IDEMA, 2005).

A compartimentação morfológica da Chapada do Apodi apresenta cotas que variam entre 10 a 150m de altitude, aumentando gradativamente do litoral para o interior com maior elevação á oeste e apresentando característica de relevo plano a suavemente ondulado, cujo topo é levemente rampeado para norte, conferindo um aspecto cuestiforme. Esse relevo

configura a presença de vales abertos, de direção principal NNE-SSW, correspondendo a lineamentos estruturais do embasamento cristalino (vales dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas Açú) e vales de menor expressão, com orientação aproximada N-S. Estes vales de menor expressão às vezes cruzam as estruturas regionais de maneira transversal. (PROASNE-BRASIL, 2006). A figura 2.2 representa a porção oeste do relevo da Bacia Potiguar.

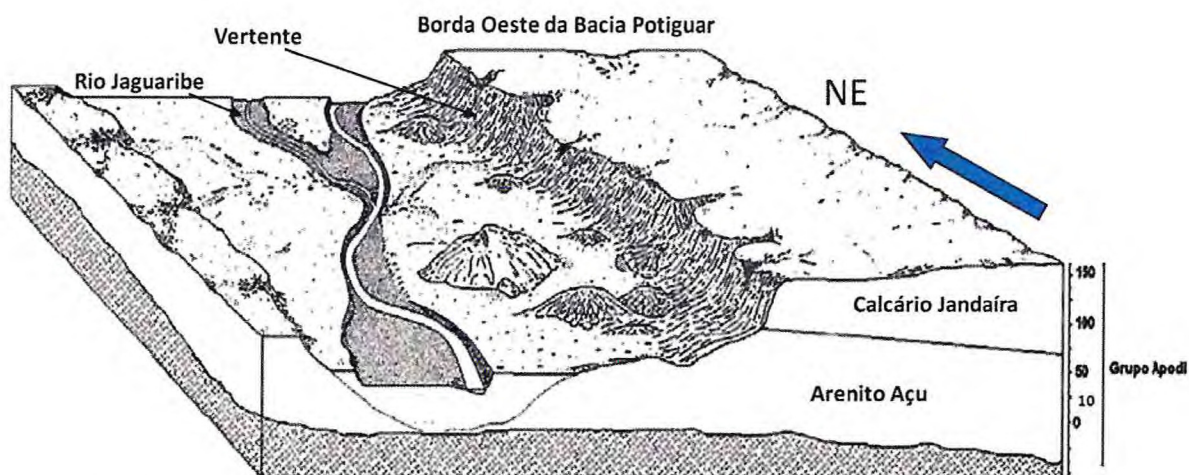


Figura 2.2 – Característica do relevo da borda oeste da Bacia Potiguar. (Róbson F. maio de 2005).

2.1 Geomorfologia Cárstica

O relevo na área de pesquisa compreende o sistema cárstico da Formação Jandaíra, onde são observadas feições de dissolução causadas pelo contato direto entre a rocha solúvel e os agentes intempéricos, apresentando formas cársticas variando desde o exocarste ao endocarste.

As feições superficiais de dissolução (exocarste) de pequena escala mais comuns na área de pesquisa, que afloram a céu aberto, são os lapiás formados principalmente pelo escoamento das águas pluviais, cujas dimensões das depressões e das cristas variam de alguns milímetros a mais de 5 metros, sendo também, paralelas entre si e delimitadas por cristas muito agudas (Figuras 2.3 e 2.4).

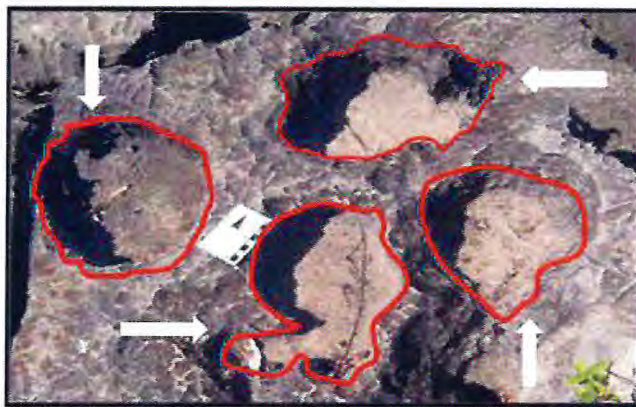


Figura 2.3. Lapiá com depressão circular com fundo plano. Coordenadas UTM-WGS 84: (648256 / 9385462).



Figura 2.4. Caneluras de dissolução paralelas entre si e delimitadas por cristas muito agudas. Coordenadas UTM – WGS 84: (648352 / 9385453).

O carste subterrâneo (endocarste), por sua vez, pode evoluir sem contato direto entre a superfície da rocha carbonática e os agentes intempéricos superficiais. O endocarste é caracterizado pelo ambiente subterrâneo, com cavernas ornamentadas por exuberantes espeleotemas (colunas, cortinas, estalactites e estalagmites). A morfologia dos 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.

O termo abordado para cavernas (do latim *cavus*, buraco), é bastante antropocêntrico e, deste modo, somente as redes de condutos acessíveis ao Homem seriam a rigor, denominados de cavernas. Outros termos empregados com maior frequência para definir as cavidades naturais, são referentes às grutas e abismos. Gruta (do latim *grupta*, *corrupta*, *corruptela de crypta*) cujo desenvolvimento horizontal chega a atingir uma profundidade superior a 20 m. Já

os abismos, correspondem a todas as cavidades de projeções verticais atingindo uma profundidade superior a 10 m.

Os principais processos envolvidos na formação e no desenvolvimento das cavidades naturais (espeleogênese), segundo Bögli (1969), no caso, ocorrentes em rochas carbonáticas são: corrosão (dissolução química), erosão (remoção física) e colapso (abatimento gravitacional). A (figura 2.5) estabelece de forma representativa, as diferentes formas morfológicas de passagens de uma caverna, associadas com a evolução mediante a orientação das estruturas representadas pelas juntas e estratificações.

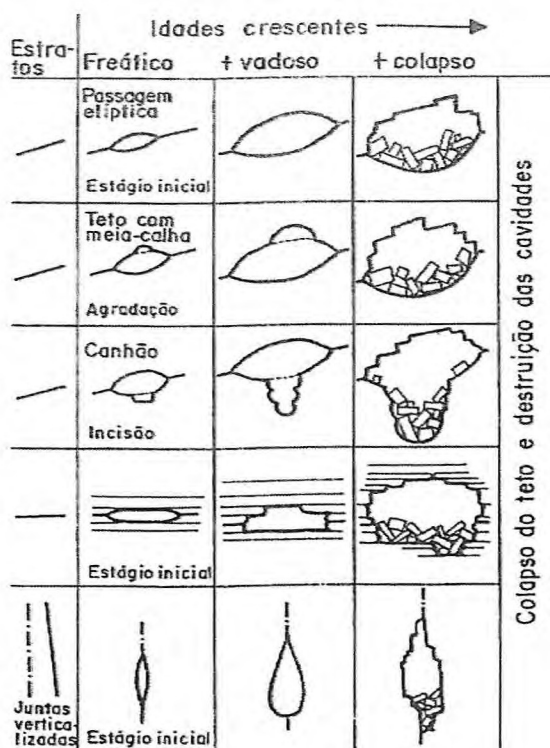
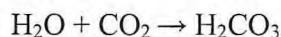


Figura 2.5 – Diferentes formas apresentadas pelas passagens de cavernas em relação às orientações das estratificações e juntas com as idades crescentes das cavernas, inicialmente afetadas principalmente por águas freáticas e depois por águas vadasas e colapso (Bögli, 1980).

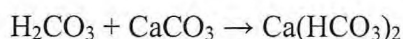
Atualmente, admite-se que a abertura inicial dos condutos deva ser atribuída ao ataque pelos ácidos carbônico (H_2CO_3) e sulfúrico (H_2SO_4), o primeiro resultante da dissolução de CO_2 atmosférico na água e o segundo da oxidação de sulfeto, que freqüentemente ocorrem disseminados nas rochas carbonáticas (Lowe, 1992). O processo químico, envolvido na

dissolução de rochas carbonáticas em solução, gerando diversas formas de cavidades naturais, pode ser resumido pela seguinte reação:

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



- 2) A dissolução da rocha pelo ácido carbônico:



Segundo Lowe (1992), a espeleogênese ocorre em três etapas distintas. Na primeira fase ou pré-iniciação, a superfície do lençol freático quando presente seria rasa e a zona vadosa quase inexistente, de forma que o fluxo de água é muito lento ao longo dos condutos capilares com cerca de 0,1 mm de diâmetro e gradativamente passaria para a fase de iniciação. Na segunda fase, é estabelecida uma nova rede de canais interligados ao longo de descontinuidades, ocorrendo incremento de porosidade e permeabilidade secundária. Na fase de desenvolvimento que corresponde à terceira fase, iniciar-se-ia a instalação de um regime de fluxo turbulento, em parte dos condutos com rápido abaixamento do nível freático e o concomitante espessamento da zona vadosa, quando os condutos são atingidos pelo entalhamento da topografia. Nas duas primeiras fases, o processo de corrosão seria o dominante, mas na última fase, além da dissolução, a abrasão mecânica e o colapso tornam-se cada vez mais importantes, levando freqüentemente a modificação dos condutos subterrâneos gerando grandes salões.

É muito importante ressaltar, que o modelo de evolução de uma caverna pode estar ligado diretamente à freqüência planar de fraturas desenvolvidas em uma rocha carbonática. Segundo (Deike, 1969) os planos de mergulho que promove a movimentação lateral das águas ao longo de suas interseções favorecem a formação de galerias, de forma que, dependendo da orientação e freqüência das estruturas que cortam uma mesma rocha, nesse caso específico, as galerias tomam formas de projeções diferenciadas, (Ford & Ewers, 1978, & Ford Williams, 1989) (figura 2.6).

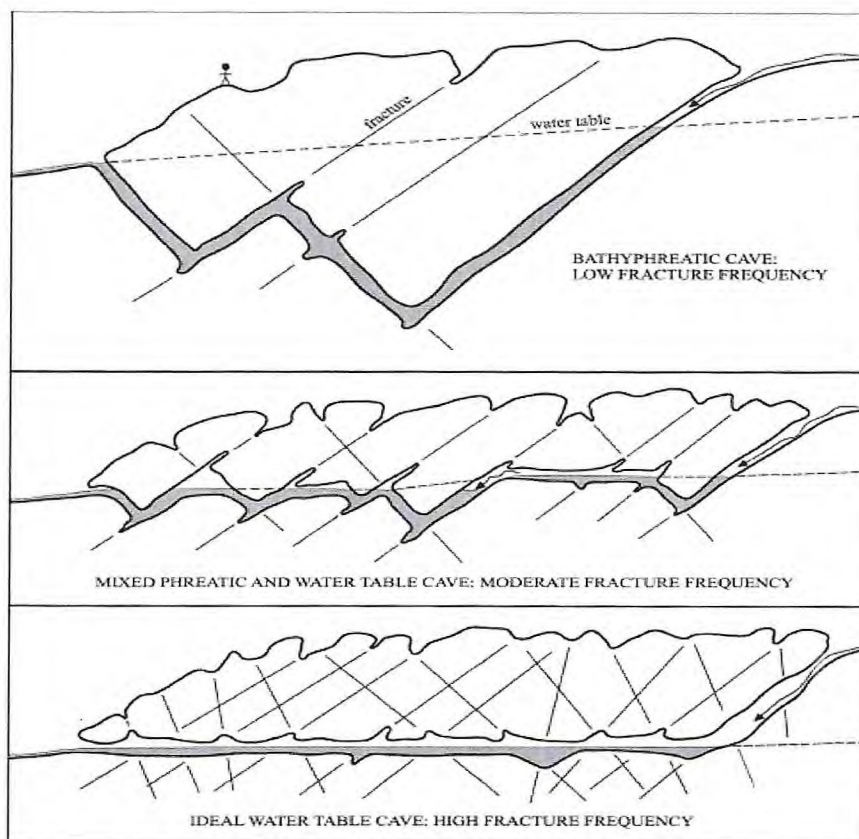


Figura 2.6- Modelo de desenvolvimento de cavernas abaixo do lençol freático em relação à frequência de fraturas. (Adaptado por Ford & Ewers, 1978, Ford & Williams, 1989).

Por outro lado, as interseções de conjuntos de juntas verticais concentram fluxos descendentes de águas, propiciando a formação de poços, comumente conhecidos como abismos. O desenvolvimento dessas cavidades ocorre por meio de um sistema canalizado que se inicia por um regime de infiltração, originando um nível que funciona como câmara carbonática. À medida que a cavidade vai evoluindo por corrosão, ocorre o colapso gradativo de blocos seguido de dissolução. Na fase madura, essas cavidades evoluem ocasionando o abatimento da superfície, gerando blocos residuais no interior e formando feições do tipo abismos. (figura 2.7).

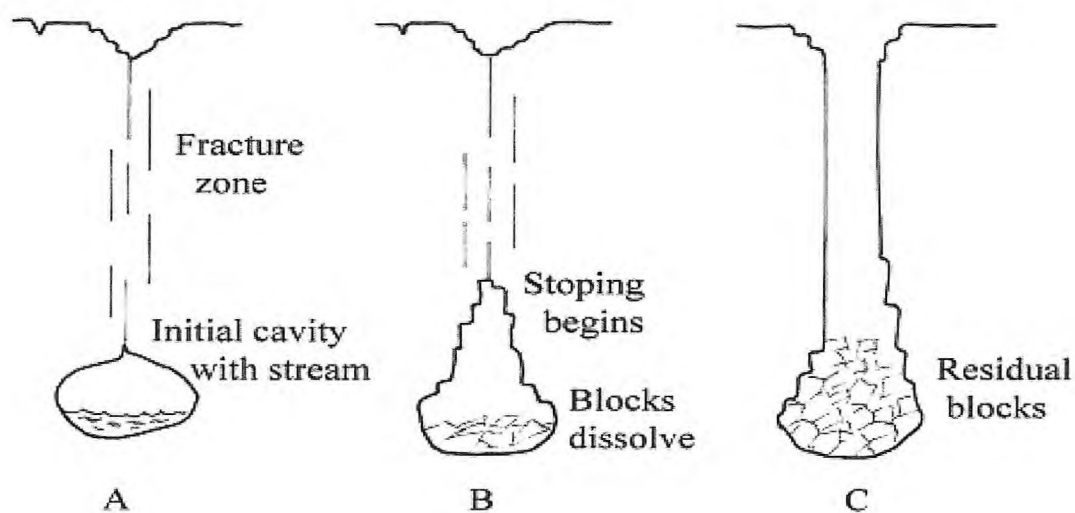


Figura 2.7 - Esboço que representa a evolução de um abismo a partir de um eixo interligado por fraturas verticais. (A) – Desenvolvimento inicial de uma câmara carbonática por corrosão que se deu por infiltração ao longo de estruturas verticais; (B) – Colapso gradativo de blocos seguido de dissolução e (C)- Abatimento da superfície gerando resíduos no interior do abismo.

3. Contexto Geológico Regional

A Bacia Potiguar encontra-se localizada na porção mais oriental do nordeste do Brasil, que compreende uma área de abrangência de 48.000 Km² englobando parte do estados do Rio Grande do Norte e Ceará. Trata-se de uma região de transição entre o continente e o oceano, com porções emersas (21.500 km²) e submersas (26.500 km²), estendendo-se até a isóbata de -2000m. Esta bacia com limites a sul e oeste com rochas do embasamento cristalino, ao norte e leste com o Oceano Atlântico (Figura 3.1).

Encontra-se geneticamente relacionada a uma série de bacias interiores de idade Neocomiana, que compõem o Sistema de Riftes do Nordeste Brasileiro, originada pela fragmentação do grande Gondwana, estando sua origem diretamente ligada à formação do Atlântico Sul (Françolin e Szatimari, 1987).

A Bacia se desenvolveu sobre um substrato de rochas pré-cambriano pertencentes à Província Borborema, cujos trends estruturais apresentam direção principal NE, além de um importante sistema de zonas de cisalhamento E-W e NE-SW (Matos,1992).

Segundo Almeida (1977) o embasamento da Bacia Potiguar encontra-se representado por litotipos gnáissico-migmatíticos do Complexo Caicó, pela faixa de rochas supracrustais do Grupo Seridó e por associações graníticas mais jovens.

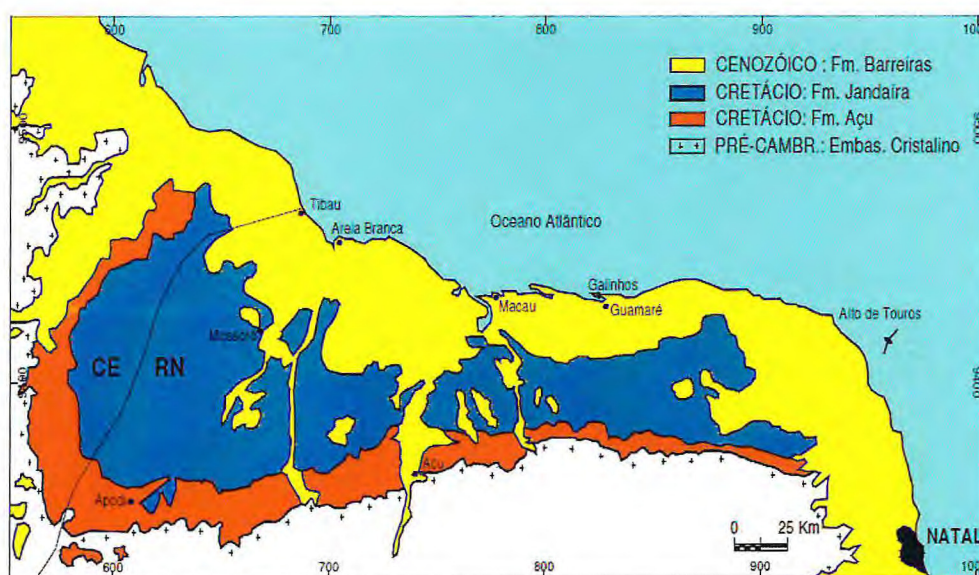


Figura 3.1 – Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar (Dantas, 1998).

3.1 A gênese da Bacia Potiguar

Existem vários modelos presentes na literatura que tentam explicar o mecanismo principal de formação do Rifte Potiguar, dentre os quais, podemos destacar Françaolin e Szatmari (1987) e Matos (1992).

Bertani (1990) propôs um modelo de origem e evolução da bacia, segundo o qual a fase rifte seria originada durante o Neocomiano, através de um estiramento e afinamento crustal causado por esforços distensíveis de direção E-W. Esta direção também é sugerida por Mello (1987) para a Formação do Rifte Potiguar, associando-se aos esforços atuantes durante a abertura da margem leste brasileira.

Françaolin e Szatmari (1987) sugeriram que a origem da Bacia Potiguar está relacionada à evolução da Margem Equatorial Atlântica, iniciada no final do Jurássico. Segundo estes autores, a rotação diferencial horária entre a América do Sul e a África, geraram, na Província Borborema, um regime de esforços com distensão N-S e compressão E-W, propiciando o desenvolvimento de diversas bacias rifte sob regime transtensional (Rifte Potiguar) e transpressional. A ocorrência do enxame de diques do Magmatismo Rio Ceará Mirim, situado a sul da Bacia Potiguar, ocorreria ao longo do eixo de maior compressão e seria o responsável pela separação dos segmentos transtensionais a NE e transpressionais a SW.

No modelo de Françaolin e Szatmari (1987) a movimentação teve início no Jurássico Superior com a quebra do Supercontinente Gondwana em dois fragmentos, causada por uma extensa fratura originada na porção sul do mesmo, que teria propagado para o norte durante o cretáceo (Fig. 3.2. A). No início dessa separação foi registrada uma rotação horária da placa sul-americana em relação à africana, em virtude da intensidade do movimento ser maior a sul do que a norte. Durante o Cretáceo inferior, o pólo dessa rotação esteve localizado a sul da cidade de Fortaleza e a norte da Bacia de Tucano, por todo o Neocomiano, a partir de esforços compressivos a norte e distensivos a sul (Fig. 3.2. B).

Durante a evolução da bacia, numerosos falhamentos normais foram reativados na direção E-W, formando grábens da atual porção submersa da Bacia Potiguar. Falhamentos já existentes de direção NE-SW, reativaram-se por movimentos transcorrentes dextrais, gerando transtensões no extremo NE e transpressões na porção SW. As falhas de direção NW-SE são pouco representadas. Essas direções de falhamentos descritos foram responsáveis pelo

controle estrutural dos riftes Neocomianos da bacia, onde deu início a sua sedimentação. Dentre essas falhas, a mais importante é a de Caraúbas - Portalegre, que delimitou o Gráben Pendência da referida bacia. (Françolin e Szatmari, 1987).

