



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTUDO DA SISMICIDADE NA REGIÃO DE SOBRAL - CE EM 2008

Autor:

PAULO HENRIQUE SOUSA DE OLIVEIRA

Orientador:

Dr. JOAQUIM MENDES FERREIRA

Co - Orientador:

Dr. ADERSON FARIAS DO NASCIMENTO

Dissertação n° x /PPGG

Natal - RN, Agosto de 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTUDO DA SISMICIDADE NA REGIÃO DE SOBRAL - CE EM 2008

Autor:

PAULO HENRIQUE SOUSA DE OLIVEIRA

Dissertação de mestrado apresentada
em 03 de agosto de 2010, para a
obtenção do título de mestre em
Geociências pelo Programa de Pós-
Graduação em Geodinâmica e
Geofísica da Universidade Federal do
Rio Grande do Norte.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOAQUIM MENDES FERREIRA (Orientador)

DGEF/PPGG/UFRN

Prof. Dr. FRANCISCO HILÁRIO REGO BEZERRA (Examinador Interno)

DG/PPGG/UFRN

Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO PEREIRA SOARES (Examinador Externo)

IG/UnB

Natal - RN, Agosto de 2010

Às minhas amadas: Mãe,
Irmã e Vovó e ao meu amado Pai, sempre presentes, atuantes e confiantes.

AGADECIMENTOS

§ A Deus.

§ Ao professor Dr. Joaquim Mendes Ferreira (orientador), pelos conselhos, orientações, paciência, apoio pessoal, profissionalismo, ética, amizade e convivência.

§ Ao professor Dr. Aderson Farias do Nascimento (co-orientador), pelas críticas, força, profissionalismo e paciência.

§ Aos pesquisadores Reinhardt A. Fuck e José E. Soares, ambos da UnB, pela visita à região de Sobral, contribuindo com suas vastas experiências profissionais e científicas.

§ Ao Dr. George França, pela dedicação, ajuda e ao seu apoio concedido na interpretação dos sismogramas.

§ Ao pesquisador Hilário Bezerra, pelas suas valiosas sugestões.

§ Aos professores do PPGG.

§ A Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA, pela formação acadêmica.

§ Aos professores e colegas do curso de Física da UVA.

§ Ao professor Dr. Marcelo Assumpção, pela dedicação, paciência, contribuições e disposição em ajudar.

§ Aos meus queridos pais e minha irmã (Fia), pelo amor, paciência, apoio e disposição em ajudar.

§ A todos os membros da minha família, pelo apoio e confiança.

§ Aos amigos de Pós – Graduação: Heleno Carlos, Rosana, Aline, Bonnie, Irenaldo, Flávio, Paulo Duarte, Rafael Duarte, Silvana Praxedes,

principalmente ao primeiro pelas valiosas contribuições sismológicas, assim como sua paciência e dedicação em ajudar.

§ Aos alunos de graduação em Geofísica: Adelson, André, Fellipe, Hugo, Igor, Myrli, Pedro e Renato.

§ Aos técnicos: Eduardo Menezes, Neymar Pereira, Carlos dos Anjos, Regina Spinel e Marlon Pirchiner.

§ A secretária do PPGG, Nilda, pela sua exemplar amizade, conselhos, disposição e precisão em ajudar.

§ Ao Projeto do Milênio pelo apoio financeiro ao trabalho de campo.

§ A CAPES, pela bolsa concedida.

RESUMO

Palavras-Chave: atividade sísmica, determinação hipocentral, lineamento Sobral - Pedro II, plano de falha, mecanismo focal.

