**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004749

GEOLOGIA E GEOFÍSICA DO DIATREMA REDONDÃO, SW DO ESTADO DO PIAUÍ

Autor: RAIMUNDO MARIANO GOMES CASTELO BRANCO
Orientador: PROF. DR. BENJAMIM BLEY DE BRITO NEVES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO — 1989

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA E GEOFÍSICA DO DIATREMA
REDONDÃO, SW DO ESTADO DO PIAUI**

Autor: RAIMUNDO MARIANO GOMES CASTELO BRANCO
Orientador: PROF. DR. BENJAMIM BLEY DE BRITO NEVES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA E GEOTECTÔNICA

COMISSÃO JUGADORA

Presidente _____ Dr. B. B. de Brito Neves

Examinadores _____ Dr. C. D. R. Carneiro

_____ Dr. N. Ellert

A large, stylized handwritten signature in blue ink, likely belonging to Dr. B. B. de Brito Neves, written over a horizontal line.

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Dr. N. Ellert, written over a horizontal line.

SÃO PAULO — 1989

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GEOLOGIA E GEOFÍSICA DO DIATREMA REDONDÃO, SW DO ESTADO DO PIAUI

AUTOR: RAIMUNDO MARIANO GOMES CASTELO BRANCO
ORIENTADOR: PROF.DR. BENJAMIM BLEY DE BRITO NEVES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA E GEOTECTÔNICA

SÃO PAULO - 1989

A Alsimeire e Mariana
A Nonato e Zita
Dedico

SUMÁRIO

RESUMO
ABSTRACT

PAG.

CAPÍTULO I	01
Introdução	01
1.1 - Objetivos do Trabalho	01
1.2 - Localização e Acesso	02
1.3 - Meios e Dificuldades	04
1.4 - Abordagem Metodológica	05
1.5 - Agradecimentos	05
CAPÍTULO II	09
Trabalhos Anteriores	09
2.1 - Escala Regional	09
2.2 - Escala Local	13
CAPÍTULO III	16
Caracterização da Área	16
3.1 - Aspectos Fisiográficos	16
3.1.1 - Geomorfologia	16
3.1.2 - Hidrografia	17
3.1.3 - Clima	17
3.1.4 - Solos e Vegetação	18
3.1.5 - Aspectos Sócio-Econômicos	19
CAPÍTULO IV	20
Geologia Regional	20
4.1 - Considerações Gerais	20
4.2 - O Embasamento Pré-Cambriano e as Sequências Eo-Paleozóicas	21
4.3 - Grupo Serra Grande	21
4.4 - Formação Pimenteiras	22
4.5 - Formação Cabeças	22
4.6 - Formação Longá	23
4.7 - Formação Poti	23
4.8 - Formação Piauí	24
4.9 - Formação Pedra do Fogo	26
4.10 - Formação Sambaíba	27
4.11 - Formação Mosquito	28
4.12 - Formação Areado	29
4.13 - Formação Urucuia	30
4.14 - Sedimentos Inconsolidados	30
4.15 - Geologia Estrutural	31
4.16 - Recursos Minerais	32
CAPÍTULO V	34
Estudos em Produtos de Sensoriamento Remoto	34
5.1 - Aerogeofísica	34

5.1.1 - Considerações Gerais e Procedimentos	34
5.1.2 - Interpretação Aeromagnetométrica	35
5.2 - Análise de Lineamentos	37
5.2.1 - Considerações Introdutórias	37
5.2.2 - Conceitos Fundamentais e Procedimentos	38
5.2.3 - Discussão dos Resultados	43
5.2.3.1 - Mapa de Lineamentos	43
5.2.3.2 - Mapa de Rosetas	44
5.2.3.3 - Mapa de Estruturas Anômalas	46
5.3 - Análise Crítica aos Estudos por Sensoriamento Remoto	56
 CAPÍTULO VI	 60
Geologia da área do Redondão	60
6.1 - Aspectos Introdutórios	60
6.2 - Condicionamento Geológico	61
6.2.1 - A Sequência Permo-Carbonífera	61
6.2.1.1 - Formação Piauí	63
6.2.1.2 - Formação Pedra do Fogo	67
6.2.2 - Intrusivas Kimberlíticas	72
6.2.2.1 - Aspectos Gerais	72
6.2.2.2 - Petrografia das Brechas Kimberlíticas	74
6.2.2.2.1 - Mineralogia	76
Minerais de Argila	76
Carbonato	77
Clorita	77
Talco	80
Quartzo	80
Serpentinas	81
Flogopita	81
Opacos	83
Piroxênios	83
Granada	85
Biotita	86
Apatita	86
Perovskita	86
6.2.2.3 - Natureza da Rocha	89
6.2.3 - Depósitos Cenozóicos	91
6.2.3.1 - Lateritos	91
6.2.3.2 - Colúvio	92
6.2.3.3 - Aluviões	92
6.2.3.4 - Coberturas Arenosas Indivisas	93
6.2.4 - Aspectos de Geologia Estrutural	93
6.3 - Prospeção Gammaespectrométrica	95
6.3.1 - Conceitos Fundamentais e Procedimentos	96
6.3.2 - Discussão dos Resultados	98
6.4 - Aspectos Geológicos de Outros Diatremas Próximos ao Redondão	104
6.4.1 - Os Diatremas Apicuns	105
6.4.2 - Os Diatremas Belmonte	107
6.4.3 - Outras Estruturas Circulares	108
 CAPÍTULO VII	 109
Geologia de Sub-Superfície	109
7.1 - Magnetometria	109

7.1.1 - Aspectos Essenciais e Procedimentos	109
7.1.2 - Interpretação dos Perfis	112
7.2 - Eletrorresistividade	120
7.2.1 - Aspectos Essenciais e Procedimentos	120
7.2.2 - Interpretação das SEV's	123
7.3 - Análise Crítica aos Resultados da Aplicação dos Métodos Geofísicos	135
CAPÍTULO VIII	137
Integração dos Dados Geológicos e Geofísicos	137
CAPÍTULO IX	141
Principais Conclusões	141
Referências Bibliográficas	144

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PAG.
01: Localização e Acesso às áreas de Trabalho	03
02: Coluna Estratigráfica Simplificada da Bacia do Maranhão	14
03: Mapa de Lineamentos	
04: Mapa de Rosetas	
05 a 22: Gráficos de Barras usados na Análise de Lineamentos	47-55
23: Mapa de Estruturas Anômalas	
24: Mapa Geológico da Área do Redondão e Adjacências	
25: Seção Geológica Esquemática do Boqueirão do Mateiro (NW do Redondão)	65
26: Mapa de Localização dos Levantamentos Geofísicos	
27: Perfis de Contagem Total, e radiações de K,U e Th ao Longo da Linha Zero no Redondão	99
28 a 31: Mapas de Isovalores das Contagens de K,U, Th e Contagem Total, respectivamente	100-103
32: Esboço Geológico dos Diatremas Apicuns e Belmonte	106
33: Mapa de Anomalias Magnéticas do Redondão (Levantamento Terrestre)	111
34: Modelagem Magnetométrica para o Perfil Magaer-1	114
35: Modelagem Magnetométrica para o Perfil Magter-1	116
36: Modelagem Magnetométrica para o Perfil Magter-2	118
37: Bloco Diagrama Esquemático Idealizado para o Redondão	121
38 a 43: Modelagens das SEV s efetuadas no Redondão	124-129
44 e 45: Modelagens das SEV s efetuadas nas bordas do Redondão	130-131
46: Esboço Geológico do Diatrema Redondão e sua Estruturação em profundidade	

LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA	PAG.
01: Vista Panorâmica do Vale do Rio Uruçui	25
02: Parte de Imagem de Radar do SW do Piauí	57
03: Vista Panorâmica do Redondão	62
04: Parte de Imagem de Satélite do Redondão	64
05: Escarpa da Serra das Guaribas	64
06: Arenitos Piauí no Interior do Redondão	66
07: Vale do Riacho do Mateiro (NW Redondão)	66
08: Aspectos dos Arenitos Piauí	68
09: Arenito Pedra do Fogo nas Bordas do Diatrema	68
10: Afloramento da Formação Pedra do Fogo	70
11: Pacotes Piauí e Pedra do Fogo dobrados	70
12: Coberturas Coluviais no Redondão	71
13: Brechas Kimberlíticas no Redondão	71
14: Brechas Kimberlíticas no Norte do Redondão	72
15: Nódulos Ultramáficos no Redondão	72
16: Seção de Brecha Kimberlítica	73
17: Depósitos Lateríticos do Redondão	73
18: Amostra de Laterito	78

LISTA DE FOTOMICROGRAFIA

FOTOMICROGRAFIA	PAG..
01: Cristal de Calcita	78
02: Fragmentos de Clorita	79
03: Cristais de Quartzo	79
04: Pseudomorfos de Olivina	82
05: Opacos Dispersos na Matriz	82
06: Opacos com Bordas de Reação	84
07: Cristal de Granada	84
08: Lamela de Biotita	87
09: Cristal de Apatita	87
10: Cristal de Perovskita	88
11: Pseudomorfo de Olivina	88
12: Cristal de Zircão	90
13: Cristal de Plagioclásio	90

LISTA DE TABELAS

TABELAS

PAG.

01: Tabela Usada na Análise de Lineamentos	40
02: Resultados de Interpretações das SEV s	133

LISTA DE ANEXOS

ANEXO

01: Mapa Geológico do SW do Estado do Piauí	
02: Mapa de isoanômalas da intensidade magnética total com interpretação qualitativa da região SW do Estado do Piauí	

RESUMO

O presente estudo foi conduzido numa área de 13 Km² situada no SW do estado do Piauí, Nordeste do Brasil. Faz parte da pesquisa estudos geológicos gerais de uma área de 32.000 Km² envolvendo a borda sul da Bacia do Maranhão e onde a primeira está inserida. O objetivo principal foi a integração de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto do diatrema kimberlítico do Redondão com o intuito de conhecer a geologia de superfície, estruturação do corpo em profundidade e contexto estrutural envolvido na região de ocorrência. Foram aplicados os métodos magnetométrico, gamaespectrométrico, e de eletrorresistividade integrados com uma metodologia de análise de lineamentos e estudos gerais em produtos de sensoriamento remoto. Com base na integração e interpretação dos dados e na utilização de programas para computadores, obteve-se um modelo para o corpo do Redondão. O diatrema Redondão, constituído por brechas kimberlíticas de conduto, apresenta níveis ou horizontes bem caracterizados nas sondagens elétricas verticais, tem forma de funil (pipe) que se estende a profundidades da ordem de 2 Km, de onde se originou. A fonte de alimento do conduto é um dique (dique infra-diatrema) com cerca de 2 Km de espessura e 20 Km de extensão, orientado para NE e encaixado em faixas cataclásticas do Lineamento Transbrasiliiano. Na borda sul da bacia são marcantes os lineamentos estruturais NE e NW, detectados na análise de lineamentos e interpretação de mapas aeromagnetométricos. São também discutidos aspectos petrográficos

das litologias da área do Redondão e da borda sul da bacia, aspectos de geologia estrutural e de geofísica envolvidos na área.

ABSTRACT

The present study involves an area with 13 Km² situated in the South of Piauí State, Northeastern Brazil. General geologic studies have been done in the South border of Maranhão Paleozoic Basin with an area of 32.000 Km². Its main objective was the interaction between geologic, geophysics and remote sensing data in the Redondão Kimberlitic body. The knowledge of its superficial and subsuperficial structures was possible with magnetometric, gamaespectrometric and eletrical surveys integrated with studies of lineaments in remote sensing products. Computer programs were used in the treatment and interpretation of data. A model was proposed to the Redondão structure. There are typical kimberlitic breccias, with levels or horizons specified by electrical method; it has a funnel shape (pipe) that goes to 2 Km under the actual surface. Under the pipe, there are a feeder dike, of kimberlitic nature, with 2 Km thickness and 20 Km in length oriented to NE direction. This dike is along cataclastic zone of the Transbrasiliano Lineament. In the South border of the basin are dominants NE and NW structural trends. This study presents also petrographyc aspects of rocks from Redondão area and from the South border of Maranhão basin, structural geologic aspects and regional geophysical interpretation.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - OBJETIVOS DO TRABALHO

A realização deste trabalho faz parte das atividades acadêmicas do Curso de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo a nível de Mestrado. Tem por objetivo apresentar resultados de um trabalho de geologia e geofísica efetuado no diatrema kimberlítico do Redondão, situado na região de Santa Filomena (Piauí), borda sul da Bacia do Parnaíba, a partir de um estudo integrado envolvendo:

- Fotointerpretação e análise do padrão de lineamentos da borda sul da Bacia do Parnaíba em produtos de sensoriamento remoto (imagens de radar, fotografias aéreas e imagens de satélite), visando identificar estruturas de importância geológica, tectônica e econômica;

- Interpretação qualitativa de mapas aeromagnetométricos da borda sul da bacia. Interpretação quantitativa da anomalia na região do Redondão;

- Mapeamento geológico do diatrema kimberlítico do Redondão, visando caracterizar litologias, relações de contato, estruturas, etc;

- Estudo integrado de geofísica de campo envolvendo gamaespectrometria, altimetria, magnetometria e eletrorresistividade, com o objetivo de discriminar áreas no interior do diatrema, conhecer a topografia, propor modelo sobre

a estruturação do corpo kimberlítico em profundidade e tentar definir níveis litológicos baseado em eletrorresistividade.

1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

Neste trabalho foram individualizadas duas áreas referidas, respectivamente, como "regional" e "local". A geologia regional, baseada fundamentalmente na revisão bibliográfica, alguns perfis geológicos e fotointerpretação, abrange a área delimitada pelos paralelos $8^{\circ}30'$ e $10^{\circ}00'$ de latitude sul e pelos meridianos $44^{\circ}30'$ e $46^{\circ}00'$ de longitude oeste de Gr. Nesta área regional está inserida a área da geologia local delimitada pelos paralelos $9^{\circ}15'00''$ e $9^{\circ}16'12''$ de latitude sul e pelos meridianos $45^{\circ}32'10''$ e $45^{\circ}33'48''$ de longitude oeste de Gr. A primeira compreende um total de 32.000 Km^2 e a segunda, onde se localiza o Redondão perfaz 13 Km^2 . A área regional envolve os municípios de Santa Filomena, Alto Parnaíba, Bom Jesus, Gilbués e Redenção no estado do Piauí-borda sul da Bacia do Maranhão.

O acesso pode ser feito através da Rodovia PI.250, partindo-se de Teresina rumo ao sul do estado do Piauí, até a cidade de Gilbués, situada na porção centro-sul da área regional, de onde, em direção NNW, segue-se por 90 Km em estrada carroçável atingindo-se a área do diatrema Redondão. O acesso pode ainda ser feito, partindo-se de Fortaleza, pela BR.020 até a cidade de Floriano e depois pela PI-250 até Gilbués, ou ainda de Brasília para Gilbués ao longo desta mesma rodovia. O acesso pode ser feito também através da cidade de Balsas até Alto Parnaíba e Santa Filomena. A figura 01 mostra a localização das áreas de

trabalho e os meios de acesso.

1.3 - MEIOS E DIFICULDADES

É natural que num trabalho de pesquisa desta natureza surjam dificuldades, sejam inerentes à instituição, recursos financeiros, de ordem particular e fundamentalmente aquelas inerentes ao próprio trabalho. As dificuldades de acesso a área, do mapeamento e, principalmente aquelas com problemas de equipamentos geofísicos tornaram este trabalho por demais prolongado.

A primeira etapa de campo consistiu de um reconhecimento, programações e do mapeamento geológico do diatrema Redondão e adjacências. Na segunda etapa de campo, quando deveriam ser efetuados os levantamentos gamaespectrométrico, altimétrico e magnetométrico, apenas a gamaespectrometria e um perfil altimétrico foram realizados. Nesta etapa foram visitadas outras ocorrências semelhantes ao Redondão observadas nos trabalhos fotointerpretativos. Na terceira etapa de campo foram executadas a magnetometria e as sondagens elétricas verticais. Cada etapa de campo teve uma duração média de 20 dias, totalizando 60 dias de campo.

O grau avançado de alteração das rochas do Redondão não permitiu análises químicas adequadas e causou dificuldades na confecção de seções delgadas.

Este trabalho foi realizado com recursos próprios do autor e com a contribuição de várias instituições.

1.4 - ABORDAGEM METODOLÓGICA

A metodologia utilizada seguiu às seguintes etapas: (1) pesquisa bibliográfica referente a borda sul da Bacia do Maranhão e geologia de kimberlitos. O mapa da geologia regional foi baseado em interpretação de imagens de radar na escala 1:250.000 posteriormente reduzidas para 1:500.000, na compilação de trabalhos anteriores e perfis geológicos regionais efetuados pelo autor; (2) análise sistemática em imagens de radar de lineamentos e estruturas circulares da borda sul da bacia; (3) fotointerpretação e análise de lineamentos na área do Redondão em fotografias aéreas convencionais e imagens de satélite; (4) mapeamento geológico do diatrema Redondão e adjacências na escala 1:2.500 posteriormente reduzido para 1:20.000. Coleta de amostras; (5) levantamentos geofísicos terrestres de forma convencional envolvendo gamaespectrometria, magnetometria e eletrorresistividade; (6) interpretação de mapas aeromagnetométricos na escala 1:100.000 da borda sul da bacia posteriormente reduzidos para 1:500.000; (7) interpretação quantitativa com auxílio de computador de perfis magnetométricos e das sondagens elétricas; (8) análise petrográfica de seções delgadas de amostras do Redondão; e (9) elaboração de mapas e redação do trabalho.

1.5 - AGRADECIMENTOS

O autor deseja registrar inicialmente o seu mais

sincero agradecimento ao Professor José Marcio Lins Marinho, Professor Adjunto do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, pelo incentivo, sugestões e orientação dedicada desde o início desta pesquisa.

Agradece ao Professor Doutor Benjamin Bley de Brito Neves, Professor Adjunto do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo e do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco pela orientação dedicada ao trabalho e ao Professor Doutor Darcy Svisero pela fase inicial de orientação.

O autor apresenta seus agradecimentos à Universidade Federal do Ceará, ao programa PICD/CAPEs e ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. A primeira instituição permitiu o afastamento por três anos das atividades de ensino, a segunda pelo suporte financeiro através de bolsa para curso de Pós-Graduação e, a terceira, por ter acolhido o autor durante o curso no IG, possibilitando o uso de sua infra-estrutura.

Esta pesquisa contou com a colaboração imprescindível dos seguintes órgãos e pessoas envolvidas: NUCLEBRAS-Empresas Nucleares Brasileira através do Dr. Geraldo Ayres que colaborou com o empréstimo de cintilômetro, espectrômetro de raios-gama e viatura para uma das etapas de campo, NUTEC-Núcleo de Tecnologia do Estado do Ceará através do Dr. Julio Sarmiento de Meneses e Ricardo Cruz Vasques que colaboraram com o empréstimo de um magnetômetro e à CONDEPI-Companhia de Desenvolvimento do Piauí através do Dr. Aurimar de Barros Nunes e Cleodon Urbano Filho que colaboraram com uma viatura para uma das etapas de campo.

Ao Dr. José Ferreira Diretor do DNPM de Fortaleza o autor presta agradecimentos, pela contribuição na etapa de reconhecimento. As fotografias aéreas utilizadas neste trabalho pertencem a CPRM de Fortaleza. A Dra. Hildelurdes Sandrilá que colaborou na petrografia das amostras, agradecimentos são também prestados.

Na parte referente à imagens de satélite-produtos coloridos e análise de fraturas, o autor agradece a contribuição do Dr. Raimundo Almeida Filho do INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos, São Paulo. O Dr. Francisco Ferreira do IPT-SP colaborou por diversas oportunidades na parte de magnetometria.

Colaboraram em diversas oportunidades nesta pesquisa os Professores José Vitorino de Souza e Marcos José Nogueira da Universidade Federal do Ceará.

O autor registra o apoio do Sr. Eurico e sua família, únicos moradores da área do trabalho (Redondão). Sem a contribuição desta família as tarefas de campo teriam sido bem mais árduas. Colaboraram nas etapas de campo os motoristas Ignácio (CONDEPI) e Catirina (NUCLEBRÁS), geólogo Castor (CONDEPI), técnico Sérgio Aparecido (NUTEC) e o estudante Adriano de Pinho Lima (UFC). Nas etapas de impressão, composição e desenho colaboraram o Núcleo de Processamento de Dados da UFC, especialmente na pessoa de Rosângela, o desenhista Dedé do Centro de Ciências e o Sr. Antônio Nizam do DEGEO/UFC.

Ao Sr. Raimundo Nonato Castelo Branco e Sra. Zita Gomes Castelo Branco o autor consigna agradecimentos pelo apoio e dedicação ao longo de tantos anos.

Agradeço a minha esposa Alsimeire de Pinho Lima e a minha filha Mariana, de quem tanto tempo foi tomado para a conclusão deste trabalho.

Agradecimentos são prestados a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

C A P Í T U L O   I I

TRABALHOS ANTERIORES

2.1 - ESCALA REGIONAL

O Conselho Nacional do Petróleo, criado no final da década de 30, foi um dos grandes responsáveis pelo início das pesquisas geológicas na Bacia do Maranhão. Com a criação da Petrobrás, em 1953, as pesquisas exploratórias se intensificaram com vistas à prospecção de hidrocarbonetos. Reconhecimentos geológicos, mapeamentos de semi-detálhe e de detalhe e levantamentos geofísicos foram levados a efeito. A realização de dezenas de poços profundos foi uma das maiores contribuições para o conhecimento estratigráfico da bacia.

Mesner & Wooldridge (1964) apresentaram trabalho envolvendo a área delimitada como regional neste trabalho e deve-se a estes autores a revisão estratigráfica, resultado de trabalhos desenvolvidos pela Petrobrás. Foram identificadas as seqüências sedimentares do final do Paleozóico, que têm forte expressão na borda sul da bacia. Utilizando-se de dados de poços várias unidades litoestratigráficas tiveram suas espessuras e ambientes deposicionais definidos. Os autores também estudaram e interpretaram os derrames basálticos da porção central da bacia apresentando a distribuição dos diques, derrames e sills. Exceto os imensos derrames da região de Porto Franco-Grajau-Fortaleza dos Nogueiras, as outras ocorrências estão ao longo ou próximas da zona da geossutura denominada Lineamento Sobral-Pedro II

(Kegel 1956) ou Lineamento Transbrasiliiano (Schobbenhaus et al. 1974).