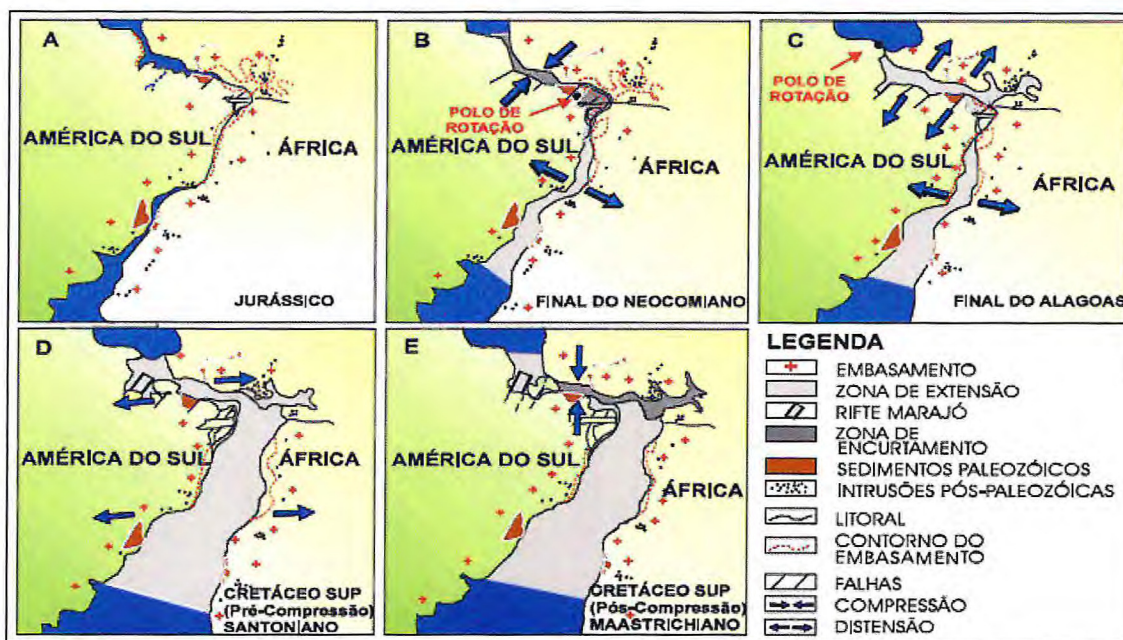


Figura 3.2 – Mecanismos de evolução da margem continental brasileira e processos genéticos iniciais do Rifte Potiguar (Françolin e Szatmari, 1987).

A rotação horária do continente sul-americano teve continuidade durante o Aptiano, de modo que a Província Borborema foi submetida a uma distensão principal N-S (Fig.3.2. C). Com essa distensão houve uma parada na movimentação da transcorrência destal de direção NE-SW e na sedimentação da Bacia Potiguar emersa. Enquanto isso, na porção submersa da bacia prosseguiu um rifteamento através de falhas E-W acompanhada da deposição de sedimentos (Françolin & Szatimari, 1987).

Segundo Françolin e Szatmari (1987) o início do Albiano foi marcado pelo começo do movimento divergente E-W (Fig. 3.2. D) entre o continente Sul-americano e Africano. Tal movimentação causou um cisalhamento lateral destal na atual margem equatorial brasileira, dando passagem para a entrada do mar Albiano, provocando uma grande transgressão marinha. Com isso ocorreu a deposição de sedimentos marinhos transgressivos da Bacia Potiguar, entre o Albiano e o Campaniano. Por último, o final do Campaniano, é marcado pela presença de eventos compressivos de direção N-S (Fig. 3.2. E) registrados na Bacia potiguar. Tais eventos estão associados ao soergimento da plataforma carbonática e a reativação de

inúmeros falhamentos. Matos (1992) reconheceu pelo menos três importantes estágios tectônicos, em resposta à dinâmica das placas tectônicas durante o início da fragmentação do Gondwana, denominados de Sin-Rifte I, Sin-Rifte II e Sin-Rifte III (Fig. 3.3).

Na Bacia Potiguar somente são observados a atuação dos estágios Sin-Rifte II e Sin-Rifte III. No Sin-Rifte II, do Neocomiano ao Eobarremiano, ocorreu o desenvolvimento de bacias rifte controladas por falhas de rejeito preferencialmente normal, definindo meio-grabens assimétricos, a exemplo do rifte Neocomiano da porção emersa da Bacia Potiguar e dos demais riftes intracontinentais do Nordeste Brasileiro. No Estágio Sin-Rifte III, durante o Neobarremiano, o processo distensivo começou a concentrar a deformação ao longo da futura margem continental, causando uma grande mudança na cinemática do rifte.

Na Bacia Potiguar, este evento provocaria um deslocamento do eixo de rifteamento para a porção submersa da bacia, ao mesmo tempo em que causaria um levantamento e erosão na porção emersa. Este fenômeno provocou a discordância no topo da Formação Pendências e se comportou como uma ombreira do novo rifte. A direção do transporte tectônico mudaria, então, de NW para E-W, com movimentos predominantemente transtensionais destrais, em resposta ao processo de deriva continental. O registro dessa fase na Bacia Potiguar é restrito à porção submersa das formações Pendências e Pescada.

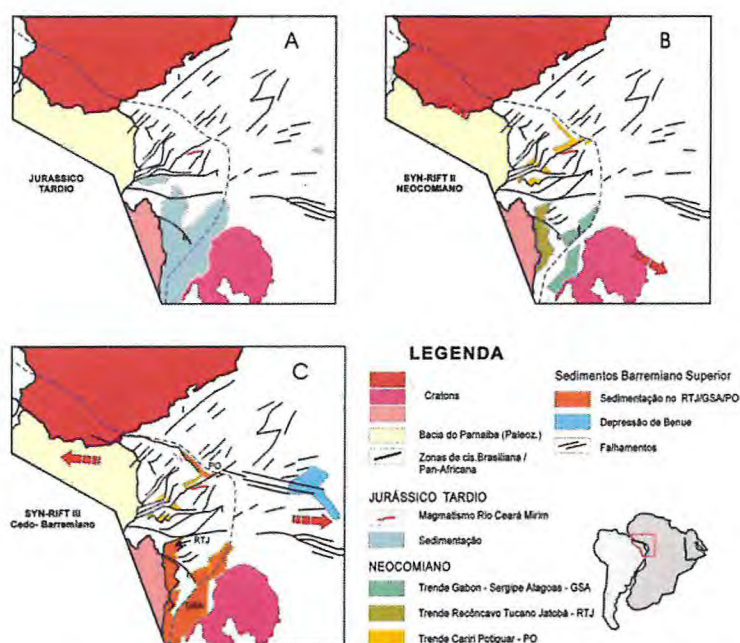


Figura 3.3 – Modelo de reconstrução tectônica do nordeste brasileiro e sudoeste africano durante os estágios sin-rifte I, II e III (Matos, 1992. b).

3.2 Arcabouço estrutural

A estrutura da Bacia Potiguar compreende três unidades básicas (Bertani et al, 1990): grabéns, altos internos e plataformas do embasamento (Fig. 3.4), que contém seqüências sedimentar distintas Neocomiana à Terciária.

Os grabéns do Apodi, Umbuzeiro, Guamaré e Boa vista, situados na porção emersa da bacia, mostram forma assimétrica e apresentam feições lineares de direção NE-SW. Tais grabéns são limitados por falhas normais de direção NE-SW e NW-SE, atingindo quilômetros de rejeito. Na porção submersa os grabens também são assimétricos, com eixos orientados subparalelo a linha de costa atual. No Cretáceo inferior os grabens foram preenchidos por seqüências sedimentares.

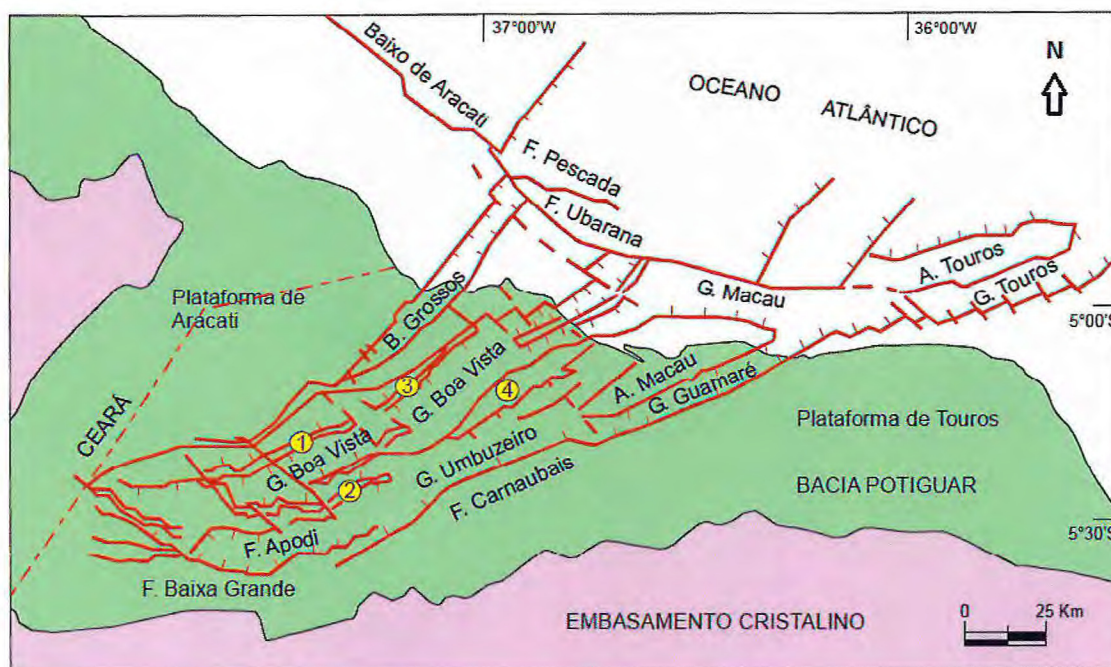


Figura. 3.4 – Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar. (1) Alto dos Canudos, (2) Alto de Quixabá, (3) Alto de Mossoró e (4) Alto da Serra do Carmo. A - alto B - baixo, G - gráben, F - falha, - - - - - indicação aproximada dos perfis esquemáticos. (Copilado do DNPM, 1998).

Os altos internos correspondem a cristas alongadas do embasamento que separam os principais grábens. Os altos internos de Quixabá, Serra do Carmo representam os principais, mostrando-se sub paralelos aos eixos dos grábens subjacentes. Nos altos internos não ocorrem seqüências do Cretáceo Inferior devido à erosão ou não deposição.

As plataformas rasas do embasamento limitam os grábens centrais a leste e a oeste que correspondem aos grábens de Touros e Aracati, respectivamente. Essas plataformas são sempre recobertas por sedimentos do Aptiano e Cretáceo Superior na porção emersa da bacia e também por seqüências terciárias na porção submersa.

3.3 Litoestratigrafia e Ambiente de Deposição

Segundo Araripe & Feijó (1994) *in* Nogueira (2004), as seqüências da Bacia Potiguar estão subdivididas em três grupos, representados, respectivamente da base para o topo nos grupos: (Areia Branca, Apodi e Barreiras) da seguinte forma (Figura 3.5), com sedimentação ocorrida durante o Neocomiano até o recente. O arcabouço litológico da bacia apresenta, ainda, rochas vulcânicas correspondentes ao magmatismo Rio Ceará-Mirim e granitóide brasileiro de Umarizal.

CRONOESTRATIGRAFIA		RELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS	SEQUÊNCIA SEDIMENTAR	LITOESTRATIGRAFIA	
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	SEQUÊNCIA DRIFTE	Qa - DEPÓSITOS ALUVIONARES.	
		PLEISTOCENO		Qm - DEPÓSITOS DE PLANÍCIES E CANAIS DE MARÉS.	
	TERCIÁRIO PALEÓGENO-NEÓGENO	PLIOCENO		Ql - DEPÓSITOS DE LAGOAS.	
		MIOCENO		Qp - DEPÓSITOS DE PRAIAS.	
		OLIGOCENO		TQc - PALEOCASCALHEIRAS.	
		EOCENO		TQd - PALEODUNAS.	
				TQb - GRUPO BARREIRAS.	
				Tt - FORMAÇÃO TIBAU.	
				Tg - FORMAÇÃO GUAMARÉ.	
		MESOZÓICO		CRETÁCEO	Tm - MAGMATISMO MACAU.
Kc - MAGMATISMO SERRA DO CUÓ.	Kc - MAGMATISMO SERRA DO CUÓ.				
SENONIANO	SEQUÊNCIA TRANSICIONAL		Kj - FORMAÇÃO JANDAÍRA.		
			Kq - FORMAÇÃO QUEBRADAS.		
			Ka - FORMAÇÃO AÇU.		
TURONIANO			Ku		
ALBIANO			Ka		
			APTIANO		Kal - FORMAÇÃO ALAGAMAR.
					NEOCOMIANO
Ko					
Kcm - MAGMATISMO RIO CEARÁ-MIRIM.					
JKcm - MAGMATISMO RIO CEARÁ-MIRIM.					
JURÁSSICO	TITONIANO	JKcm			

Figura 3.5 – Carta estratigráfica e evolução tectono-sedimentar da Bacia Potiguar (Modificado de Brasil, 1998).

O Grupo Areia Branca é a unidade basal constituído predominantemente por rochas sedimentares clásticas e compreende as formações Pendências e Alagamar.

A Formação Pendências aflora ao sul da bacia Potiguar, composta essencialmente por arenitos finos, argilosos, intercalados com siltitos e folhelhos ricos em matérias orgânica, depositados em ambiente lacustre associados com deltas progradantes e planícies aluviais. Também ocorrem conglomerados e arenitos grossos demarcados em antigas escarpas de falhas, bem como turbiditos lacustres, mais restritamente.

A Formação Alagamar compreende: arenitos finos a grossos, intercalados com folhelhos lagunares ricos em matéria orgânica, depositados em ambiente transicional. Também ocorrem extensas camadas de carbonatos fossilíferos, depositados sob influência marinha restrita.

O Grupo Apodi intermediário é constituído pelas formações Açú, Quebradas e Jandaíra. Neste grupo há um aumento considerável de rochas carbonáticas com relação ao anterior.

A Formação Açú caracteriza-se pela presença de pacotes de arenitos finos a grossos, localmente conglomeráticos, de cor cinza claro, amarelado ou avermelhada, com intercalações de folhelhos e argilitos silticos, especialmente em direção ao topo. Associados a leques aluviais e sistemas fluviais.

A Formação Quebrada é composta por folhelhos siltico arenoso, com finas camadas de carbonatos. Ocorre na faixa norte da bacia Potiguar e grada lateralmente para o nível superior da Formação Açú.

A Formação Jandaíra corresponde uma seção carbonática de alta energia sobreposta a Formação Açú (Sampaio & Schaller 1968), composta por calcarenitos com bioclóstos e calciluditos, depositados em ambiente de planície de maré, laguna rasa, plataforma e mar aberto, com espessura máxima de 650 m. Repousa concordante sobre a Formação Açú e Membro Quebradas, apresentando contato superior com as Formações Tibau, Guamaré e Ubarana, estando esta última interdigitada também, lateralmente (Nogueira, 2004).

O Grupo Barreiras é composto pelas formações, Guamaré, Tibau, representado por arenitos finos a médios, ou conglomeráticos, com intercalações de siltitos e argilitos, predominantemente associados a sistemas fluviais.

A Formação Guamaré inferior é compreendida por calcarenitos bioclasticos depositados na plataforma e talude. Representa a plataforma carbonática existente nas Bacias Potiguar e do Ceará, sobreposta à Formação Jandaíra e interdigitais a Formação Tibau.

A Formação Tibau é constituída por arenitos médios a grossos, imaturos, amarelados, frequentemente interdigitais com o grupo barreiras. Interpretados como leques fluviais costeiros.

3.4 Caracterizações Fossilífera da Bacia Potiguar.

Segundo Cassab (2003), na bacia Potiguar preservou-se uma rica e diversificada associação fossilífera do Cretáceo, gastrópodes, bivalves e equinóides com grande diversidade de espécies. Os amonóides são raros, mas os exemplares encontrados contribuíram de maneira eficaz para a datação dos sedimentos. Foram registrados também conchostráceos, corais, icnofósseis, alguns peixes e uma tartaruga, cujas ocorrências trazem informações sobre as condições ambientais reinantes durante a deposição dos sedimentos.

A Formação Jandaíra apresenta, em sua parte aflorante, quatro faixas de sedimentos de idades diferentes e associações fossilíferas de composição variada, datadas do Eoturoniano ao Neocampaniano. Duas são eoturonianas (a primeira transgressiva e a segunda regressiva), a terceira foi depositada durante o Neoconiaciano e a quarta no Neocampaniano. Os fósseis refletem deposição em ambientes de planície de maré e laguna, mas em alguns locais foram encontrados indícios de uma sedimentação em águas mais agitadas. São bastante diversificados se analisados em sua totalidade, mas, pontualmente, predominam poucas espécies. Em geral, os depósitos são autóctones, com os indivíduos preservados em posição de vida.

A primeira associação fossilífera é caracterizada pela instalação da fauna de moluscos pertencente ao Domínio Tetiano, onde são abundantes os gastrópodos das famílias Nerineidae e Trochactaeonidae, além das conchas de grande porte do gênero *Tylostoma*. Dentre os bivalves, destacam-se os representantes da superfamília Ostreoidea, por serem abundantes e diversificados na formação, e da família Inoceramidae, pelo potencial para estudos crono e bioestratigráficos. A idade da associação foi feita com base na presença do inoceramídeo *Mytiloides submytiloides*, característico do Turoniano inferior.

A delimitação entre a primeira e a segunda associação foi marcada pela ocorrência de depósitos de gipsita intercalados com níveis argilosos, contendo fósseis de conchostráceos, peixes e restos de plantas. Esses depósitos evaporíticos indicam o trato do nível de mar mais alto e o início da fase regressiva.

A continuidade da fauna na segunda associação fossilífera indica também uma idade eoturoniana. Esta associação diferencia-se da primeira por ter sido depositada durante uma fase regressiva. Após o início da regressão marinha, houve uma redução da fauna, tanto em diversidade como em abundância e a ocorrência de bancos de ostras indicam um trato de mar mais baixo. A presença de calcretes sobre esses bancos de ostras é uma evidência da exposição subaérea em ambientes continentais, durante uma fase não deposicional. Em outros afloramentos, a presença de restos de vegetal continental e uma tartaruga de água doce marcam o final da fase regressiva do Turoniano.

A terceira associação foi posicionada no Coniaciano superior pela ocorrência do amonóide (*Protexanites*) aff. *P. (P.) bourgeoisianus* (D'Orbigny, 1850), característico deste intervalo. A quarta associação foi datada como neocampaniana com base nas informações obtidas a partir de microfósseis que ocorrem em subsuperfície e estudos de variações eustáticas em outras localidades da Província Borborema, associadas à ocorrência do amonóide *Sphenodiscus*, cujos registros vão do Neocampaniano até o final do Maastrichtiano.

3.5 Magmatismo na Bacia Potiguar

Segundo Oliveira (1998), a Bacia Potiguar, no seu desenvolvimento, evidência três atividades ígneas distintas: enxame de diques Rio Ceará Mirim (EDCM), magmatismo Serra do Cuó (MC) e o magmatismo Macau (MM).

O EDCM, mais antigo, está inserido dinamicamente no contexto que precedeu a abertura do Atlântico no Nordeste Oriental, talvez associado a uma pluma, cujos efeitos termomecânicos nuclearam e governaram o início do Rifting da Bacia Potiguar e adjacências, mas não foram capazes de formar grandes volumes de magmas continentais.

Os diques se distribuem em faixa alongada E-W / NE-SW por mais de 800 km, desde Natal até adentrar na Bacia do Parnaíba. O evento teve duração contínua de 150/120 Ma, com dois picos de atividades: 145 e 130 Ma, enquanto as implantações dos processos de rifting se deram entre 138/118 Ma. Os diabásios do EDCM são enriquecidos em

elementos incompatíveis de natureza toleítica e geralmente não denotam processos de mistura de magmas e/ou contaminação crustal.

A petroquímica indica que o enxame formou-se na base da litosfera, por descompressão adiabática em um regime de extensão diferenciada, cuja extensão crustal foi menor que a mantélica. Durante o Campiano/Santoniano, concomitante à deposição da plataforma carbonática da Formação Jandaíra, instalou-se um pulso ígneo de afinidade alcalina (MC), que "cozinhou" e soergueu os arenitos da Formação Assú. Esse magmatismo ocorre a leste da cidade de Assú/ RN e teve duração curta (+- 5 Ma). A assinatura geoquímica indica uma fonte mais profunda do que o EDCM. Face ao seu caráter intraplaca local e sua afinidade temporal com outras feições tectono-estratigráficas da Bacia Potiguar, parece ser uma resposta distal ao forte tectonismo do Oeste da África nessa época.