A cidade de Sobral está localizada na porção Noroeste do estado do Ceará, a 250 km de sua capital, Fortaleza. Em janeiro de 2008, uma intensa atividade sísmica iniciou-se nas proximidades de Sobral, ocorrendo um evento com magnitude $4.2m_b$ no dia 21 de maio. Todos os eventos, desde o início, foram registrados pela estação SBBR, localizada na fazenda da EMBRAPA Caprinos, que opera na região desde agosto de 2007. Após o evento de maio de 2008, o monitoramento da sismicidade foi realizado com uma rede sismográfica local, com início de operação no dia 5 de junho de 2008. Inicialmente, esta rede foi constituída de 6 estações sismográficas digitais, sendo depois preenchida com mais 5, totalizando 11 estações digitais, cada uma com 3 componentes. Após isto, a rede voltou a operar com seis estações, até o dia 24 de setembro de 2008. A rede de estações sismográficas operou entre o dia 5 de junho e 26 de setembro de 2008, detectando cerca de 2820 sismos, em pelo menos uma estação. No presente trabalho foram analisados os 581 sismos registrados, no mínimo, em três estações, objetivando a determinação de hipocentros, mecanismos focais e contribuir para uma melhor compreensão da sismicidade ocorrida na região Noroeste do Ceará. Para a determinação hipocentral, foi utilizado um modelo de semi-espço, com parâmetros iguais a 6.00 km/s para a velocidade da onda P e 1.71 para a razão entre as velocidades das ondas P e S, obtido a partir da análise dos dados. Foi encontrada uma zona sísmica ativa com profundidade variando entre 1 e 8 km, com 6 km de extensão em superfície e com direção aproximada E-W. Um conjunto de 24 sismos, com melhor determinação hipocentral, foi selecionado para obter os parâmetros dos planos de falha e mecanismos focais. A determinação dos planos de falha e mecanismos focais foi obtida com o auxílio dos programas PLAN e FPFIT, possibilitando a utilização dos resultados do primeiro numa melhor definição do mecanismo focal. Com auxílio do mapa detalhado dos hipocentros deste conjunto de 24 sismos, foi possível identificar três aglomerados de sismos, possibilitando sua divisão em três subconjuntos. Os

mecanismos obtidos foram do tipo transcorrente, com movimento dextral. Apesar de a região possuir duas importantes estruturas tectônicas próximas ao local da área estudada: a falha Café-Ipueiras (falha normal) e o Lineamento Sobral-Pedro II (falha transcorrente dextral), não foi possível obter correlação entre a sismicidade encontrada e qualquer uma dessas feições geológicas.

ABSTRACT

Keywords: seismic activity, hypocenter, Sobral-Pedro II Lineament, fault plane, focal mechanism, intraplate seismicity, neotectonics

The town of Sobral is located at the northwest part of the Ceará State, 250 km away from its capital, Fortaleza. In January 2008, an intense seismic activity began near Sobral with one event with magnitude 4.2 m_b on May 21. Since the start of this seismic activity, all events were recorded by the SBBR station (located on EMBRAPA Caprinos Farm), which operates in the region since August 2007. After this event, monitoring the seismic activity was carried out with the deployment of a local three component digital seismographic network, from June 5, 2008 until September 24. Initially, this network was composed of six seismographic stations. Later additional five stations were deployed until August 26 2008. This local network detected approximately 2,800 earthquakes. In this study we analyzed 581 earthquakes recorded by at least three stations for hypocentral and focal mechanism determination, and to contribute to a better explanation of the seismicity which in this region. To determine the hypocenters, we used a half-space model, with $v_p = 6.00$ km/s and $v_p/v_s = 1.71$. From the hypocentral determination, it was revealed an active seismic zone with depth ranging between 1 and 8 km, 6 km long in E - W direction. The determination of fault planes and focal mechanism was obtained using the programs FPFIT and PLAN, which allowed comparison between their respective results in order to obtain more accurate results. A set of 24 earthquakes were selected to determine fault using PLAN planes and focal mechanisms using FPFIT. With the aid of detailed map of hypocenters this set, it was possible to identify three structures. Therefore, the set of 24 earthquakes were divided into three subsets. The type of mechanism was predominantly strike-slip with a dextral direction. Although the region has two tectonic structures near the site of the study area: the Café-Ipueiras Fault (normal fault) and the Sobral-Pedro II Lineament (dextral strike-slip fault) it was not possible to correlate the seismicity founded with those structures.

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS USADAS

CCET - Centro de Ciências Exatas e da Terra

CPRM - Companhia de recursos e Recursos Minerais: Empresa Governamental brasileira, que tem as atribuições de Serviço Geológico do Brasil.

CD11 - Formato do arquivo bruto, registrado na estação sismográfica da *GEOTECH Instruments*.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: é uma instituição pública brasileira vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

ERH - Média do Erro Horizontal Médio. Faz referência aos epicentros.

ERZ - Média do Erro Vertical Médio. Faz referência aos hipocentros.

GPS - Global Positioning System. Em português Sistema de Posicionamento Global, também referido como Geo - Posicionamento por Satélite.