Aguiar & Nahass (1969) apresentaram, em relatório à Petrobrás, um mapa estrutural na escala 1:1.000.000, no qual foram evidenciados importantes traços estruturais da bacia, lineamentos e tendências regionais associados com o magmatismo fissural Juro-Cretáceo. Sugeriram que o basalto Mosquito que aflora a SW da área seria do Triássico Médio e está sobreposto à Formação Sambaíba. O basalto chamado Sardinha teria idade Cretácea Inferior e estaria acima da Formação Corda, do Jurássico.

Para Aguiar (1971), que fez uma revisão detalhada da coluna estratigráfica de Mesner & Wooldridge (1964) o Grupo Serra Grande estaria associado inteiramente ao Devoniano, seguido pelas Formações Pimenteiras, Cabeças e Longá. Deve-se a Aguiar (1971) o conhecimento das formações Mesozóicas da porção central da bacia.

Resende (1971) estudou o mecanismo de intrusões básicas nas bacias do Amazonas e Maranhão e para este autor o magmatismo básico evidenciado nas porções central, leste e a sul da área em apreço estaria relacionado a sistemas de fraturas colaterais do Triássico ao Cretáceo. São importantes estruturas derivadas de rifts que poderiam, na concepção daquele autor, até ser bem mais antigas.

Cunha & Carneiro (1972) efetuaram estudo fotointerpretativo de detalhe no centro-oeste da bacia e próximo à área em apreço que contribuiu para um melhor conhecimento do arcabouço tectônico da Província. Diversas geossuturas foram

identificadas como o Lineamento Transbrasiliiano, arqueamentos, individualizações do magmatismo Triássico a oeste e Cretáceo a leste e sul. A vários lineamentos estes autores associaram movimentos transcorrentes.

Para Soares et al. (1974) a evolução estrutural da bacia deve ser analisada em função da geometria dos pacotes preservados. As denominadas "sequências sedimentares" estão separadas por discordâncias. A interpretação pressupõe 5 fases, onde cada sequência constitui registro de um ciclo tectônico. Assim, a "sequência alfa" engloba depósitos do Cambriano ao Ordoviciano podendo estar representada por sedimentos pré-Serra Grande (similares a sedimentos Jaibaras) não aflorantes e característicos do estágio de transição da plataforma. A "sequência beta" corresponderiam depósitos do início da estabilização da plataforma (possivelmente base do Serra Grande ?) e representaria o início da sedimentação cratônica. Para Caputo & Lima (1984) a seção basal do Serra Grande é Ordoviciano-Siluriana. A fase de subsidência mais pronunciada seguida de estabilidade e novas retomadas de subsidência corresponderia à "sequência gama" de deposição. Para aqueles autores aqui estariam os sedimentos Devonianos dos Grupos Serra Grande e Canindé. A "sequência delta", correspondente ao último ciclo tectonosedimentar do Paleozóico, estaria representada pelas sequências essencialmente clásticas e continentais das Formações Piauí, Pedra do Fogo e Motuca.

Soares et al. (op. cit) consideram como "sequência delta-A" os depósitos Mesozóicos que precederam à atividade

vulcânica, portanto, aqueles da Formação Sambaíba. O magmatismo básico fissural reflete soerguimento do continente anterior à ruptura e são considerados associações estranhas às sequências sedimentares. A "sequência epsilon" sucede o vulcanismo sendo representada pelas formações Pastos Bons, Corda, Codó e partes da Formação Itapecuru. A sedimentação Terciária representaria a "sequência zeta" de deposição e são coberturas predominantemente areno-argilosas.

Sial (1975) comprovou em campo as relações estratigráficas entre as rochas basálticas e sedimentares constatadas por Aguiar & Nahass (1969), assumindo que o magma originador dos derrames e sills formou-se a pouca profundidade do manto de forma semelhante ao que ocorre abaixo das cadeias oceânicas.

Fundamentados em estudos petrográficos, geoquímicos, bio-crono-litoestratigráficos e análise ambiental dos depósitos Siluro-Devoniano-Carboníferos, Carozzi et al. (1975) identificaram áreas tectonicamente ativas ao longo do Lineamento Transbrasiliano, com forte deposição sedimentar. Vários lineamentos apontados por outros autores foram comprovados e outros acrescentados.

Caldasso & Hama (1978) concluíram que a primeira atividade ígnea na bacia corresponderia à abertura do Atlântico Norte e a segunda à separação dos continentes. O trabalho foi baseado em 45 determinações radiométricas.

CPRM/PROSPEC (1978) efetuaram recobrimento aerogeofísico na área envolvendo magnetometria e gamaespectrometria mas os dados deste projeto foram interpretados

apenas parcialmente.

Coimbra (1983) apresentou trabalho sobre geoquímica e sedimentologia do Permo-Triássico da bacia do Maranhão, onde foi identificado o "Arqueamento de Alto Parnaíba" a NW da área, responsável pela separação de várias unidades sedimentares. Para aquele autor tal arqueamento iniciou-se no Permiano, adquiriu caráter positivo no Permiano Superior restringindo sua deposição ao norte da área, sendo também responsável pela discordância da Formação Sambaíba sobre Pedra do Fogo. O arqueamento teria ainda influenciado no magmatismo básico Juro-Cretáceo como estrutura fortemente positiva. Várias formações Cretáceas estariam também separadas pelos efeitos da estrutura.

Cordani et al. (1984) e Cunha (1986) efetuaram estudos de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos da bacia e sobre seu arcabouço tectônico. Estes autores identificaram zonas catacladasas pelo Lineamento Transbrasiliiano que cruza a área de SW para NE e outras geossuturas que cortam a área em direção NW.

Na figura 02 é apresentada a coluna estratigráfica simplificada da Bacia do Maranhão.

2.2 - ESCALA LOCAL

Embora vários trabalhos em escala regional tenham sido efetuados na área, inclusive relatórios internos da Petrobrás de circulação restrita, poucos foram desenvolvidos na área de ocorrência do diatrema Redondão e adjacências.

ERA	PERÍO-DO	SÉRIE	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	LITOLOGIA	DESCRIÇÃO
CENOZOICO	TERCIÁRIO (QUAT.)		COBERTURA		Argilas, areias, cascalhos
			COBERTURAS SEDI-MENTARES INDIVISAS		Material areno-argiloso, coberturas arenosas, detriticas e lateriticas. Depósito de talude.
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	ITAPECURU		Arenito avermelhado, argiloso com níveis de siltito e argilito.
		INFERIOR	GRACODÓ-JAÚ		Gonglomerados, folhelhos, arenitos e siltitos carbonosos
			SARDINHA		Basaltos pretos, amigdaloidal (diques e soleiras).
	JURÁSSICO		CORDA		Arenito arroxado com nível de siltito e folhelho localmente fossilífero. Horizontes de silex e conglomerado basal
			PASTOS BONOS		Arenito branco a esverdeado com intercalações de folhelhos e siltitos fossilíferos, estratificação cruzada, conglomerados e arenitos vermelhos a esbranquiçados
			MOSQUITO		Basaltos pretos, verdes, afaníticos e amigdaloidais (derrames).
			SAMBAÍBA		Arenito avermelhado, róseo, creme e esbranquiçado, fino a médio.
	TRIASSICO				
PALEOZOICO	PERMIANO	SUP.	MOTUCA		Arenito avermelhado, fino a médio, com intercalação de siltito argiloso e folhelho.
		INF. MED.	PEDRA DO FOGO		Arenito vermelho, fino a médio, argiloso; siltito violáceo, argiloso; folhelhos e siltitos esverdeados, bem laminados, níveis de calcário e silex com faixas oolítica e nodulares.
	CARBONÍFERO	SUPERIOR	PIAUI		Arenito avermelhado a esbranquiçado, estratificação cruzada. Siltito, argilito e folhelhos vermelhos, homogêneos, nível degado de silex no topo.
		INF.	POTI		Arenito esbranquiçado a amarelado, com intercalações de siltito e folhelhos.
	DEVONIANO	MED. SUP.	LONGÁ		Folhelhos e siltitos cinza-escuros, pretos e arroxados, homogêneos ou bem laminados.
			CABEÇAS		Arenitos esbranquiçados e arroxados com níveis de siltito e folhelho.
			PIMENTEIRAS		Alternância de arenitos cremes a esverdeados e siltitos e folhelhos.
		INFERIOR	SERRA GRANDE		Conglomerados heterogêneos, arenitos claros, elásticos finos.
	SILURIANO				
PRECAMBRIANO			EMBASAMENTO		Migmatitos, gnaisses, quartzitos, xistos, filitos, calcários, ardósias, granitos, etc.

FIG.02 : COLUNA ESTRATIGRÁFICA SIMPLIFICADA DA BACIA DO MARANHÃO. BASEADA EM COUTINHO ET AL. (1982,1986).

O primeiro trabalho que reportou as ocorrências dos diatremas Redondão e Apicuns foi realizado pela Petrobrás, em meados da década de 60. Melo & Porto (1965) levantaram a hipótese do Redondão corresponder a um corpo kimberlítico semelhante àqueles da África do Sul.

Ellert (1971) descreveu resumidamente a morfologia do Redondão, registrando a ocorrência de rochas máficas alteradas e também associou tais litologias a kimberlitos típicos.

No Projeto Gilbués do DNPM/CPRM foi efetuado levantamento geológico do Redondão, realizadas análises petrográficas e químicas ainda insuficientes para comprovar a natureza kimberlítica da intrusão. Os resultados do Projeto Gilbués foram apresentados por Silva et al. (1972).

Nos trabalhos de fotogeologia da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (Schobbenhaus et al. 1974) foram identificadas 10 estruturas circulares, entre elas as do Redondão e Apicuns.

Deve-se a Svisero et al. (1977) a caracterização química do Redondão como kimberlito típico. A pesquisa baseou-se em análises químicas por meio de microsonda eletrônica em minerais como piropo, diopsídio cromífero e ilmenita magnesiânica procedentes do diatrema. Os autores também identificaram no interior do corpo xenólitos de granada-lherzolito de origem mantélica.

Oliveira & Prazeres (1983) estudando os depósitos diamantíferos em terrenos Pleistocênicos da região de Gilbués, no SE da área, sugeriram que tais depósitos estariam geneticamente associados a fontes kimberlíticas primárias.

C A P Í T U L O   I I I

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 - ASPECTOS FISIOGRAFICOS

3.1.1 - GEOMORFOLOGIA

As características geomorfológicas nesta porção da bacia são influenciadas por estruturas que revelam predomínio de modelos horizontais e/ou sub-horizontais (monoclinais) configurando relevo tabuliforme (chapadas e chapadões) e cuestiforme. Os topos evidenciam superfícies de erosão escalonadas, que constituem aplainamentos oriundos de processos de pediplanação.

Com base nas superfícies descritas para o Brasil Oriental por King (1956) é possível identificar níveis correspondentes aos altos interflúvios (Superfície Sul-Americana); médios interflúvios associados à Superfície Velhas e baixos interflúvios correlacionáveis ao Ciclo Paraguaçu. Estas superfícies estiveram submetidas, desde fins do Cretáceo e ao longo do Terciário, aos efeitos de movimentos epirogenéticos conjugados aos processos degradacionais de pediplanação.

Nas Chapadas e nos Chapadões que constituem o Planalto Sul da bacia a altitude média varia entre 300 e 500 m e localizadamente algumas áreas possuem altitudes superiores a 600 m (Moreira 1977). Alguns canyons retilíneos com fundos achatados e encostas sub-verticais são encontrados na região da Serra das Guaribas. Os Chapadões basálticos afloram apenas na porção SW da

área sendo importantes pelo interesse pedológico.

São comuns, como será visto posteriormente, formas circulares de dimensões reduzidas esculpidas nos sedimentos Paleozóicos, caracterizadas por cristas de arenito/silexito ou então formas do tipo caldeira ou diatrema como é o caso particular do diatrema Redondão.

3.1.2. - HIDROGRAFIA

Os principais cursos de água da região são o Rio Parnaíba no extremo oeste e os rios Gurgueia, Uruçui Preto e Uruçui Vermelho na porção central. O Rio Parnaíba é perene, e os demais, temporários. Na verdade o Rio Parnaíba está numa zona de transição, pois seus afluentes da margem direita são sertanejos e têm regime intermitente.

Exceto o Rio Parnaíba, que tem orientação NNE, todos os cursos de água têm orientação NE e NW, sendo a rede de drenagem de menor porte aquela preferencialmente orientada para NW. De modo regional pode-se caracterizar uma drenagem paralela a sub-paralela com padrões dendríticos localizados (Steffan 1977).

3.1.3. - CLIMA

Como em todo o território brasileiro situado no Hemisfério Austral, na área em estudo os meses de Junho e Julho são os de temperatura mais amena com a mínima de 8 °C e médias entre 10 ° e 20 °C. Durante o verão a temperatura sobe acima de 36 °C e, em termos de máximas absolutas, no período de setembro a

Janeiro, já foram registradas temperaturas em torno de 40^o C tornando impraticável campanhas de campo no horário de 11 às 14 horas (Nimer 1977).

As precipitações anuais são da ordem de 750 a 1250 mm e a duração do período seco varia de 3 a 8 meses. A diferenciação climática enquadra-se como clima quente semi-úmido.

3.1.4. - SOLOS E VEGETAÇÃO

Predominam o Latossolo Vermelho-Amarelo com textura média, Areias Quartzosas e os Solos Litólicos, estes caracterizados por baixa fertilidade. Pode-se ainda identificar os Solos Aluviais Eutróficos que ocorrem marginando os cursos de água.

O Latossolo Vermelho-Amarelo com textura média é um solo profundo a muito profundo, fortemente drenado, de textura maciça e baixa fertilidade. Ocorre nas porções mais planas e elevadas da área e provém da decomposição de arenitos.

As Areias Quartzosas são solos permeáveis com textura leve e baixo conteúdo em argila.

Os Solos Litólicos são solos rasos onde o horizonte "A" repousa diretamente sobre a rocha (Martins et al. 1973).

Na região do Redondão destacam-se Solos Litólicos Vermelhos nas bordas do diatrema, Latossolo e Areias Quartzosas nas adjacências, Solos Aluviais Eutróficos, Solos Concrecionários Lateríticos e um Litossolo Amarelo-Esverdeado.

A vegetação predominante é a do Cerrado e

secundariamente a do tipo Caatinga. O Cerrado é uma vegetação típica nas formações sedimentares, caracterizada por árvores de pequeno porte com troncos e galhos retorcidos. São comuns variações na vegetação em decorrência da litologia, do solo e das formas de relevo. Assim, nas chapadas onde a composição e espessura do solo favorecem maior fixação de raízes longas, desenvolve-se o Cerradão. Já nas áreas mais desgastadas pela erosão predominam Campos Cerrados e Matas de Galeria de modo restrito (Kuhlmann 1977).

A Caatinga arbórea associada a matas de galeria ocorre localizadamente em aluviões dos principais cursos de água.

3.1.5. - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

A área é caracterizada por ser uma das mais pobres no nordeste brasileiro, onde dominam pequenas cidades e povoados muito dispersos. As principais sedes de município são Bom Jesus, Redenção, Gilbués, Monte Alegre, Alto Parnaíba, Santa Filomena e Barreiras.

A economia é baseada no setor primário, onde a agricultura e a pecuária são praticadas localizadamente. Na agricultura destacam-se arroz, milho e mandioca e na pecuária predominam bovinos e caprinos.

Está presente um sub-desenvolvimento bem acentuado, marcado por forte deficiência alimentar, inexistência de higiene, falta de assistência médico-hospitalar, alto índice de analfabetismo e alta taxa de mortalidade infantil. A área é fortemente atingida pela "Doença de Chagas".

C A P I T U L O   I V

GEOLOGIA REGIONAL

4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

A área delimitada como regional neste trabalho situa-se no domínio sul da Província Parnaíba e está limitada entre os paralelos $8^{\circ} 30'$ e $10^{\circ} 00'$ de latitude sul e entre os meridianos $44^{\circ} 30'$ e $46^{\circ} 00'$ de longitude oeste de Gr. No extremo SE aflora o embasamento cristalino (NW do Cráton do São Francisco) e no S ocorrem coberturas sedimentares recentes (Formação Urucuiá) pertencentes à Província São Francisco. Todos os demais limites da área estão no âmbito da Província Parnaíba de Almeida et al. (1977). Dominam sedimentos Paleomesozóicos cujas espessuras podem atingir os 2.000 metros, como observado nos poços da Petrobrás I-UN-28, FM-1-MA, FO-1-MA e RB-1-MA, localizados a NW da área (Coutinho et al. 1982).

Este capítulo é fruto de compilações bibliográficas, perfis geológicos executados, observações pessoais do autor, além da utilização de dados de sensores remotos. Efetuou-se, também, uma interpretação qualitativa de mapas do levantamento aerogeofísico realizado na área pela CPRM/PROSPEC em 1978. A coluna estratigráfica adotada bem como informações sobre idades e ambiente de deposição basearam-se fundamentalmente nos trabalhos de Mesner & Wooldridge (1964), Aguiar (1971), Carozzi et al. (1975) e Lima & Leite (1978). O mapa geológico da área encontra-se no Anexo 1.

4.2. - O EMBASAMENTO PRÉCAMBRIANO E AS SEQUÊNCIAS EO-PALEOZÓICAS

A julgar pelo conhecimento referente às faixas Pré-cambrianas que bordejam toda a extensão poligonal da bacia, por informações geológicas de 18 poços profundos que atingiram o embasamento (PETROBRÁS 1979) e por tendências estruturais do embasamento ao redor da bacia e que se prolongam no seu interior, pouco se pode dizer a respeito da natureza do provável embasamento da Bacia do Maranhão. Suspeita-se que os sedimentos Paleomesozóicos da bacia estejam dispostos sobre um embasamento cristalino fortemente estruturado e constituído por rochas formadas e afetadas pelo Ciclo Tectônico Brasileiro. Seriam, essencialmente, rochas gnáissicas, graníticas, xistos e quartzitos.

Existem evidências de rochas sedimentares depositadas no Eo-Paleozóico, similares a sedimentos da Bacia do Jaibaras no Ceará. A Formação Mirador, de Rodrigues (1967), tem características bastante semelhantes àsquelas da Formação Pacujá. São predominantemente arenitos e siltitos micáceos e estão logo abaixo do Grupo Serra Grande. Arenitos imaturos, também abaixo do Serra Grande e correlacionáveis à Formação Monte do Carmo, foram registrados por Kegel (1956).

4.3 - GRUPO SERRA GRANDE

A sequência inicia-se com conglomerados e arenitos conglomeráticos de cores claras que apresentam estratificação

cruzada de baixo ângulo. Na seção média destacam-se arenitos claros, finos a médio e níveis conglomeráticos, siltíticos e argilosos. Na parte superior da sequência ocorrem clásticos finos que gradam para um fácies essencialmente pelítico. A sedimentação que se deu no intervalo entre o Siluriano e o Devoniano, foi predominantemente regressiva associada a um ambiente de deposição fluvial e deltaico em clima úmido temperado. A espessura do pacote atinge 1.000 m (Caputo & Lima 1984). Na área regional deste trabalho o Grupo Serra Grande não aflora.

4.4 - FORMAÇÃO PIMENTEIRAS

Nesta unidade dominam os sedimentos pelíticos e aflora numa estreita faixa no extremo SE da área, principalmente nos vales de cursos d'água afluentes do Rio Gurgueia. Litologicamente é composta por uma sequência alternada de folhelhos cinza-escuro, esverdeados e homogêneos, micromicáceos, aos quais se intercalam siltitos argilosos, avermelhados e arroxeados com níveis oolíticos ferruginosos. Assenta discordantemente sobre os sedimentos do Grupo Serra Grande e sua espessura na área é em torno de 100 m. A unidade Pimenteiras é tida como pertencente ao intervalo Devoniano Médio a Superior e o ambiente de deposição é marinho infra-nerítico e litorâneo.

4.5 - FORMAÇÃO CABEÇAS

Os afloramentos da Formação Cabeças estão restritos ao

canto SE da área onde ocorrem sob a forma de chapadões planos com terminações escarpadas. São fundamentalmente arenitos claros com granulação média a fina, localmente grosseiros, caulínicos e friáveis.

A formação faz contato inferior concordante com a Formação Pimenteiras e a espessura varia entre 30 e 70 m. A idade mais provável é de meso a neo-Devoniana e o ambiente de sedimentação foi litorâneo e pró-deltaico.

4.6 - FORMAÇÃO LONGÁ

Esta unidade aflora geralmente em relevo suave e ondulado devido à natureza pelítica dos seus sedimentos. Seus afloramentos encontram-se na porção SE da área, principalmente nas margens do Rio Gurgueia. É constituída por folhelhos de cores escuras e bem laminados aos quais se intercalam arenitos finos. Ocorrem níveis conglomeráticos ferruginosos nas seções média e superior com frequentes concentrações de seixos de quartzo.

O contato com a Formação Cabeças se dá com brusca mudança litológica e a espessura nesta porção da bacia varia entre 40 e 60 m. A idade é tida como eo-Carbonífera com deposição em ambiente marinho regressivo de infra-nerítico a litorâneo.

4.7 - FORMAÇÃO POTI

Na área deste trabalho os afloramentos da Formação Poti são expressivos, mas restritos às porções SE e S, sendo

caracterizada por afloramentos moldados em extensos chapadões arenosos, com topografia monótona e sem destaques morfológicos. As melhores observações foram feitas no perfil ao longo da estrada de rodagem PI 257 em direção a Gilbués.

Em alguns afloramentos foi possível a distinção de duas seções. Na seção inferior encontram-se arenitos róseos, psamíticos e níveis conglomeráticos com granulação grosseira e a seção superior é composta essencialmente de siltitos e folhelhos argilosos de cor avermelhada. Localmente foram observadas estratificações cruzadas, às vezes de grande porte, e marcas onduladas. Não foi possível avaliar em campo a espessura da unidade que em alguns afloramentos, ultrapassa os 40 metros.

O contato com a Formação Longá sotoposta é de fácil percepção nos arredores da cidade de Redenção a E da área, onde os folhelhos Longá se distinguem da parte grosseira da seção inferior da Formação Poti. Poços da PETROBRÁS no NW da área registram espessuras superiores a 200 m. A idade é tida como Carbonífera Inferior e foi depositada em ambiente marinho de águas rasas do tipo fluvio-deltaico.

4.8 - FORMAÇÃO PIAUI

Juntamente com a Formação Pedra do Fogo sobreposta representam cerca de 70% da área em questão.

A Formação Piauí é caracterizada por uma sequência arenosa com níveis de siltitos e folhelhos com intercalações de calcário. Ocorrem arenitos avermelhados, róseos e amarelados e a

granulação varia de fina a grosseira e podem ser argilosos e feldspáticos. Na seção superior da sequência destacam-se arenitos mais finos e bem selecionados de coloração amarelo-avermelhada. Apresenta extensas áreas de exposição com relevo escarpado e longos chapadões tabulares com vastos areais. É notável a ocorrência de afloramentos desta unidade nos vales dos rios Uruguí Preto, Uruguí Vermelho, Parnaíba e vários tributários.