Segundo Oliveira (1998), o magmatismo Macau, o mais importante da Bacia Potiguar, desenvolveu-se entre 45 e 25 Ma. Ocorre desde o offshore da bacia até dentro de Pernambuco, sob forma de plugs, diques, derrames e soleiras. Configura uma faixa em torno de 40 Km e direção N-S, sugerindo um campo de stress extensional E-W durante sua intrusão. Sua intrusão provocou um ajuste espacial, que se manifesta através da grande quantidade de falhas transcorrentes rasas da Bacia Potiguar. A assinatura bastante alcalina juntamente com a abundância de xenólitos peridotíticos sugere fonte mantélica profunda. O MM insere-se no contexto dos magmatismos terciários que pontuaram a placa Sul-Americana, como consequência à mudança de pólo de rotação e velocidade angular ocorridos na citada placa nessa época.

3.6 Evolução Tectônica Cenozóica da Bacia Potiguar

Na Bacia Potiguar existe uma carência quanto às discussões sobre a tectônica cenozóica (pós-rifte) desta região, diferentemente do Mesozóico. Existem vários trabalhos sobre o Cenozóico, porém não existe uma sistemática na aquisição dos dados, que são apenas pontuais. Há também carência de dados geocronológicos. Bezerra et al, (2005), levantou este questionamento, ressaltando a existência de informações diversas, como traço de fissão, vulcanismo intraplaca, soerguimento de depósitos costeiros, paleodrenagem e sismologia. Reconheceu também, a origem e reativações de diversos falhamentos durante o Cenozóico.

Desta maneira, a literatura disponível discute a existência de dois eventos que marcaram a transição do Mesozóico para o Cenozóico, e são representativos para a evolução tectono-sedimentar da era Cenozóica: o Magmatismo Serra do Cuó e o soerguimento da Bacia Potiguar no Mesocampaniano, ambos ainda no final do Mesozóico.

O Magmatismo Serra do Cuó, segundo Pereira (1992), seria o indício de um evento tectônico intraplaca que ocorreu no interior do continente, gerando uma discordância de caráter erosivo (subaérea e submarina), posicionada no Neoturoniano/Eoconiano. As feições geradas em decorrência deste evento seriam o soerguimento dos vários estratos da Formação Jandaíra, provocando a divergência da drenagem para NW, com dissecação e erosão.

Em seguida, o último evento referente ao condicionamento pré-Cenozóico, representado pela importante fase erosiva, gerou a discordância regional que envolve as formações Jandaíra e Ubarana, denominada de Discordância Pré-Ubarana. No intuito de explicar esta discordância, Cremonini e Karner (1995) sugeriram que a passagem de um centro de espalhamento oceânico ao longo da margem equatorial brasileira, durante o Mesocampaniano, teria fornecido calor suficiente para provocar soerguimento na Bacia Potiguar. Esse evento reativou diversas falhas pré-existentes e deflagrou intenso processo erosivo de alcance regional. Matos (1993) afirmou que o limite Cratáceo/Terciário, onde ocorreu este soerguimento, corresponderia a fase de grande erosão campaniana das seqüências cretáceas, que seria provavelmente uma das explicações para reativação da Falha de Afonso Bezerra.

No Cenozóico, o tectonismo atuante apresenta menor expressividade regional, não determinando o surgimento de riftes e bacias sedimentares, diferentemente do Mesozóico. Contudo, na Bacia Potiguar, durante o Cenozóico ocorreram eventos como a reativação de importantes falhamentos (Sistema de Falhas de Carnaubais e Afonso Bezerra), dobramentos com grande comprimento de onda e eixos orientados na direção N-S, resultantes de esforços compressivos E-W que afetaram essa bacia no Terciário (Cremonini, 1995), e reativações tectônicas associadas a intrusões básicas relacionadas com a Formação Macau (Costa Neto, 1985). Além disso, regiões arqueadas durante o mesozóico teriam sofrido alívio de pressão no Terciário, devido aos ajustes internos da placa Sul-Americana, os quais permitiram a ascensão de magmas relacionados aos litotipos da Formação Macau (Sial, 1975).

O Terciário, portanto, representa o período onde a movimentação do sistema de Falhas de Afonso Bezerra teria sido mais complexa. Para Hackspacker et al. (1985), o tectonismo que

gerou o Magmatismo Macau corresponderia ao mesmo evento relacionado a uma das fases de reativação mais importante deste sistema de falhas, que apresentou uma cinemática transcorrente dextral.

No Quaternário, os processos tectônicos continuaram a ocorrer. Este período geológico foi contemplado com uma infinidade de trabalhos científicos na Bacia Potiguar. Dentre eles, Barbosa (1984) destaca exemplos de atividades tectônicas recentes, admitindo que a evolução da área estaria intimamente relacionada à reativação recente da Falha de Afonso Bezerra. Srivastava et al (1984), associaram a evolução do litoral norte, entre Aracati (CE) e Touros (RN), a movimentos tectônicos verticais. Estes movimentos seriam o resultado de atividade tectônica e reativação de falhas antigas relacionadas à Falha de Afonso Bezerra e à Falha de Carnaubais. Fonseca (1996) fez menção à posição de uma paleolinha de costa no Holoceno, situada na região limítrofe entre a Falha de Afonso Bezerra e a Falha de Carnaubais, e recuada em torno de 10 km em relação à linha de costa atual. Finalmente, os estudos desenvolvidos por Bezerra e Vita-Finzi (2000), caracterizaram a evolução dos conhecimentos relacionados à atuação de eventos neotectônicos no litoral norte do Estado do Rio Grande do Norte, principalmente na área limitada entre o Sistema de Falhas de Carnaubais e o Sistema de Falhas de Afonso Bezerra, durante o Quaternário. Essa tectônica estaria reativando parte da estruturação pré-existente e teria modelado a superfície regional, além de influir na evolução e processos de sedimentação costeira.

4. Geologia Estrutural

A geologia estrutural foi utilizada nesse trabalho como parâmetro para o entendimento das deformações que acompanham nos afloramentos carbonáticos pertencentes à Bacia Potiguar, como reflexo de um comportamento geotectônico regional.

4.1 Parâmetros Descritivos das Descontinuidades

Um conceito geralmente utilizado, em vez de fraturamento, é o emprego das descontinuidades dos maciços rochosos, que além de fraturas, envolvem todos os planos de menor coesão das rochas e podem ser subdivididas em falhas e juntas. Na área de estudo, foram investigadas as propriedades importantes: orientação espacial, persistência, espaçamento, abertura e conectividade entre elas.

De forma a caracterizar as falhas na área de estudo, não foi observado elemento geométrico que se indica movimentos de atividades tectônicas expressivos no nível estrutural superior da caverna Complexo Suíço, o que justifica, de certa forma, o fato de que em áreas onde ocorrem subsidência e dissolução torna-se difícil sua caracterização.

Os parâmetros geológicos utilizados abordam uma visão da influência do fraturamento no comportamento mecânico do maciço, na resistência a deformação, permeabilidade, porosidade e na formação de cavidades. A determinação do comportamento das fraturas é de fundamental importância na avaliação do seu desenvolvimento, uma vez que são planos de fraquezas e que podem ser favoráveis à formação de estruturas maiores. Com o mapeamento, verificou-se esse aspecto geológico por toda a área de estudo.

4.1.1 As Juntas

Geralmente são encontradas em todo pavimento cárstico, pouco ou não deformadas, sobre tudo quando não mostram nenhuma evidência de movimento, fornecendo informações para entender a tectônica da área de pesquisa. Como qualquer outro material facilmente quebrável, o calcário, quando submetido a pressões, fratura-se mais facilmente ao longo de

defeitos ou pontos fracos. Esses defeitos podem ser pequenas fissuras, fragmentos, ou fósseis.

Algumas juntas podem se formar como resultados de uma expansão e contração não-tectônica do calcário (Fig. 4.1- (A)). Segundo Moura (2004) o aparecimento de veios preenchidos se dá pela supersaturação de fluidos ricos em calcita contendo uma alta concentração de cálcio, sendo ultrapassado o sistema sólido-líquido, atingindo o equilíbrio e a cristalização quando esta completa o preenchimento da fratura já existente (Fig. 4.1- (B)).

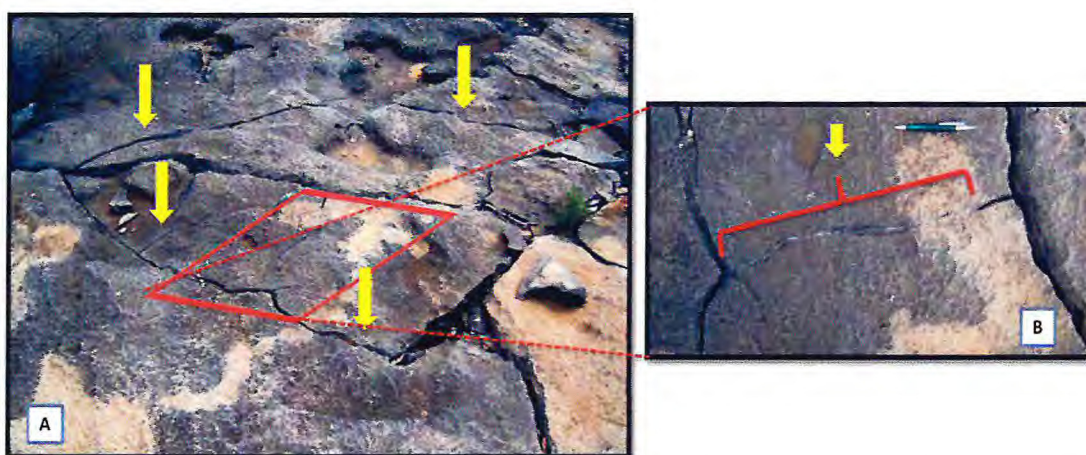


Figura. 4.1- (A) Juntas não tectônicas (↯). (B) Fratura preenchida por calcita. Coordenadas UTM – WGS 84: (648532 / 9383362).

Outra ocorrência dessas Juntas se dá quando a erosão elimina as camadas superficiais, diminuindo a pressão confinante nas formações sotopostas, e permitindo que as rochas expandem-se e quebrem-se ao longo de planos paralelos a superfície. São observadas, quando o calcário fratura-se em muitos lugares e consiste em uma série de mudanças físicas ou químicas. Essas juntas fornecem canais através dos quais a água e o ar podem atingir a formação em profundidade, e acelera o intemperismo e o enfraquecimento interno da estrutura (Fig.4.2). Os sistemas de juntas influenciam a dissolução já na fase de pré-iniciação (protocondutos) do sistema cárstico, conduzindo a um padrão de condutos subterrâneos angulosos.

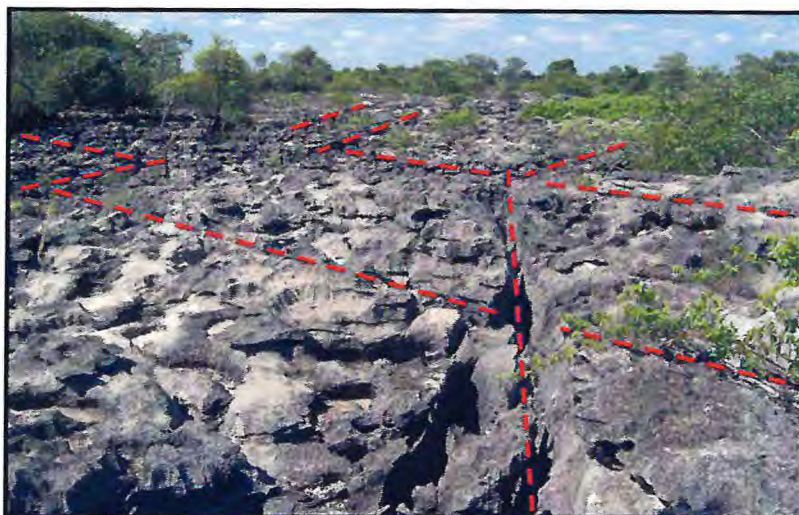


Figura. 4.2- Conjuntos de juntas sistemáticas apresentando faixas mais ou menos estreitas, com densidade maior de fraturamento (Corredor de fraturamento). Coord. UTM-WGS 84: (648334 / 9386532).

Devido o fraturamento denso de toda área, ocorre o aparecimento de dolinas de vários tamanhos, cuja ocorrência dá-se pela subsidência ou colapso, sendo originada pelo desenvolvimento dos condutos em profundidade e pela própria evolução do sistema (Fig.4.3). Segundo Karmann (2011) são depressões características de relevos cársticos, formadas pela dissolução química de rochas calcárias abaixo da superfície.



Figura. 4.3. Dolina de subsidência cujo eixo maior é paralelo a fratura de orientação (NE/SW). Coordenadas. UTM-WGS 84: (648225 / 9385236).

Analisando o esquema da figura 4.4, interpretamos que existem vários fatores que interagem para produzir mudanças na área de estudo. Considerando o lajedo do Rosário, temos esforços regionais que possa a atuar nessa área. Além disso, a presença ou não de

fluidos e a taxa de subsidência, são condições que influenciam nas propriedades mecânicas do sistema cárstico.

As estruturas planares e acamamentos (Fig.4.4(B)), estão presentes ao longo de toda área de estudo. Durante a deformação ocorreram pequenos movimentos nesses planos de estratificações. Na área é bastante comum o aparecimento de níveis de dissolução (Fig.4.4(C)) paralelos ao plano de estratificação com ou sem inclinação ao S0, levando ao deslocamento da superfície de erosão, sendo o responsável por pequeno movimento de estratos.

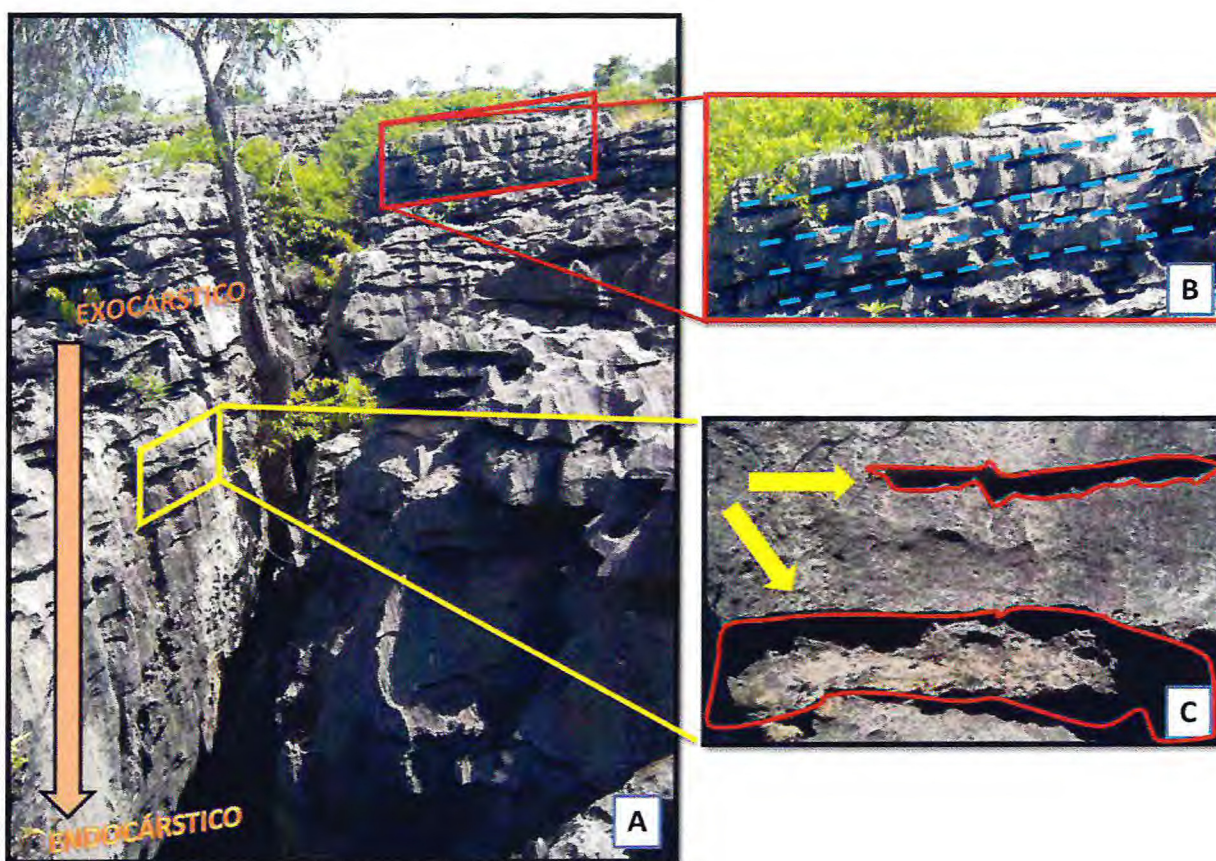


Figura 4.4 (A) Fenda da entrada da caverna Complexo Suíço. (B) Planos de estratificações no exocarste com mergulho de (8°) ao S0. (C) Nível de dissolução paralelo ao plano de estratificação ou S0. Coord. UTM-WGS 84: (648233 / 9325627).

4.2 Orientações Espaciais.

A obtenção de um mapa de lineamentos da área de estudo que compreende o Lajedo do Rosário feito a partir de imagem de satélite (escala 1: 3.000), objetivou estudar os sistemas

de fraturamentos na área que abrange o carste Jandaíra, e de forma que representa-se com maior fidelidade possível os padrões de distribuições, intensidades e variações dos sistemas de fraturamento, segundo sua orientação preferencial (figura 4.5).

No presente trabalho, utilizou-se o termo lineamento para descrever feições de caráter linear ou retilíneas observadas por meio de imagem de satélite, não fazendo distinção de tamanho, orientação, grau de estruturação, etc.

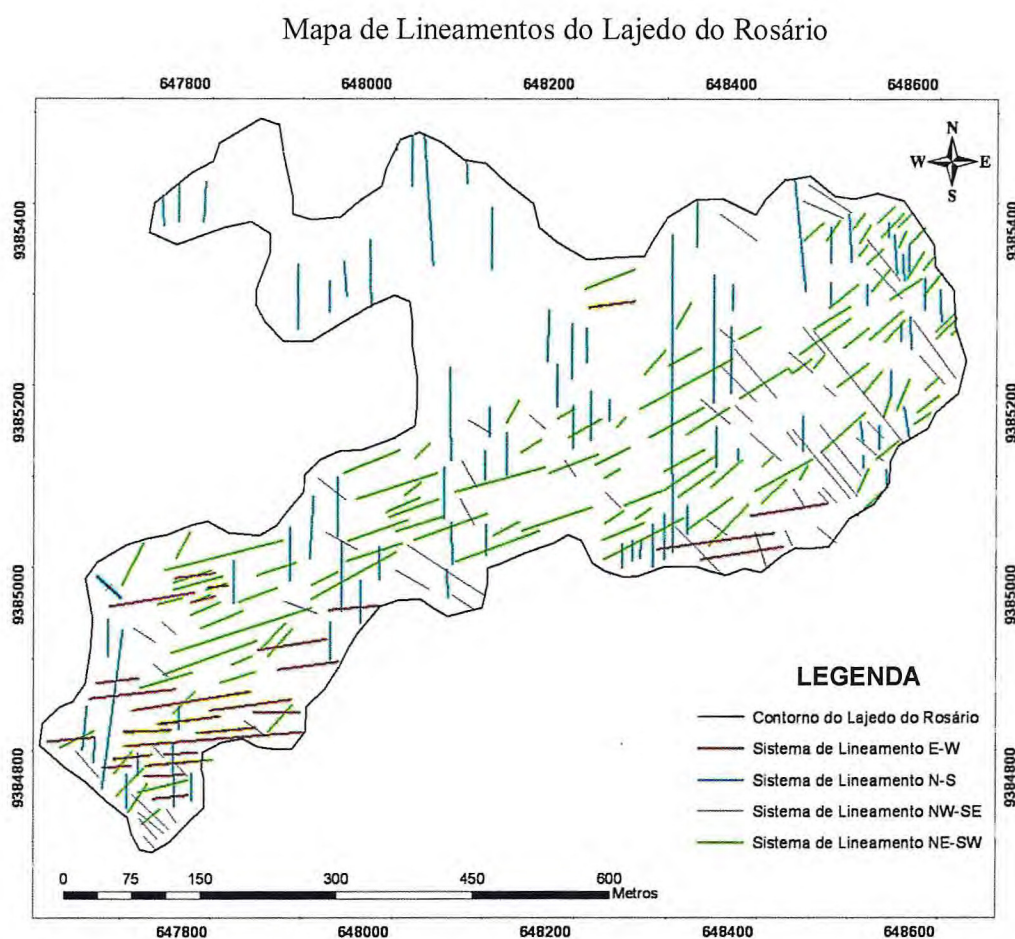


Figura 4.5 – Mapa de lineamentos do Lajedo do Rosário, confeccionado a partir da interpretação da imagem de satélite Image©2011 GeoEye (escala 1:3.000).