GMT - Generic Mapping Tools - Este programa, inicialmente desenvolvido por Paul Wessel e Walter H. F. Smith (Universidade do Hawaii), é adotado em diversas universidades para elaboração de mapas, gráficos e ilustrações dos mais diversos tipos.

IAG/USP - Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo.

m_b - Magnitude de onda de corpo

MM - Escala de intensidade Mercalli Modificada

m_R - Magnitude regional brasileira, equivalente a escala m_b , proposta por Marcelo Assumpção em 1983.

P - (do latim *undae primae*, primeira onda), é a primeira fase da frente de onda que chega à estação.

S - (do latim *undae secundae*, segunda onda), é a segunda fase registrada na estação.

RMS - Erro Quadrático Médio.

UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UnB - Universidade de Brasília

USGS - United States Geological Survey - Serviço Geológico dos Estados Unidos.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| Dedicatória | iii |
| Agradecimentos | iv |
| Resumo | vi |
| Abstract | viii |
| Simbologia e abreviaturas usadas | ix |
| Sumário | xi |
| Capítulo 1 – Introdução | 01 |
| 1.1 - O Município de Sobral e a Área Sísmica Estudada | 01 |
| 1.1.1 - Início da atividade sísmica | 03 |
| 1.2 - Motivação e instalação da rede sismográfica de Sobral | 08 |
| 1.3 - Sismicidade no Noroeste do Ceará | 11 |
| 1.4 - Objetivos | 19 |
| Capítulo 2 – Localização e geologia regional da área estudada | 20 |
| 2.1 – O Megalineamento Transbrasiliano | 23 |
| 2.2 – Granito Meruoca | 25 |
| Capítulo 3 - Determinação hipocentral - Metodologia e resultados obtidos | 26 |
| 3.1 - Aquisição de dados | 26 |
| 3.2 - Análise dos dados | 28 |
| 3.3 - O problema de localizar sismos | 29 |
| 3.3.1 - Método de círculos e cordas | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.2 - O problema inverso | 32 |
| 3.3.2.1 - Otimização não-linear | 33 |
| 3.3.2.2 - Mínimos quadrados não-lineares | 36 |
| 3.3.3 - O método de Geiger para determinação hipocentral | 39 |
| 3.3.3.1 - Formulação do problema de localizar um sismo | 39 |
| 3.3.3.2 - O método de Geiger e suas implementações | 40 |
| 3.4 - Resultados obtidos | 45 |
| 3.4.1 - Escolha de um conjunto confiável de dados, via diagrama Wadati | 45 |
| 3.4.2 - Determinação do modelo de velocidades | 47 |
| 3.4.3 - determinação dos epicentros e hipocentros | 51 |
| 3.4.3.1 - Primeira etapa | 53 |
| 3.4.3.2 - Segunda etapa | 54 |
| 3.4.3.3 - Terceira etapa | 56 |
| Capítulo 4 - Sismotectônica, determinação de planos de falha e mecanismos focais | 59 |
| 4.1 - Sismotectônica..... | 59 |
| 4.2 - Planos de falha e mecanismos focais | 62 |
| 4.3 - Método utilizado | 65 |
| 4.3.1 - O Programa FPFIT | 66 |
| 4.4 - Resultados obtidos | 67 |
| 4.4.1 - Seleção de dados mais confiáveis | 67 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4.2 – Mapa detalhado dos hipocentros | 68 |
| 4.4.3 – Parâmetros de falhamento e mecanismos focais | 70 |
| 4.4.4 – Discussão dos resultados | 75 |
| Capítulo 5 – Considerações Finais e perspectivas | 77 |
| Referências Bibliográficas | 80 |
| Apêndice A | 87 |
| Apêndice B | 93 |
| Apêndice C | 98 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este capítulo contém informações sobre a localização da cidade de Sobral, em relação à área sísmica estudada, abordando alguns detalhes sobre o histórico da sismicidade na região Noroeste do Ceará, sobre o início da atividade sísmica ocorrida nas proximidades da cidade citada (o que motivou a instalação de uma rede sismográfica local) e os objetivos do presente trabalho.

Detalhes e informações sobre a rede de estações sismográficas, distribuição epicentral e hipocentral dos sismos registrados por ela, na área sísmica estudada, serão abordados no capítulo 3.