Por quase toda a área a unidade acompanha a calha de drenagem como pode ser observado no mapa geológico anexo. A Serra do Uruguí é totalmente constituída de rochas desta unidade, sendo caracterizada por um amplo pediplano que pode ser seguido por toda a margem W da rodovia PI 257.

A fotografia 01 mostra a área do Rio Uruguí Vermelho onde dominam sedimentos da formação.

Fotografia 01: Visão panorâmica de N para S do pacote Piauí formando áreas planas como no vale do Rio Urucui Vermelho (segundo plano) ou constituindo chapadões como na Serra das Guaribas juntamente com a Formação Pedra do Fogo (primeiro plano). O vale do Rio Urucui ao fundo possivelmente reflete a zona do Lineamento Transbrasiliano. A foto foi tomada na subida da Serra das Guaribas.

O contato inferior com a Formação Poti é de natureza discordante e erosiva e bem marcado pela presença de conglomerados basais polimícticos. Na área a espessura da unidade varia de 60 a 100 m pelas estimativas efetuadas em cortes acima mostrados e teria se depositado no Carbonífero Superior num ambiente fluvial com contribuição marinha e eólica.

4.9 - FORMAÇÃO PEDRA DO FOGO

A Formação Pedra do Fogo ocorre em grandes áreas como pode ser observado no mapa geológico anexo, formando vastos chapadões planos, com frequentes bancos arenosos geralmente com terminações em forma de festão (fotografia 01). Nas escarpas da Serra das Guaribas, no trajeto entre Passagenzinha e Santa Filomena, nas bordas de vários diatremas e em vários morrotes da área, constatou-se que a unidade é constituída principalmente por argilitos, arenitos e siltitos argilosos de cores vermelha e violeta. Níveis de folhelho vermelho se intercalam. Observa-se um aleitamento regular, por vezes ondulado e de natureza homogênea. Ocorrem níveis de sílexito sob as mais variadas formas, desde camadas silicificadas a lentes e nódulos achatados.

Nesta porção da bacia as relações de contato dos estratos Pedra do Fogo com as litologias da Formação Piauí, não

são bem observadas devido à sua natureza gradacional e às pequenas espessuras registradas.

A espessura do pacote Pedra do Fogo varia desde poucos metros, na porção central da área, até 50 metros no extremo W, como já apontado nos trabalhos pioneiros da Petrobrás na década de 60 e em mapas posteriores. Desta forma, no mapa geológico aqui apresentado, alguns contatos da porção central são inferidos.

A formação é bastante fossilífera (Psaronius) tendo sido datada como do início do Permiano. Seu ambiente de deposição está relacionado a marinho restrito e raso do tipo epicontinental e a sequência apresenta níveis contendo calcário oolítico e pisolítico.

Informações adicionais sobre as Formações Piauí e Pedra do Fogo serão dadas no capítulo 6.

4.10 - FORMAÇÃO SAMBAIBA

A Formação Sambaíba representa os depósitos arenosos que precederam à primeira atividade vulcânica. Aflora no extremo SW da área sendo representada por chapadões planos onde se desenvolvem extensos areais. Ocorrem arenitos róseos e esbranquiçados, laminados, friáveis, pintalgados de caulim e silicificados na porção superior em contato com os basaltos Mosquito. Em algumas seções observam-se estratificações cruzadas de grande porte.

O pacote Sambaíba é sobreposto à Formação Piauí e faz contato com outras unidades Paleozóicas. Estes contatos, bem como

com a Formação Urucua do Cretáceo é inferido e de difícil marcação. A espessura aflorante nesta porção da bacia varia entre 20 e 60 metros.

A idade mais coerente é o Triássico Médio, uma vez que o pacote Sambaíba está acima da Formação Motuca (não aflorante na área) e abaixo dos primeiros derrames basálticos. A unidade depositou-se em ambiente continental de natureza fluvial e eólica e é afossilífera.

4.11 - FORMAÇÃO MOSQUITO

Os basaltos da Formação Mosquito ocorrem na porção SW da área e são facilmente identificados por constituírem capeamentos nos topos das elevações, por vezes isoladas, da Formação Sambaíba. Notam-se extensas zonas de silicificação e solos bastante avermelhados com blocos de basalto. São basaltos escuros a pretos, verdes, afaníticos e amigdaloidais com material criptocristalino e calcedônia preenchendo cavidades. Ocorrem, também, arenitos silicificados intercalados.

A unidade cobre a Formação Sambaíba e apresenta nesta área espessura variando desde poucos metros a 50 metros, nos afloramentos mais a N. Os basaltos são facilmente identificados no mapa aeromagnético pelo caráter fechado e denso das isógamas (item 5.1.2).

Resultados radiométricos reunidos por Caldasso & Hama (1978) apontam fases distintas de magmatismo. Na borda W da bacia os derrames e diques indicam idades que variam do Triássico ao Jurássico. O evento Juro-Cretáceo está representado na porção E

da bacia, manifestado por intrusivas hipoabissais da Formação Sardinha.

4.12 - FORMAÇÃO AREADO

Ocorre de modo restrito na porção S e com relevo bastante dissecado. Distribui-se principalmente nas regiões de Gilbués, Monte Alegre e Barreiras, e possui importância econômica por conter níveis ou fácies diamantíferos. De uma forma geral é representada por folhelhos vermelhos, fossilíferos e com níveis de calcário. O topo da sequência é caracterizado por siltitos e arenitos mal selecionados, caulínicos e, por vezes, com estratificação cruzada planar. No Gráben de Gilbués a unidade está rebaixada a níveis das Formações Poti e Piauí. Silva et al. (1972) definiram os fácies "Pé do Morro" com arenitos quartzosos, lentes de conglomerados oligomíticos de matriz arenosa que gradam lateral e verticalmente para arenitos conglomeráticos ou conglomerados polimíticos com matriz argilosa. Na concepção destes autores este nível é diamantífero. Os fácies "Castanheiro" (siltitos, folhelhos e arenitos intercalados) e "Gilbués" (essencialmente arenitos e siltitos compactos) seriam, respectivamente, níveis médio e superior que ocorrem a NE de Gilbués.

O contato da formação com unidades Paleozóicas é discordante e bem marcado por conglomerados descontínuos. Sua espessura varia entre 50 e 70 metros e foi depositada em condições aquosas com clima desértico e semi-árido. A idade é

tida como Cretácea Inferior.

4.13 - FORMAÇÃO URUCUIA

Forma extensos chapadões tabulares com terminações escarpadas a sul da área em questão. São espessos pacotes de arenito branco, róseos, argilosos e com nódulos de caulim. Observam-se estratificações cruzadas de grande porte e as espessuras podem variar desde 20 metros na porção a S de Gilbués a mais de 100 metros na Serra do Caracol.

O contato inferior da unidade se faz com basaltos Sardinha e arenitos Sambaíba; sua idade é tida como correspondente ao intervalo Albiano/Cenomaniano e o ambiente de deposição foi fluvial com contribuição eólica.

4.14 - SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS

Estão representados por material areno-argiloso, coberturas essencialmente arenosas, coberturas detríticas e lateríticas que podem recobrir discordantemente litologias mais antigas. São sedimentos inconsolidados, mal classificados, com matriz areno-argilosa, seixos de quartzo, sílex, caulim, limonita e, às vezes, minerais pesados dispersos. Geralmente não são mapeáveis na escala aqui utilizada.

Vários depósitos arenosos de talude podem ser encontrados próximo às escarpas das serras por toda a área. Aqueles da Serra das Guaribas apresentam algumas dezenas de metros de espessura, porém são de extensão pouco expressiva.

Depósitos lateríticos restritos ocorrem na área do Redondão (Capítulo 6) e são relacionados ao Quaternário.

Outros sedimentos estão representados exclusivamente por aluviões constituídos por areias, siltes e cascalhos. As melhores exposições confinam-se aos grandes cursos d'água como os rios Parnaíba, Uruçui Preto e Vermelho e Gurgueia e são predominantemente arenosos. Os sedimentos Quaternários envolvem, de uma forma geral, os terrenos Pleistocênicos, os depósitos Holocênicos indiferenciados do topo das chapadas e os depósitos aluviais Holocênicos que estão no leito dos atuais cursos de drenagem.

Evidentemente que tais depósitos têm interesse econômico para a região, uma vez que são constituídos do arrasamento de unidades mais antigas, como é o caso da Formação Areado, com potencial diamantífero.

4.15 - GEOLOGIA ESTRUTURAL

As estruturas que mais se destacam na área em apreço são inúmeras fraturas esculpidas que originaram os vales dos cursos d'água e alguns boqueirões. A natureza destas fraturas é de difícil caracterização uma vez que é impossível relacionar afloramentos de um lado para outro dos vales (Ítem 5.2). As fraturas apresentam direção geral NE e NW. A feição estrutural dominante é de um homoclinal onde os estratos das formações mergulham suavemente (1 a 3 °) para W. Um importante segmento de falha do Lineamento Transbrasiliano é observado no W da área, com

direção NE-SW e, pelas observações efetuadas em imagens de radar, tem forte expressão e continuidade para NE.

Embora não tenha sido possível medir rejeitos, na região de Gilbués encontra-se uma estrutura grabeniforme estreita que põe a Formação Areado praticamente no mesmo nível da Formação Poti, como pode ser observado no trajeto entre Gilbués e a Serra das Guaribas. Estima-se um rejeito da ordem dos 50 m.

Destacam-se entre as características estruturais da área as importantes estruturas circulares, como aquela da Fazenda Bandeira, cuja origem é desconhecida, e os diatremas kimberlíticos do Redondão, Apicuns e Belmonte. Estas estruturas, entre outras, caracterizam-se por depressões ovaladas nos arenitos ou cristas arredondadas de arenito silicificado.

4.16 - RECURSOS MINERAIS

Destacam-se os diamantes, conhecidos nesta borda da bacia desde a década de 40. Outros bens minerais, relacionam-se àqueles úteis para a construção civil.

Foram efetuados vários estudos sobre o potencial diamantífero dos terrenos Pleistocênicos e mais recentes da região de Gilbués e Monte Alegre a S da área (Anexo 1); destacando-se os trabalhos de Silva et al. (1972), Oliveira e Prazeres (1983) e Oliveira et al. (1984). Na época da realização do Projeto Garimpos Brasileiros entre 1982 e 1983 haviam sido registrados 34 garimpos de diamantes nos municípios supracitados distribuídos numa faixa aproximadamente E-W, mostrados no mapa geológico anexo. Sabe-se, no entanto, da ocorrência de diamantes

CAPÍTULO V

em outras áreas não apontadas nestes trabalhos.

Os diamantes ocorrem em teores baixos (0,1 a 0,9 ct /m³), principalmente nas aluviões e cascalheiras das principais drenagens dos municípios de Gilbués e Monte Alegre. A garimpagem é, salvo raras exceções, completamente desorganizada e sem mecanização e não existem dados concretos sobre a produção.

ESTUDOS EM PRODUTOS DE SENSOREAMENTO REMOTO

5.1. - AEROGEOFÍSICA

5.1.1. - CONSIDERAÇÕES GERAIS E PROCEDIMENTOS

Foram utilizadas as cartas magnetométricas Zelândia, Uruguí Preto, Alto Parnaíba, Serra das Guaribas, Redenção, Curupá, Gilbués e Paus do Projeto Borda Sul da Bacia do Parnaíba (CPRM/PROSPEC 1978), apresentadas em mapas na escala 1:100.000 e correspondem a uma área de 30' por 30'. As isógamas do campo magnético anômalo (campo total medido - campo calculado pelo IGRF) estão espaçadas de 5 em 5 nT com curvas mestras a cada 25 nT. A coleta de dados foi feita em perfis de produção orientados N-S, com espaçamento de 2 Km e de perfis de controle E-W a cada 20 Km. A altura de voo sobre o terreno foi de 150 metros.

As cartas foram reduzidas para a escala 1:500.000 de modo a recobrir a área regional do Anexo 1. Procedeu-se uma interpretação qualitativa, utilizando-se para isto o mapa de isógamas do Anexo 2 com curvas de 25 em 25 nT.

A interpretação qualitativa consiste do reconhecimento e delineações de padrões anômalos, baseando-se na separação de padrões magnéticos relacionados com a forma, espaçamento das isógamas e outras feições particulares, definição dos alinhamentos de máximos e mínimos, lineamentos magnéticos, distribuição e forma das anomalias e áreas magneticamente

interessantes. A interpretação qualitativa aqui adotada segue proposições citadas na literatura (Parasnis 1973, 1986; Paterson & Reeves 1985) com algumas modificações e adaptações.

Como as rochas sedimentares normalmente não apresentam contrastes marcantes de susceptibilidade, admite-se que as assinaturas magnéticas sejam reflexo de variações litológicas e de relevo nos terrenos cristalinos abaixo da pilha sedimentar e de corpos intrusivos localizados próximos à superfície.

5.1.2. - INTERPRETAÇÃO AEROMAGNETOMÉTRICA

Foram identificados 7 padrões magnéticos caracterizados fundamentalmente pelo formato e espaçamento das isógamas assinalados no Anexo 2.

O "padrão magnético A" é caracterizado por alinhamentos de mínimos e máximos e de tendência estrutural, orientados preferencialmente para NE e situados numa faixa SW-centro-NE da área. Por sua forte expressão, denotada por assinaturas muito alongadas, extensão de centenas de quilômetros e largura de 50 Km, é possível que este padrão corresponda aos reflexos dos terrenos cataclásados pelo Lineamento Transbrasiliano.

O "padrão magnético B" ocorre na porção centro-W da área, caracterizado por uma estreita faixa alongada para NE, com isógamas negativas que variam de 0 a -175 nT, separando duas zonas de isógamas circulares positivas, também alongadas mas de baixas amplitudes. Este padrão está claramente limitado por alinhamentos de tendência estrutural magnética NE-SW e NW-SE. A

anomalia parece mais próxima de uma estrutura tabular do tipo dique, de expressão marcante em sub-superfície. Nesta anomalia está a ocorrência do Kimberlito Redondão. Uma seção cruzando o corpo e ortogonal à anomalia foi modelada e interpretada quantitativamente no item 7.1.2.

O "padrão magnético C" localiza-se no extremo SW da área é representado por isógamas apertadas bem delimitadas com amplitudes que podem variar de 0 a -125 nT; ocorrem bem delimitadas. A este padrão associam-se os derrames de basalto da Formação Mosquito.

O "padrão magnético D" ocorre no NW da área, onde se observa o aparecimento de uma ampla anomalia semi-circular, com isógamas fechadas que variam de -25 a -300 nT que pode corresponder a um arqueamento do embasamento cristalino. Uma estrutura do tipo "sill", comum em outras áreas da bacia, também poderia causar anomalias deste tipo.

O "padrão magnético E" está nas imediações do centro da área e muito bem delimitado por linhas de tendências estruturais. É caracterizado por uma sequência de anomalias circulares positivas e negativas (anomalias di-polares) com amplitudes expressivas, orientadas para NNW e seccionadas por tendências estruturais menores. As isógamas variam de -200 a 250 nT. Estas anomalias podem corresponder a corpos circulares alinhados relacionadas a intrusões alcalinas e/ou carbonatíticas, comuns em outras bacias sedimentares intracratônicas.

Definiu-se como "padrão magnético F" algumas anomalias magnéticas circulares isoladas, de pouca expressão, com isógamas apertadas de baixa amplitude e de difícil interpretação. Ocorrem

na porção central e no NW da área e podem corresponder a corpos intrusivos de pequena expressão.

O "padrão magnético G" está numa faixa no S da área; são isógamas amplas e abertas, orientadas ENE e de baixa amplitude negativa. Este padrão sugere maior relação com a topografia do embasamento cristalino subjacente, mais afastado de zonas intensamente fraturadas. Em outras porções, como no N, este padrão também está presente como se estivesse isolando a faixa SW-centro-NE.

Corpos kimberlíticos mapeados como os diatremas Apicuns, na Serra das Guaribas e os diatremas Belmonte a N da Fazenda Largo, parecem não exercer qualquer influência no campo magnético.

5.2 - ANÁLISE DE LINEAMENTOS

5.2.1 - CONSIDERAÇÕES INTRODUTÓRIAS

A análise estatística de lineamentos em produtos de sensoriamento remoto começou a ser utilizada em geologia a partir da década de quarenta. Em vários trabalhos são descritos metodologias, princípios e as mais variadas aplicações geológicas de técnicas de análise de lineamentos. Atualmente a utilização de computadores tem proporcionado avanços na manipulação de dados.

O objetivo da análise de lineamentos em produtos de sensoriamento remoto é a tentativa de interpretação do seu significado geológico no terreno baseado em tratamento analítico.

Os trabalhos desenvolvidos nas últimas décadas mostram que os lineamentos estão presentes em toda parte e constituem importante elemento da estrutura da crosta. Recentemente Liu (1986) fez uma revisão detalhada dos trabalhos sobre lineamentos e também aplicou estudos analíticos ao estado do Rio de Janeiro.

São várias as classificações que podem ser feitas para lineamentos como, por exemplo, aquelas baseadas na origem, no tipo, na expressão, no comprimento, na distribuição e na direção.

Neste trabalho entende-se como "lineamento" uma feição fotogeológica retilínea ou levemente curvilínea, simples ou conjunta, que presumivelmente reflete um fenômeno de subsuperfície tais como fraturas, estratificações, dobras, intrusões e estruturas anômalas. A metodologia aqui utilizada parte do princípio de que fraturas existentes na crosta em subsuperfície podem refletir-se na superfície e que, mesmo no caso de espessas camadas sedimentares, tais feições podem ser detectadas e analisadas nas interpretações fotogeológicas. Segue-se uma metodologia simples baseada nos trabalhos de Northfleet et al. (1971), Mardia (1972), Agterberg (1974) e Yamamoto (1981).

A classificação adotada está fundamentalmente baseada na direção, embora outros critérios tenham sido levados em consideração quando necessário. A classificação de direção ou "trend" parece ser a mais objetiva e é independente do intérprete.

5.2.2. - CONCEITOS FUNDAMENTAIS E PROCEDIMENTOS

Foram utilizadas imagens de radar e, em áreas

selecionadas, fotografias aéreas e imagens do satélite LANDSAT. Imagens LANDSAT foram utilizadas especificamente na área do Redondão.

Inicialmente foram analisadas as imagens de radar do Projeto RADAMBRASIL na escala 1:250.000, folhas Tasso Fragoso (SC.23-V-B), Eliseu Martins (SC.23-X-A), Gilbués (SC.23-V-D), e Bom Jesus (SC.23-X-C), que foram justapostas de modo a abranger a área delimitada pelas coordenadas $44^{\circ} 30'$ e $46^{\circ} 00'$ de longitude W de Gr. e $8^{\circ} 30'$ e $10^{\circ} 00'$ de latitude S. . Em seguida foi feita uma subdivisão em retângulos de 11 por 5,5 cm correspondentes a 378 km^2 resultando 72 celas definidas por coordenadas geográficas e por dígitos de 1 a 6 (horizontalmente) e letras de A a L (verticalmente) facilitando, assim, a localização de uma cela dentro da área (figura 03). De cada uma das celas foram extraídos, com uso de papel "terkron", as informações referentes a lineamentos com comprimento superior a 0,3 Km e estruturas anômalas. Os lineamentos foram contados e tiveram comprimento e azimuth (0° a 180°) medidos. Uma série de parâmetros foram calculados como mostra a tabela 01 e as informações que seguem.

Os lineamentos não devem simplesmente ter uma média aritmética, uma vez que seus azimutes são grandezas vetoriais angulares. Assim, é calculada uma média trigonométrica para cada cela. Como os dados têm uma distribuição semi-circular (variam de 0° a 180°) os ângulos são duplicados, têm seus senos e cossenos somados e é solicitada a função arcotangente, em seguida divide-se por 2 conforme proposto por Agterberg (1974). O Azimute médio é dado pela relação abaixo, onde "xi" representa o ângulo

ANÁLISE DE LINEAMENTOS DA BORDA SUL DA BACIA DO MARANHÃO

REFERENCIADA CELA:1-A NÚMERO DE LINEAMENTOS:71
 AZIMUTE MÉDIO(α):22 COMPRIMENTO ACUMULADO(Km):108
 DENSIDADE DE LINEAMENTO(KM/378KM²):0,28
 FREQUÊNCIA DE LINEAMENTOS(N.LIN/378KM²):0,19
 DESVIO PADRÃO:1,07 COMPRIMENTO MÉDIO(Km):1,5
 RAZÃO DE CONSISTÊNCIA:0,56 ESTRUTURAS ANÔMALAS:14
 N:0 ,1-15:4 ,16-30:6 ,31-45:21 ,46-60:13 ,61-75:0 76-90:0
 91-105:0,106-120:3,121-135:5,136-150:5 ,151-165:11,166-180:3
 senxi:39 , cosxi:10,73 sen 2xi:18,18 , cos 2xi:18,32

AZ(α)		DI(cm)	AZ(α)		DI(cm)	AZ(α)		DI(cm)
1)	20	1,3	50	1,8		115	1,8	
2)	08	1,3	50	2,3				
3)	22	1,5	39	1,5				
4)	10	1,5	45	1,0				
5)	30	1,3	50	0,8				
6)	20	1,5	60	1,5				
7)	20	1,3	45	1,5				
8)	21	1,3	46	1,5				
9)	10	1,0	45	1,3				
10)	05	1,8	155	1,8				
11)	60	1,5	160	1,3				
12)	31	1,3	157	1,5				
13)	37	2,0	151	1,8				
14)	40	1,5	171	1,8				
15)	45	1,3	170	1,8				
16)	39	1,5	160	2,0				
17)	45	1,3	160	1,0				
18)	45	1,5	179	1,8				
19)	45	1,3	165	1,3				
20)	50	1,5	160	1,3				
21)	55	1,0	160	1,0				
22)	55	0,8	150	1,3				
23)	43	1,8	158	1,0				
24)	45	1,5	158	1,3				
25)	46	1,8	147	1,5				
26)	54	1,8	147	1,3				
27)	55	2,5	146	1,8				
28)	40	1,3	146	1,8				
29)	40	1,3	120	1,3				
30)	35	1,5	135	2,3				
31)	49	2,5	135	1,3				
32)	45	1,3	135	1,3				
33)	45	1,3	135	1,3				
34)	45	1,8	135	1,0				
35)	35	1,5	120	3,8				

Tabela 01: Tabela de preenchimento dos dados referentes a cada cela da figura 2 usada para análise de lineamentos.

do lineamento na distribuição mencionada:

$$\overline{AZ} = 1/2 \arctg [\sum \sin 2x_i / \sum \cos 2x_i]$$

A razão de consistência (RC) é uma medida de ajuste do valor médio aos dados originais e varia de 0 a 1, sendo calculada pela relação abaixo, também para cada cela:

$$RC = \sqrt{(\sum \sin^2 x_i + \sum \cos^2 x_i) / N}$$

onde N é o número de lineamentos na cela.