A partir do mapa de lineamentos (figura 4.5), foi possível estabelecer as principais estruturas encontradas no Lajedo do Rosário, que se distribuem espacialmente segundo orientações preferenciais, agrupando-se em sistemas ou famílias, denominadas de F1, F2, F3 e F4, respectivamente, segundo as direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE. A partir da atitude dos diferentes conjuntos de discontinuidades, ficou registrado por meio de diagrama de roseta

e histogramas, o percentual referente a cada família em relação a um total de 283 medidas tomadas por imagem digital, representada pela figura 4.6(A).

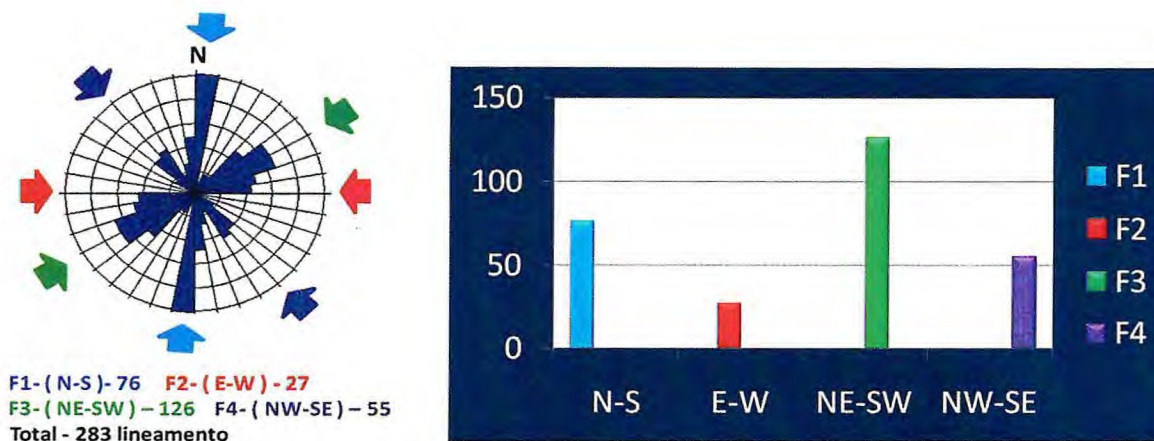
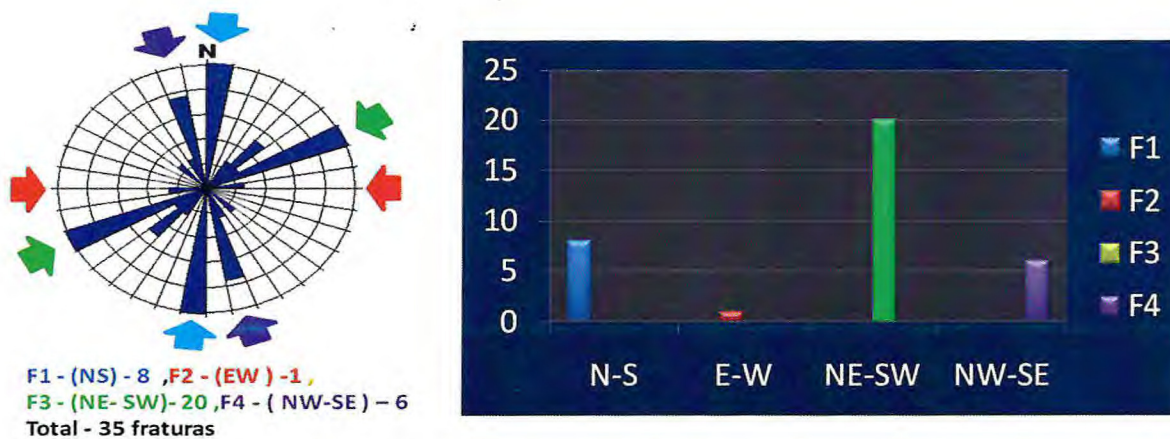


Figura 4.6 (A) - Diagrama de roseta e histograma referente as família de lineamento total no Lajedo do Rosário .

Na figura 4.6 (B), o mapa de detalhe das estruturas rúpteis da área de estudo com diagrama de roseta e histograma, cujos resultados foram obtidos por meio de DGPS. A orientação espacial das famílias de fraturas está orientada pelas direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE. Ficou marcado por meio do diagrama de roseta, o percentual referente a cada família, denominadas de F1, F2, F3, F4 em relação um total de 35 medidas tomadas.



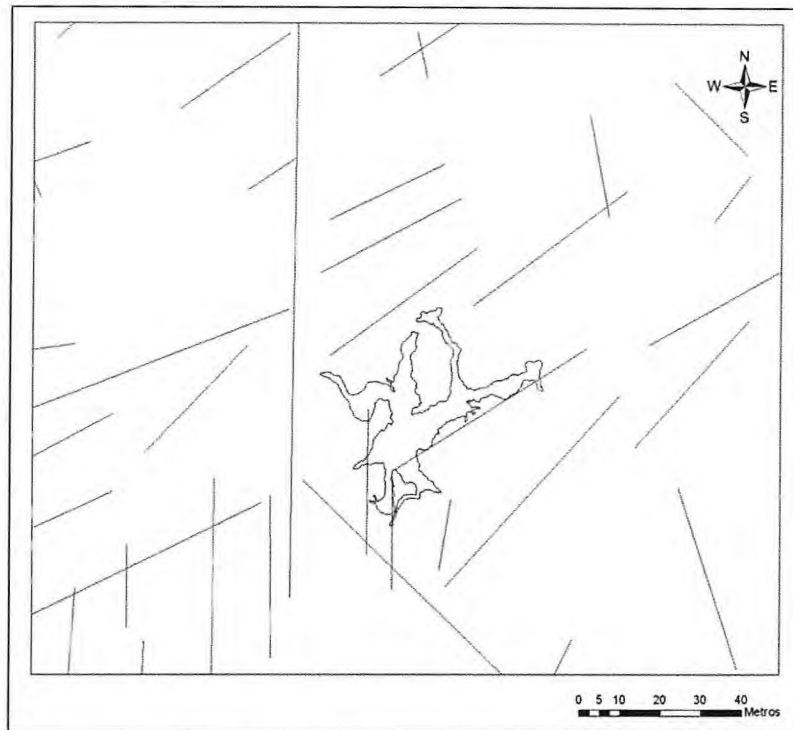
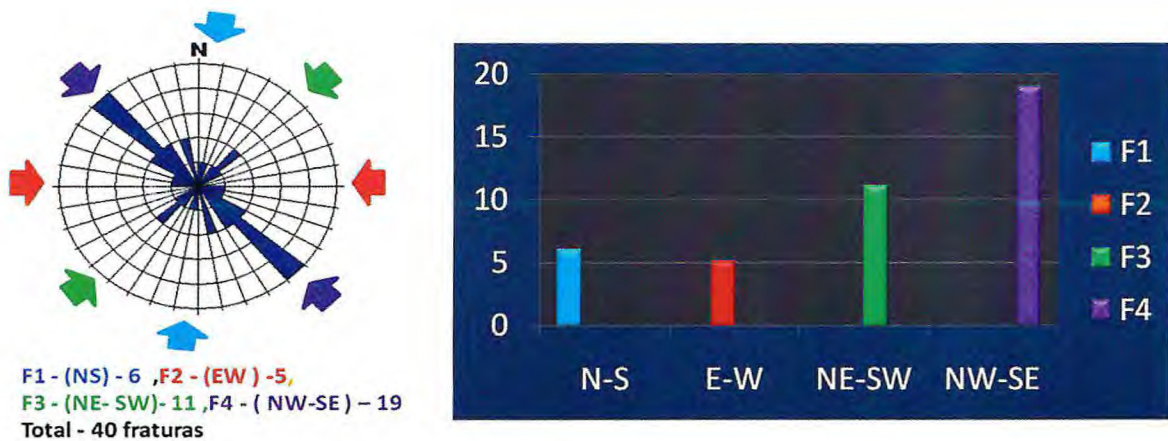


Figura 4.6 (B) – Mapa de detalhe das estruturas rúpteis da área de estudo com diagrama de roseta e histograma.

Na figura 4.6 (C), as direções das fraturas obtidas durante o levantamento topográfico, por meio de uma bússola *brunton*, para se obter relações da influência das orientações do lajedo com a caverna. Ficaram registradas por meio de diagrama de roseta e histograma as freqüências acumuladas dos fraturamentos, o percentual referente a cada família das estruturas da caverna Complexo Suíço num total de 40 medidas.



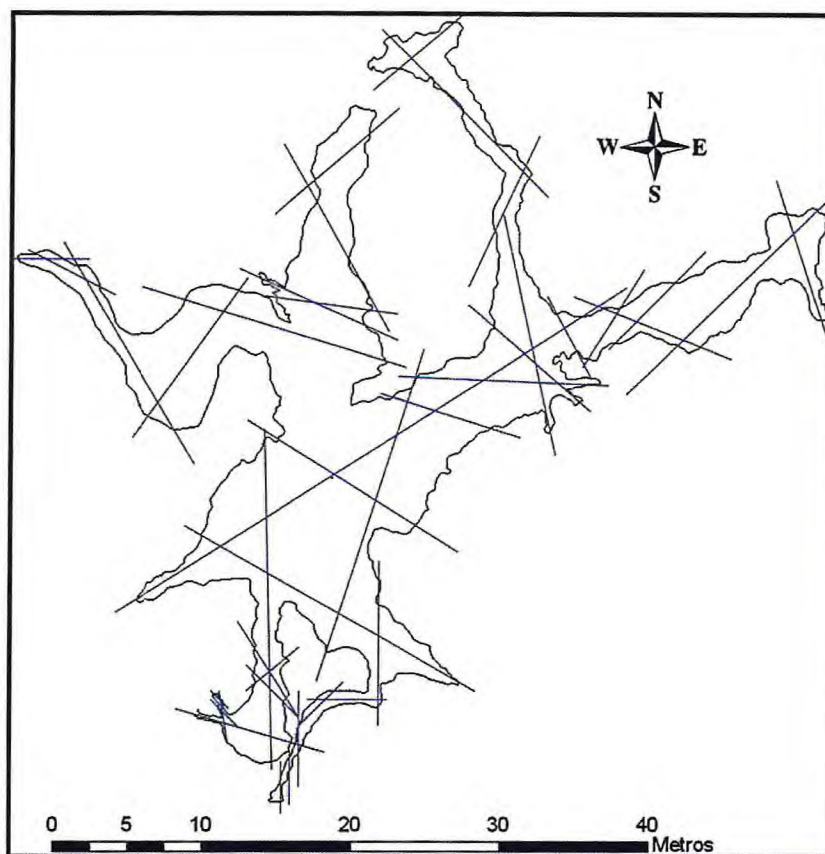


Figura 4.6 (C) – Mapa das estruturas rúpteis da caverna com diagrama de roseta e histograma.

4.3 Persistência ou Continuidade

Persistência é um parâmetro ligado ao tamanho e a forma geométrica da estrutura e, por isso, profundamente afetado pela orientação e dimensão da estrutura e está intimamente associado à orientação. A maioria das fraturas contidas no afloramento estudado ocorre perpendicularmente à superfície de acamamento. Porém surgem ainda fraturas geradas pela separação de estratos, formando níveis de dissolução.

As fraturas geradas por separação dos estratos, raramente se estendem ao longo de toda a camada e interrompem-se de forma aparente aleatória. De acordo com a classificação da ISRM (*International Society for Rock Mechanic*, 1983): O comprimento das quatro famílias de fraturas apresenta-se tamanhos bastante variáveis, com destaque para as fraturas F3, apresentando maior concentração na categoria muito grande.

Os dados de campo mostram que estas fraturas (F3) são as de caráter mais contínuo, com comprimentos superiores a 20 metros. Enquanto outros três grupos (F1, F2 e F4), a maior parte das fraturas, apresentam comprimentos variando de 10 a 20 m, classificando-se, em sua maioria, como “grande” (Tabela 4.1) e figura 4.7.

Tabela 4.1 – Tabela 4.2 – Classe de Comprimento Segundo ISRM –
International Society for Rock Mechanics, 1983.

Comprimento (m)	Descrição
< 1m	Muito Pequena
1 a 3m	Pequena
3 a 10m	Média
10 a 20 m	Grande
>20m	Muito Grande



Figura 4.7 – Histograma de classificação do comprimento das fraturas da área de estudo, mostrando que estas apresentam tamanhos bastante variáveis, com destaque para a família F3 com maior concentração na categoria muito grande.

4.4 Aberturas das Descontinuidades

Abertura é uma característica importante no estudo da percolação de água no interior de maciços rochosos por diversos motivos, seja pela finalidade hidrogeológica, comportamento estrutural ou mecânico e, no caso de relevo cárstico, o potencial espeleológico. A abertura apresentada em toda a área de estudo, todavia, não coincide necessariamente com a abertura original, que pode ter sido modificada em estágios posteriores a sua formação.

Os mecanismos pós-formacionais podem influir na abertura apresentada pelas descontinuidades. Um deles consiste no processo de remoção de materiais inconsolidados, carreados pelo fluxo de água ao longo das fraturas.

necessariamente com a abertura original, que pode ter sido modificada em estágios posteriores a sua formação.

Os mecanismos pós-formacionais podem influir na abertura apresentada pelas descontinuidades. Um deles consiste no processo de remoção de materiais inconsolidados, carregados pelo fluxo de água ao longo das fraturas.

Ao longo das superfícies de descontinuidade afetadas pelo intemperismo, a abertura se distribui de forma irregular. Os preenchimentos dessas feições podem ser bastante complexos e variáveis, com o contato entre as paredes opostas desenvolvendo-se na própria rocha.

A *International Society for Rock Mechanic* – ISRM (1983), com o intuito de elaborar uma seqüência de limites dimensionais, usa os critérios que caracterizam as aberturas de descontinuidades estruturais como mostra as terminologias da tabela 4.2 e figura 4.8, mostrando a área com maior concentração na categoria “muito larga” e a maior quantidade de fraturas representada pelas fraturas F3.

Tabela 4.2 – Classe de Abertura Segundo ISRM –
International Society for Rock Mechanic, 1983.

Abertura (m)	Descrição
0	Compacta ou Fechada
$0 < a \leq 1\text{cm}$	Aberta
$1 < a \leq 10\text{cm}$	Muito Larga
$10 < a \leq 100\text{cm}$	Extremamente Larga
$a > 100\text{cm}$	Cavernosa

Abertura

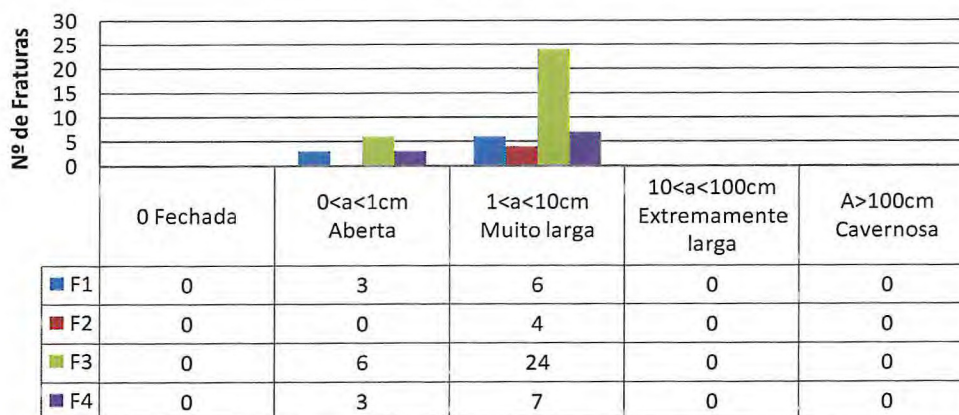


Figura 4.8 – Histograma mostrando as classes de aberturas encontradas na área.

4.5 Profundidade

O levantamento consistiu em tomar medidas da profundidade ao longo das fraturas, fazendo-se uma média aritmética desses valores. De acordo com as classes determinadas pela *International Society For Rock Mechanic* – ISRM, 1983 (Tabela 4.3), na área existe uma predominância de estruturas “muito profundas”, maior que 4m. No entanto, também existem fraturas consideradas “pequenas”, com profundidades inferiores a 1m (Figura 4.9). A maior profundidade medida foi de 15m que corresponde a base da caverna Complexo Suíço.

Tabela 4.3 – Classe de Profundidade Segundo ISRM –
International Society for Rock Mechanic, 1983.

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

Fazendo-se uma correlação entre a profundidade das fraturas e a orientação espacial destas, observa-se (Figura 4.10) que as fraturas de direção E-W se enquadram na categoria “profunda” e que a maior parte das fraturas de direção N-S, enquadra-se na categoria de muito profunda, enquanto as de direção NE-SW com maior apresentação e NW-SE, classificam-se como de “muito profunda”. Vale ressaltar a existência de fraturas na classe “pequena e média”, (Figura 4.9).

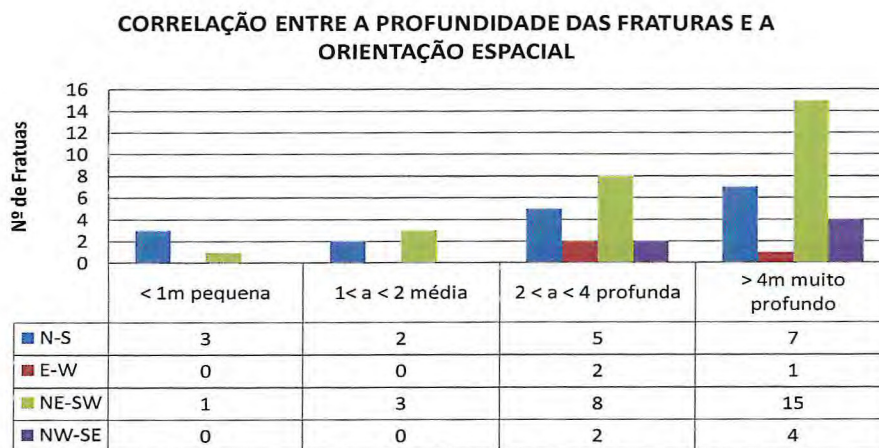


Figura 4.9 – Histograma mostrando a correlação entre a profundidade e a orientação espacial das falhas.

4.6 Resultados

A caracterização das fraturas permitiu aperfeiçoar o traçado das estruturas na área de pesquisa, demonstrando que o sistema de fraturas comporta-se como enxames de lineamentos, envolvendo carstificação, abatimento de blocos, formação de dolinas e cavernas.

As fraturas classificadas segundo sua orientação espacial como F1 (N-S), F2 (E-W), F3 (NE-SW) e F4 (NW-SE) são provavelmente de origem tectônica, em função de constituírem famílias sistemáticas que ocorrem em toda superfície do lajedo estudado e encontram correlação com as estruturas regionais. As fraturas F3 são de caráter mais contínuo e com comprimentos superiores a 20 metros, tendo forte influência no condicionamento do desenvolvimento de galerias e condutos da caverna Complexo Suíço. Os outros três grupos (F1, F2 e F4), são menos persistentes, com a maior parte das fraturas, variando de 10 a 20 m de comprimento. O estudo mostra ainda que as fraturas possuem espessuras aberturas desde aberta ($0 < a < 1 \text{ cm}$) até muito larga ($1 < a < 10 \text{ cm}$).

Existem ainda fraturas ou juntas menos persistentes, as quais não apresentam ou não obedecem a um padrão sistemático de orientação espacial, e geralmente não se propagam em profundidade, sendo aqui atribuída a origem não tectônica.

O comportamento de fraturas no exocarste se diferencia no endocarste pelo processo de perda de capacidade de dissolução, onde a água fica saturada de bicarbonato de cálcio, tal fase é caracterizada pelo preenchimento parcial ou total das fraturas, apagando seu registro nas bases das paredes, tetos e pisos. Isso explica a pouca ocorrência de fraturas F3 no interior da caverna Complexo Suíço.

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 N-S, NE-SW e NW-SE, 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 o desenvolvimento de *espeleotemas* conforme (figura 6.13), cap. 6, pág.69.

Em comparação com falhamentos de extensão regional de direção NE a ENE, que define o gráben central da bacia Potiguar (Falhas de Carnaubais) e de direção NW (Falhas de Afonso Bezerra) (Figura 4.10), ocorre uma influência no condicionamento da direção NE nas fraturas da área de estudo.