1.1 - O MUNICÍPIO DE SOBRAL E A ÁREA SÍSMICA ESTUDADA

O município de Sobral (-40.23° , -3.67°) situa-se na porção Noroeste do estado do Ceará (fig.1.1), limitando-se com os municípios de Massapê, Forquilha, Frecheirinha, Alcântaras, Mucambo, Cariré, Miraíma, Groaíras, Santana do Acaraú, Irauçuba, Canindé e Santa Quitéria e compreende, aproximadamente, uma área de 2.000 km^2 . O principal acesso rodoviário à sede municipal, a partir de Fortaleza, é feito através da BR - 222, num percurso de cerca de 230 km.

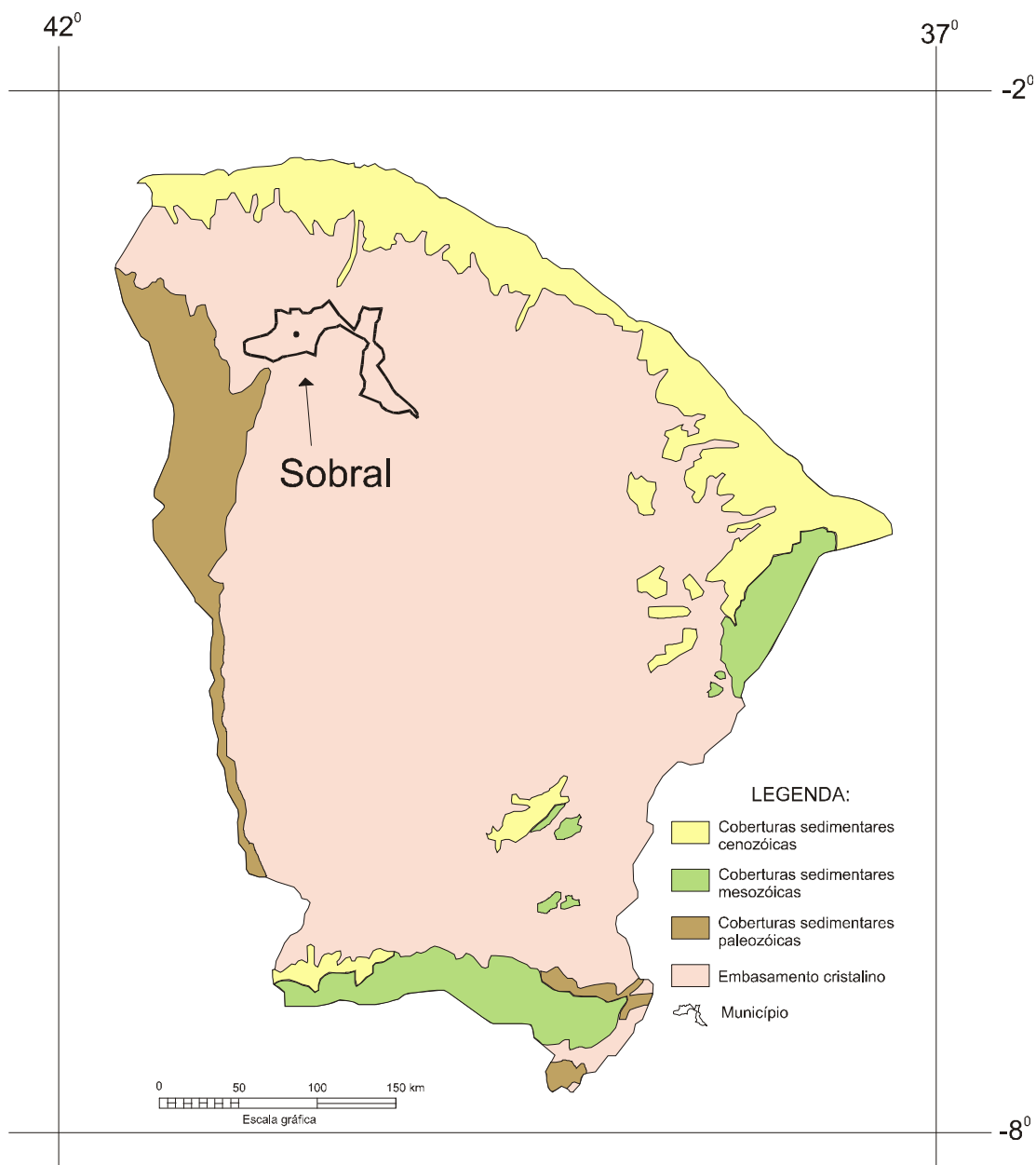


Fig. 1.1 – Localização de Sobral em relação aos domínios sedimentares e cristalinos do estado do Ceará (CPRM – 1998).