Desta última relação resulta, também, o desvio padrão (DP) que pode ser calculado como se mostra a seguir:

$$DP = \sqrt{-2 \ln (RC)}$$

A dispersão (D) mostra o comportamento dos lineamentos por cela de modo percentual:

$$D = (RC/N) \cdot 100$$

A frequência (F) de lineamentos por cela é dada pelo número de lineamentos por unidade de área e a densidade (De) é obtida através do somatório dos comprimentos dos lineamentos por unidade de área. Como a área seleccionada para cada cela foi de 378 Km² os parâmetros frequência e densidade podem ser calculados da seguinte forma:

$$F = \frac{N}{378 \text{ Km}} \quad \text{e} \quad De = \frac{\sum C}{378 \text{ Km}}$$

onde N é o número de lineamentos e C é o comprimento dos lineamentos.

A densidade de lineamentos é um parâmetro importante na individualização de áreas anômalas, uma vez que mostra a intensidade de fraturamento em determinada cela. Estas informações conceitos e fórmulas foram baseadas nos trabalhos mencionados inicialmente.

Uma vez obtidos estes dados como mostra a tabela 01, eles foram individualmente plotados no centro de cada cela e foram traçadas manualmente curvas de isovalores. Assim, resultaram mapas para cada um dos parâmetros abordados, além dos mapas de isoazimute, azimute médio, de estruturas anômalas, lineamentos e um mapa de rosetas. Foi usado nos cálculos uma máquina calculadora SHARP e um programa para computadores PC da microsoft, o MSCHART, específico para representações gráficas. Nem todos estes mapas encontram-se neste trabalho, sendo apresentados aqueles mais significativos para os objetivos da análise.

A partir das informações de estruturas circulares foram ainda utilizados os fotoíndices de Alto Parnaíba, Curupá, Redenção, Serra das Guaribas, Gilbués e Paus na escala 1:80.000, e selecionadas 70 fotografias aéreas na escala 1:60.000. Após o exame detalhado destas fotografias separou-se aquelas que em

tripla estereoscópica envolviam estruturas circulares semelhantes a diatremas kimberlíticos, das quais algumas já haviam sido detectadas nas imagens de radar. Um total de 22 diatremas foi objeto de inspeção detalhada (figura 23) e destas 7 foram visitadas em campo.

5.2.3. - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.2.3.1 - MAPA DE LINEAMENTOS

A figura 03 mostra o mapa de lineamentos que foram detectados na área e a distribuição das 72 celas agrupadas na análise. São 3.821 lineamentos caracterizados por formas retilíneas e curvas de vários comprimentos e com diversas direções e distribuição. Conforme mostra a tabela 01 estes lineamentos foram agrupados cela por cela em intervalos de 15° de um semi-círculo. Estes intervalos poderiam ter sido tratados como sistemas e terem suas características analisadas como proposto por Liu (1986). Tal metodologia teria sido adotada caso a distribuição das orientações dos lineamentos não apresentasse certa regularidade.

O exame do referido mapa mostra zonas com diferentes densidades de lineamentos, fato também denotado no mapa de isodensidade, e zonas com domínio de um certo intervalo de azimuth.

A zona "A" apontada no mapa é caracterizada por uma maior densidade de lineamentos, dominando lineamentos orientados para NE e secundariamente NW. Estas zonas correspondem em grande

parte às litologias Poti e Piauí (Anexo 1).

A zona "B" é caracterizada pela total ausência de lineamentos e pode representar a porção arenosa da seção superior da Formação Pedra do Fogo. O limite topográfico entre as zonas A e B é bastante claro e marcado por escarpas e depressões, correspondendo, em grande parte, aos contatos geológicos Piauí-Pedra do Fogo.

A zona "C" apontada nas porções a S da área corresponde a uma baixa densidade de lineamentos representando, também, coberturas arenosas como os sedimentos Urucuia e Sambaíba e ainda no extremo SW da área os derrames basálticos da Formação Mosquito.

A observação deste mapa permite a identificação de duas faixas extensas, com poucos lineamentos, mas de forma contígua e com comprimentos expressivos. Estas faixas estão representadas pelos segmentos XY com direção NE e X'Y' com orientação NW. Estas feições estão presentes em outros mapas construídos como o de desvio padrão, por exemplo, que mostra homogeneidade nestas faixas. A primeira faixa corresponde ao padrão magnético A referido no item 5.1.2 corroborando com a hipótese de uma grande descontinuidade tectônica. A segunda, embora não muito pronunciada na geofísica, é marcante no mapa de lineamentos e pode corresponder a traços dos Lineamentos Serra do Boqueirão-Balsas e Correntes-Correntina, tais lineamentos se cruzam na porção centro-W da área.

5.2.3.2 - MAPA DE ROSETAS

FIG.03 MAPA DE LINEAMENTOS DO SW DO PIAUI

Com as informações supracitadas foram construídas 18 rosetas que se encontram na figura 04 com o objetivo de complementar a análise das tendências dominantes na área e permitir uma análise de agrupamentos conforme proposto por Podwysocki (1976, in Yamamoto 1981). Cada roseta representa a tendência de lineamento para 4 celas.

Este mapa evidencia mais facilmente as características apontadas no mapa anterior tais como: 1) Dominam na área lineamentos orientados para NE-SW e secundariamente NW-SE; 2) No norte da área é onde se verifica o maior número de lineamentos, bem como numa faixa SE no centro-sul, sendo que nesta última predominam lineamentos orientados NW-SE. A grande quantidade de lineamentos presentes no NW da área (figura 03) associa-se a proximidade do Arqueamento de Alto Parnaíba; 3) No extremo SW registra-se a menor presença de lineamentos; e 4) Há uma faixa centro-NE com um número de lineamentos relativamente menor mas com forte tendência NE e maiores dimensões.

Esta análise de agrupamento encontra-se representada no mapa da figura 04 numa classificação simples, baseada em 3 grupos, 1, 2, e 3 respectivamente descritos. No mapa de isodensidade algumas das observações apontadas foram também evidenciadas.

Procurou-se, ainda, representar cada uma das rosetas em gráficos de barras que mostram o número de lineamentos (categorias) versus o azimute médio para cada cela e o respectivo dado percentual dos lineamentos. São 18 gráficos representando as 18 rosetas (4 celas cada) e ao mesmo tempo as 72 celas da

análise, que se encontram nas figuras 5 a 22.

A análise conjunta dos gráficos revelou que embora em todas as celas estejam presentes tendências nos quadrantes NE e NW, em termos de seus azimutes médios apenas 16 das 72 celas apresentam tendência NW e, que são sempre de baixo valor; lineamentos com azimutes médios entre 0° e 31° perfazem mais de 70% dos 3.821 lineamentos detectados na área; cerca de 25% estão no intervalo 160° a 180° . Outras informações já apontadas foram obtidas com a construção destes gráficos. As interpretações levantadas neste ítem reforçam a hipótese de uma tendência dominante NE, imposta por uma estrutura de caráter regional cruzando a porção central da área.

5.2.3.3. - MAPA DE ESTRUTURAS ANÔMALAS

O mapa de estruturas anômalas da figura 23 mostra a presença de um grande número de formas curvas e principalmente de estruturas circulares de várias dimensões. Foram identificadas 210 formas não retilíneas, das quais 22 bastante semelhantes a diatremas kimberlíticos. Destas, 7 foram visitadas em campo e serão abordadas no ítem 6.4 com relação aos seus aspectos geológicos gerais.

O exame deste mapa permite o agrupamento das estruturas anômalas em três grupos: 1) Estruturas curvas abertas como aquelas apontadas nos polígonos "A"; 2) Estruturas circulares com dimensão expressiva apontadas como "B" no mapa; e 3) Estruturas circulares com dimensão reduzida e assinaladas como "C".

FIG. 04: MAPA DE ROSETAS PARA O SW DO PIAUÍ

CONVENÇÕES

cada roseta representa 4 celas de 378 Km² usadas na análise de lineamentos.

1, 2, 3: análise de agrupamento efetuada.

Obtido a partir de análise estatística de lineamentos em imagens radargramétricas do Projeto Radambrasil - folhas SC.23-V-B, SC.23-X-A, SC.23-V-D e SC.23-X-C na escala 1:250.000

ESCALA DAS ROSETAS

ESCALA: 1:500.000

Figura 05: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 2A, 2D, 1D, e 1A

Figura 06: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 4B, 4A, 3A, e 3B.

Figura 07: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 6B, 6A, 5A, e 5B.

Figura 08: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 2D, 2C, 1C, e 1D.

Figura 09: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 4C, 4D, 3D, e 3C.

Figura 10: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 6C, 5C, 5D, e 6D.

Figura 11: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 2E, 1F, 2F, e 1E.

Figura 12: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 3F, 3E, 4F, e 4E.

Figura 13: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 5F, 6E, 5E, e 6F.

Figura 14: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 2H, 1H, 2G, e 1G.

Figura 15: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 4H, 3G, 4G, e 3H.

Figura 16: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 5G, 5H, 6G, e 6H.

Figura 17: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 2J, 1I, 1J, e 2I.

Figura 18: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 4J, 4I, 3J, e 3I.

Figura 19: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 5I, 6J, 5J, e 6I.

Figura 20: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 2K, 1L, 2L, e 1K.

Figura 21: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 4K, 3K, 3L, e 4L.

Figura 22: Lineamentos versus azimuth médio para as celas 6L, 6K, 5K, e 5L.

As estruturas do grupo C são as de maior interesse, pois poderiam corresponder a corpos kimberlíticos como é o caso das estruturas 1 a 7. As do grupo B podem representar, muito provavelmente, astroblemas ou corpos alcalinos/carbonatíticos. Já aquelas do grupo A podem ser resultado apenas de formas de erosão dos sedimentos da bacia sem maior conotação geológica.

Vale ressaltar, como se pode observar no mapa de estruturas anômalas, que muitas delas ocorrem bem arranjadas e às vezes alinhadas (vide setas da figura 23).

A análise conjunta dos mapas revela que na área encontra-se presente um fraturamento sistemático nas coberturas sedimentares. A possibilidade de detecção destas descontinuidades em imagens de radar está diretamente relacionada à natureza das descontinuidades impostas como falhas, fraturas, e juntas, e à ocorrência de eventos ou fases tectônicas que atingiram o embasamento. Cerca de 80% dos lineamentos aqui tratados correspondem a alinhamentos negativos das feições topográficas como segmentos de vales retilíneos, quebras negativas, boqueirões e gargantas (Fotografia 02).

5.3. - ANÁLISE CRÍTICA DOS ESTUDOS POR SENSOREAMENTO REMOTO

A interpretação do mapa aeromagnetométrico (Anexo 02) seguiu em linhas gerais a sistemática adotada para uma interpretação regional de natureza qualitativa.

Deve-se levar em consideração que em regiões próximas ao equador magnético há tendência das anomalias magnéticas aparecerem alongadas, o que poderia causar uma interpretação

FIG. 23: MAPA DE ESTRUTURAS ANÔMALAS DO SW DO PIAUÍ

Obido a partir de análise de lineamentos em imagens radiométricas do Projeto Radombrasil folhas SC.23-V-B, SC.23-X-A, SC.23-V-D e SC.23-X-C na escala 1:250.000.

ESCALA: 1:500000

Fotografia 02: Mostra parte da imagem de radar de Alto Parnaíba com a interpretação da análise de lineamentos efetuada. Observar a dominância de orientações NE e NW bem como a individualização dos diatremas Redondão e Apincuns.

completamente diferente daquela apresentada no item 5.1.2. Não obstante, a tendência geral das isogâmicas na área permanece em áreas adjacentes, indicando que há realmente um padrão regional NE. Ao nível de interpretação qualitativa é inadequado precisar a natureza das fontes causadoras destas anomalias. Por outro lado, a interpretação aeromagnetométrica abordada condiz de modo bastante aproximado com o esperado para a geologia regional desta porção da Bacia do Maranhão.

Em levantamentos aeromagnetométricos semelhantes realizados no W de Minas Gerais, diversas anomalias circulares foram identificadas como correspondentes a corpos kimberlíticos

(Bosun 1973, in Schobbenhaus et al. 1984), o que não ocorre na área. Tal fato deve-se provavelmente ao longo espaçamento das linhas de vôo relativamente à dimensão dos corpos. Na realidade, o "padrão magnético B" apontado no Anexo 02, é muito mais resultado da influência de uma estrutura tabular do que do corpo kimberlítico do Redondão.

Nesta área, a interpretação aeromagnetométrica mostrou-se bastante eficaz, principalmente no que diz respeito ao delineamento de padrões magnéticos e seu relacionamento com unidades geológicas e estruturais.

A análise de lineamentos efetuada na mesma área forneceu resultados positivos, alguns, inclusive, concordantes com os dados da interpretação aeromagnetométrica. Desta forma, as principais estruturas lineares do embasamento cristalino da bacia foram detectadas, como é o caso dos dominantes lineamentos NE e secundariamente NW. É necessário frisar que por mais criterioso que tenha sido o processo de análise dos traços de fratura, eles não representam a totalidade presente no produto analisado.

As imagens radargramétricas forneceram importante contribuição na delimitação de unidades litológicas. Não obstante, quando a espessura dos estratos sedimentares de formações adjacentes é pequena e no caso de coberturas recentes, a marcação de contato geológico torna-se duvidosa. Seria de grande valia a utilização de imagens LANDSAT com composição de canais.

Com o conhecimento da natureza das estruturas circulares em campo será possível aprimorar técnicas de prospecção e avaliar estatisticamente a aplicabilidade da

metodologia aqui empregada. Desenvolver técnicas de ordenar cronologicamente os lineamentos em áreas sedimentares será tarefa de pesquisas futuras.

C A P Í T U L O   V I

GEOLOGIA DA ÁREA DO REDONDÃO

6.1 - ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

O Diatrema Redondão situa-se no município de Santa Filomena, no extremo SW do estado do Piauí. Pode-se ter acesso através de rodovias federais e estaduais que ligam Teresina à cidade de Gilbués, de onde por estrada carroçável segue-se na direção NNW até a localidade de Guaribas, situada na serra homônima. O trajeto Gilbués-Guaribas é de 90 Km e se encontra em péssimo estado de conservação. A partir de Guaribas segue-se por 6,5 Km em direção SW em outra carroçável que dá acesso a Matas (figura 01).

A estrutura é facilmente identificada pois constitui na chapada da Serra das Guaribas uma depressão quadrática, alongada para NW, e com desnível topográfico negativo de até 80 m em relação à chapada. O diatrema apresenta extensão próxima a 1,5 Km ao longo do eixo maior.

O relevo no interior da estrutura é colinoso com várias elevações e suas bordas são caracterizadas por escarpas íngremes. Tanto a vegetação como o solo são contrastantes com relação à chapada. No interior do Redondão a vegetação é melhor desenvolvida e o solo é esverdeado e amarelado. O diatrema é atravessado pelo Riacho do Mateiro ou da Rapadura que escoar no lado NW em um imenso boqueirão após fazer vários meandros em seu interior. Nos produtos fotográficos examinados estas

características são básicas para a fotointerpretação.

Além do mapeamento geológico efetuado juntamente com o levantamento gamaespectrométrico procedeu-se análise de imagens digitais do Mapeador Temático do Satélite LANDSAT-5. As imagens foram ampliadas para a escala 1:25.000 no Analisador Multiespectral IMAGE-100 do Instituto de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos-SP. Foram utilizadas imagens individuais dos canais 3, 4 e 5, e composições coloridas falsa-cor, realçadas através de técnicas de "linear contrast stretch" (GE 1975), o que proporcionou uma melhor individualização de unidades geológicas e outras características do diatrema e adjacências. A fotografia 3 mostra uma vista panorâmica do diatrema e a fotografia 4 mostra uma das composições coloridas da imagem LANDSAT-5 com a fotointerpretação realizada. A figura 24 apresenta o mapa geológico do Redondão e adjacências.

6.2 - CONDICIONAMENTO GEOLÓGICO

6.2.1 - A SEQUÊNCIA PERMO-CARBONÍFERA

O corpo kimberlítico do Redondão encontra-se intrusivo nas rochas sedimentares da Bacia do Maranhão cortando as sequências superiores Piauí e Pedra do Fogo (fotografia 03). São essencialmente arenitos avermelhados, róseos, violáceos e esbranquiçados, siltitos, argilitos e folhelhos com tonalidades predominantemente avermelhadas. São compactos, friáveis e com granulação bastante variada. Nas proximidades da borda SE, os

Fotografia 03: conjunto de fotografias mostrando uma vista geral do diatrema Redondão. Destaca-se no segundo plano o Boqueirão do Mateiro (NW), algumas elevações no interior do corpo e a Chapada da Serra das Guaribas.

arenitos encaixantes exibem veios e concentrações elipsoidais mineralizados em opala e calcedônia, evidenciando a ocorrência de uma fase hidrotermal tardia.

6.2.1.1 - FORMAÇÃO PIAUI

No trajeto ao longo da estrada que liga Gilbués a Santa Filomena aflora ampla exposição da unidade, notadamente no trecho entre Gilbués e Passagenzinha. É uma área com topografia plana e morros testemunhos, onde se observa a quase horizontalidade dos estratos que mergulham suavemente para W. Em alguns afloramentos os arenitos são grosseiros e pintalgados de caulim na seção superior. Em um dos cortes mais expressivos, após a localidade de Passagenzinha, observam-se estratificações cruzadas do tipo torrencial.

Os arenitos e siltitos correspondentes à Formação Piaui podem ser encontrados em duas porções na área do Redondão. Ocorrem nos níveis de 25 a 30 m abaixo da linha de escarpa do diatrema (Fotografia 05), sob a forma de blocos e matacões amontoados em topos de morrotes, que realçam topograficamente as porções NW, N e NE do Redondão (Fotografia 06).

A primeira situação é observada próximo ao Boqueirão do Mateiro no NW da estrutura, uma vez que 90% da escarpa está recoberta por tálus. No entanto, o acesso aos afloramentos é difícil pois encontra-se um precipício, após o limite NW do diatrema com profundidade de 200 m em relação à chapada (Fotografia 07). Observações efetuadas próximo ao local mostram que há variações litológicas nos estratos. A unidade superior,

arenitos encaixantes exibem veios e concentrações elipsoidais

FIG.24:

MAPA GEOLÓGICO DO REDONDÃO E ADJACÊNCIAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO IG/USP.

AUTOR: R. MARIANO G. CASTELO BRANCO

ORIENTADOR: DR. BENJAMIM BLEY DE BRITO NEVES.

Fotografia 04: Produto falsa-cor de uma imagem de satélite LANDSAT-5 da área do Redondão e adjacências.

Fotografia 05: escarpa da Serra das Guaribas no Boqueirão do Mateiro (NW do diatrema) onde se observa o contato concordante e gradacional entre as Formações Piauí e Pedra do Fogo. Notar a sub-horizontalidade dos estratos.

Figura 25: Seção geológica esquemática no Boqueirão do Mateiro, mesmo local onde foi tomada a fotografia 05.

Fotografia 06: Morrote de arenito da Formação Piauí situado no lado N do diatrema. São matacões fraturados e amontoados que se destacam na topografia do interior do corpo.

Fotografia 07: tomada de SE para NW no topo do Boqueirão do Mateiro. Esta fratura se estende por dezenas de quilômetros.

mais argilosa e avermelhada, distingue-se da unidade inferior, essencialmente arenosa, grosseira e esbranquiçada dos estratos da Formação Piauí (fotografia 05).

Os morrotes por sua vez, aparecem destacados no interior do Diatrema do Redondão. No topo de elevações ocorrem afloramentos de contornos ovalados e grande quantidade de blocos e matacões rolados. São arenitos esbranquiçados, finos, silicificados, superficialmente são escuros e de aspecto ruiforme e fraturados intensamente para NW com mergulhos subverticais. São afloramentos restritos com diâmetro de 50 a 80 metros apresentando logo abaixo contato com brechas kimberlíticas ou solos de alteração residual. Verticalmente constata-se um perfil com 8 a 10 metros. Estes afloramentos são interpretados como restos de tetos pendentes, que foram arrastados de suas posições originais da parede do conduto vulcânico, a exemplo do que se passa em vários diatremas da África do Sul. A fotografia 08 mostra um dos blocos do morrote de arenito Piauí.

No Boqueirão do Mateiro os arenitos Piauí são bem estratificados, horizontais e sub-horizontais e suavemente dobrados. Mergulham de forma radial ao longo de toda a escarpa denotando arqueamento das camadas sedimentares pelo evento magmático atuante na área (Fotografia 09).

6.2.1.2. - FORMAÇÃO PEDRA DO FOGO

Os sedimentos da Formação Pedra do Fogo são facilmente identificados em campo pelo seu caráter ferruginoso, níveis de

Fotografai 08: aspecto dos arenitos Piaui encontrados nos morrotes do interior do Redondão.

Fotografia 09: vista de N para S do lado W do Redondão. Notam-se os arenitos Pedra do Fogo mergulhando suavemente para fora do diatrema. Observar a largura da fratura da fotografia 06 e das coberturas coluviais.

argilito, concreções de sílex e nódulos de caulim. Ocorrem ao longo de toda a parte superior do diatrema, em suas bordas internas e como blocos e matacões no material coluvial. Nas bordas da estrutura encontram-se principalmente arenitos e argilitos de coloração avermelhada, amarelada e violeta, compactos, finos, bem laminados, sub-horizontais e suavemente dobrados (Fotografias 5 e 19). São comuns calcedônia e sílica microcristalina formando nódulos esparsos que constituem a maior parte dos produtos silicificados.

Em diversas situações na escarpa do Redondão, os estratos da formação apresentam-se ora mergulhando para fora da estrutura e acompanhando seu formato, ora mergulhando para dentro da estrutura, refletindo arqueamento na parede do conduto vulcânico (Fotografia 11).

O mergulho dos estratos aqui referidos não ultrapassa ^o 30. A espessura da Formação Pedra do Fogo foi estimada em torno de 20 a 25 m baseado em sondagens elétricas verticais (item 7.2.2) e está recoberta por areias e siltes claros superficiais cuja espessura não ultrapassa os 2 m.