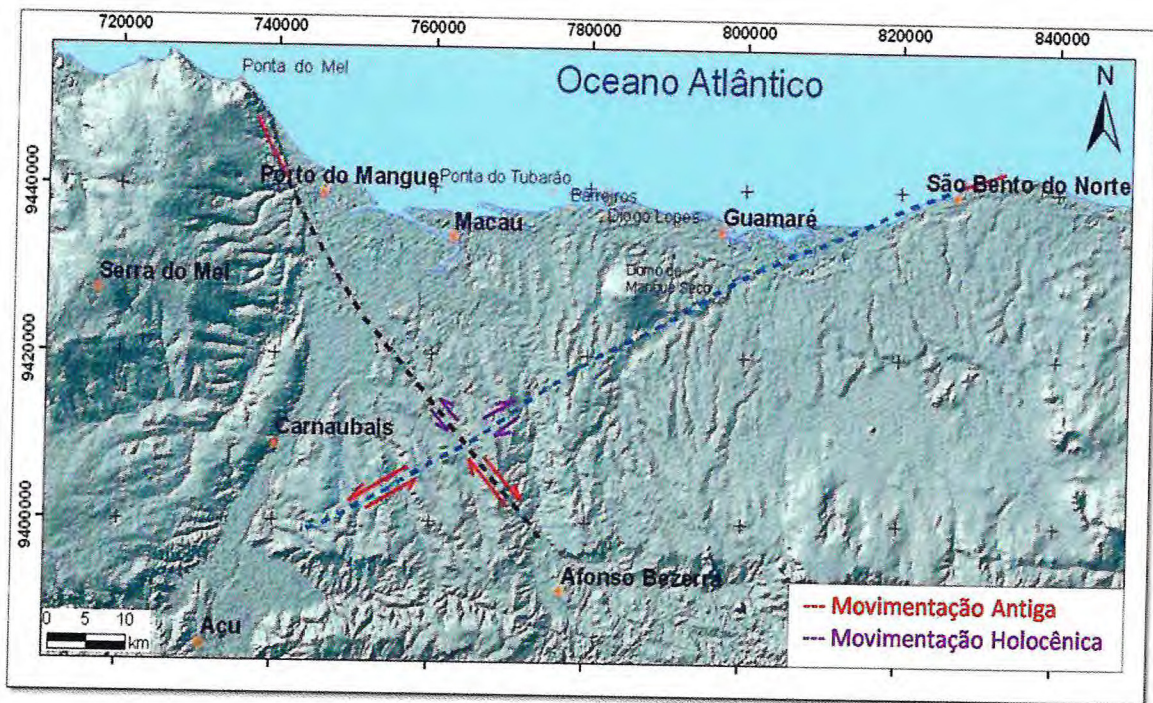


Figura. 4.10-Compartimentação do litoral setentrional (Fonseca 1996) e Sistemas de Falha de Afonso Bezerra (*trend* NW) e Carnaubais (*trend* NE).

5. Petrografia

O estudo das rochas carbonáticas na área de ocorrência da Caverna Complexo Suíço, consistiu de uma observação e descrição macroscópica seguida de uma análise microscópica, definindo essencialmente, os principais componentes da rocha e sua influência no desenvolvimento do carste de superfície (exocarste) e de subsuperfície (endocarste).

Em condições ideais, as rochas sedimentares carbonáticas em relação às demais litologias sedimentares podem representar em seção estratigráfica uma porção estimada entre 25% e 35%. A rocha carbonática deve conter em média 50% de minerais de carbonato de cálcio (CaCO_3) para ser designado e classificado como calcário, (Williams et. al. , 1970).

As rochas carbonáticas de um modo geral são constituídas em sua maior parte por componentes aloquímicos e ortoquímicos, podendo ter certa porção de componentes terrígenos.

Os componentes ortoquímicos estão representados por materiais carbonáticos formados a partir da precipitação química ou bioquímica (carbonatos, fosfatos, evaporitos, óxido de ferro) no interior da bacia de sedimentação e não apresenta qualquer evidência de transporte após sua formação. Distinguem-se dois tipos de componentes ortoquímicos, dividindo-se em: micrita (calcita-cripto e microcristalina) de diâmetro < 5 micras; pode também forma-se por desagregação das partes duras de organismos de esqueletos carbonatados (p.ex. algas), devendo neste caso serem considerados como um componente aloquímico, e esparita (calcita de diâmetro > 5 micras) resultado da recristalização da micrita ou da precipitação a partir de fluidos que ocupam os poros (taxa de nucleação e crescimento baixo) (Giannine, 2003).

Os componentes aloquímicos são grãos carbonáticos que sofreram transporte e deposição e que é retrabalhado após a precipitação (Protero e Schwab, 1996). Distinguem-se vários tipos de componentes aloquímicos, representados por restos orgânicos (bioclastos); compostos orgânicos agregados de origem fecal (pellets); estruturas concêntricas de origem inorgânica (oolitos) e materiais carbonáticos fragmentados removido dentro da mesma bacia de deposição (intraclastos).

5.1 Classificações Adotadas Para as Rochas Carbonáticas Detríticas

As nomenclaturas de classificação, mas utilizadas em rochas carbonáticas são as de Dunham (1962) e Folk (1959 1962).

5.1.1 Classificação de Dunham (1962).

Dunham (1962) sugere que exista uma distribuição fundamental entre os carbonatos, conforme as características hidrodinâmicas dos ambientes sedimentares. Sob condições de alta energia depositam-se calcários com pouca matriz (partículas menores que 20 microns). Por outro lado, a baixa energia favorece uma intensa acumulação de lama e, desta maneira, o autor admite cinco diferentes tipos de calcários (quadro 05).

Segundo o mesmo autor, existem três feições fundamentais e úteis na classificação dos carbonatos que preservam sua estrutura, tais como: a presença de lama carbonática; a abundância de grãos e a evidência de trapeamento de sedimentos durante a deposição. Os carbonatos que não apresentam feições deposicionais são denominados carbonatos cristalinos.

Sua utilização pode apresentar algumas limitações quando se trata de carbonatos pré-cambrianos, onde o metamorfismo pode mascarar feições primárias deposicionais. O caso, mas comum ocorre quando se trata em diferenciar packstone de grainstone; espato e pseudoespato.











Original components not organically bound together during deposition			Components organically bound during deposition	
Contains carbonate mud		No carbonate mud		
< 10% allochems	> 10% allochems	Grain-supported		
MUDSTONE	WACKESTONE	PACKSTONE	GRAINSTONE	
				BOUNDSTONE

Quadro 5.0 – Classificação de rochas carbonáticas, segundo a textura deposicional adaptado de Dunham (1962).

5.1.2 Classificação de Folk (1959).

A classificação utilizada pelo autor diferentemente da empregada por Dunham, é de natureza litológica, na qual, utiliza os componentes das rochas carbonáticas, tais como os grãos aloquímicos, matriz e cimento.

De um modo geral, usam-se na classificação descritiva dos calcários os prefixos (oo) para oólitos; (intra) para intraclastos; (bio) para bioclastos, e (pel) para pellets; e os termos referentes à matriz (ou cimento) como sufixos. Uma classificação qualitativa baseada no esquema de Folk (1959) acha-se representado no quadro 5.1.

INTRACLASTOS	 Intraesparito	 Intramicro
	 Ooesparito	 Oomicrito
BIOCLASTOS	 Bioesparito	 Biomicrito
	 Pelesparito	 Pelmicrito
	 Calcita microcristalina	 Calcita espática

Quadro 5.1 – Esquema qualitativo de classificação de calcários, utilizando- se os critérios de Folk (1968).

Os principais tipos de rochas carbonáticas identificados no regime de classificação litológica são: carbonatos de grãos aloquímicos cimentados por calcita espática, carbonatos com grãos aloquímicos em matriz micrítica, carbonatos microcristalinos sem aloquímicos e estruturas orgânicas desenvolvidas *in situ* (biolitos).

Em estudos pormenorizados, se faz necessário quantificar os diferentes tipos de aloquímicos nos calcários e o esquema de classificação geral está representado no quadro 5.2.



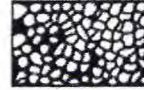




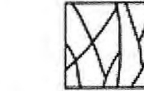


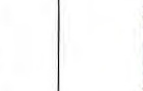




Volumetric Allochem composition		> 10% allochems		< 10% allochems			
		Sparry calcite > Micrite	Micrite > Sparry calcite				
>25% Intraclasts		INTRASPARITE	INTRAMICRITE	1–10% allochems	< 1% allochems	Undisturbed reef and bioherm rocks	
> 25 % de Intraclasts	> 25% Ooids	OOSPARITE	OOMICRITE	Most abundant allochems	Intraclasts INTRACLAST-BEARING MICRITE		MICRITE, or IF sparry patches present DISMICRITE
		Volume ratio, bioclasts, peloids	3: 1		BIOSPARITE	BIOMICRITE	
	3:1 to 1:3		BIOPELSPARITE		BIOPELMICRITE	Bioclasts FOSSILIFEROUS MICRITE	
	3:1		PELSPARITE		PELMICRITE	Peloids PELOID BEARING MICRITE	
						BIOLITHITE	

Quadro 5.2 – Classificação de rochas carbonáticas segundo Folk (1959).

No critério de classificação das rochas carbonáticas, foi empregado o modelo tradicional segundo a metodologia proposta e definida por Folk (1959) e Dunham (1962).

5.2 Porosidades das Rochas Carbonáticas

A descrição das rochas carbonáticas contribui de uma forma definitiva para estimar a quantidade e o tipo de porosidade em sedimento original. Segundo (Choquette e Pray, 1970) a porosidade pode ser primária, ou seja, já estava presente quando no sedimento original. E secundária, desenvolveu-se como resultado da diagênese. A classificação dos tipos de porosidades mostra-se no (quadro 5.3).

Fabric selective						
						
Interparticle	Intraparticle	Intercrystal	Mouldic	Fenestral	Shelter	Growth framework
Not fabric selective						
						
Fracture	Channel*	Vug*	Cavern*			
Fabric selective or not						
						
Breccia	Boring	Burrow	Shrinkage			
*Cavern applies to man-sized or larger pores of channel or vug shapes						

Quadro 5.3 : Tipos básicos de porosidades nos sedimentos. Os poros estão sombreados em preto (segundo Choquette e Pray, 1970).

5.3 Análises Composicionais dos Estratos Carbonáticos da Caverna Complexo Suíço

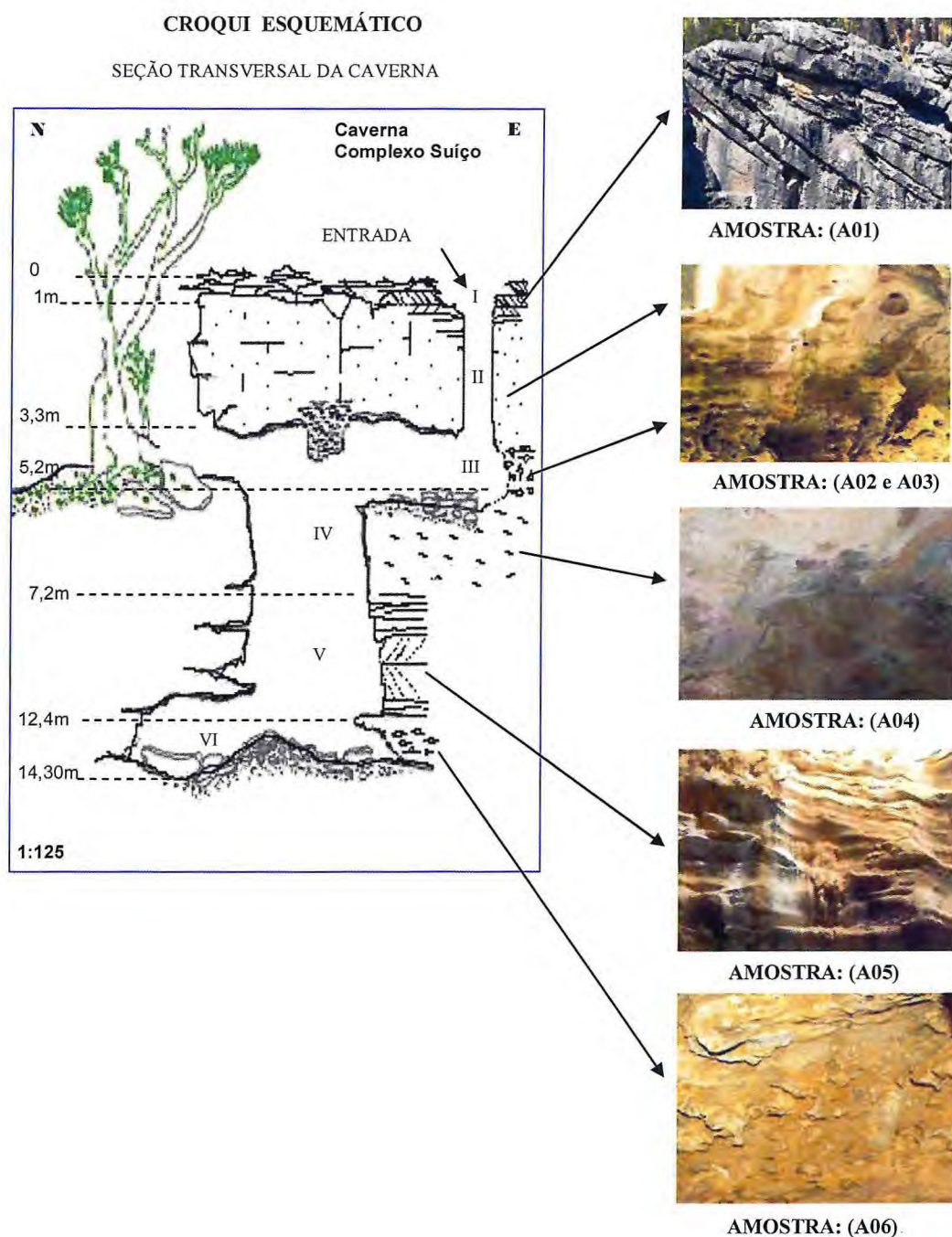
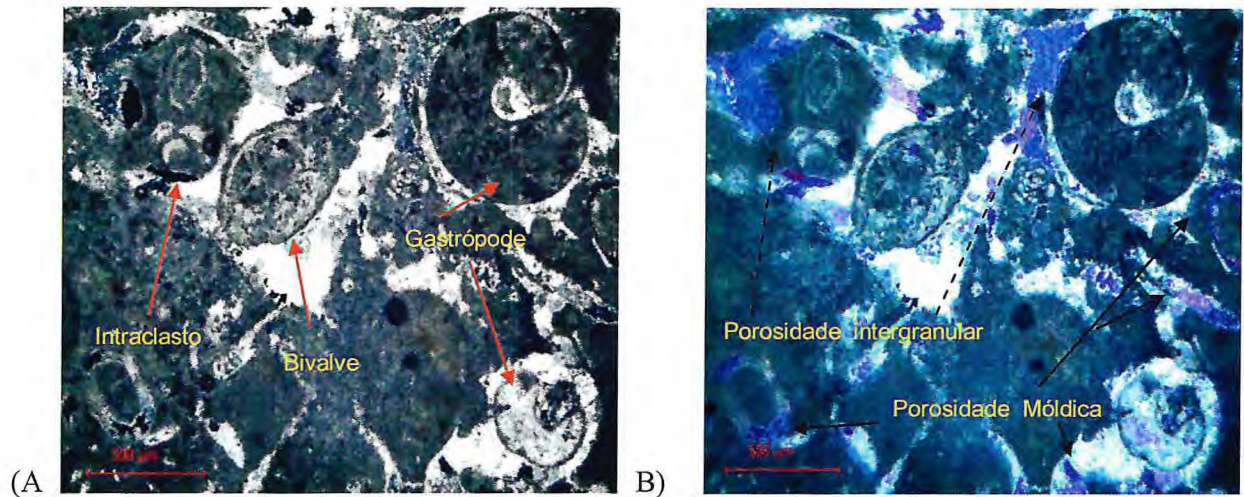


Figura. 5- Perfil transversal (NE-SW), que caracteriza o espaço físico da caverna, com seus diversos níveis de dissolução representados pelos algarismos romanos de I a VI, de onde foram coletados os materiais para confecções de lâminas delgadas, de forma a representar, cada horizonte sedimentar com suas variações composicionais.

5.4 Resultados Obtidos:

5.4.1 Amostra: (A01) – Grainstone (Dunham, 1962) ou Intraesparito (Folk, 1959).



Fotomicrografia 5.1 - Vista da microfácies grainstone com ocorrência de gastrópodes, bivalves e intraclastos (A- Luz Natural e B – Luz Polarizada).

A amostra de mão (A01) foi extraída do nível superior do lajedo que corresponde ao topo da caverna Complexo Suíço. Regionalmente, o material de estudo caracteriza o domínio das feições cársticas superficial (exocarste) tais como: os lapiás, dolinas, canyons e feições hidrotermais (estratificações cruzadas) que bordeja a entrada preferencial da caverna.

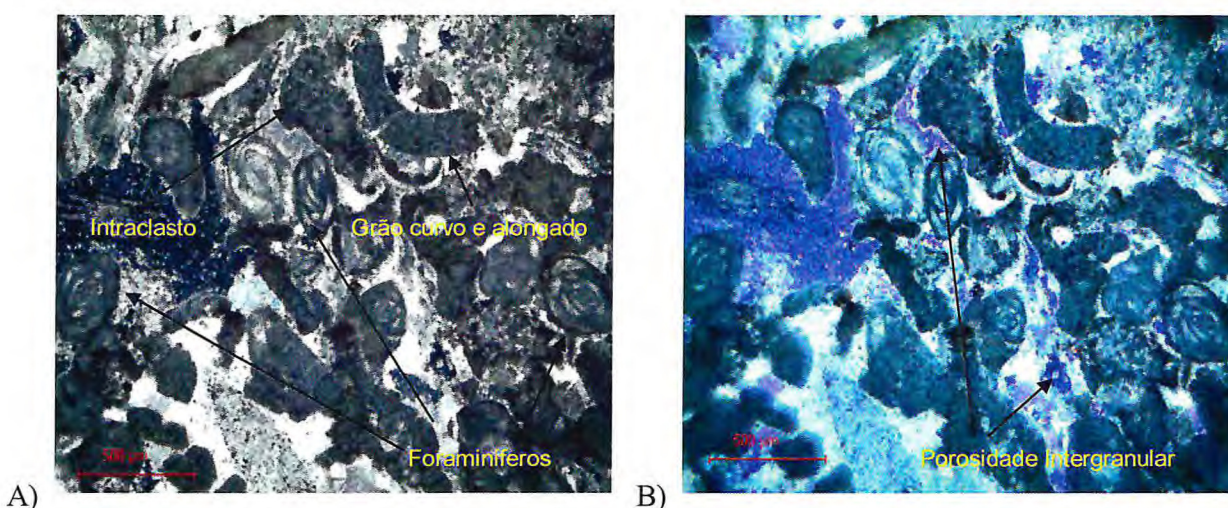
Macroscopicamente, a rocha apresenta uma textura arenosa, sem ocorrência visível de bioestruturas (tubos) que pudessem exercer papel importante no processo de intemperismo químico. O calcário também é caracterizado por uma estrutura maciça que oferece resistência mecânica ao fraturamento e também marcada por uma tonalidade cinza que bordeja a superfície rochosa, mascarando a cor amarela original da rocha carbonática.

Com uma análise minuciosa do carbonato ao microscópio em luz natural, temos uma rocha de textura suportada por grãos maus selecionados, cujo valor médio do diâmetro entre os grãos bioclásticos representados pelas conchas de gastrópodes chega a atingir 675 microns, apresentando contatos predominantemente pontuais e retos. Em luz polarizada é possível observar uma porosidade tipo intergranular e móldica.

A lâmina delgada forneceu 30% de cimento em mosaico (cimento espático), 10% de porosidade intragrão e tipo vug, e composta também por 60% de componentes aloquímicos.

Os componentes aloquímicos estão representados por cerca de 75% de intraclastos, 15% gastrópodes, 5% foraminíferos e bivalves 5%.

5.4.2 Amostra: (A02) – Packstone (Dunham 1962) ou Biosparito (Folk, 1959).



Fotomicrografia 5.2 - Vista da microfácies packstone – bioesparita, cujos grãos estão bem representados pelos foraminíferos e intraclastos (A- Luz Natural e B – Luz Polarizada).

A amostra de mão (A02) é correspondente ao nível intermitente entre a entrada de projeção vertical na caverna e a seção que corresponde às galerias e os condutos, certificando-se que faz parte da porção sedimentar que sustenta o teto da caverna.