1.1.1 – INÍCIO DA ATIVIDADE SÍSMICA

No final de janeiro de 2008 iniciou-se uma intensa atividade sísmica na região de Sobral, com um evento de magnitude 2.5 m_b ocorrido no dia 28 desse mês, sendo sentido no distrito do Jordão, município de Sobral. A atividade continuou nos meses subsequentes e o maior evento da sequência, de magnitude 4.2 m_b , ocorreu no dia 21 de maio (tab. 1.1, figs. 1.2, 1.3 e 1.4). Desde o início essa atividade sísmica foi registrada pela estação sismográfica SBBR (fig. 1.5), instalada na região pelo Projeto do Instituto do Milênio “**Estudos geofísicos e tectônicos na Província Borborema**” (Processo CNPq N°:42.0222/2005-7), comumente denominado de Projeto do Milênio. Esta estação está localizada na fazenda da EMBRAPA Caprinos e opera na região desde agosto de 2007.

A ocorrência desta sismicidade gerou pânico, medo e desespero principalmente na população que residia na região das serras da Meruoca e do Rosário, que abrange os municípios de Sobral, Meruoca e Alcântaras. A Defesa Civil do Município de Sobral logo se mobilizou e ofereceu apoio, ajuda e esclarecimento sobre este fenômeno natural à população sob sua jurisdição, contando, nessa tarefa, com o apoio e participação da Defesa Civil do Estado do Ceará e da equipe do Laboratório Sismológico da UFRN (LabSis/UFRN). Várias palestras de esclarecimento foram então realizadas na região, visando acalmar a população afetada por esse fenômeno.

| DATA | HORÁRIO | MAGNITUDE |
|--------------|----------------|--------------------------|
| 28/01 | 15:46 | 2.5 m_b |
| 02/02 | 22:36 | 2.8 m_b |
| 17/02 | 01:57 | 3.7 m_b |
| 04/04 | 17:08 | 3.9 m_b |
| 01/05 | 08:35 | 3.1 m_b |
| 21/05 | 19:25 | 4.2 m_b |
| 21/05 | 19:28 | 3.9 m_b |
| 11/09 | 12:50 | 2.4 m_b |

Tab 1.1 – Principais sismos ocorridos no ano de 2008, em Sobral. Fonte: UFRN.