A Formação Pedra do Fogo (Permiano) cobre gradacionalmente a Formação Piauí (Carbonífero) e está associada a uma mesma sequência e ambiente de deposição (sequência Delta) e, na área são registradas as menores espessuras para a sequência Pedra do Fogo. Estas características dificultam a distinção entre elas, tornando quase impossível a individualização de contato. Associa-se, ainda, o fato das bordas do diatrema estarem completamente encobertas por espessa cobertura de material coluvial procedente do transporte das partes superiores da Serra

Fotografia 10: Afloramento da Formação Pedra do Fogo na Serra das Guaribas, imediações da borda S do Redondão. São arenitos avermelhados com veios alongados e silicificados. Níveis de argilito ocorrem intercalados.

Fotografia 11: aspectos gerais dos sedimentos das Formações Piauí e Pedra do Fogo na escarpa da borda S do Redondão.

Fotografia 12: aspectos das coberturas coluviais nas bordas do diatrema mascarando o contato Piauí-Pedra do Fogo e Piauí-brechas kimberlíticas.

Fotografia 13: amplo afloramento de brechas kimberlíticas muito alteradas no leito do Riacho do Mateiro.

das Guaribas onde só são evidenciadas litologias da unidade Pedra do Fogo (Fotografia 12). Poucas situações no interior do diatrema permitem estimativas de mudança litológica gradacional Piauí-Pedra do Fogo.

6.2.2. - INTRUSIVAS KIMBERLÍTICAS

6.2.2.1. - ASPECTOS GERAIS

No interior do diatrema os afloramentos de brechas kimberlíticas constituem cerca de 60% da área e variam intensamente em grau de alteração. As melhores exposições estão localizadas ao longo do vale do Riacho do Mateiro que cruza toda a estrutura desde sua entrada no lado NE até o final no lado NW por onde segue retilíneo por dezenas de quilômetros em um grande "canyon" (Fotografia 13). São afloramentos bastante alterados, argilosos, esverdeados, amarelados, compactos e umedecidos pelas frequentes cheias do riacho. É comum sobre estes afloramentos um solo esverdeado rico em matéria orgânica e muitas gretas de contração e são frequentes paredões com 8 a 10 m de perfil vertical deste material semi-consolidado. Os afloramentos da porção N do diatrema, onde a topografia é mais elevada, estão melhor preservados, ocorrendo brechas kimberlíticas típicas alteradas e serpentinizadas. Em alguns afloramentos evidencia-se um "bandamento" horizontal lembrando textura fluidal, caracterizado por um arranjo paralelo de minerais de serpentina e/ou pseudomorfos diversos (Fotografia 14). Não foi possível a

Fotografia 14: brechas do lado N do diatrema. Notar as tonalidades claras e um bandamento horizontal. Ao fundo solo escuro de decomposição de lateritos.

Fotografia 15: xenólitos ovais de granada-ilherzolito na parede ao longo do Riacho do Mateiro.

Fotografia 16: seção de uma amostra de brecha do Redondão mostrando seus aspectos texturais.

Fotografia 17: uma das elevações no N do Redondão com depósitos lateríticos no topo. São matacões e blocos ferruginosos com concreções pisolíticas.

observação de contato geológico direto entre as brechas e as rochas areníticas encaixantes devido à presença de material coluvial nas bordas internas do diatrema. Sob o colúvio ocorrem brechas em avançado estágio de alteração como observado em alguns poços rasos que foram efetuados.

Ao longo dos paredões de brecha esculpidos pela drenagem principal é grande a quantidade de xenólitos de granada-herzolito. São arredondados, ovalados ou elípticos, alterados e se encontram inclusos nos afloramentos de brecha e nos blocos ao longo dos riachos. Quando alongados podem atingir 20 cm de comprimento e são reconhecidos pela coloração escura e formato. Estes xenólitos devem representar muito provavelmente, material originado do Manto Superior. A fotografia 15 mostra um destes xenólitos incluso no afloramento da fotografia 13.

6.2.2.2 - PETROGRAFIA DAS BRECHAS KIMBERLÍTICAS

Macroscopicamente (análise efetuada com lupa de grande aumento), trata-se de uma brecha vulcânica, composta por clastos com dimensões entre 0,5 e 20 mm. São clastos polimícticos de natureza diversa, arredondados, subarredondados, angulosos e prismáticos (fotografia 16).

Entre os clastos acham-se presentes minerais alterados com formas alongadas que se assemelham a olivina serpentizada ou cloritizada, granadas de cor vermelha parcialmente alteradas, minerais opacos, variedades de micas em mínimas proporções e outros não identificados. Boa parte dos minerais estão substituídos por material micáceo-fibroso e referem-se muito

provavelmente a minerais ferro-magnesianos do grupo das olivinas e dos piroxênios. Dificilmente estes clastos ultrapassam 5mm. Nas amostras coletadas os clastos acessórios são bem maiores e atingem 20 mm. São irregulares, alterados e estão distribuídos esparsamente; correspondem normalmente a fragmentos de rochas ultramáficas alteradas, provavelmente cogenéticas ao material magmático juvenil.

Os clastos acidentais são representados por fragmentos das encaixantes, caracterizados por pequenos nódulos de rochas sedimentares e grãos de quartzo que são atribuídos a resquícios dos arenitos, argilitos e siltitos avermelhados, que representam essencialmente as rochas encaixantes do corpo. Os grãos de quartzo de dimensões reduzidas, mostram-se normalmente com bordas arredondadas. Nódulos milimétricos de agregados escamosos-plumosos apresentam características de minerais do grupo das argilas. Este material argiloso representa praticamente toda a matriz que abriga os clastos essenciais, acessórios e acidentais. Estes clastos encontram-se envolvidos numa matriz esbranquiçada, levemente esverdeada de natureza argilosa e granulação muito fina. Cerca de 70% dos seus constituintes correspondem a minerais do grupo das argilas e micas, carbonatos e produtos de alteração dos clastos, provavelmente serpentinas e talco. O restante é representado por diminutos clastos não identificados possivelmente minerais ferro-magnesianos, como olivinas, granadas e opacos entre outros. A relação estimada de clastos versus matriz é de 25 para 75%, respectivamente.

Com base nas observações em 25 seções delgadas,

conclui-se tratar-se de uma rocha com textura brechóide, composta essencialmente por pseudomorfos substituídos por massas e lamelas de serpentina, clorita e talco. Grãos de quartzo, opacos e granadas acham-se distribuídos numa matriz formada por relíctos de cristais de piroxênio, carbonatos, anfibólios fibrosos, opacos, produtos de alteração e microinclusões não identificadas. Existe na matriz evidências de processos de natureza magmática-metassomática como a cristalização magmática tardia evidenciada em cristais prismáticos de quartzo corroídos e as substituições observadas em pseudomorfos, respectivamente.

Os seguintes percentuais minerais foram estimados com base na observação de 25 seções delgadas: minerais de argila (40%), carbonatos (13%), cloritas (12%), talco (10%), quartzo (10%), serpentinas (10%), flogopitas (5%), opacos (3%), piroxênios (faixa do diopsídio) + granada (faixa piropo-almandina) + biotita + apatita + perovskita + zircão (2%).

6.2.2.2.1. - MINERALOGIA

MINERAIS DE ARGILA

Nas brechas do Redondão, os minerais de argila chegam a constituir 40% dos minerais. Ocorrem tipicamente em grupos escamosos de grãos finos com contornos irregulares, as vezes com formas retorcidas vermiculares, em agregados plumosos e massas micro a criptocristalinas de escamas e placas, intimamente associados com carbonatos, quartzo, talco e serpentina. Observam-se também variações nas características óticas dessas

argilas, que possivelmente são representadas por montmorillonita e caolinita (alteração da argila montmorillonita ou dos feldspatos e minerais dos clastos acidentais em geral). A presença destes minerais representa uma fase típica de alteração final.

CARBONATOS

O exame microscópico das amostras do Redondão revela que aproximadamente 13% dos minerais correspondem a carbonatos. Além de calcita é possível a presença de variedades ferrosas e magnesianas. Ocorrem em massas irregulares na matriz, preenchendo fraturas e espaços intersticiais e, na maioria das vezes, limitando clastos na forma de franjas, com características de bordas de reação. Ocorrem também em grãos e pequenos cristais irregulares associados com talco, minerais de argila, clorita e raramente em cristais euédricos bem formados dispersos na matriz fina argilosa (Fotomicrografia Ø1).

CLORITA

Corresponde a 12% dos minerais. Ocorre substituindo granadas e outros minerais sob a forma de pseudomorfos, em grupos escamosos e tabulares associados com talco e serpentina. Exibe comumente pleocroísmo róseo-violeta e azulado. Ocorre também no interior de pseudomorfos de olivinas associada com serpentinas e/ou talco e as vezes preenche fraturas em outros minerais

Fotografia 18: detalhe de uma amostra de laterito do afloramento da fotografia 17.

Fotomicrografia 01: Cristal bem formado de calcita, fraturado, disperso na matriz fina. Aumento x 40. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 02: Fragmentos de clorita. Aumento x 40. Nicóis descruzados.

Fotomicrografia 03: Presença de inúmeros cristais de quartzo com formas e dimensões diversas dispersos na matriz. Aumento x 40. Nicóis descruzados.

(Fotomicrografia 02).

TALCO

A presença do talco nas brechas do Redondão é evidenciada nas amostras de mão pelo seu aspecto pulverulento-sedoso. Em seções delgadas corresponde aproximadamente a 10% dos minerais. Encontra-se distribuído na matriz em agregados filamentosos ou massas radiais micro-lamelares, associados com carbonatos e também na forma de pseudomorfos substituindo outros minerais.

É provável que o talco presente nas amostras tenha sido formado pela alteração da serpentina.

QUARTZO

O exame microscópico mostra que o quartzo corresponde a aproximadamente 10% dos minerais. Ocorre sob a forma de pequenos grãos com dimensões entre 0,1 e 0,6 mm, existindo alguns grãos na faixa de 1,0 a 1,6 mm. Fazem parte da matriz e dos pequenos clastos que ocorrem dispersos na mesma. São grãos arredondados, subarredondados, raramente pontiagudos com faces prismáticas corroídas, as vezes alongados ou completamente irregulares. Mostram-se frequentemente fraturados e estriados, exibindo as vezes fraturas preenchidas por minúsculos grãos de opacos. Em muitos grãos evidenciam-se desgastes, extinção ondulante e, às vezes, mostram bandas de deformação. Os cristais imbricados com bordas arredondadas a subarredondadas, denotam aspectos de

clastos acidentais oriundos da rocha encaixante, cuja composição é essencialmente areno-argilosa. Estes grãos são de origem secundária e perfazem a maioria dos observados. Já os cristais prismáticos, corroídos, podem ser de origem tardia e formados numa fase de silicificação. É comum estarem limitados por uma franja ou coroa de talco ou carbonato da matriz. Observam-se também fraturas preenchidas com material da matriz, geralmente carbonatos e serpentinas (fotomicrografia 03).

SERPENTINAS

Microscopicamente, estima-se que 5% dos minerais sejam serpentinas. Ocorrem localizadamente no interior de pseudomorfos, sob a forma de agregados fibrosos-lamelares, associadas com cloritas pleocróicas. Embora perfazendo apenas 5%, é notável a presença de serpentinas como pseudomorfos de olivina, preenchendo ou substituindo fraturas na mesma ou substituindo provavelmente piroxênio. Ocorrem cristais de opacos nas superfícies das lamelas sob a forma de minúsculos grãos irregulares, por vezes nas estrias da periferia dos pseudomorfos. Baseado nas características óticas (extinção, pleocroismo, hábito, etc), as serpentinas do Redondão evidenciam caráter com propriedades da faixa antigorita-crisotila (fotomicrografia 04).

FLOGOPITA

A flogopita ocorre como um constituinte da matriz sob a

Fotomicrografia 04: Pseudomorfos de olivina (?) com preenchiamento de serpentina. Aumento x 40. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 05: Inúmeros cristais de opacos de diminutas dimensões dispersos na matriz fina, associados com carbonatos. Aumento x 400. Nicóis cruzados.

forma de massas lamelares, intimamente associada com talco, serpentina e carbonato. Perfaz 5% dos minerais.

OPACOS

Os opacos das brechas do Redondão correspondem a 03% dos minerais. Ocorrem sob a forma de cristais euédricos bem formados, quadráticos e retangulares com frequentes coroas de reação. A maioria dos cristais observados mostram fraturas preenchidas com material da matriz e têm dimensão geralmente inferior a 0,5 mm; contudo, os cristais prismáticos não ultrapassam 0,1 mm. Ocorrem também como minúsculos grãos preenchendo fraturas e clivagens em pseudomorfos e cristais de quartzo. Vários cristais mostram claramente que pertencem ao sistema cúbico, possivelmente trata-se da pirita. A observação de grãos nas amostras de brecha do Redondão, após separação dos pesados, revela que a quase totalidade dos opacos referem-se à magnetita e ilmenita. A ilmenita magnesiana é um dos mais importantes minerais satélites usado na prospecção de corpos kimberlíticos e diamantes. Svisero et al. (1977) já havia comprovado que as ilmenitas e granadas do Redondão têm afinidade kimberlítica (fotomicrografias 05 e 06).

PIROXÊNIOS

Nas seções delgadas estudadas, o diopsídio ocorre em mínimas proporções (< 1%). Apresenta-se sob a forma de minúsculos grãos reliquiais (fragmentos de cristais) dispersos

Fotomicrografia 06: Cristais quadráticos de opacos com bordas de reação. Aumento x 100. Nicóis descruzados.

Fotomicrografia 07: Cristal de granada fraturado. Aumento x 100. Nicóis cruzados.

de modo irregular na matriz. São de cor esverdeada, bastante alterados, geralmente com formas arredondadas e subarredondadas. Ao longo dos planos de clivagem e fraturas, observa-se substituição ou preenchimento por minerais de serpentina, clorita e carbonato. Embora outros clinopiroxênios possam estar presentes não foi possível identificá-los.

Foram observados alguns cristais reliquiais com características de ortopiroxênios parcialmente alterados, e devem corresponder muito provavelmente à enstatita ou hiperstênio.

GRANADA

Com base nas observações das seções delgadas, suspeita-se que aproximadamente 1% dos minerais sejam granadas. Estudos efetuados por Svisero et al. (op.cit) conduziram à informação de que estas granadas são piropo e encerram um teor significativo de Cr e Ca em sua molécula.

Ocorrem sob a forma de cristais reliquiais, muitas vezes pseudomorfizados, mostrando substituição para cloritas, comumente alteradas e bastante fraturadas. O formato poligonal alongado das seções, apresenta-se normalmente ovalado. Os cristais atingem comprimento da ordem de 1,0 a 2,0 mm. (Fotomicrografia 07).

É importante frisar que amostras de sedimentos de corrente obtidas no Riacho do Mateiro apresentam grandes quantidades de cristais de granada. Ocorrem arredondados, angulosos, pontiagudos e fraturados. São cristais limpos, de cor

vermelha intensa e praticamente isentos de alteração. Podem atingir até 5 mm.

BIOTITA

Nas brechas do Redondão a biotita ocorre em proporções inferiores a 1%. São grupos de cristais lamelares, as vezes curvos, de coloração amarronzada ou parda e sempre está parcialmente cloritizada. Exibe processos de oxidação nas linhas de fraturas e ao longo dos planos de clivagem (Fotomicrografia 08).

APATITA

Nas seções delgadas examinadas a apatita é rara, ocorrendo sob a forma de cristais alongados, arredondados e sub-arredondados. Está geralmente fragmentada e ao longo das fraturas observa-se o preenchimento de material da matriz. Os cristais têm dimensões variando entre 0,2 e 0,4 mm (Fotomicrografia 09).

PEROVSKITA

Este mineral constitui menos de 0,5% dos minerais acessórios e ocorre sob a forma de pequenos cristais (<0,1 mm) irregulares, muito alterados, e esparsamente distribuídos na matriz. Estão fraturados e frequentemente exibem bordas de reação (Fotomicrografia 10). Os exames macroscópicos e microscópicos revelam a ocorrência de um grande número de pseudomorfos com

Fotomicrografia 08: Lamela de biotita cloritizada.
Aumento x 100. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 09: Cristal alongado de apatita com
fraturas transversais. Aumento x 100. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 10: Cristal de perovskita muito alterado. Observa-se nas bordas oxidação e alteração mais acentuada que no centro do cristal. Aumento x 400. Nicóis descruzados.

Fotomicrografia 11: Pseudomorfos de olivina bastante alterados. Aumento x 40. Nicóis cruzados.

formas de olivina, serpentinizados e cloritizados, distribuídos irregularmente na massa fundamental. Infelizmente não se pode afirmar que correspondem à olivina, pois piroxênios e outros minerais, podem formar pseudomorfos serpentinizados e cloritizados, apesar de vários pseudomorfos mostrarem formas cristalográficas reliquias de prisma ortorrômbico. Boa parte do percentual estimado para serpentinas, é resultado de processos secundários de alteração de cristais de olivina ou piroxênios (Fotomicrografia 11).

Utilizando-se aumento de 400 vezes, é possível identificar cristais de zircão prismáticos, com bordas subarredondadas, bem caracterizados pelo alto relevo e cores de interferência. Ocorrem irregularmente distribuídos na matriz, e alguns cristais são idiomorfos. (Fotomicrografia 12).

Fato digno de nota, é a presença em algumas seções delgadas de raros cristais de plagioclásio com maclas albita-Carlsbad combinadas e com extinção ondulante. Estão dispersos na matriz e próximo aos cristais destaca-se natureza argilosa com opacos. Estes minerais podem representar contaminação crustal nas brechas kimberlíticas (Fotomicrografia 13).

6.2.2.3. - NATUREZA DA ROCHA

Existem basicamente dois tipos gerais de classificações para as brechas de origem ígnea: genéticas e geológico-descriptivas. Entre as classificações genéticas a mais frequentemente citada é a de Fisher (1960) que enfatiza o processo de fragmentação ou brechamento. As classificações

Fotomicrografia 12: Cristal de zircão numa matriz argilosa fina, com carbonatos. Aumento x 400. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 13: Cristal de plagioclásio maclado. Aumento x 400. Nicóis cruzados.

geológico-descrições caracterizam-se pela descrição do ambiente geológico de colocação. Entre as classificações desta natureza destaca-se a de Ulbrich (1986) resultado de uma vasta pesquisa sobre as brechas de origem ígnea. Outras classificações gerais ligadas a aspectos texturais, granulometria, forma, angulosidade, e litologia dos clastos componentes, relacionam-se às brechas de uma forma geral e podem ser encontradas em vários tratados de sedimentologia.

Baseado na classificação em função do ambiente geológico de colocação (Ulbrich op. cit), as amostras aqui analisadas correspondem às brechas explosivas de conduto e, entre estas, às brechas intrusivas tipo tufisíticas. Vale salientar que a identificação do ambiente geológico fixa não só o contexto geológico como também limita de modo adequado os parâmetros geológicos que são os causadores do fenômeno (Ulbrich op. cit.).

6.2.3. - DEPÓSITOS CENOZOICOS

6.2.3.1. - LATERITOS

No interior da estrutura encontram-se depósitos lateríticos cobrindo morrotes e com grande quantidade de blocos rolados. São blocos e matacões com concreções ferruginosas pisolíticas, quartzosas, com tonalidades vermelha do ferro que podem atingir 3 cm de diâmetro. Os afloramentos mais expressivos encontram-se no lado N do diatrema e os matacões estão amontoados, atingem 5 a 8 m de tamanho e, no conjunto, abrangem

até 80 m de extensão. Embora não tenha sido possível estabelecer um perfil típico de evolução laterítica, este horizonte concrecionário muito se assemelha ao topo de perfis descritos por Oliveira et al. (1986) para lateritos sobre rochas ultramáficas ricas em olivina, serpentina e piroxênios (fotografias 17 e 18).

6.2.3.2 - COLUVIO

O material coluvial apresenta-se ao redor do diatrema (fotografia 12) cobrindo a escarpa e sobre as brechas kimberlíticas na parte interna da estrutura. São coberturas extensas com vegetação abundante, relevo colinoso, e constituídas por material areno-argiloso das rochas encaixantes e blocos e matacões de arenito. Atingem 30 a 50 m de extensão a partir da escarpa em direção ao centro da estrutura. Tais coberturas impedem observações a respeito das relações de contato entre o corpo kimberlítico e suas encaixantes.

6.2.3.3 - ALUVIÕES

As aluviões são sedimentos inconsolidados recentes que ocorrem no vale do Riacho do Mateiro. Estão presentes sedimentos arenosos e argilosos das rochas encaixantes, blocos, matacões e seixos angulosos e sub-angulosos de rochas areníticas, seixos de quartzo de dimensões centimétricas, fragmentos de brechas kimberlíticas e xenólitos ovais e alongados de granada-lherzolito que foram acumulados nos meandros da drenagem. As areias quartzosas, feldspáticas e micáceas, associam-se grandes

quantidades de minerais pesados, principalmente granada vermelha e opacos magnéticos. Cristais de magnetita e ilmenita destacam-se entre os opacos. Material esverdeado e escuro, produto de alteração residual das brechas e matéria orgânica ocorrem principalmente nas margens do riacho.

6.2.3.4 - COBERTURAS ARENOSAS INDIVISAS

As coberturas arenosas indivisas encontram-se na Serra das Guaribas no lado S do diatrema. São areias fina a média, quartzosas, feldspáticas, micromicáceas e de coloração branca cobrindo os estratos Pedra do Fogo irregularmente. A espessura destas areias não ultrapassa os 2 m tendo sido bem caracterizados nas sondagens elétricas verticais realizadas. É possível que estas areias correspondam a produtos de alteração (solos) da Formação Pedra do Fogo. Devido à falta de estudos sedimentológicos pormenorizados, prefere-se aqui enquadrá-las como coberturas arenosas indivisas

6.2.4. - ASPECTOS DE GEOLOGIA ESTRUTURAL

Na área do Redondão destacam-se grandes fraturas, arqueamentos e escorregamentos, estes localizados na escarpa do diatrema. Evidentemente, a própria morfologia do Redondão reflete uma feição estrutural de colapso, onde grande parte do material originado pelo evento ígneo explosivo preencheu o diatrema formado. A fratura mais expressiva está localizada no NW do

diatrema (Boqueirão do Mateiro) de onde segue por dezenas de quilômetros na direção N 60⁰ W. Em campo esta fratura é representada por um "canyon" esculpido nas formações Pedra do Fogo e Piauí (Fotografia 07), é retilíneo e apresenta uma largura que atinge 100 m. Não foi possível evidenciar qualquer efeito de deslocamento longitudinal entre uma borda e outra da escarpa. Esta fratura foi provavelmente responsável pelo alívio de pressão causador da colocação do corpo kimberlítico, quando da sua intercepção com um dique NE em profundidade, portador de material kimberlítico (item 7.1.2).