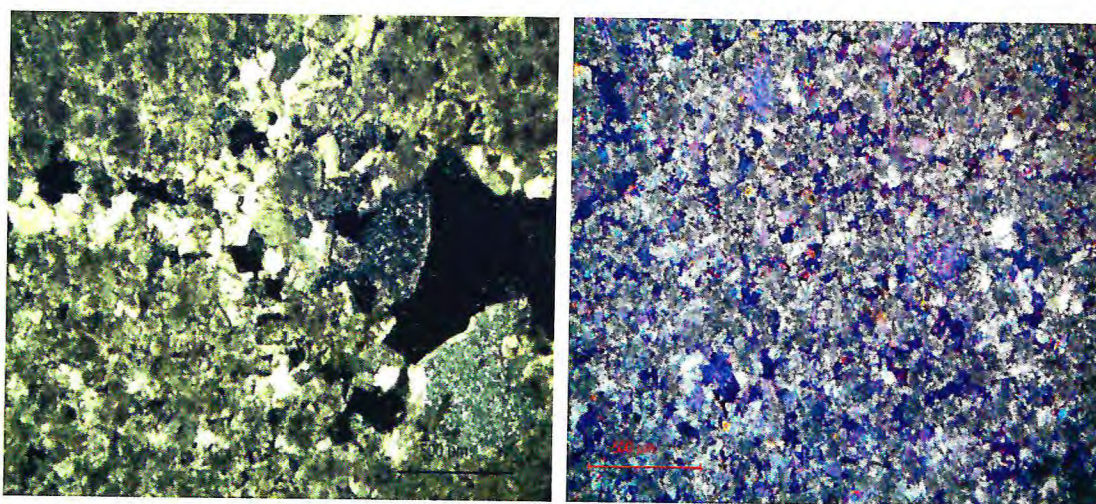
A amostra (A02) representa à porção intermediária que forneceu subsídios e condições específicas de gotejamento d'água no teto cavernoso, e que deu origem a formação dos espeleotemas. É o nível que representa melhor a persistência, profundidade e abertura das ravinas e que condicionou a formação de um nicho ecológico pelas espécies nativas da fauna e flora ao longo das galerias e condutos.

Macroscopicamente, a rocha fornecida apresenta cor amarela, com pouca susceptibilidade a fragmentação e apresentando densidade média a alta.

Ao microscópio, a amostra constou de uma granulometria que variou de 175 a 250 microns, cuja textura está representada por grãos bem selecionados há presença de fragmentos de bivalves e foraminíferos miliolídeos na sua maioria. Nos espaços intergranulares isentos de matriz, tem-se o preenchimento por cimento microespático. A porosidade da rocha, tipo intergrão, não apresenta uma intercomunicação entre si, mesmo estando muito próxima.

A rocha é formada por 2% de matriz micrítica, 35% de cimento espático, 4% de porosidade e 59% de componentes aloquímicos. Os demais resultados consistiram de materiais aloquímicos representados por 45% de foraminíferos, 15% de pelóides, 5% de bivalves e 35% de intraclastos.

5.4.3 Amostra: (A03) – Calcário Cristalino (Dunham, 1962).



Fotomicrografia 5.3 - Vista da microfácies do Calcário Cristalino, que apresenta distribuição irregular dos cristais de calcita que caracteriza uma textura tipo neomorfica (A- Luz Natural e B – Luz Polarizada).

A amostra (A03) corresponde ao nível de maior expressão cárstica em subsuperfície, denominado endocarste. É a seção que representa os condutos e as galerias, ou seja, que caracteriza os vazios desenvolvidos na rocha matriz causados pela remoção química do material solúvel.

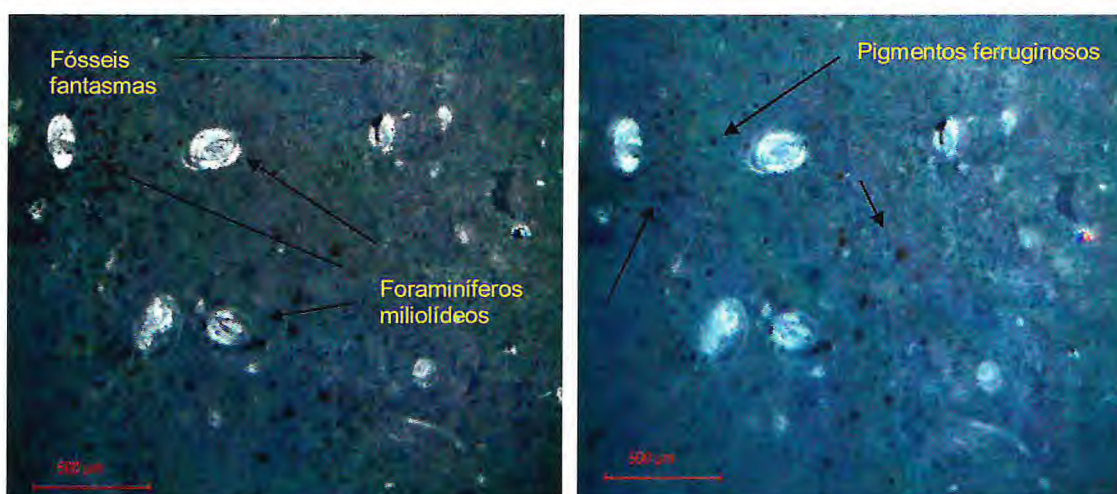
O material de estudo foi coletado na porção lateral da galeria, que corresponde a 1m de altura em relação ao assoalho da caverna, onde a amostra extraída, que resistiu ao processo químico de intemperismo, apresenta feições cavernosas tipo “queijo suíço”, que denominou o nome da caverna e que representa o nível faciológico de maior relevância no desenvolvimento de galerias e condutos.

Macroscopicamente, a amostra de mão apresenta estruturas vesiculares preenchidas por cristais de calcita, cuja cor predomina o amarelo creme, de textura fina e com densidade média a alta.

A análise microscópica deparou com um resultado peculiar, cujo conteúdo, apresentou ocorrência de cristais de calcita, morfologicamente irregulares, preenchendo uma estrutura vesicular. É possível pela fotomicrografia, observar a distribuição irregular em mosaico dos cristais que caracterizam uma textura tipo neomorfica, e devidamente composta por manchas de micrita. A porosidade intercrystalina pode ter sido originada como resultado da diagênese.

Em seção delgada a rocha apresentou 15% de matriz micrítica, 10% de porosidade e 75% de cimento espático, praticamente nenhuma ocorrência de componentes aloquímicos.

5.4.4 Amostra: (A04) - Mudstone (Dunham, 1962) ou Biomicrita (Folk, 1959).



Fotomicrografia 5.4 - Vista da microfácies Mudstone – Biomicrita, constituída por foraminíferos melonídeos em matriz micrítica (A- Luz Natural e B – Luz Polarizada).

Uma das principais feições do endocarste na caverna Complexo Suíço é o desenvolvimento espiralado de um grande salão que se projeta verticalmente em um enorme fosso, de onde a amostra (A04) foi coletada, representando a borda da depressão.

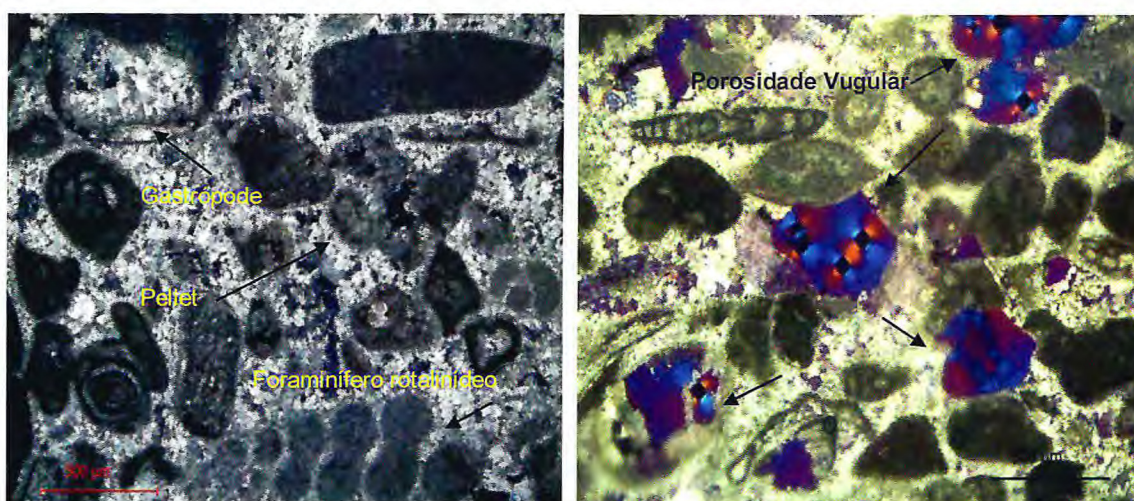
O material de estudo, macroscopicamente, é caracterizado por uma porção amarela clara, de aspecto maciço e textura microgranular.

Ao microscópio, observa-se que a rocha possui uma textura suportada por uma matriz micrítica, composta por menos de 10% de componentes aloquímicos. Neste caso, a microfácies é constituída de bioclastos representados por foraminíferos miliolídeos, concentrando materiais pelóidais e restos de carapaças, muitas vezes, não identificáveis, podendo ser denominados como fósseis fantasmas.

Em luz polarizada, associados aos materiais bioclásticos, é possível notar pigmentos ferruginosos, apresentando diâmetros em torno de 2,5 a 24 microns. Não foi possível identificar uma porosidade em meio à matriz micrítica.

Os grãos apresentam em média um diâmetro inferior a 225 microns. O material é composto por 90% de matriz deposicional, 5% de cimento espático e 5% de componentes aloquímicos. Os aloquímicos são formados por 60% de foraminíferos e 40% de pelóides.

5.4.5 Amostra: (A05) - Packstone (Dunham, 1962) ou Pelsparito (Folk, 1959).



Fotomicrografia 5.5 - Vista da microfácies Packstone – Intraesparito representada por um arcabouço formado por gastrópodes, foraminíferos, pelóides e intraclastos (A- Luz Natural e B – Luz Polarizada).

A amostra que corresponde à lâmina (A05) foi extraída a uma profundidade de aproximadamente 11m. Na seção vertical faciológica da caverna, esse nível corresponde a uma camada com estratificações cruzadas, cujo pacote sedimentar, representadas pelas estruturas sedimentares pode atingir uma espessura média de 5,2 metros.

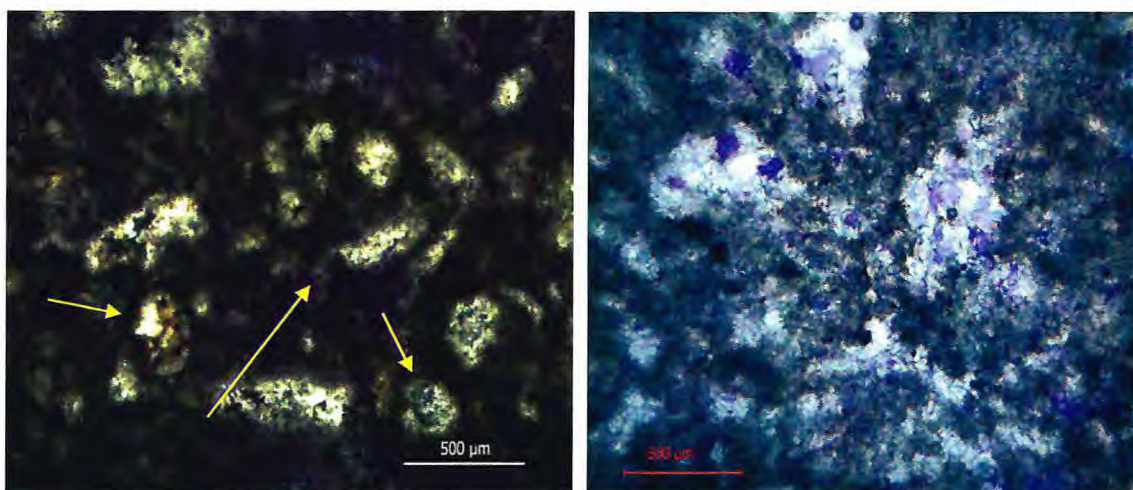
A observação a olho nu, não constatou nenhuma forma de porosidade, sendo o material rígido, com poucas feições de dissoluções, apresentando coloração cinza e bastante densa.

Ao microscópio, a rocha é representada por um arcabouço mau a moderadamente selecionado, estando associados com pelóides, intraclastos e bioclastos, atingindo uma granulometria que pode variar de areia fina a média, apresentando contatos de forma pontual e reto, cujo diâmetro dos grãos pode atingir 125 a 750 microns.

Trata-se de uma rocha com textura granosuportada com cimento esparfítico, cujos grãos que constituem a rocha, apresentam um baixo empacotamento, sugerindo que a cimentação se produz antes que se poderia desenvolver uma compactação significativa. A porosidade observada mediante luz polarizada é do tipo intergranular e vugular.

A rocha é formada por 5% de matriz, 42% de cimento espático, 45% de componentes aloquímicos e 8% de porosidade intergrão e vugular. Desses constituintes aloquímicos, 15% são formados por intraclastos, 50% por pellets, 9% de foraminíferos, 6% de bivalves, 10% de gastrópodes e 10% de algas.

5.4.6 Amostra: (A06) – Carbonato Cristalino (Dunham, 1962).



Fotomicrografia 5.6 - Vista da microfácies do Carbonato Cristalino apresentando moldes de bioclastos totalmente substituída por calcita espática (A- Luz Natural e B – Luz Polarizada).

A amostra (A06) corresponde ao nível VI da seção vertical cavernosa e que apresenta uma profundidade estimada de 14 metros, cujo nível é formado por condutos retilíneo poucos desenvolvidos e preenchidos por materiais sedimentares (origem alóctone ou autóctone) de muita relevância para futuras pesquisas, onde o aspecto principal do pacote são as feições cavernosas semelhante ao nível III que corresponde à amostra (A03).

Macroscopicamente, a rocha é altamente intemperizada, apresentando morfologicamente um relevo marcado por zonas de dissoluções e uma textura com aspecto granular fino. A cor do material transgride de um amarelo para um cinza claro.

Ao microscópio, podemos observar que a rocha é formada por uma textura suportada com uma matriz micrítica e microesparítica, sem a ocorrência de componentes aloquímicos. Entretanto, é possível observar moldes de bioclastos totalmente substituído por calcita espática, sugerindo que os moldes de composição aragonítica, resultou durante a diagênese, em uma provável inversão neomórfica para calcita. Os cristais de calcita apresentados em mosaicos estão distribuídos de forma irregular e cujo tamanho pode variar de 25 a 126 microns. A porosidade ocorre entre os cristais de calcita (intercristalina). A textura como observada, é típico de um neomorfismo.

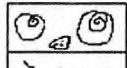

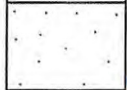
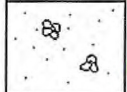
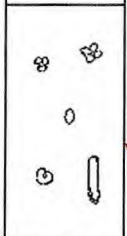
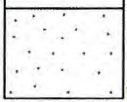
Os resultados atribuídos a caracterização da rocha apresentam os seguintes valores: 52% de cimento espático, 43% de matriz e 5% de porosidade intercristal.

5.5 Discursos dos Valores Obtidos:

A partir da análise petrográfica dos horizontes carbonáticos que compõem as seções verticais da caverna Complexo Suíço, foi possível gerar uma hipótese explicativa sobre a relação entre a mudança das feições cársticas ao longo do interior da caverna.

De modo geral, os resultados mostram que as propriedades do pacote rochoso nas seções I, II e V, ligadas principalmente à porosidade secundária tipo vugular e móldica (origem não tectônica) e compostos de grãos aloquímicos, não induz de forma significativa, na evolução das feições cársticas.

Por outro lado, nas seções III e VI onde o material rochoso é composto por componentes ortoquímicos e porções de lama carbonática, a natureza da rocha carbonática apresenta-se mais vulnerável e dissolve-se com maior intensidade em relação aos demais componentes aloquímicos devido ao teor de calcita microcristalina.

Coluna Bioestratigráfica	Seção	Dunham, 1962	Folk, 1959	Porosidade (%)
0		Grainstone	Intrasparito	P. Prim. (Intergrão) 10% P. Secund. (Mouldic)
1m		Packstone	Biosparito	P. Primária (Intergrão) 4%
3,3m		Carbonato Cristalino	—————	P. Inter Cristal 10%
5,2m		Mudstone	Biomicro	————— 0 %
7,2m		Packstone	Intrasparito	P. Vugular P. Secundária 8%
12,4m		Carbonato Cristalino	—————	P. Inter Cristal 5%
14,30m				

Profundidade

E – 1:125

Quadro 5.4 – Resultado dos valores obtidos mediante descrição das rochas carbonáticas.

6. Espeleometria da Caverna Complexo Suíço

O emprego das técnicas de mapeamento utilizado na caverna Complexa Suíço foi estabelecido por meio de um sistema eficiente de topografia, que consistiu da utilização de bases topográficas interligadas por visadas, onde todo processo de trabalho seguiu o desenvolvimento das cavidades por meio de galerias, abismos e salões.

De um modo geral, toda a espeleometria foi dividida em duas fases, a primeira consistindo do levantamento de medidas de direção, comprimento, altura e inclinação entre as estações, utilizando bússola brunton (Foto a), trena de mão (Foto b) e trena a laser (Foto c). As estimativas obtidas com relação às interseções verticais, horizontais e do assoalho da caverna, bem como todas as formas geométricas, foram representadas por meio de um croqui esquemático, compondo parte do levantamento topográfico propriamente dito. A segunda fase tratou da análise dos dados coletados em campo, de forma a resultar na arte final da topografia.



Foto a) Bússola Brunton



Foto b) Trena de mão



Foto c) Trena a Laser

O ponto de amarração topográfico (P.A) foi posicionado na entrada da caverna Complexo Suíço (figura 6.1), e georreferenciado por meio de um GPS Geodésio Ashtech-Mod Promark 2, obedecendo também a seguinte condição: amarração de um ponto externo fixo, estabelecendo conexões com todas as demais cadeias de pontos projetadas no interior da caverna.



Figura 6.1: Georreferenciamento do primeiro ponto na entrada da caverna Complexo Suíço. Coordenadas UTM-WGS 84: (648324 / 9385065).

A topografia foi executada com segurança, de forma que foi de muita relevância o papel e apoio do CECAV, os quais estabeleceram regras e métodos básicos de segurança para o deslocamento tanto em superfície como no interior da caverna, incluindo também, técnicas de rapel. No entanto, a execução do trabalho de espeleometria teve suas dificuldades internas, com relação à presença de animais peçonhentos, assim como a descida em um grande abismo onde foi instalada a base topográfica no interior da caverna Complexo Suíço (figura 6.2).



Figura 6.2: Detalhe da descida no interior do abismo para instalação de base topográfica no interior da caverna Complexo Suíço.

O mapeamento espeleológico consistiu de um conjunto de medidas e resultou nas seguintes combinações: planta baixa, seções longitudinais e seções transversais. A planta baixa (figura 6.3) corresponde à projeção do comprimento das galerias e salões, possibilitando uma avaliação geral da caverna Complexo Suíço.

O ambiente cavernoso mostra-se relativamente espaçoso, com as seções internas abrangendo todo assoalho da caverna desenvolvido ao longo de estruturas preferenciais, apresentando contornos sinuosos com grandes concentrações de blocos abatidos, pontos de surgência, acumulação de sedimentos e de materiais orgânicos.