Sobral - 21/maio/2008

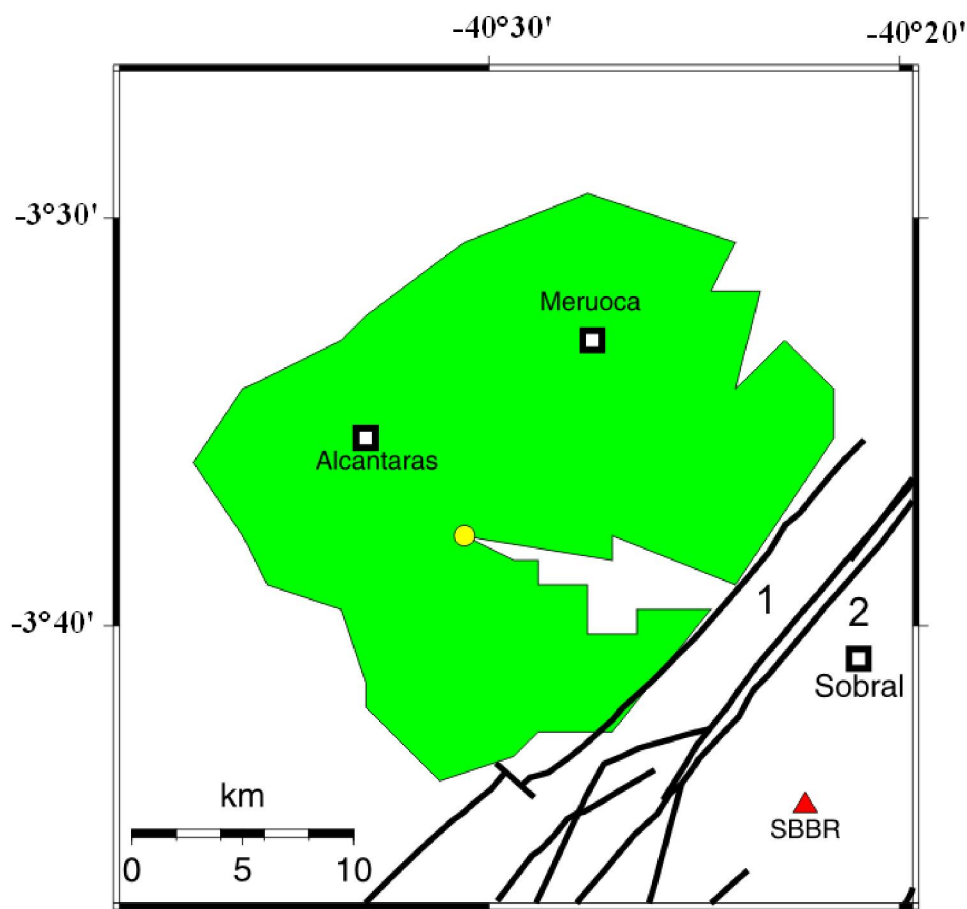


Fig. 1.2 - Localização do sismo de maior magnitude (círculo amarelo), ocorrido em 21/05/2008. Nesta época só havia a estação SBBR instalada na área. A parte verde denota a serra da Meruoca. O número 1 simboliza a falha Café - Ipueiras e o número 2 o Lineamento Sobral - Pedro II. O triângulo vermelho representa a estação SBBR e os quadrados, os municípios.

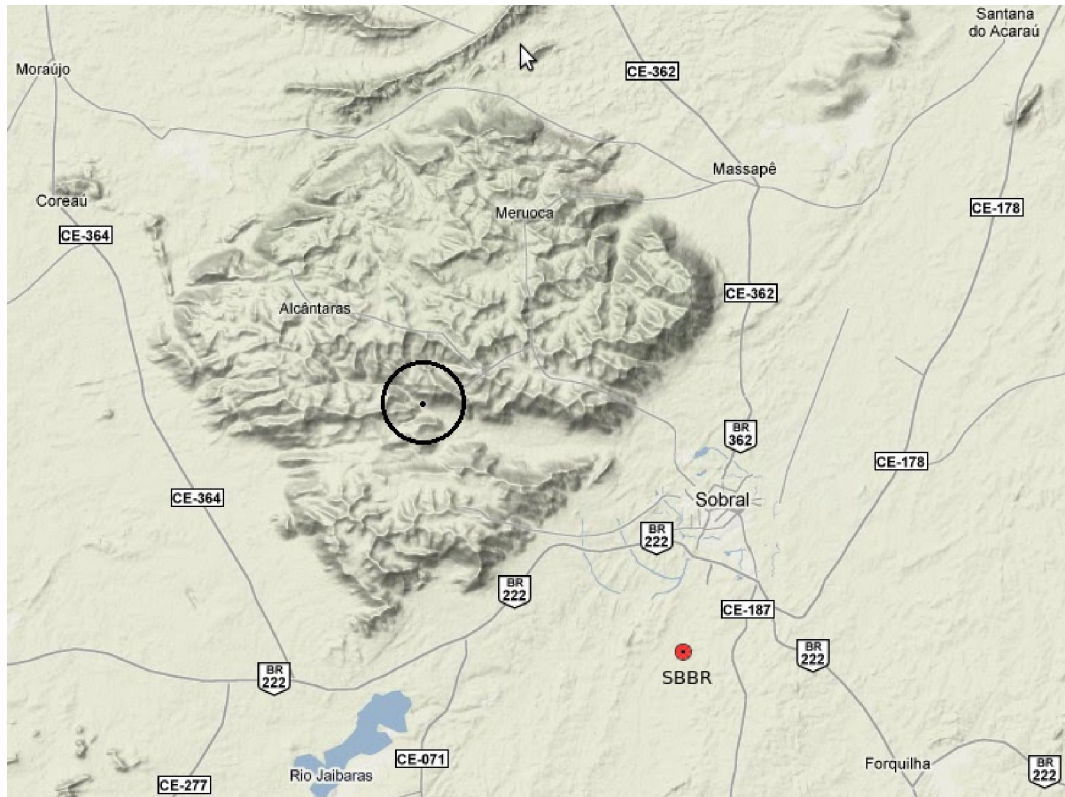


Fig 1.3 – Imagem de terreno da serra da Meruoca. O ponto preto, no centro do grande círculo preto, representa a localização do sismo de maior magnitude (fig. 1.2). Fonte: Google Maps - 2010.