As rochas básicas mencionadas no item 4.11 que afloram no SW da área têm importante conotação estrutural para a área em estudo. Os diques básicos que ocorrem na porção centro-E da Bacia do Maranhão estão orientados preferencialmente para NE, numa faixa contínua, refletindo um controle estrutural dominante. A resposta deste controle está em fraturas do substrato cristalino, reativadas e preenchidas no Mesozóico. O mesmo deve ocorrer com material magmático de níveis mais profundos (magma ultrabásico), que só atinge a superfície em condições estruturais e tectônicas específicas, como é o caso dos jazimentos kimberlíticos. Embora não existam dados geocronológicos sobre estas rochas (kimberlitos) na área em apreço, a idade mais provável de sua formação é o Juro-Cretáceo, uma vez que cortam o pacote Pedra do Fogo (Permiano) e, que este foi um período de grande reativação tectono-magmática.

Uma outra fratura menos expressiva e bem evidenciada em produtos de sensoriamento remoto, está localizada na borda E do diatrema, limitando-o e é responsável pela linearidade da escarpa

nesta porção. Tem orientação N 10^o E, e se estende por cerca de 30 Km. Em campo, constata-se o início da formação de um vale acompanhando esta direção no lado NNE do Redondão.

Outras fraturas estão localizadas no W do Redondão, com orientação N 40^o W e N 10^o W estão representadas por vales retilíneos com extensão superior a 2 km. Muitas destas fraturas devem corresponder a resultados de esforços extensivos advindos com a Reativação da Plataforma no Mesozóico.

Baseado em poucas medidas de atitudes, por problemas de acessibilidade, presupõem-se que dobramentos suaves observados nos paredões da escarpa do Redondão, sejam reflexos de arqueamentos nas paredes do conduto vulcânico durante o processo intrusivo/explosivo. É improvável que apenas a compactação diferencial nos estratos sedimentares tenha originado tais dobramentos. São registrados ao longo de quase toda a escarpa e, em vários locais, os estratos mergulham ora de forma centrífuga e ora centrípeta. A fotografia 11 mostra estes dobramentos na borda S do diatrema. O mergulho dos estratos no Boqueirão do Mateiro no lado S da escarpa é para NW, ao passo que no lado N, chega a ser para NNE, com ângulos que não ultrapassam 20^o, sendo na maioria das situações apenas possível estimá-los.

6.3 - PROSPECÇÃO GAMAESPECTROMÉTRICA

A aplicação de métodos geofísicos na prospecção e mapeamento de corpos kimberlíticos foi utilizada em outros países e mesmo no Brasil. Entre outros, o método radiométrico foi

utilizado por Reis (1966) em corpos de Angola; Paterson & MacFadyen (1977) em Lesotho; Carlson et al. (1982) nos kimberlitos Maxwell nos Estados Unidos e, recentemente, Haralig & Svisero (1984) apresentaram uma integração geofísica envolvendo vários métodos em trabalhos realizados em corpos kimberlíticos do W de Minas Gerais.

Como os corpos kimberlíticos apresentam características químicas particulares e estão localizados nas mais variadas condições geológicas, levantamentos geofísicos, principalmente radiométricos, apresentam possibilidades diferentes de sucesso, sejam em levantamentos terrestres ou aeroportados.

6.3.1 - CONCEITOS FUNDAMENTAIS E PROCEDIMENTOS

A unidade utilizada na detecção da radioatividade é o Roentgen e suas subdivisões micro e miliroentgen. Os equipamentos utilizados em campanhas de campo indicam a radioatividade em choques por minuto (cpm) ou choques por segundo (cps), que é marcada na escala de um micro-ohmímetro, em um circuito integrado que soma os pulsos para medir a intensidade total. Assim, os cps são as pulsações de partícula gama (alfa e beta têm pouca penetração) emitidas por uma determinada substância por segundo. A conversão das unidades depende dos equipamentos e alguns trazem tabelas de conversão. Para o caso de determinações de concentrações superficiais em, ppm por exemplo, podem ser feitas estimativas que dependem de vários parâmetros instrumentais e, fundamentalmente, da calibração em amostras analisadas quimicamente.

Neste trabalho foi empregado um espectrômetro de raios gama ALTEC, modelo AG 1, de fabricação nacional, pertencente à Residência da NUCLEBRAS de Fortaleza. Este equipamento diferencia-se do cintilômetro por detectar a radiação gama dos fotopicos de K, U e Th, além da contagem total (CT). Discrimina a energia emitida por estes elementos nas seguintes faixas: de 1,40 a 1,54 MeV para o K, 1,65 a 1,90 MeV para o Bi da série de desintegração do U e, 2,42 a 2,80 MeV para o Tl da série de desintegração do Th. Uma outra faixa de medida abrange a radiação total por volta de 0,2 MeV. Seu sensor é dotado de um cristal de NaI ativado com Tl de 2,0 por 2,0 ". Opera com uma fonte de alta tensão entre 900 e 1.000 V, e em faixas de 30 a 30.000 cps. A precisão das leituras pode ser aumentada através do tempo de integração que diminui as flutuações estatísticas (Manual Altec 1975).

Foram realizados 12 perfis cruzando o diatrema Redondão na direção N-S (magnético) distribuídos 6 a E de uma linha passando pelo centro da estrutura (linha zero), e 5 a W desta mesma linha, totalizando 600 estações no corpo e adjacências. As linhas tiveram espaçamento lateral de 50 m e leituras a cada 25 m (figura 26). Foram construídos mapas de isovalores para todas as radiações, com o objetivo de averiguar possíveis zonas anômalas e melhor caracterizar litologias no diatrema e adjacências. Nos perfis foi adotada suavização através da média móvel e para a construção dos mapas adotou-se método gráfico em papel di-log, onde dependendo dos valores máximo e mínimo, obtém-se um melhor espaçamento entre as curvas. A cada uma das faixas de valores

- CONVENÇÕES**
- estação com leitura magnetométrica (levantamento regional).
  - estação com leitura gamaespectrométrica.
  - X estação com leitura magnetométrica.
  - ◆ sondagem elétrica vertical.
  - habitação.
  - estrada carrocável.

Base planimétrica folha 1:100.000- Alto Parnaíba, SUDENE / ME.

FIG. 26: Mapa de localização das estações dos levantamentos geofísicos efetuados na área do Redondão e adjacências.

corresponde uma simbologia. As figuras 27 a 31 mostram os perfis e mapas supracitados.

6.3.2 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como mostram os perfis da figura 27, as concentrações superficiais de K, U, e Th revelam um nítido contraste entre os solos provenientes da alteração dos arenitos Pedra do Fogo e os solos provenientes da alteração das brechas kimberlíticas. As linhas verticais tracejadas representam as faixas onde se encontram os limites destes solos, correspondendo aproximadamente às bordas S e N do diatrema. Os perfis de Th, U e K destacam o corpo intrusivo com valores entre 1,1 e 1,8 cps dos arenitos da Formação Pedra do Fogo cujos valores são homogêneos e em torno de 1,0 cps. Já o perfil de contagem total é pouco conclusivo.

As oscilações observadas nos perfis de Th, U e K podem refletir concentrações esparsas, localizadas e de pouca amplitude dos radioelementos que tiveram seus isótopos redistribuídos por processos superficiais de alteração. Na porção N dos perfis de U e Th observa-se maior oscilação das contagens e um patamar mais elevado de contagens; já no perfil de K, apesar da oscilação, nota-se que, em média os valores estão mais baixos e uniformes. Observa-se, também, que no perfil de contagem total desta seção há um incremento significativo e bem destacado das leituras. Este fato pode ser explicado pela presença dos depósitos lateríticos que fazem com que os valores sejam mais elevados, principalmente na janela do Th, elemento menos móvel e concentrado nestas litologias. Para o K seriam esperados valores

FIG. 27: PERFIS GAMAESPECTROMÉTRICOS (cps $\times 10$) CRUZANDO O DIATREMA REDONDÃO - LINHA ZERO.

FIG.28: MAPA DE ISOVALORES (cps x 10 DE POTÁSSIO) DO DIATREMA REDONDÃO E ADJACÊNCIAS.

FIG. 29 : MAPA DE ISOVALORES (cps x 10 DE URÂNIO) DO DIATREMA REDONDÃO E ADJACÊNCIAS.

FIG. 30: MAPA DE ISOVALORES (cps x 10 DE TÓRIO) DO DIATREMA REDONDÃO E ADJACÊNCIAS.

FIG.31: MAPA DE ISOVALORES (cps x 10 CONTAGEM TOTAL) DO DIATREMA REDONDÃO E ADJACÊNCIAS.

mais baixos e estáveis nesta zona, pois estas rochas são pobres neste elemento. Assim, contagens de Th e U aumentam, aumentam os valores registrados na janela que capta todas as radiações. Estes resultados são compatíveis com os perfis efetuados nas demais linhas do levantamento.

Nos mapas de isovalores apresentados nas figuras 28 a 31 também se observam os valores contrastantes na porção central do diatrema em relação às bordas. Estes mapas refletem bem uma concentração de K, U, e Th na porção central do diatrema. Este incremento pode ser notado através das simbologias adotadas. A linearidade na concentração pode ser explicada pela própria morfologia do diatrema, mais baixa na porção central, e por conseguinte concentrando os radioelementos, ou como consequência de um fraturamento N-S (magnético) que também teria permitido concentrações de radioelementos.

Os dados aqui mostrados se diferenciam daqueles apresentados por Svisero et al. (1980, 1982, 1984) para corpos do W de Minas Gerais, onde apenas os perfis de Th são representativos, embora os valores sejam bem mais contrastantes com as encaixantes. Trabalhos desenvolvidos por Carlson et al. (1982) nos kimberlitos Maxwell 1 e 2 nos EUA revelaram que os perfis de U e Th são inconclusivos. Nestes corpos apenas as contagens de K indicam melhor a extensão dos corpos.

6.4 - ASPECTOS GEOLÓGICOS DE OUTROS DIATREMAS PRÓXIMOS AO REDONDÃO

6.4.1 - OS DIATREMAS APICUNS

Estão localizados cerca de 13 Km ao S do Redondão, ainda na Serra das Guaribas e trata-se de um conjunto de três estruturas ovaladas, próximas, alinhadas segundo N 30° W. A estrutura principal tem dimensão da ordem de 400 m e situa-se entre as outras duas menores, sendo ligeiramente alongada na direção N (Figura 32).

Os diatremas Apicuns, devem por situação e características tão semelhantes entre si, corresponder a três intrusões alinhadas. As informações aqui apresentadas referem-se apenas à estrutura maior, central, que tem contornos bem realçados em relação ao grande chapadão que forma a Serra das Guaribas. Estes contornos são caracterizados por grandes cristas de silexito que se sobressaem verticalmente nas camadas horizontais dos arenitos da Formação Pedra do Fogo. As cristas são espessas, alongadas, com contornos arredondados e algumas ovaladas e estão separadas por efeitos de erosão ou, muito provavelmente, resultado de fraturas de direção NE, pois encontram-se cristas independentes nas proximidades alinhadas nesta direção. Observações de campo efetuadas em alguns poços do diatrema central, mostram que as dificuldades de se realizar reconhecimento geológico decorrem da presença de um solo bastante espesso cobrindo horizonte de cascalho contendo seixos de quartzo, quartzito e silexito misturados e material tufáceo, com nódulos de caulim. Este "horizonte" pode ultrapassar 5 m de espessura. Não foi observado material kimberlítico rochoso como no Redondão, mas material amarelado com minerais de serpentina,

REPRESENTAÇÕES LITOLÓGICAS E CONVENCÕES GEOLÓGICAS

QUATERNÁRIO		ALUVIÕES: AREIAS, SILTES, ARGILAS
		COLÚVIO: BLOCO, MATAÇÕES, SEIXOS, AREIAS LATERÍTICAS, SOLOS RESIDUAIS
		SILEXITO
JURO-CRETÁCEO		BRECHAS KIMBERLÍTICAS ALTERADAS
		BRECHAS E TUFOS KIMBERLÍTICOS
PERMIANO		FORMAÇÃO PEDRA DO FOGO: ARENITOS E SILTITOS VERMELHOS
CARBONÍFERO		FORMAÇÃO PIAUÍ: ARENITOS ESBRANQUIÇADOS
		CONTATO GEOLÓGICO
		ESCARPA
		CRISTA
		DRENAGEM

FIG. 32: ESBOÇO GEOLÓGICO DOS DIATREMAS APÍCUNS E BELMONTE COMPARADAS COM O DIATREMA REDONDÃO.

ilmenita e diopsídio (?). Os abundantes cristais de granada encontrados no Redondão não foram observados em Apicuns. Os aspectos estruturais marcantes, salientados em imagens de radar, são lineamentos NNW e NE sugerindo que as estruturas estão associadas a fraturas secundárias de lineamentos de maior porte e com direção NE.

6.4.2 - OS DIATREMAS BELMONTE

São estruturas localizadas próximo à Fazenda Largo no município de Bom Jesus (figura 32), e conhecidas como Belmonte 1, 2 e 3. Estão alinhadas na direção N 11° W e têm características bem diferentes das anteriores, sendo difícil a sua identificação em produtos de sensoriamento remoto uma vez que são representadas apenas por cristas de arenito seccionadas ou elevações do tipo morrote sem apresentarem contornos bem delineados como no Redondão e Apicuns. Desta forma, os diatremas Belmonte são reconhecidos mais facilmente por contrastes de solo dos arenitos da Formação Piauí e um solo arenoso de tonalidade mais escura na área das estruturas. Também se nota uma vegetação mais desenvolvida no interior destes diatremas. Apresentam diâmetro da ordem de 300 a 600 metros e no interior foram encontradas rochas similares às do Redondão, mas com alteração mais intensa. São afloramentos estreitos em amontoados lateríticos. Em campo é marcante o formato ovalado destas estruturas bem como o solo predominantemente amarelado.

6.4.3 - OUTRAS ESTRUTURAS CIRCULARES

As outras estruturas representadas na figura 23 mostram morfológicamente semelhanças com aquelas que foram abordadas neste trabalho. Têm contornos ovalados, elípticos e semi-circulares, geralmente seccionados, e caracterizados por cristas de arenito e/ou sílexito. Algumas são cortadas por fraturas e outras apenas bordejadas. Os diâmetros são bastantes variados, porém geralmente superiores aos 300 metros e quando em grupo estão alinhadas para NE e NW. Infelizmente, para realizar reconhecimento geológico em todas as estruturas apontadas no trabalho fotointerpretativo seria necessário uma infra-estrutura muito dispendiosa. Na realidade, o exame detalhado de fotografias aéreas e imagens realçadas de satélite eliminaria parte delas que correspondam apenas a formas de erosão. As estruturas que foram selecionadas para reconhecimento de campo correspondem a formas morfológicas que despertaram maior interesse.

CAPÍTULO VII

GEOLOGIA DE SUB-SUPERFÍCIE

7.1 - MAGNETOMETRIA

7.1.1 - ASPECTOS ESSENCIAIS E PROCEDIMENTOS

Atualmente os magnetômetros mais usados são de fluxo e de precessão nuclear que medem a intensidade total do campo magnético da terra.

O magnetômetro de precessão nuclear ou próton-magnetômetro utilizado nos levantamentos aéreo (CPRM/PROSPEC 1978) e terrestre na área, baseia-se no fenômeno da ressonância magnética. Um forte campo magnético é aplicado a um cilindro normalmente contendo água, querosene ou álcool através de uma bobina que o rodeia. Assim, os magnetos são temporariamente alinhados ou polarizados devido a aplicação deste campo uniforme. Uma vez removida a corrente, os spins dos prótons entram em um movimento de precessão em torno do campo magnético da terra dominante. A precessão dos prótons gera um pequeno sinal na mesma bobina usada para polarizá-los, cuja frequência é proporcional à intensidade do campo magnético e independente da orientação da bobina, que é o sensor do magnetômetro. A frequência da precessão é medida em um contador digital que tem precisão, neste caso, de 1 nT (Breiner 1973, Figuerola 1974).

No levantamento aéreo (CPRM/PROSPEC op. cit.) foi usado o magnetômetro geometrics G-803 da Geometrics Inc (EUA), de

precessão protônica, com sensor colocado na cauda da aeronave e para medidas da intensidade total do campo magnético.

No levantamento magnetométrico terrestre foi utilizado o magnetômetro portátil geometrics G-816 fabricado pela Geometrics Inc (EUA), também de precessão protônica, pertencente à Fundação NUTEC de Fortaleza. Os trabalhos de campo abrangem uma área de 160 Km² envolvendo o diatrema Redondão e adjacências ao longo de vias de acesso na região; foram realizadas 550 leituras com espaçamento entre 500 e 100 m, ao longo de vias de acesso na região. Deu-se preferência à realização de perfis orientados segundo o N magnético e secundariamente a perfis transversais. Em cada uma das estações foram efetuadas três leituras, além daquelas realizadas a intervalos de 2 horas em bases fixadas para possibilitar as correções de deriva baseado nas curvas de variação diurna do campo magnético nestas estações. A figura 33 mostra o mapa de anomalias magnéticas obtido no levantamento terrestre.

Foram selecionados 1 perfil aéreo e 2 perfis terrestres para serem tratados e modelados em um micro-computador Itautec PC de 16 bits com 256 K de RAM, 2 drives e interligado a uma impressora Rima - XT 180, pertencentes ao Nucleo de Processamento de dados da UFC. Na modelagem, foram usados os programas Magpoly versão 2.1 elaborado pela Geosoft e o redator de textos Word Star elaborado pela Microsoft que se prestou à geração dos arquivos das seções modeladas.

O cálculo do efeito magnético causado por um corpo de forma e susceptibilidade magnética arbitrária, magnetizado pelo campo externo, é muito complicado como demonstram vários

0 0,5 1 1,5 2 2,5 3 Km

CONVENÇÕES

- CURVAS ISOANÔMALAS DA INTENSIDADE MAGNÉTICA TOTAL COM INDICAÇÃO DOS VALORES EXTREMOS. (nT)
- APROXIMAÇÃO OU INFERÊNCIA DAS CURVAS.
- BAIXO MAGNÉTICO. ALINHAMENTO MAGNÉTICO.
- EIXO NEGATIVO DE ANOMALIA.
- PERFIS MAGNETOMÉTRICOS (1) MAGTER 1, (2) MAGTER 2 APRESENTADOS E INTERPRETADOS NO ÍTEM 7.1.2.

FIG. 33: MAPA DE ANOMALIAS MAGNÉTICAS DA ÁREA DO REDONDÃO E ADJACÊNCIAS (LEVANTAMENTO TERRESTRE).

compêndios de geofísica aplicada (Figuerola 1974, Parasnis 1986).

O Magpoly é um programa projetado para modelagem de corpos geológicos bi-dimensionais (2-D) em microcomputadores da linha IBM-PC ou compatíveis. Nele podem ser modelados 8 diferentes corpos causadores de anomalias, sendo cada um definido por seções poligonais com até 16 lados e de comprimento infinito ortogonalmente ao perfil observado (Magpoly-Geosoft 1986). O programa permite ajustes contínuos dos parâmetros do modelo de modo que um ajuste visual satisfatório seja obtido no monitor do microcomputador entre a curva de campo e a curva teórica. O programa, bem como os métodos de cálculos usados são baseados nos conceitos e proposições de Talwani & Heirtzler (1964).

7.1.2 - INTERPRETAÇÃO DOS PERFIS

Procedeu-se interpretação quantitativa (modelagem) de um perfil aeromagnetométrico (Magaer 1) que cruza a diatrema Redondão e uma forte anomalia negativa descrita no item 5.1.2. O perfil Magaer-1 encontra-se indicado no mapa do Anexo 2. Posteriormente, foram modelados os perfis magnetométricos terrestres (Magter 1 e 2) indicado no mapa da figura 33. O perfil Magter 1 tem a mesma localização do Magaer 1, e ambos cruzam o Redondão na direção N 47° W. O perfil Magter 2 é ortogonal à mesma anomalia e localizado 5 Km a E do Redondão. Os perfis terrestres são comparados e interpretados conjuntamente com o aéreo.

A feição anômala identificada nos mapas de isógamas do

Anexo 2 e da figura 33, é caracterizada por baixos valores do campo magnético e por sua forma alongada para NE, que segue fortes padrões magnéticos regionais de mesma direção. A anomalia está orientada no geral para NE e a extensão é de 20 Km e a amplitude atinge -200 nT.

Para a inclinação magnética da área (4° sul), declinação magnética (18° W), campo magnético (25.700 nT para 1978), esta feição anômala possui forma característica de um corpo tabular tipo dique ou intrusão alongada. Foram calculados perfis teóricos para corpos bi-dimensionais em forma de dique que foram comparados com o perfil Magaer 1. A figura 34 mostra o melhor ajuste obtido por tratamento automático do perfil calculado para o modelo (dique), cujos parâmetros são:

Anomalia devido à magnetização induzida

Altura de vôo sobre o terreno: 150 m

Contraste de susceptibilidade: 0,0055 emu

Orientação do dique: N 40° a N 45° E

Mergulho do dique: 60 a 80 $^{\circ}$ para SE

Profundidade ao topo: 2.000 m

Profundidade à base: 4.500 a 5.000 m

Espessura do dique: 2.000 m

Como se pode notar pela figura 34 há uma pequena defasagem na coincidência entre a curva de campo e a curva calculada para o dique modelado que não se ajusta melhor com alterações nos parâmetros apontados acima. A julgar pela observação geológica-pela presença de um corpo intrusivo aflorante, tipo "pipe" - julgou-se conveniente nova modelagem

Figura 34: Interpretação quantitativa (modelagem) mostrando o melhor ajuste obtido por tratamento automático para o perfil Magner 1. Os parâmetros do modelo encontram-se no texto.

acrescida de um pequeno corpo correspondente ao polígono 2 da figura 35, que se assemelha a um triângulo alongado invertido ou corte de um "pipe". Com este procedimento obteve-se um ajuste mais satisfatório entre a curva de campo e a curva calculada para o conjunto dos corpos 1 e 2 (polígonos 1 e 2). Os parâmetros adotados para o corpo 2 foram os seguintes:

Anomalia devido à magnetização induzida
 Altura de vôo sobre o terreno: 150 m
 Contraste de susceptibilidade: 0,0004 emu
 O corpo é vertical a sub-vertical
 Extensão horizontal: 1.300 a 1.500 m
 Profundidade ao topo: 100 a 200 m

A figura 35 mostra o melhor ajuste conseguido, pelo mesmo procedimento, para o perfil Magter 1. Os parâmetros magnéticos utilizados foram: inclinação de 7° sul, declinação 19° W e campo magnético de 25.700 nT. A orientação do perfil foi a mesma do Magaer 1. Nota-se através do exame da modelagem que o modelo concebido é coerente com o levantamento aéreo, tendo sido necessário, para um ajuste mais satisfatório, uma susceptibilidade de 0,0022 emu para o corpo 2. Admite-se que a magnetização induzida pelo corpo 2 esteja praticamente toda no "hardbank" do corpo kimberlítico a profundidades superiores a 100 m. Os contrastes de susceptibilidade adotados para o "pipe" nos perfis interpretados foram também encontrados para kimberlitos da região de Yakutia na URSS (Gerryts 1970; in Macnae 1979). As susceptibilidades típicas variam entre 0,0001 e 0,006 emu.