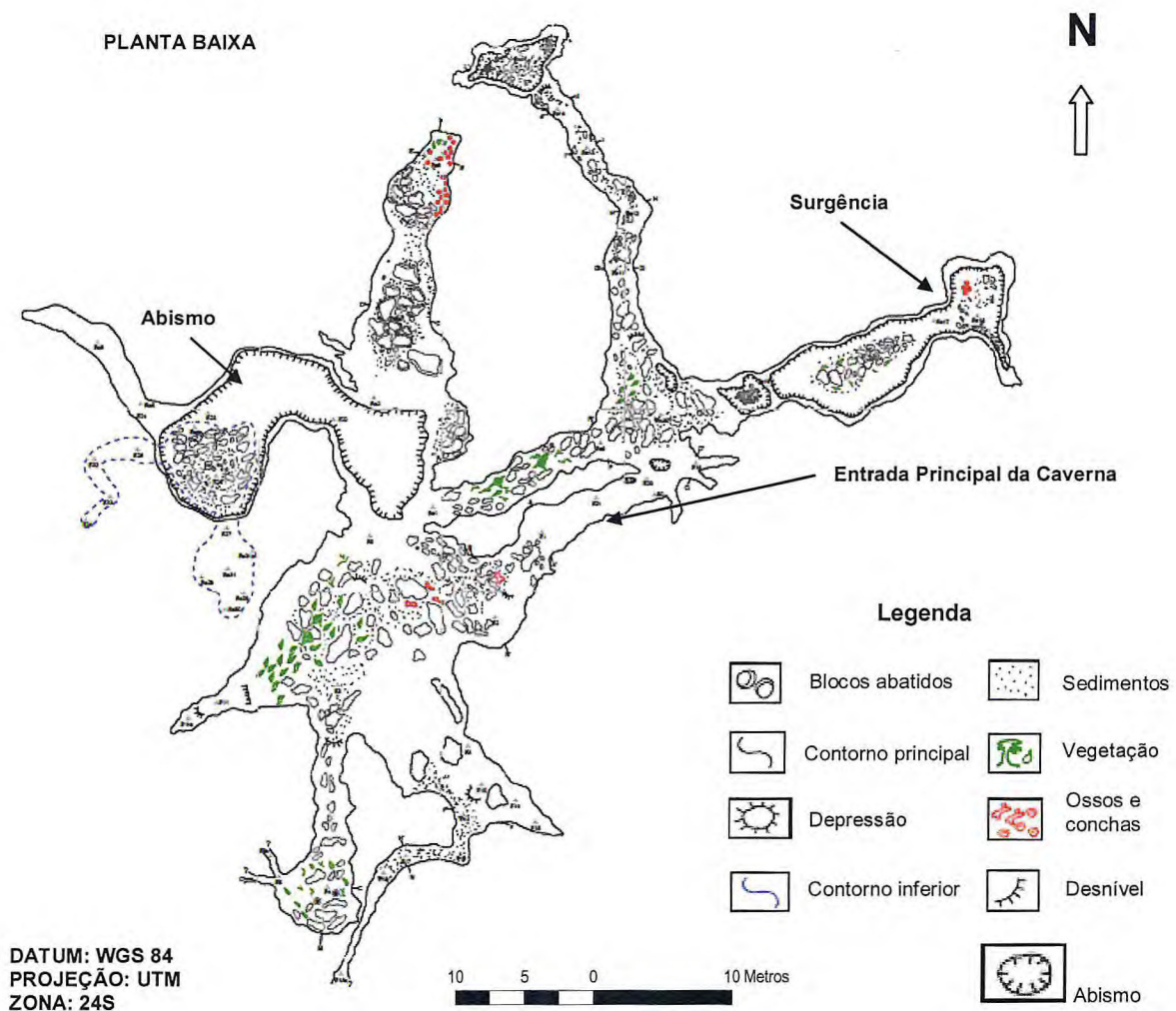


Figura 6.3: Representação esquemática da caverna Complexo Suíço em planta baixa.

O perfil longitudinal é uma representação que compõem a combinação do comprimento e da altura de um conduto cavernoso, estabelecendo uma percepção do relevo interno com aclives e declives dentro do intervalo representado, de forma a se observar lateralmente a cavidade. Ao longo das seções dos condutos foram realizadas medidas referentes ao comprimento longitudinal, estabelecendo a direção em azimute, definindo também por meio de uma trena a laser a altura do teto, cuja inclinação do piso assim como as visadas foram marcadas por meio de uma bússola brunton. (Figura 6.4).

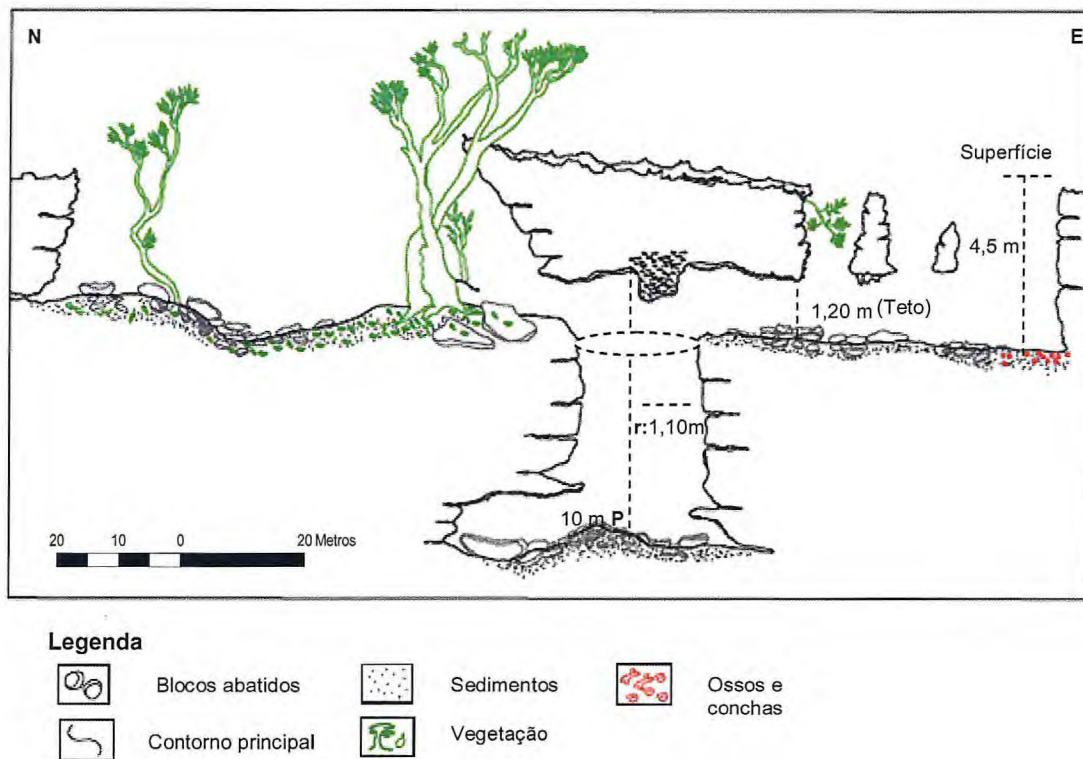
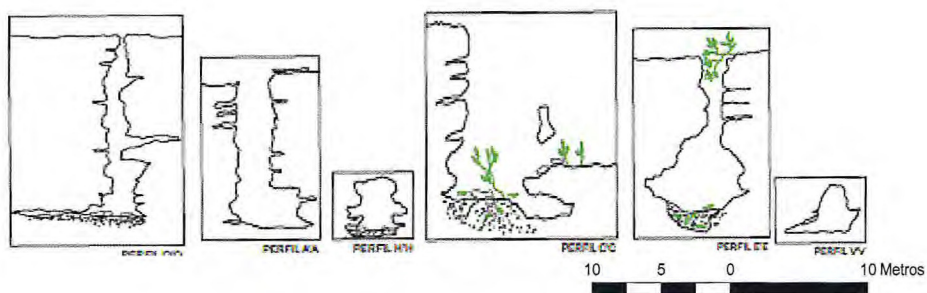


Figura 6.4: Seção longitudinal da caverna Complexo Suíço.

É possível, em seção longitudinal, observar a arquitetura e a estrutura espacial da caverna Complexo Suíço, com boa representação da altura do teto que pode alcançar 1,20 m em relação ao assoalho cavernoso, aumentando o espaço à medida que vai aproximando-se da árvore, onde se tem o desenvolvimento de um grande salão de forma espiralada, denominado como um enorme fosso, cujo raio pode alcançar 1,10m e a profundidade atingir 10 m em relação ao teto. No fosso estão depositados espeleotemas como estalactites e boa acumulação de sedimentos.

As seções transversais permitem estabelecer de forma mais precisa o contorno das galerias, tomando como ponto central a estação topográfica, dando uma noção da dimensão da largura das ravinas de dissolução e os planos de estratificações que atuam como zonas de fluxo d'água. (Figura 6.5 e 6.7). A figura 6.6 é uma ilustração de uma das galerias da caverna Complexo Suíço com orientação NW-SE.



Figuras 6.5: Seções transversais das galerias da caverna Complexo Suíço.

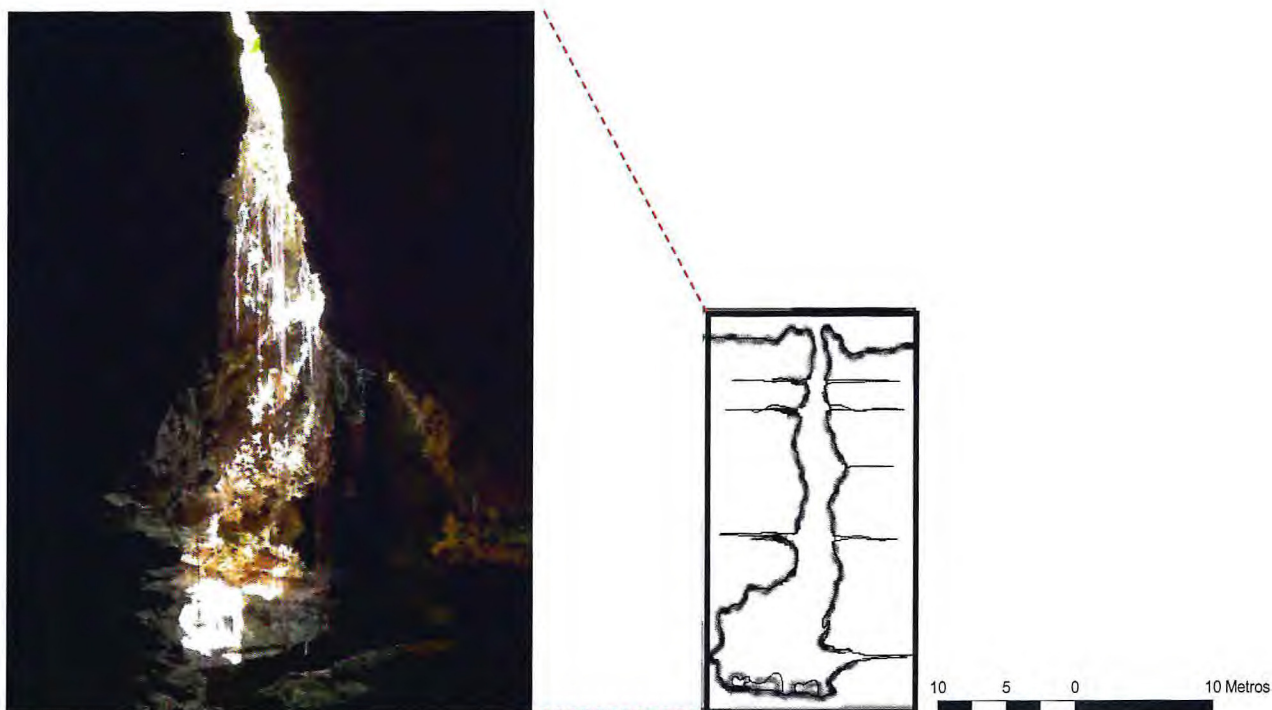
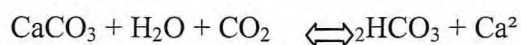


Figura 6.6: Ilustração da galeria NW-SE localizada na porção inferior da caverna Complexo Suíço com a Seção transversal .

6.1 Formações dos Espeleotemas

Espeleotema é um termo genérico que engloba grande variedade morfológica e mineralógica de sedimentos químicos depositados em cavernas, incluindo formas cristalinas como, a estalactite e estalagmite, e formas mais raras.

Mais de 250 minerais já foram sendo identificados dentro de cavernas, porém, a grande maioria dos espeleotemas é composta por carbonato de cálcio (CaCO_3), em geral sob forma de calcita e aragonita. A deposição de espeleotemas depende de uma série de reações químicas reversíveis, que podem ser sintetizadas pela seguinte reação:



A água da chuva absorve CO_2 da atmosfera em seu percurso rumo ao solo. Uma vez infiltrada no solo, torna-se mais ácida ao entrar em contato com húmus e raízes das plantas. Essa água carregada de ácido carbônico dissolve o carbonato em seu trajeto descendente pelas fraturas da rocha. A dissolução do carbonato faz com que o bicarbonato de cálcio, que é altamente solúvel, fique em solução. Ao atingir a caverna, a solução aquosa encontra uma atmosfera com uma pressão parcial de CO_2 inferior a da água infiltrante. Há, pois, liberação de CO_2 da água pura para a atmosfera da caverna, causando a precipitação do carbonato de cálcio, que é insolúvel, e a formação de espeleotemas.

A deposição de espeleotemas ocorre, predominantemente por liberação de CO_2 , muito embora haja outros processos igualmente importantes. No Nordeste do Brasil, onde se encontram as maiores cavernas do país, o clima semi-árido faz com que alguns espeleotemas sejam precipitados por evaporação.

Os espeleotemas formados ao longo da caverna Complexo Suíço se desenvolveram em função do gotejamento (*dropstones*), escoamento (*flow stones*) ou “burrifamento” da água rica em carbonato de cálcio através de tetos e paredes. Entre os espeleotemas, mais comuns, encontrados no interior da caverna, estão representados em forma de couve-flor (figura 6.8), que ocorrem ao longo de galerias e condutos, que resultaram normalmente da infiltração d’água pela parede da caverna enriquecida em carbonato de cálcio, ocasionando a precipitação por meio de um sistema controlado pela evaporação e não por gotejamento.

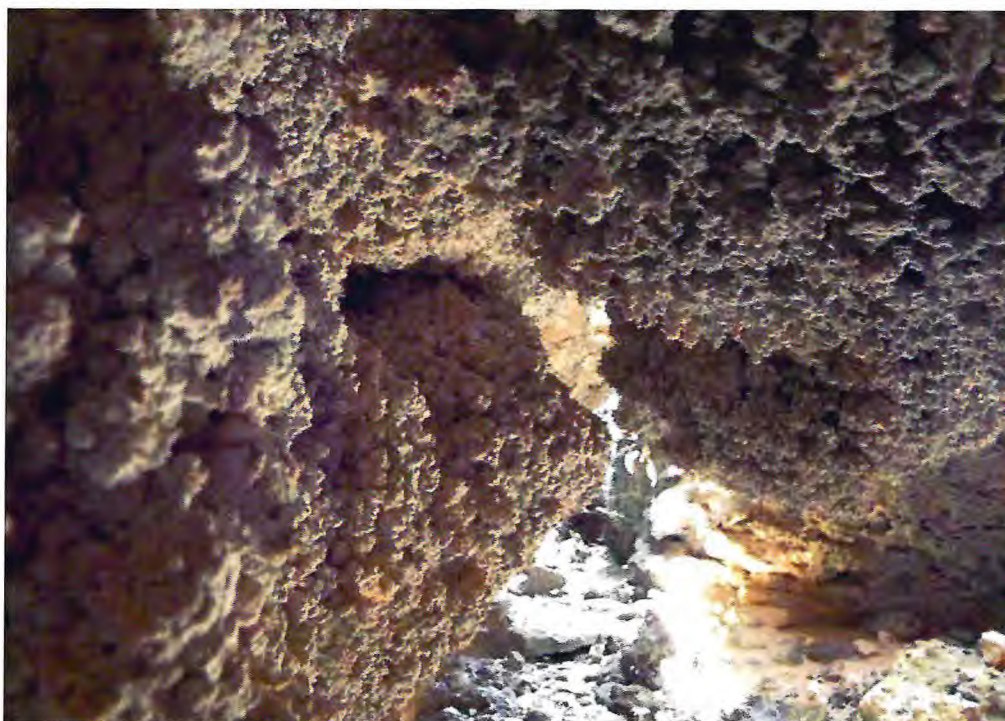


Figura 6.8: Formação de espeleotemas ao longo das galerias formalmente conhecidas como couve-flor. Resulta normalmente da infiltração d'água pela parede da caverna enriquecida em carbonato de cálcio, ocasionando o burrifamento por meio de um sistema controlado pela evaporação, e não por gotejamento.

Outro precipitado químico e bastante conhecido na literatura espeleológica, são os depósitos cilíndricos ou cônicos, conhecidos como estalactites. Em geral, esses espeleotemas apresentam composições de natureza calcítica ou aragonítica, pendendo mais ou menos verticalmente do teto de cavernas calcárias.

No teto da caverna Complexo Suíço, em uma das galerias, é possível observar a ocorrência de anéis de carbonato de cálcio evoluindo para formas tubulares que crescem lentamente em direção ao chão (figura 6.9) e diversas formas de precipitados químicos que ornamentam o teto da caverna, com cores que variam do laranja para tonalidades cinza e amarela (figura 6.10).



Figura 6.9: Fotografia ilustrando o sistema de gotejamento, cuja gota d'água ao entrar em contato com a atmosfera da caverna, reage provocando a precipitação do carbonato de cálcio em anéis, evoluindo para formas tubulares que crescem lentamente em direção ao chão.



Figura 6.10: A imagem ilustra diversas formas de precipitados químicos que ornamentam o teto da caverna em umas das galerias, com cores que variam do laranja para tonalidades cinza e amarela.

No assoalho da caverna, também é possível encontrar formas acumulativas de sedimentos químicos depositados em função de um gotejamento de água do teto da caverna. A imagem abaixo tem como a formação de uma zona contendo acumulação de água, ocorrendo bordejando o sistema o desenvolvimento de espeleotemas semelhantes à couve-flores (figura 6.11).



Figura 6.11: Assoalho da caverna com o desenvolvimento de represas de águas carbonatadas, originando espeleotemas em função do gotejamento de água do teto da caverna.

Outra feição bastante peculiar desenvolvida no teto da caverna, é a formação de espeleotemas com minúsculas estruturas capilares em função do gotejamento, compondo um arranjo ornamental. (Figura 6.12).



Figura 6.12: Formação de espeleotemas no teto da caverna Complexo Suíço, cuja estrutura capilar indicada pelas setas, assemelha-se ao mesmo sistema de desenvolvimento das estalactites, no entanto, não existe um ponto preferencial de gotejamento.

Uma vez que o sistema de fraturamento no Lajedo do Rosário tem forte influência no desenvolvimento de cavidades naturais, é possível observar também, a tendência dessas estruturas sobre o controle e formação de espeleotemas, como mostra a figura 6.13, cujo desenvolvimento das estalactites por gotejamento ocorre ao longo da fenda no teto da caverna Complexo Suíço.

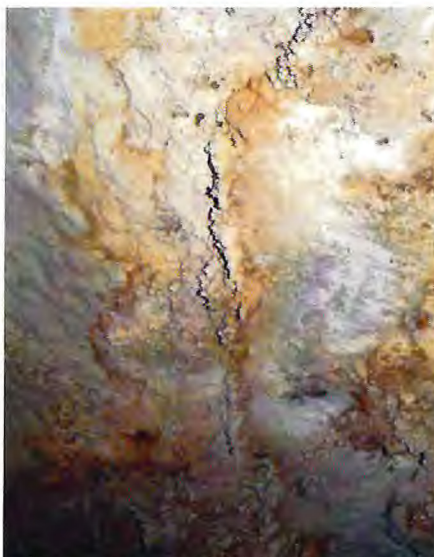


Figura- 6.13: Espeleotemas (estalactites) desenvolvendo-se orientada pela Fratura F3 (NE-SW) no teto da caverna Complexo Suíço.

7. Conclusão

Através do trabalho realizado no carste Jandaíra, foi possível, a partir dos dados reunidos e apresentados, referentes à análise estrutural no controle da caverna Complexo Suíço, chegar às seguintes conclusões:

O traçado das estruturas na área de pesquisa, que envolve o Lajedo do Rosário observado por meio da interpretação de imagem de satélite, demonstrou que o sistema de fraturamento comporta-se como um arranjo linear importante no sistema de carstificação, pois está diretamente ligada ao abatimento de blocos, na formação de dolinas e cavernas.

As fraturas classificadas segundo sua orientação espacial como F1 (N-S), F2 (E-W), F3 (NE-SW) e F4 (NW-SE) são provavelmente de origem tectônica, em função de constituírem famílias sistemáticas que ocorrem em toda superfície do lajedado estudado e encontram correlação com as estruturas regionais. As fraturas F3 são as de caráter mais contínuo e com comprimentos superiores a 20 metros, tendo relação no condicionamento do desenvolvimento de galerias e condutos da caverna Complexo Suíço. Os outros três grupos (F1, F2 e F4), são menos persistentes, com a maior parte das fraturas, variando de 10 a 20 m de comprimento. O estudo mostra ainda que as fraturas possuam aberturas desde aberta até muito larga.

Existem ainda fraturas ou juntas menos persistentes, as quais não obedecem a um padrão sistemático de orientação espacial, e geralmente não se propagam em profundidade, sendo aqui atribuída a origem não tectônica.

Grande parte das estruturas mapeadas em superfície possui mesma direção que as estruturas regionais e, muito provavelmente, possuem correlação com os esforços regionais que geraram estas estruturas e a arquitetura da Bacia Potiguar.