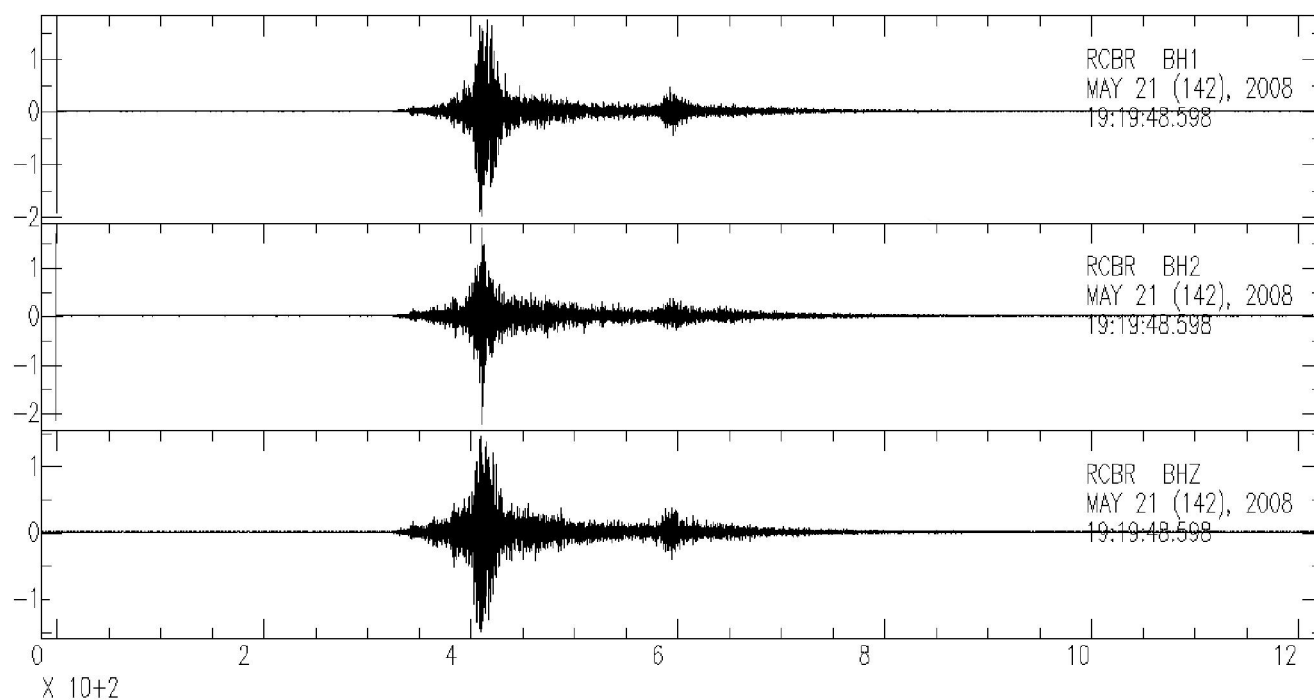


Fig 1.4 – Sismograma do sismo de maior magnitude (4.2 m_b , ocorrido no dia 21 de maio de 2008) registrado na estação RCBR, localizada em Riachuelo – RN a 572km de distância de Sobral. BH1 representa a componente E-W, BH2 a componente N-S e BHZ a componente vertical.



Fig. 1.5 - Estação SBBR instalada no dia 22/08/2007, com localização na fazenda da EMBRAPA Caprinos, em Sobral. Esta estação monitorou a atividade sísmica ocorrida em Sobral, desde o seu início.

1.2 – MOTIVAÇÃO E INSTALAÇÃO DA REDE SISMOGRÁFICA DE SOBRAL

Após o início, em janeiro de 2008, da atividade sísmica ocorrida em Sobral e de dois eventos de magnitudes 4.2 m_b e 3.9 m_b , ocorridos com uma diferença de apenas três minutos (tab. 1.1), pesquisadores do LabSis decidiram instalar uma rede sismográfica local, onde foram utilizados equipamentos do Laboratório de Estudos Litosféricos da UnB e estações de período curto do Projeto do Milênio, além da estação SBBR, já em operação na região.