Figura 35: Interpretação quantitativa (modelagem) mostrando o melhor ajuste obtido por tratamento automático do perfil Master 1. Os parâmetros do modelo encontram-se no texto.

Como a anomalia se estende ao longo de 20 km na região de Guaribas, situada na serra homônima, procedeu-se ainda interpretação quantitativa do perfil magnetométrico terrestre Magter 2, afastado do diatrema Redondão 5 km para NE e com orientação semelhante N 19° W. Sua localização encontra-se na figura 33. Na figura 36 que mostra a modelagem efetuada, nota-se que o mesmo dique concebido para os perfis anteriores se ajusta satisfatoriamente, guardando os mesmos parâmetros, para um contraste de susceptibilidade de 0,0065. Tais susceptibilidades (0,0015 - 0,025 emu) correspondem ao campo de valores esperados para rochas básicas, semelhantes aos basaltos.

A interpretação conjunta dos elementos abordados permitem concluir que na área do Redondão encontra-se um corpo intrusivo tipo dique com extensão superior a 20 Km ao longo da direção N 40° E a N 45° E superior a 20 km, espessura da ordem de 2 km que mergulha entre 70° e 80° para SE, cujo topo está a uma profundidade de 2 km e base a 4,5 - 5,0 km de profundidade. As profundidades que melhor se ajustaram ao modelo são compatíveis com aquelas encontradas em poços da Petrobrás (Rodrigues 1967) próximos à área e com as profundidades estimadas por levantamentos aeromagnetométricos regionais (Lodoño 1958) para o embasamento cristalino. O referido dique estaria encaixado no embasamento cristalino em fraturas ou zonas cataclasadas do Lineamento Transbrasiliano. A profundidade assumida para este dique alimentador está dentro dos limites propostos por Mudge (1968) para algumas intrusões concordantes semelhantes. Para aquele autor o limite superior de 914 m representa o limite acima

Figura 36: Interpretação quantitativa (modelagem) mostrando o melhor ajuste obtido por tratamento automático do perfil master 2. Os parâmetros do modelo encontram-se no texto.

do qual se processam rupturas e escape de componentes magmáticos para a superfície; o limite inferior de 2.286 m seria o nível mais baixo onde as pressões magmáticas podem exceder a pressão litostática exercida por um pacote rochoso.

Baseado nos modelos de formação de "pipes" elaborados por Dawson (1971, 1972) e Hawthorne (1975) é sugestivo, também pelo contexto geológico de vários "pipes" da África do Sul, Botswana e Tanzânia (Dawson 1980) que a profundidades da ordem de 2.000 m inicia-se a geração do "pipe" através de explosão até a superfície, possivelmente com contribuição de águas superficiais. O processo de transporte seria extremamente rápido, tendo sido estimado com base em dados químicos e físicos, que em apenas 1 ou 2 horas o material penetra no "pipe" desde profundidades do manto. O material brechado com gás e material de granulação fina é ejetado e preenche o conduto. Os processos desta explosão via fluidização gasosa foram estudados por Biondi (1978), através do qual não são necessárias temperaturas elevadas como antes se admitia. O local onde a quebra se dá e inicia-se a formação do "pipe" é, no caso do Redondão, controlado estruturalmente pela intersecção de fraturas (lineamentos apontados no item 5.2.3) que fazem parte do "trend" regional. Proposição similar foi levantada por Norman et al. (1977) baseado em lineamentos que controlam corpos kimberlíticos em Lesotho.

O conduto concebido no modelo é via de acesso do magma de profundidades do Manto Superior que se aloja no dique, preenchendo fraturas, até que a pressão interna rompa a litostática, com influência do alívio causado por fraturas ortogonais. O processo de fluidização que se dá neste momento

permite que blocos das encaixantes sejam deslocados formando tetos pendente bem como material da crosta e do manto (ítem 6.2). A figura 37 mostra um bloco diagrama esquemático idealizado para o Redondão.

7.2 - ELETRORESISTIVIDADE

7.2.1 - ASPECTOS ESSENCIAIS E PROCEDIMENTOS

As propriedades elétricas das rochas em sub-superfície podem ser estudadas indiretamente através de sondagens elétricas verticais. O objetivo da sondagem elétrica vertical (SEV) é determinar a variação da condutividade elétrica com a profundidade, que para o caso de rochas com variações litológicas verticais são obtidas aproximações de espessuras bastante satisfatórias.

O método de eletroresistividade consiste em se lançar no terreno uma corrente elétrica (contínua no caso) através de dois eletrodos ligados aos terminais de uma fonte, denominada de transmissor, por intermédio do qual se mede a corrente "injettata". Desta forma, estabelece-se no terreno uma diferença de potencial que é medida por um receptor através de dois outros eletrodos. Os eletrodos de corrente são comumente designados de "A" e "B", e os de potencial "M" e "N". Com estes elementos, - a corrente aplicada, a medida do potencial e o fator geométrico "K" - obtém-se a resistividade aparente. É importante notar que se os "A-B" estão próximos, a corrente fluirá próximo à superfície e se

FIG. 37: BLOCO DIAGRAMA ESQUEMÁTICO IDEALIZADO PARA O REDONDÃO. BASEADO NAS INTERPRETAÇÕES MAGNETOMÉTRICAS E NO MODELO DE HAWTHORNE (1975).

os "A-B" estiverem muito afastados a corrente fluirá a níveis mais profundos.

Neste trabalho foram efetuadas 8 SEV's, das quais 6 no interior do diatrema kimberlítico do Redondão e 2 próximo à borda da estrutura na Serra das Guaribas (Fig. 26). Foi utilizado o eletroresistivímetro ER 300 de fabricação nacional que pertence ao Departamento de Geologia da UFC. O arranjo dos eletrodos seguiu o dispositivo Schlumberger no qual os eletrodos "M" e "N" são fixos e os "A-B" movidos simetricamente. As sondagens utilizaram até $AB/2$ de 400 m e $MN/2$ de 30 m, tendo atingido profundidades de investigação da ordem de 200 m. Empecilhos de campo impediram espaçamentos maiores.

Com base nos procedimentos acima expostos foram construídas as curvas de campo em papel di-log; nas ordenadas estão as resistividades aparentes em ohm.m e nas abcissas a distância entre os eletrodos em relação ao ponto central do arranjo Schlumberger ($AB/2$ e $MN/2$). A escala logarítmica é usada para que a forma e tamanho das curvas sejam independentes das unidades utilizadas nas medidas. Posteriormente as curvas foram suavizadas adequadamente, comparadas com curvas padrões e interpretadas segundo o método de Drellana & Mooney (1966), conhecido como método do ponto auxiliar. O método de obtenção de curvas padrões segue modelos físicos complexos que fogem ao escopo deste trabalho.

Após obtidas as interpretações preliminares para as várias curvas de campo, tratou-se de otimizar a interpretação usando-se para isso o programa Resist desenvolvido por um convênio entre o Brasil e o Canadá através da Universidade de São

Paulo. Os dados de campo foram armazenados em arquivos gerados no redator de textos Word Star. Foram empregados o mesmo microcomputador PC e impressora usados nas modelagens magnetométricas.

O Resist é um programa específico para modelagens de sondagens elétricas que se utiliza dos princípios básicos apontados inicialmente. Nele podem ser comparados diversos tipos de curvas, iniciando-se a uma profundidade de 1 m. O modelo concebido na interpretação preliminar é lançado sob a forma do número de camadas, suas espessuras e respectivas resistividades. O melhor ajuste entre a curva de campo e a curva teórica calculada para o modelo é obtido por alterações nos parâmetros. Cada alteração é acompanhada visualmente no monitor do microcomputador, a exemplo do que se passa com o Magpoly. O programa permite ainda o acompanhamento do erro cometido a cada modelagem.

As figuras 38 a 45 mostram os melhores ajustes conseguidos por tratamento automático das curvas, considerando margens de erro satisfatórias. As SEV's representadas nas figuras 44 e 45 (SEV's 7 e 8) foram efetuadas fora do corpo kimberlítico e as demais (SEV's 1 a 6) sobre o corpo aflorante.

7.2.2 - INTERPRETAÇÃO DAS SEV's

A tabela 02 mostra os dados referentes a todas as sondagens efetuadas na área do Redondão e adjacências, obtidos na interpretação. Buscou-se uma interpretação conjunta e associada

PARÂMETROS DO MODELO TEÓRICO

Esp.(m)	1,1	82,0	70,6	1000
Res.(ohm.m)	100,0	4,0	8,0	300

FIG. 38: Sondagem elétrica vertical N° 01

PARÂMETROS DO MODELO TEÓRICO

Esp. (m)	1,2	1,2	37,0	146,5	
Res. (ohm.m)	25,3	200,8	3,0	7,0	279

FIG.39: Sondagem elétrica vertical N° 02

PARÂMETROS DO MODELO TEÓRICO

Esp. (m)	1,0	8,0	74,6	90,0	100,0
Res. (m)	80,0	5,9	5,2	7,9	300

FIG. 40: Sondagem elétrica vertical. N° 03

PARÂMETROS DO MODELO TEÓRICO

Esp. (m)	1,0	3,5	45,2	142,5	300
Res. (ohm.m)	7,5	4,3	3,7	6,9	300

FIG. 41: Sondagem elétrica vertical Nº 04

PARÂMETROS DO MODELO TEÓRICO

Esp. (m)	2,0	8,8	16,5	140,7	
Res. (ohm.m)	270,	112,	1,8	5,9	300

FIG.42: Sondagem elétrica vertical Nº 05

PARÂMETROS DO MODELO TEÓRICO

Esp. (m)	1,6	3,3	30,8	140,0	
Res. (ohm.m)	16,4	35,8	4,4	6,6	300

FIG. 43: Sondagem elétrica vertical N° 06

PARÂMETROS DO MODELO TEÓRICO

Esp.(m)	1,0	3,4	21,8	163,0	
Res.(ohm.m)	11000,0	4955,0	1998,0	12095,0	2446

FIG. 44: Sondagem elétrica vertical N° 07

PARÂMETROS DO MODELO TEÓRICO

Esp. (m)	2,0	4,8	20,3	177,0	
Res. (ohm.m)	28139,0	5097,0	2135,0	16275,0	3390

FIG. 45: Sondagem elétrica vertical N° 08

com as evidências geológicas de campo e da literatura numa tentativa de correlacioná-las. O exame da referida tabela permite propor que no interior do Redondão (Tabela 02 a) encontra-se uma variação vertical de resistividade, fato claramente evidenciado no formato das curvas, e relacionado com mudanças de níveis ou horizontes litológicos de alteração no interior do "pipe". Tal observação é condizente com o que se passa na maioria dos kimberlitos tipo "pipe" onde foram efetuados trabalhos mineiros ou com o método geofísico em questão (Dawson 1980, Macnae et al. 1979, Carlson et al. 1982).

O primeiro horizonte do corpo do Redondão apresenta resistividades mais comuns entre 100 e 250 ohm.m. Estes valores correspondem ao que se identifica como "sedimentos kimberlíticos inconsolidados" e atingem profundidades entre 0 e 4 m. É um horizonte pouco condutor, seco, argilo-arenoso e onde são encontradas brechas kimberlíticas alteradas. É provável que este horizonte corresponda ao "Yellow Ground" identificado em vários "pipes" semelhantes em outras localidades do mundo. Aumentos ou decréscimos nestes valores de resistividade correspondem a níveis com brechas kimberlíticas e água, como mostram as SEV's 5 e 4 das figuras 42 e 41, respectivamente.

Um segundo horizonte bem mais espesso (4 a 90 m) segue abaixo, sendo caracterizado por menores valores de resistividade (3 a 6 ohm.m). Representa o horizonte brechado do "pipe" onde percola água através de interstícios do material. Decréscimos localizados de resistividade indicam níveis com água. Em algumas porções do diatrema este fato pode ser confirmado.

Segue um horizonte entre os 90 e 190 m de profundidade

com resistividades entre 6 e 8 ohm.m quando deve estar presente material menos alterado. Os horizontes identificados anteriormente podem corresponder ao "Blue Ground"; um horizonte menos alterado que o primeiro e também comum em outros "pipes".

Um horizonte inferior a 190 m é caracterizado por forte aumento de resistividade (300 ohm.m ou mais), bem evidenciado em todas as SEV's do interior do diatrema e que corresponderia ao "hardbank" descrito em outros corpos. Trata-se de um material mais resistivo semelhante às brechas kimberlíticas pouco alteradas encontradas em níveis mais profundos de corpos da África do Sul (Dawson 1980). Admite-se aqui, que a magnetização induzida adotada nas modelagens do corpo seja proveniente deste horizonte.

Nas SEV's 7 e 8 (figuras 44 e 45) foram identificados um solo arenoso seco com altas resistividades (11.000 a 28.000 ohm.m) e com profundidade variando entre 0 e 2 m; são as areias indivisas mapeadas em superfície. Entre 2 e 25 m abaixo da superfície detectou-se um pacote sedimentar (Formação Pedra do Fogo) com resistividades entre 2.000 e 8.000 ohm.m; estes valores contrastam a partir de 25 m de profundidade para resistividades entre 12.000 e 17.000 ohm.m, indicando um material mais arenoso e seco que pode corresponder aos estratos da Formação Piauí. Estas duas SEV's são bastante semelhantes, o que associado a evidências de campo e informações de poços da Petrobrás levou a se estabelecer o contato geológico Piauí-Pedra do Fogo na faixa de 25 a 30 m abaixo da superfície. Abaixo de 160 até 194 m podem ocorrer outros níveis com resistividades entre 2.400 e 4.000

ohm.m. A espessura investigada atingiu 194 m. A tabela 02 b mostra uma relação entre as interpretações destas duas SEV's.

7.3. - ANÁLISE CRÍTICA AOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS

Neste trabalho foi efetuada uma análise qualitativa regional em mapas aeromagnetométricos do sul do estado do Piauí. Na área do Kimberlito Redondão e adjacências foram empregados os métodos gamaespectrométrico, magnetométrico e foram efetuadas sondagens elétricas verticais.

A interpretação baseada nos mapas aeromagnetométricos foi útil na identificação de vários padrões magnéticos e lineamentos magnéticos de importância geológica e geotectônica para a borda sul da Bacia do Maranhão. A extensão das interpretações para áreas adjacentes é necessária para caracterizar a continuidade ou não dos padrões e feições mencionados.

O levantamento gamaespectrométrico mostrou ser um importante método de auxílio ao mapeamento geológico de superfície, uma vez que possibilitou o delineamento de unidades geológicas na área do Redondão. No entanto, o método foi restrito no que concerne à estimativa dos teores de U, K e Th a partir das leituras nos canais respectivos. Como método prospectivo não é recomendável para rochas desta natureza, pois os contrastes com as encaixantes não são tão pronunciados. Por outro lado, experiências com o método em rochas kimberlíticas do W de Minas Gerais, menos alteradas e encaixadas por rochas cristalinas

(xistos, granitos, gnaisses) têm mostrado aplicabilidade.

As modelagens em computador de seções magnetométricas na área do Redondão e adjacências mostraram-se eficazes dentro das limitações do método e de parâmetros geofísicos adotados. As modelagens mencionadas no ítem 7.1.2 consideram apenas a seção de um pipe, uma vez que o programa para computador utilizado é para modelagem de estruturas bi-dimensionais. Não obstante, a modelagem do corpo tabular concebido é, por si só, bastante aceitável.

A modelagem em computador com programa para estruturas tri-dimensionais da anomalia isolada causada pelo pipe, com determinações de susceptibilidade é necessária para melhor compatibilização do modelo.

As sondagens elétricas verticais no interior do Redondão atingiram profundidades de investigação da ordem dos 200 m. Empecilhos causados pela morfologia do diatrema impediram maiores espaçamentos dos eletrodos e, por conseguinte, o alcance de níveis mais profundos do pipe. No entanto, as SEV's atingiram o "hardbank" do corpo kimberlítico, ou seja, a rocha menos alterada, com resistividades superiores a 300 ohm.m. Já as SEV's realizadas nas bordas do diatrema poderiam ter atingido pacotes sedimentares mais profundos, caso grandes espaçamentos entre os eletrodos fossem adotados; estas sondagens foram importantes na determinação da espessura do pacote Pedra do Fogo na área.

C A P Í T U L O   V I I I

INTEGRAÇÃO DOS DADOS GEOLÓGICOS E GEOFÍSICOS

Baseado na interpretação qualitativa de mapas aeromagnetométricos que envolvem a área delimitada como regional nesta pesquisa, é possível integrar informações geológicas de superfície às grandes feições estruturais do embasamento da Bacia do Maranhão.

Feições geológicas lineares como falhas já mapeadas nesta área coincidem com lineamentos estruturais magnéticos identificados; como exemplo a falha de Lizarda do SW da área (Anexo 1). Vários outros lineamentos e padrões magnéticos apontado no item 5.1, têm correspondentes na análise de lineamentos, e reforçam a aplicação de uma metodologia integrada em estudos regionais desta natureza.

A presença de uma zona de fraqueza cruzando a área de SW para NE é marcante devido ao caráter linear das isógamas que alcançam fortes amplitudes negativas. A integração desta interpretação com dados da análise de lineamentos e com amostras cataclasadas descritas em poços profundos efetuados pela PETROBRÁS nesta região atestam a presença da zona de ocorrência do Lineamento Transbrasiliiano. Sua reativação em períodos Mesoceno-zóicos permite evidenciá-lo nos sedimentos através da análise em produtos de sensoriamento remoto.

Unidades geológicas aflorantes como os derrames de basaltos da Formação Mosquito (SW da área) aparecem bem evidenciados pela aeromagnetometria. O aspecto fechado e negativo

das linhas isogâmicas é inconfundível. Várias unidades geológicas sedimentares puderam ser mapeadas por imagem de radar e satélite, por exemplo as Formações Piauí, Pedra do Fogo, Urucua e litologias como coberturas sedimentares indivisas, depósitos lateríticos e depósitos coluviais e aluviões recentes.

A natureza de inúmeras feições circulares apontadas no estudo em imagens de radar é uma pesquisa que precisa ser detalhada. Um estudo detalhado destas feições com equipamentos digitais de tratamento de imagens de satélite pode contribuir sobremaneira, a exemplo dos corpos de natureza kimberlítica que foram mostrados no item 6.4.

A magnetometria revelou estruturas definidas por padrões anômalos que merecem investigação de campo. Como exemplo citam-se padrões magnéticos negativos de forte amplitude no NW da área e anomalias di-polares na porção central da área, cujas primeiras avaliações foram apontadas na interpretação aeromagnetométrica (item 5.1). Sem sombra de dúvidas as anomalias magnéticas negativas e anomalias detectadas na análise de lineamentos precisam ser melhor estudadas.

Os esforços levados a efeito neste trabalho visavam principalmente a integração de dados geológicos, geofísicos e de produtos de sensoriamento remoto na área do diatrema Redondão e adjacências.

Os alvos detectados nos produtos de sensoriamento remoto no interior do diatrema foram registrados em campo. Seria problemática a delimitação de tetos pendentes, depósitos lateríticos e de outros contatos geológicos, sem a visão de contraste fornecida pelas composições coloridas de imagens de

satélite ampliadas.

As sondagens elétricas verticais no interior do diatrema, permitiram estabelecer horizontes de alteração abaixo da superfície aflorante do corpo do Redondão. Foram individualizados 4 horizontes principais, entre os quais, o da rocha kimberlítica menos alterada que se estende abaixo dos 200 m.

Procurando-se estabelecer um modelo hipotético da configuração do diatrema em maiores profundidades, bem como suas características geológicas, estruturais e de gênese, buscou-se a modelagem magnetométrica de seções transversais ao corpo do Redondão e fora dele. A configuração apresentada no item 7.1.2 está próxima da realidade geológica esperada para este tipo de jazimento. O modelo concebido (diatrema e dique infra-diatrema) é fruto de integração de conceitos geológicos e geofísicos e, também, com o contexto geológico-geotectônico da área em apreço e de outras áreas semelhantes mencionadas na literatura.

O comportamento geológico geofísico de outros corpos próximos à área, deverão, futuramente, ser objeto de estudo e comparações o que deverá contribuir sobremaneira com o conhecimento da área.

A figura 46 apresenta um esboço geológico do diatrema Redondão e sua estruturação em profundidade, resultado da integração de mapeamento fotogeológico e de superfície com métodos geofísicos. A figura apresenta dados obtidos por gamaespectrometria, modelagens de sondagens elétricas verticais e modelagens de seções magnetométricas aérea e terrestre. O esboço

geológico da figura 46 teve a topografia do diatrema elaborada por um perfil altimétrico cruzando a estrutura. Foram também usados dados de espessuras estratigráficas de poços da PETROBRAS próximos à área. A figura é também baseada em informações geológicas da literatura relativas a geologia de corpos kimberlíticos.

A julgar pelas informações apresentadas fica claro que estudos complementares devem melhor elucidar outros aspectos da geologia do Redondão. Enumera-se a seguir algumas sugestões de pesquisas futuras e/ou outras que ficaram pendentes: 1) análises químicas apropriadas (elementos-traço) das brechas kimberlíticas no sentido da melhor caracterização petrográfica das amostras, 2) petrografia e quimismo de xenólitos ultramáficos, 3) estudos geoquímicos dos depósitos lateríticos, na tentativa de elucidar seu significado e origem, 4) estudos mineralógicos de amostras de sedimentos de corrente (pesados), 5) estudos geofísicos complementares envolvendo determinações de susceptibilidade e modelagens tri-dimensionais, 6) extensão dos trabalhos a outras ocorrências similares próximas ao Redondão, e 7) obtenção de amostras com furos de sondagens mecânicas.