Os estudos petrográficos dos níveis carbonáticos do interior da caverna Complexo Suíço, permitiram diferenciar quatro variedades de calcário: grainstone, packstone, mudstone e carbonato cristalino. A porosidade observada nas amostras apresenta-se como: intergranular, vugular, móldica e intercrystal. A porosidade secundária tipo vugular e móldica (origem não tectônica) não induzem diretamente de forma significativa, na evolução das feições cársticas de subsuperfície. No entanto, a porosidade secundária originada por fraturamento na rocha carbonática, principalmente as de origem tectônica, representam o principal fator na evolução e controle do carste associado à formação de cavernas, e podem atuar favorecendo a evolução

e desenvolvimento das demais formas de microporosidades, originando assim, outras feições cársticas de dissolução.

Por meio do presente estudo, podemos concluir que as estruturas preferenciais observadas por imagens de satélites, assim como as obtidas por meio do mapeamento de detalhe, são condizentes com as principais estruturas ocorridas no interior da caverna Complexo Suíço, ou seja, existe uma coincidência entre os principais lineamentos obtidos pela topografia com o arranjo linear estrutural observado na Bacia Potiguar.

Capítulo 08

8. Bibliografia

ARARIPE, P. T. & FEIJÓ, F. J. - 1994- Bacia Potiguar. Bol. de Geociências da Petrobrás, 8, p.127-141.

ARTHAUD, M. H. Apostila: Introdução à Geologia Estrutural. UFC. DEGEO. 2002. 131p.

AULER, A., RUBBIOLI, E. & BRANDE, R. - 2001- **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 228p.

AMARO V. E. & STRIEDER A. J. 1994. **Análise de fotolineamentos e padrões estruturais em imagens de satélite**. In: SBG, Congr. Brás. Geol., 38, Balneário Camboriú, Anais, p.443-444.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. ; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. 1977. **Províncias Estruturais Brasileiras**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 7, 1977, Campina Grande/PB. Atas... Campina Grande: SBG, p. 363 – 391.

ALMEIDA, R. B. 2003. **Tectônica Rúptil na Região entre Açú e Upanema/RN, Bacia Potiguar**. Natal. Relatório (Graduação em Geologia), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. pág. 78.

BEZERRA, F. H. R., 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. 2005, **Estruturação Nectônica do Litoral de Natal- RN, com Base na Correlação entre dados Geológicos, Geomorfológicos e Gravimétricos**. Anais do IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. SBG Núcleo MG – Bol. 12: p. 317-321.

BARBOSA, R. V. N. 1984. **Evolução morfológica, ambiental e estrutural da área situada na confluência dos rios dos Cavalos e das Conchas, no litoral norte do RN.** Natal. Relatório (Graduação em Geologia), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pág. 139.

Bögli, A. (1969). **O Relevo Cárstico e a Geoespeleologia.** Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais. Editora: São Paulo. 1999. Cap. 9, p. 226.

BEZERRA, F. H. R.; VITA-FINZI, C. (2000) **How Active is a Passive Margin.** Paleoseismicity in northeastern Brazil. *Geology*, v. 28, n. 7, p. 591-594.

BEZERRA, F. H. R., 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. Estruturação Nectônica do Litoral de Natal-RN, com Base na Correlação entre dados Geológicos, Geomorfológicos e Gravimétricos. Anais do IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 2005. SBG Núcleo MG – Bol. 12: 317-321.

BERTANI, R. T., COSTA, I. G. & MATOS, M. D. (1990) **Evolução Tectono-Sedimentar, Estilo Estrutural e Habitat do Petróleo da Bacia Potiguar.** In: RAJA GABAGLIA, G. T., MILANI, E. J. (coords.). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro: PETROBRAS, p. 291-310.

BRASIL (1998). Ministério das Minas e Energia. DNPM/UFRN/PETROBRAS. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte.** Brasília. DNPM, 1998. Mapa col., 100 x 43 cm. Escala 1:500.000.

CASSAB, R.C.T. (2003). **Paleontologia da formação jandaíra, cretáceo superior da Bacia potiguar, com ênfase na paleobiologia dos gastrópodos,** Rio de Janeiro, p. 1-2.

CHOQUETTE, P. W.; L. C. PRAY. (1970). **Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates.** American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 54, 250 p.

CÓRDOBA, V. C., MENESES, M. R. F. & LIMA FILHO, F. P. – (1996) - **Fácies, sistemas deposicionais e diagênese da Formação Jandaíra, Neocretáceo, no extremo sudoeste da Bacia Potiguar, RN.** In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 4, Rio Claro. Anais... Rio Claro, UNESP, p. 107-110.

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, João Pessoa, (2002). Anais ... João Pessoa, SBG-Núcleo NE, p. 656.

COSTA NETO, L. X. (1985). **Geologia da Área entre Macauzinho e Boa Vista - Sul de Macau - RN.** 145 p. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. 82p.

CAVALCANTE, J. A. D. (1996). **Mapeamento Espeleológico.** 1ª. Edição. Ouro Preto: SSE – Sociedade Excursionista Espeleológica, 30p.

CPRM - (2005) - 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. Organizado por: MASCARENHAS J. C., BELTRÃO, B. A.; Souza Junior L. C.; PIRES, S. T. M., ROCHA, D. E. G. A. & CARVALHO, V. G. D. Recife, 11 p.

CECAV - (2007) - 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. Disponível em: <[HTTP://WWW.ibama.gov.br/cecav](http://www.ibama.gov.br/cecav)>.

CREMONINI, O. A. (1995). A Reativação tectônica da Bacia Potiguar no Cretáceo Superior. V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Gramado. p. 277-280.

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

DOURADO, A. C. (1989). **Petrografia Básica: textura, clasificación y nomenclatura de rocas**. Editorial Paraninfo, Madrid, Cap. 3., p. 78-92.

DUNHAM, R. J. (1962). IN: **Petrografia Básica: textura, clasificación y nomenclatura de rocas**. Editorial Paraninfo, Madrid, 1989. Cap.3, p. 78-92.

DEKE, G. H. (1969). **O Relevo Cárstico e a Geoespeleologia**. In: Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais. Editora: São Paulo. 1999. Cap. 9, p. 227.

FOLHA APODI (SB.24-X-C-VI). SUDENE - (1982) - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Mapa digital, colorido. Escala 1:100.000.

FOLK (1959, 1962). IN: **Petrografia Básica: textura, clasificación y nomenclatura de rocas**. Editorial Paraninfo, Madrid, 1989. Cap. 3., p. 78-92.

FORD, D. C. & WILLIAMS, P. W. (1989). **Patterns of cave passages**. In: Encyclopedia of caves. Edited by Dr. DAVID C. CULVER, American University, Washington DC, USA; and Dr. WILLIAM B. WHITE, Pennsylvania State University, University Park, USA, p. 438.

FONSECA, V.P. (1996). **Estudos Morfo-tectônicos na Área do Baixo Curso do Rio Açu (Açu-Macau) – Rio Grande do Norte**. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado, 103 p.

GIANNINI, P. C. F. (2003). Depósito e rochas sedimentares. **Decifrando a Terra**. 2°. Reimpressão. São Paulo: Oficina de Textos. Cap. 9, p. 167-190.

HACKSPACHER ET AL., (1985). In: 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.

IDEMA – (2005) Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente. **Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte**. Disponível em: <[HTTP://WWW.idema.gov.br](http://www.idema.gov.br)>.

JARDIM DE SÁ, E. F. (1994). **A Evolução Proterozóica da Província Borborema**. IN: Simp. Geolo. Do Nordeste. Natal. Atlas... Natal, Bol. Núcleo Nordeste da SBG. 9: 297-316.

LOCH, C. (1989). **A Interpretação de Imagens Aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 2ª. Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, p. 120.

LOWE, D. J. (1992). **O Relevo Cárstico e a Geoespeleologia**. In: Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais. Editora: São Paulo. 1999. Cap. 9, p. 226.

MATOS, R. M. D. (1992) **The Northeast Brazilian Rift System Tectonics**. P766 – 791.

MELLO, U. T. Afinamento crustal e suas implicações na formação da Bacia Potiguar. In: SEMINÁRIO DE TECTÔNICA DA PETROBRAS, 1, 1987, (TECTOS), Rio de Janeiro. Atas... Rio de Janeiro: PETROBRÁS/DEPEX. 1987. p. 190-220.

MOURA, E. N. (2004). **Mapeamento Estrutural na Região de Felipe Guerra - RN, Bacia Potiguar**. Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. 80p.

MILTON ANTÔNIO DA SILVA, MATTA e FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU (2007. Ed. livre, **Geologia estrutural**, notas de aula-graduação, Universidade Federal do Pará.

NOGUEIRA, F. C. C. **Método Ground Penetrating Radar (GPR) e Análise Estrutural Aplicados ao Estudo da Geometria Tridimensional de Estruturas Cenozóicas na Bacia Potiguar**. Fortaleza. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). DEGEO, UFC. p79.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; PONH, H. A. (1976). **Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms**. GSA Bulletin, v. 87, p. 1463-1469.

OLIVEIRA, D. C.; MATOS, R. M. D. & SOARES, U. M. (2005) **Contribuição ao Estudo das Estruturas Rasas na Bacia Potiguar: análise estrutural do afloramento Afonso Bezerra (RN) e adjacências**. Anais do IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. SBG Núcleo MG – Bol. 12: 306 – 311.

PROTERO, D. R. & SCHWAB, F. (1996) Carbonate Rocks. IN: **Sedimentary Geology: an introduction to sedimentary rocks and stratigraphy**. 2º printing. New York: W. H. Freeman and Company. Cap. 11, p. 231-254.

KARMANN, Ivo. (2003) "**Ciclo da Água, Água subterrânea e sua ação geológica**". In TEIXEIRA, Wilson et Alli. "Decifrando a Terra" (pg. 114-136). São Paulo: Oficina de Textos. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Dolina>,

SUGUIO, KENITIRO, (1937). O relevo cárstico e a geoespeleologia. IN: **Geologia do Quaternário e Mudanças Climáticas Ambientais**. Editora, São Paulo, 1999. Cap. IX. p. 219 – 232.

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

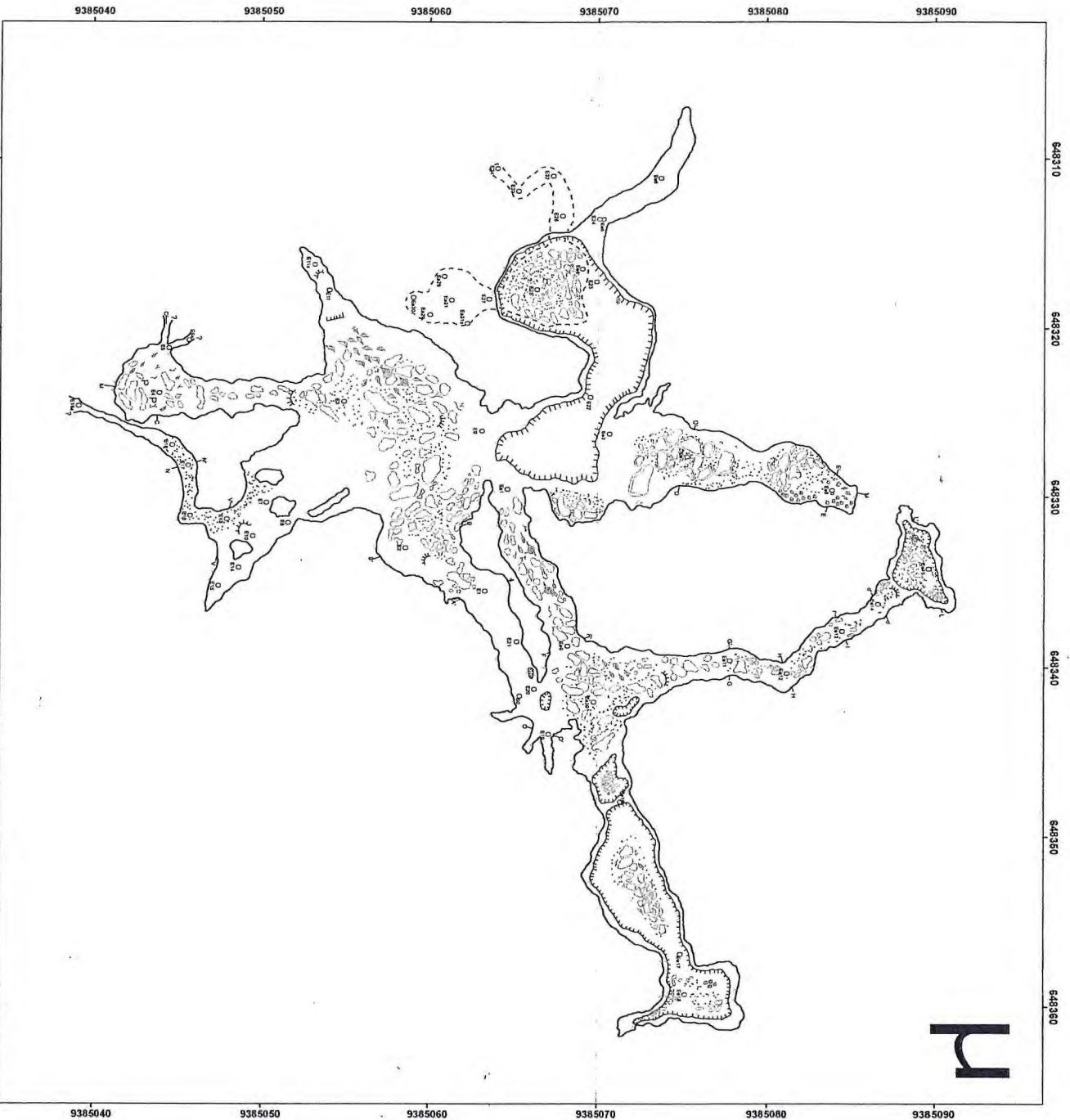
SRIVASTAVA, N.K. (1984). **Algas calcárias e seus ambientes deposicionais na Formação Jandaíra da Bacia Potiguar (RN) - Parte III**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 11, Natal. Atas..., Natal, SBG, Nucleo Nordeste, p.361-369.

VERÍSSIMO, C. U. V., PAIVA NETO, A. O., LESSA, F. G. N., NOGUEIRA, F. G.; MAGINI, C.; CÂMARA, J. R. F. (2006) **Potencial Espeleológico do Sítio João Pedro, Zona Rural e Cárstica do Apodi, RN**. XLIII Congresso Brasileiro de Geologia. 2006, Aracajú. Anais XLIII Congresso Brasileiro de Geologia. Aracajú: SBG – Núcleo Bahia – Sergipe. v. 1.

VERRÍSSIMO, V.U.C. (2006) **Laudo Técnico Sobre a Existência de Cavernas e Potencial Espeleológico do Sítio João Pedro, Zona Rural de Apodi/RN**. LAGETEC – Laboratório de Geotécnica. UFC, Fortaleza. 20p.

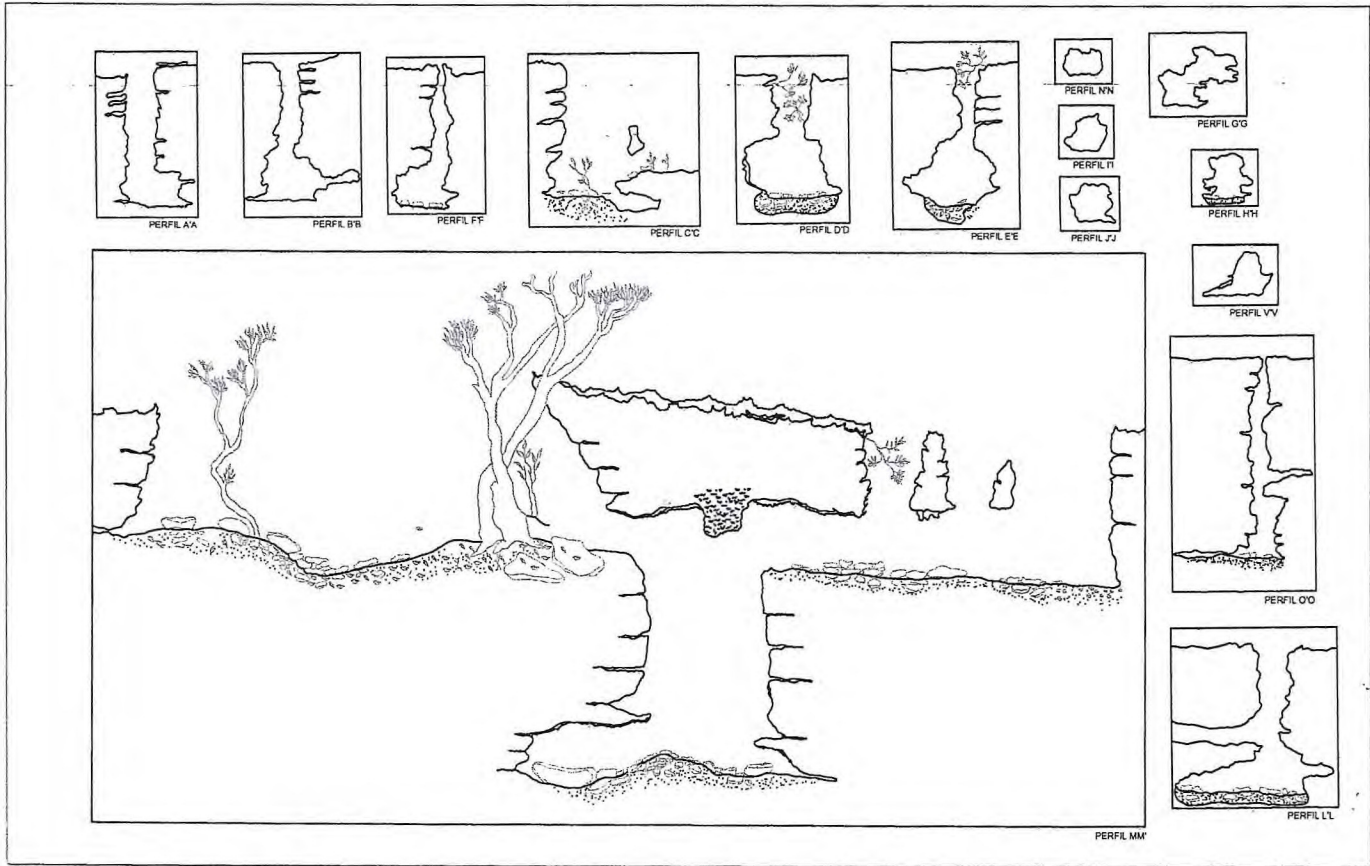
WLLIAMS, H., TURNER, F. J. & GILBERT, C. M. (1970). **Petrografia:** uma introdução ao estudo das rochas em seções delgadas. Traduzido por Ruy Ribeiro Franco. São Paulo-SP, Polígono e Editora da Universidade de São Paulo. 424p.

CAVERNA COMPLEXO SUÍÇO



Escala 1:125

DATUM: UTM-S-84
PROJEÇÃO: UTM
ZONA: 24S



CONVENÇÕES ESPELEOMÉTRICAS

	BASE FIXA		VEGETAÇÃO		DESNÍVEL ACENTUADO
	CONTORNO PRINCIPAL DA CAVERNA		ESTALAGITE		DEGRAU
	NÍVEL 1		BLOCOS SOLTOS		POÇO COM ABERTURA PARA UM NÍVEL SUPERIOR
	NÍVEL 2		AREIA		CORTINAS
	NÍVEL 3		COLUMNA		POÇO COM ABERTURA PARA UM NÍVEL INFERIOR
	NÍVEL MAIS ALTO		ODUVE-FLOR		OSSOS OU CONCHAS
	CONTORNO DA GALERIA NÃO TOPOGRAFADO OU INEXPLORÁVEL		TRAVERTINO		

	PROJETO: ESPELEOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAS CAVIDADES NATURAIS DE FELIPE GUERRA		
	NOME DA CAVIDADE: COMPLEXO SU/CC	LOCAL: LAJEDO DO ROSÁRIO	MUNICÍPIO UF: FELIPE GUERRA / RN
COORDENADA - ALTITUDE / ESTAÇÃO: 846.141 E, 0° 38' 53.33" N / 75m 0	DESENH. VERT. / PROJ. HORIZ. DA CAVIDADE: 276,0 m / DESCONTINUIDADE : 273,0 m	DESNÍVEL TOTAL: 1,4 m	
MÉTODO DE MapeAMENTO: BASE FLUTUANTE COM PÊNDULO	PRECISÃO: SCRA - 3C	LITOLOGIA: CALCÁRIO	
EQUIPE TOPOGRÁFICA: KELFRANK, ENCKEL, EDUARDO, CESAR VERISSIMO, BENTO E RAFAEL			
COORDENADOR DO PROJETO: CESAR U. V. VERISSIMO	LAYOUT: JEFFERSON LIMA	DATA DO MapeAMENTO: JANEIRO 2010	