FIG.46: ESBOÇO GEOLÓGICO DO DIATREMA REDONDÃO E SUA ESTRUTURAÇÃO EM PROFUNDIDADE

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

Qha	aluvião: areia, silte e argila. Cascalho	QUATERNÁRIO
Qhc	colúvio.	
Qht	laterito: blocos, matações e seixos irregulares com concreções ferruginosas	
Qk	xenólito de ultrabásica (Iherzolito)	
Qkb	intrusiva kimberlítica: essencialmente brechas.	JURO-CRETÁCIO
Ppf	Formação Pedra do Fogo.	
Cpi	Formação Piauí.	PALEOZOICO
Cpo	Formação Poti.	
DCt	Formação Longá.	
Dc	Formação Cabeças.	DEVONIANO
Dp	Formação Pimenteiras.	
SDsg	Formação Serra Grande.	SILURO-DEVONIANO
pS	Embasamento pré-Siluriano.	

SÍMBOLOS LITOLÓGICOS

	colúvio: blocos, matações e seixos de Ppf e Cpi, areias e detritos diversos.
	xenólitos profundos ultrabásicos.
	kimberlito (dique infra-diatreme)
	brechas kimberlíticas de conduto (pipe): (1) níveis superficiais-sedimentos kimberlíticos finos, (2) brechas kimberlíticas em avançado estágio de alteração, (3) brechas kimberlíticas alteradas, (4) brechas kimberlíticas pouco alterada ou isentas de alteração.
	megaxenólitos sedimentares
	arenito com sílex, nódulos de caulim, sílexito.
	dolomito.
	calcário, níveis calcíferos.
	argilite
	siltito com níveis argilosos.
	folhelho bem laminado.
	argilite arenoso.
	arenito conglomerático
	zonas fraturadas, bordas e blocos
	rochas cataclásticas do embasamento gnáissico-migmatítico

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

	contato concordante
	contato aproximado
	contato discordante
	contato provável
	contato aproximado que define horizonte

ESCALA HORIZONTAL $\approx 1:12.500$
ESCALA VERTICAL $\approx 1:5.000$

Coluna estratigráfica baseada em Mesner & Wooldridge (1964), Lima & Leite (1978) e Coutinho et al. (1982). Espessuras dos pacotes sedimentares: popos da Petrobrás Rb-I-MA, FO-I-MA, FM-I-MA, I-UN-28, TM-I-MA e em perfis elétricos compostos da Petrobrás (1964). Espessura da Fm. Pedra do Fogo: SEVs realizados e mapeamento geológico. Superfície topográfica definida por altimetria. Estruturação em profundidade e modelo concebido a partir de magnetometria e sondagem elétricas verticais (SEVs). Modelo inicial para pipes kimberlíticos: Dawson (1971, 1972) e Hawthorne (1975). Embasamento: popos da Petrobrás, Lodoão (1958), Cordani et al. (1974) e Cunha (1986). Informações geológicas gerais de corpos kimberlíticos: Frantsesson (1986) e Dawson (1980).

A seção geológica é a mesma modelada no ítem 7.1.2 (magaer1, Magter1) e que aparece no mapa aeromagnetométrico (Anexo 2).

CAPÍTULO IX

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Com base nos dados e considerações apresentados nos capítulos precedentes, pode-se enumerar algumas conclusões principais de caráter geral:

- 1) A integração de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto mostrou ser muito profícua no reconhecimento de estruturas geológicas regionais e específicas;
- 2) Os estudos em produtos de sensoriamento remoto (análise de lineamentos e aeromagnetometria) definiram tendências estruturais regionais NE e NW e revelaram estruturas circulares de interesse geológico. Anomalias magnéticas causadas por corpos geológicos ainda não mapeados foram identificadas. Entre as estruturas circulares detectadas em produtos de sensoriamento remoto, 7 correspondem a corpos de natureza kimberlítica;
- 3) Foi identificada a presença do Lineamento Transbrasiliano cruzando a área de SW para NE, evidenciado através da análise de lineamentos e pelo caráter das linhas isogâmicas nesta porção da bacia;
- 4) É muito provável que corpos básicos tabulares estejam alojados em suas faixas cataclásticas no substrato cristalino. Os derrames basálticos no SW da área ocorrem na extremidade SW do lineamento;
- 5) A modelagem em computador de seções magnetométricas aérea e terrestre na área anômala próxima ao Redondão revelou uma estrutura do tipo dique, com extensão alcançando 20 km na direção

NE. O dique teria uma espessura da ordem de 2 Km, profundidade ao o topo de 2 Km e mergulhando cerca de 80° para S. Sua natureza é, provavelmente, kimberlítica. A este corpo associa-se uma chaminé com 1,5 Km de diâmetro, aflorante e originado a partir do dique por alívio de esforços causado por fraturas transversais ao corpo em profundidade;

6) O diatrema Redondão, é caracterizado por uma depressão arredondada, com desnível topográfico de 80 m. No seu interior são encontradas brechas kimberlíticas de conduto com pseudomorfos diversos substituídos por talco, serpentinas, cloritas e minerais de argila que constituem a maior parte da estrutura. Ocorrem ainda depósitos lateríticos isolados e tetos pendentes da Formação Piauí. A borda da escarpa da estrutura é recoberta por material coluvial. Ao longo da drenagem principal encontra-se aluvião com minerais pesados (granada, ilmenita, diopsídio);

7) A gamaespectrometria mostrou que os radioelementos K, U e Th se realçam no interior do corpo e caracterizam algumas unidades geológicas;

8) O corpo do Redondão apresenta horizontes elétricos abaixo da superfície. Até os 4 m de profundidade dominam resistividades elétricas de 100 a 250 ohm.m, correspondentes a sedimentos kimberlíticos finos; entre 4 e 90 m de profundidade as resistividades são de 3 a 6 ohm.m, onde dominam brechas kimberlíticas muito alteradas. Segue um horizonte entre 90 e 190 m com resistividades de 6 a 8 ohm.m, caracterizando, provavelmente, material kimberlítico menos alterado; abaixo de 190 m prevalecem resistividades superiores a 300 ohm.m indicando

brechas inalteradas do conduto;

9) As modelagens magnetométricas indicam que o último horizonte mencionado, deve dominar a profundidades de 2 Km, onde teria se iniciado a penetração do material, originando a chaminé.

10) O modelo geológico concebido é condizente com a realidade geológica observada em outras ocorrências semelhantes na África do Sul e União Soviética citadas na literatura;

11) A idade mais provável para a intrusão do Redondão é Juro-Cretácea, uma vez que corta as formações do topo do Paleozóico (Piauí e Pedra do Fogo) da Bacia do Maranhão. Este também é o período da reativação tectono-magmática do Mesozóico, quando outras intrusões de caráter básico tomaram lugar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, G.A. - Revisão geológica da Bacia do Maranhão.
In: CONGR. BRAS. GEOL., 25, São Paulo, 1971. Anais... São Paulo, SBG, vol. 3: 113-122, 1971
- Aguiar, G.A. & Nahass, S. - Bacia do Maranhão - geologia e possibilidades de petróleo. Rel. Num. 371. PETROBÁS, Belém, 55p, 1969.
- Agterberg, F.P. - Geomathematics. Elsevier. Amsterdam, 596p, 1974.
- Almeida, F.F.M.; Brito Neves, B.B.; Hasui, Y. & Fuck, R.A. - Províncias Estruturais brasileiras. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977. Atas... Campina Grande, SBG, p. 363-391, 1977
- Altec - Manual do gamaespectrômetro AG-1 e AG-2. , 1975
- Biondi, J.C. - A origem dos pipes e diques de brecha-modelo de implosão-fluidização. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, vol. 3, p. 1202-1212, 1978.
- Breiner, S. - Application manual for portable magnetometer. Geometrics, Sunnyvale, California, USA., 58p, 1973.
- Caldasso, A.L.S. & Hama, M. - Posicionamento estratigráfico das rochas básicas da Bacia do Parnaíba. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, vol. 2, p. 567-582, 1978.
- Caputo, M.V. & Lima, E.C. - Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande - Bacia do Parnaíba. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de

- Janeiro, SBG, vol.2, p.740-759, 1984.
- Carozzi, A.V.; Falkenhein, F.U.H.; Carneiro, R.G.; Esteves, F.R. & Contreiras, C.J.A. - Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção Siluro-Eo-Carbonífera da Bacia do Maranhão. Cienc.Tecn.Petrol., 7, 48p, 1975.
- Carlson, J.A.; Johnson, R.B.; McCallum, M.E.; Campbell, D.L. & Padgett, J.P - Evaluation of geophysical techniques for diatreme delineation in the Colorado-Wyoming Kimberlite Province. In: Kimberlites I: Kimberlites and related rocks. Ed. J.Kornprobst. Elsevier, p.21-31, 1982.
- Coimbra, A.M. - Estudo sedimentológico e geoquímico do Permo-Triássico da Bacia do Maranhão. Tese de Doutorado do IG/USP, vol.1, 150 p, 1983.
- Cordani, U.G.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A.; Porto, R.; Thomaz Filho, A. & Cunha, F.M.B. - Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Cienc.Tecn.Petrol., 15, 70 p, 1984.
- CPRM/PROSPEC - Projeto borda sul da Bacia do Parnaíba (levantamento aerogamaespectrométrico e aeromagnetométrico) - estados do Piauí e Bahia. Rel.Final, textos e anexos, 119 p, 1978.
- Coutinho, M.G.N.; Ferreira, C.A. & Baptista, M.B. - Mapa geológico do estado do Piauí. Escala 1:1000.000. DNPM/CPRM. 1982.
- Coutinho, M.G.N.; Ferreira, C.A. & Baptista, M.B. - Mapa geológico do estado do Maranhão. Escala 1:1000.000.MME/DNPM. 1986.

- Cunha, F.M.B. & Carneiro, R.G. - Interpretação fotogeológica do centro-oeste da Bacia do Maranhão. In: CONGR. BRAS. GEOL., 26, Belém, 1972. Anais... Belém, SBG, vol. 3, p. 65-79, 1972.
- Cunha, F.M.B. - Evolução Paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Dissertação de Mestrado, UFRJ, 107 p. 1986.
- Dawson, J.B. - Advances in kimberlite geology. Earth Sci. Rev., 7:187-214, 1971.
- Dawson, J.B. - Kimberlites and their relation to the mantle. Phil. Trans. A271:297-311, 1972.
- Dawson, J.B. - Kimberlites and their xenoliths. Springer-Verlag. 1st. ed., 243p, 1980.
- 1986.
- Ellert, R. - O Kimberlito Redondão, Santa Filomena, Piauí, Brasil. In: CONGR. BRAS. GEOL., 21, SÃO PAULO, 1971. Bol. Res... São Paulo, SBG, p. 97, 1971.
- Figuerola, J.C. - Tratado de geofísica aplicada. ETS de Ingenieros de Minas. 416 p, 1974.
- Fisher, R.V. - Classification of volcanic breccias. Bull. Geol. Soc. Amer., 71:973-982.
- GE - Image 100, User Manual. Daytona Beach. FL. 119p, 1975.
- Geosoft - Manual de Operação do Magpoly. Versão 2.1, 1985.
- Gerryts, E - Diamond prospecting by geophysical methods - a review of current practice. In: MINING AND GROUNDWATER GEOPHYSICS. Ottawa, Geol. Survey of Canada, p. 439-446, 1970.
- Haralig, N.L.E. & Svisero, D.P. - Metodologia geofísica

- integrada aplicada à prospecção de kimberlitos da região oeste de Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, 14(1):12-22, 1984.
- Hawthorne, J.B. - Model of a kimberlite pipe. *Phys. Chem. of the Earth*, v.9, p. 1-15, 1975.
- Kegel, W. - Estrutura geológica do nordeste do Brasil. DNPM Div. Geol. Miner., Bol. 227, p. 1-47, 1956.
- King, L.C. - A geomorfologia do Brasil oriental. *Rev. Bras. Geogr.*, 18(2):147-265, 1956.
- Kuhlmann, E. - Vegetação. Geografia do Brasil-região nordeste, IBGE, vol. 2, p. 85-110, 1977.
- Lima, E.A.A. & Leite, J.F. - Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba: Integração geológica-metalogenética. Relatório final da etapa III. Recife, MME/DNPM/CPRM, 437p (mapas), 1978.
- Liu, C.C. - Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao estado do Rio de Janeiro. INPE-3951-RPE/514, 243p, 1986.
- Lodoño, D.H. - Basement depth of the Maranhão basin as obtained from airborne magnetometer data. Petrobrás, Int. Report, 1958.
- Macnae, J.C. - Kimberlites and exploration geophysics. *Geophysics*, 44(8):1395-1416, 1979.
- Mardia, K.V. - Statistic of directional data. Acad. Press, London, 355 p, 1972.
- Martins, J.S. - Levantamento exploratório de solos de parte das folhas SC.23 Rio São Francisco e SC.24 Aracaju. In: Projeto Radambrasil-Levantamento de Recursos Naturais, Vol. 1, p. III/2-III/79, 1973.

- Melo, U. & Porto, R. - "Apêndice Número 1: o pipe ultrabásico de Guaribas". Reconhecimento geológico do SW do estado do Piauí. Rel. Int. Petrobrás N. 244, Rio de Janeiro, p.57-78, 1965.
- Mesner, J.C. & Wooldridge, L.C.P. - Maranhão Paleozoic basin and Cretaceous coastal basins, north Brazil. Bull. Assoc. Petr. Geol., 48(9):1475-1512, 1964.
- Moreira, A.A.N. - Relevo. Geografia do Brasil-Região Nordeste, IBGE, vol.2, p.1-45, 1977.
- Mudge, M.R. - Depth control of some concordant intrusions. Bull. Geol. Soc. Amer., 79:315-332, 1968.
- MS CHART - Programa para criação de gráficos estatísticos, Microsoft Corporation, 1987.
- Nimer, E. - Clima. Geografia do Brasil-Região nordeste, IBGE, vol.2, p.47-83, 1977.
- Norman, J.W.; Price, N.J. & Peters, E.R. - Photogeological fracture trace study of control of kimberlite intrusion in Lesotho basalts. Trans. Sect. B. of the Inst. of Mining and Metallurgy, v.86:78-90, 1977.
- Northfleet, A.A.; Bettini, C. & Chaves, H.A.F. - Aplicação da geomatemática à prospecção de petróleo: análise de fraturas por polinômios ortogonais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 25, São Paulo, 1971. Anais... São Paulo, SBG, vol.1, p.61-70, 1971.
- Oliveira, J.F. & Prazeres, W.V. - Garimpos de diamantes da região de Gilbués-PI. Garimpos do Brasil, MME/DNPM, Avulso 5, Brasília, p.239-255, 1983.
- Oliveira, S.M.B.; Trescases, J.J. & Melfi, A.J. -

- Lateritic nickel deposits of Brazil. (separata), 1986.
- Orellana, E. & Mooney, H.M. - Tablas y curvas patrón para sondeos eletricos verticales sobre terrenos estratificados. X+125 p, 68 lams. Interciencia. Madrid, 1966.
- Parasnis, D.S. - Principios de geofisica aplicada. Paraninfo, Madrid, 208 p, 1973.
- Parasnis, D.S. - Principles of applied geophysics. Chapman and Hall, London, 4th ed., 402 p, 1986.
- Paterson, N.R. & MacFadyen, D.A. - Geophysical exploration for kimberlites, with special reference to Lesotho. K.E.G.S. Meeting, Toronto, 1977.
- Paterson, N.R. & Reeves, C.V. - Application of gravity and magnetic surveys: the state-of-the-art in 1985. Geophysics, 50(12):2558-2594, 1985.
- Podwysocki, M.H. - Some computer-based method for the analysis of geologic fracture information. In: INT.SYMP.ON APPLICATION OF COMPUTER METHOD IN THE MINERAL INDUSTRY. Ed.by. Ramani, R.V., 1976.
- Reis, B. - Considerações sobre a aplicação de métodos de geofísica à pesquisa de estruturas kimberlíticas no nordeste de Lunda (Angola). Bol.Serv.Geol.Minas, 14:49-59, 1966.
- Resende, W.N. - O mecanismo de intrusões de diabásio nas bacias Paleozóicas do Amazonas e do Maranhão. In: CONGR.BRAS.GEOL., 25, São Paulo, 1971. Anais...São Paulo, SBO, vol.3, p.123-137, 1971.
- Resist - Programa para modelagens de sondagens elétricas verticais. Canadá/Brasil, 1986.
- Rodrigues, R. - Estudo sedimentológico e estratigráfico

- dos depósitos Silurianos e Devonianos da Bacia do Parnaíba. Rel. N. 273. Petrobrás, Belém, RENOR/DIREX, 1967.
- Schobbenhaus Filho, C.; Bruni, M.A.L.; Almeida, J.T. & Bruni, E.C. - Carta geológica do Brasil ao Milionésimo - Folha São Francisco, MME/DNPM, Brasília, 57 p, 1974.
- Sial, A.N. - Petrologia e química mineral dos basaltos Mesozóicos de Porto Franco e Grajau, Maranhão. In: SIMP.GEOL.NORDESTE, VII, Fortaleza, 1975. Atas...Fortaleza, SBG, p.223-241, 1975.
- Silva, G.A.N.P. et al. - Projeto Gilbués. Relatório Final. Rio de Janeiro, DNPM/CPRM, vol.1, 108p, 1972.
- Soares, P.C.; Landim, P.M.B. & Fulfaro, V.J. - Avaliação preliminar da evolução geotectônica das bacias intracratônicas brasileiras. In: CONGR.BRAS.GEOL., 28, Porto Alegre, 1974. Anais...Porto Alegre, SBG, vol.1, p.61-83, 1974.
- Steffan, E.R. - Hidrografia. Geografia do Brasil-Região Nordeste, IBGE, vol.2, p.111-133, 1977.
- Svisero, D.P.; Meyer, H.O.A. & Tsai, H.M. - Kimberlite minerals from Vargem (Minas Gerais) and Redondão (Piauí) diatremes, and garnet lherzolite xenoliths from Redondão diatreme. Rev. Bras. Geoc., 7(1):1-13, 1977.
- Svisero, D.P.; Haralgi, N.L.E. & Feitosa, V.M.N. - Geologia dos kimberlitos Limeira 1, Limeira 2 e Indaiá, Douradouquara, MG. In: CONGR.BRAS.GEOL., 31, Salvador, 1980. Anais...Salvador, SBG, vol.2, p.465-474, 1980.
- Svisero, D.P.; Haralgi, N.L.E. & Feitosa, V.M.N. - Geologia e Geofísica do Kimberlito Sucuri, Monte Carmelo,

Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 32, Santa Catarina, 1982.
Anais... Santa Catarina, SBG, vol. 3, p. 1789-1801, 1982.

Svisero, D.P. & Haralgi, N.L.E. - O kimberlito Indaia,
Monte Carmelo- Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de
Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG, vol. 5, p. 5014-
5026, 1984.

Talwani, M. & Heirtzler, J.R. - Computation of magnetic
anomalies caused by two dimensional structures of arbitrary
shape. Comp. in the Min. Ind. Stanford Uni. Publ., 9, p. 464-480,
1964.

Ulbrich, H.H.G.J. - As brechas de origem ígnea: revisão e
proposta para uma classificação geológica. Bol. IG., Publ. Esp.
N. 3, 82 p, 1986.

WS - Programa wordstar para redação de textos, versão 2.1, 1986.

Yamamoto, J.K - Tratamento estatístico e análise de dados
vetoriais distribuídos em área. Sem. Gerais IG/USP, 17 p, 1981.

ANEXO 1: MAPA GEOLÓGICO DO SUDOESTE DO ESTADO DO PIAUÍ

COLUNA ESTRATIGRÁFICA		
Qa	Aluviões: areias, siltes e cascalhos.	RECENTE
Ku	Formação Urucui: arenitos vermelhos, finos e grosseiros, localmente caulínicos e silicificados, argilitos vermelhos.	CRETÁCIO
Kar	Formação Areão: conglomerados, argilitos silteosos, arenitos vermelhos, médios e grosseiros e mal selecionados.	CRETÁCIO
JKkb	Intrusivos Kimberlíticos: brechas kimberlíticas de conduto em avanço estágio de alteração.	CRETÁCIO
TRJM	Formação Mosquito: basaltos afaníticos escuros.	CRETÁCIO
TRs	Formação Sambaíba: arenitos avermelhados e claros, nódulos de caulim, níveis de sílex e basalto no topo.	CRETÁCIO
Ppf	Formação Pedra do Fogo: siltitos violáceos, argilosos, arenitos amarelados e caulínicos, siltitos, folhelhos arroxeados com níveis de sílex.	PERMIANO
Cpi	Formação Piauí: arenitos avermelhados, esbranquiçados e amarelados de granulometria de fina a média.	CARBONÍFERO
Cpo	Formação Póti: siltitos cinza a cinza-escuro, arenitos friáveis.	CARBONÍFERO
DCt	Formação Longá: folhelhos de cores variadas bem laminados.	DEVONIANO
Dc	Formação Cabeças: arenitos grosseiros, arenitos finos arroxeados e esbranquiçados com níveis de siltito e folhelho.	DEVONIANO
Dp	Formação Pimenteira: arenitos finos argilosos e bem selecionados. Arenitos, siltitos e folhelhos em alternância.	DEVONIANO
SDsg	Formação Serra Grande: conglomerados, arenitos e clásticos finos.	SILURIANO
pS	Embasamento Cristalino: essencialmente gnaisses, migmatitos e granitos.	PRÉ-CAMBRIANO

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS	
	contato definido.
	contato provável.
	falha definida.
	falha com indicação de movimento de blocos.
	fratura definida de natureza indeterminada.
	camada com megalho indicado.
	altitude de camada com valor de megalho medido.
	camada horizontal.
	estrutura circular (exagerada).
	ocorrência de diamante.
CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS	
	estrada pavimentada.
	estrada carroçável.
	cidade.
	povoados/habitações.
	curtos d'água principais.
	lagoa.

Compilado das folhas Rio São Francisco NW-SC.23-V e Rio São Francisco NE-SC.23-X do Projeto Estudo Global dos Recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba-Integração Geológica-Metagenética, CPRM (Lima & Leite 1978); Imagens de Radar 1:250.000 SC.23-V-B, SC.23-X-A, SC.23-V-D e SC.23-X-C; Mapa Geológico do Estado do Piauí, CPRM (Coutinho et al. 1982), Oliveira et al. (1984); Schobbenhaus et al. (1974).

MAPA GEOLÓGICO DO SUDOESTE DO ESTADO DO PIAUÍ

A circular blue ink stamp from the Instituto de Geociencias, U.S.P. The text "Instituto de Geociencias" is curved along the top inner edge, and "U. S. P." is at the bottom. In the center, the word "BIBLIOTECA" is printed above the handwritten number "T/379".

AUTOR: R. MARIANO G. CASTELO BRANCO