A instalação da Rede Sismográfica de Sobral (SB) ocorreu em três etapas. A primeira etapa (fig. 1.6) foi iniciada no começo de junho, sendo instaladas cinco estações. Esta etapa operou entre os dias 06/jun/2008 e 09/jul/2008.

Rede Sobral - 2008

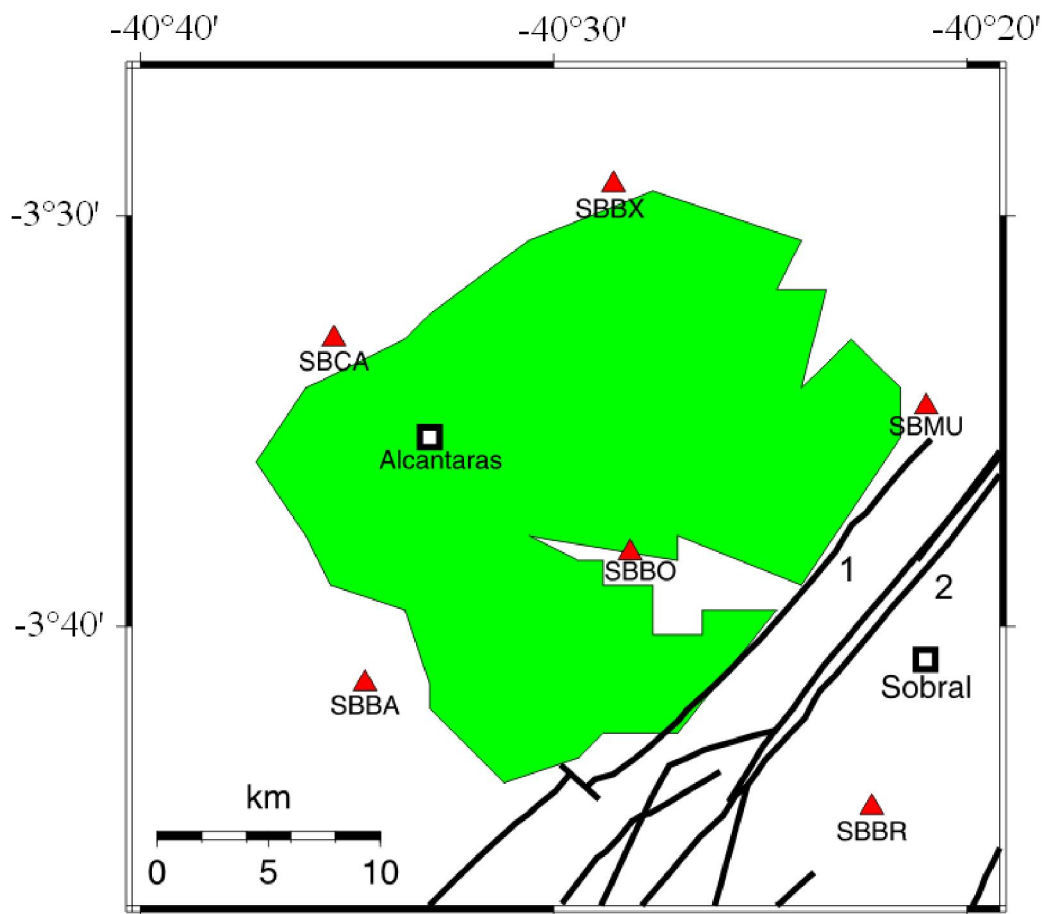


Fig. 1.6 - Primeira etapa da instalação da Rede Sismográfica SB, constituída de 6 estações digitais, em 2008. Os triângulos vermelhos indicam as estações e os quadrados as cidades. Os números 1 e 2 simbolizam, respectivamente, a falha Café - Ipueiras e o Lineamento Sobral - Pedro II.

Na segunda etapa (fig. 1.7) foram instaladas mais cinco, totalizando onze estações sismográficas digitais. Esta etapa abrange o período de 10/jul a 26/ago do ano de 2008. Apesar de não ter registrado a atividade sísmica mais intensa, em termos de n° de sismos por dia (Cap. 3), durante este período foi obtido o maior volume de dados, devido ao maior número de estações.

Rede Sobral - 2008

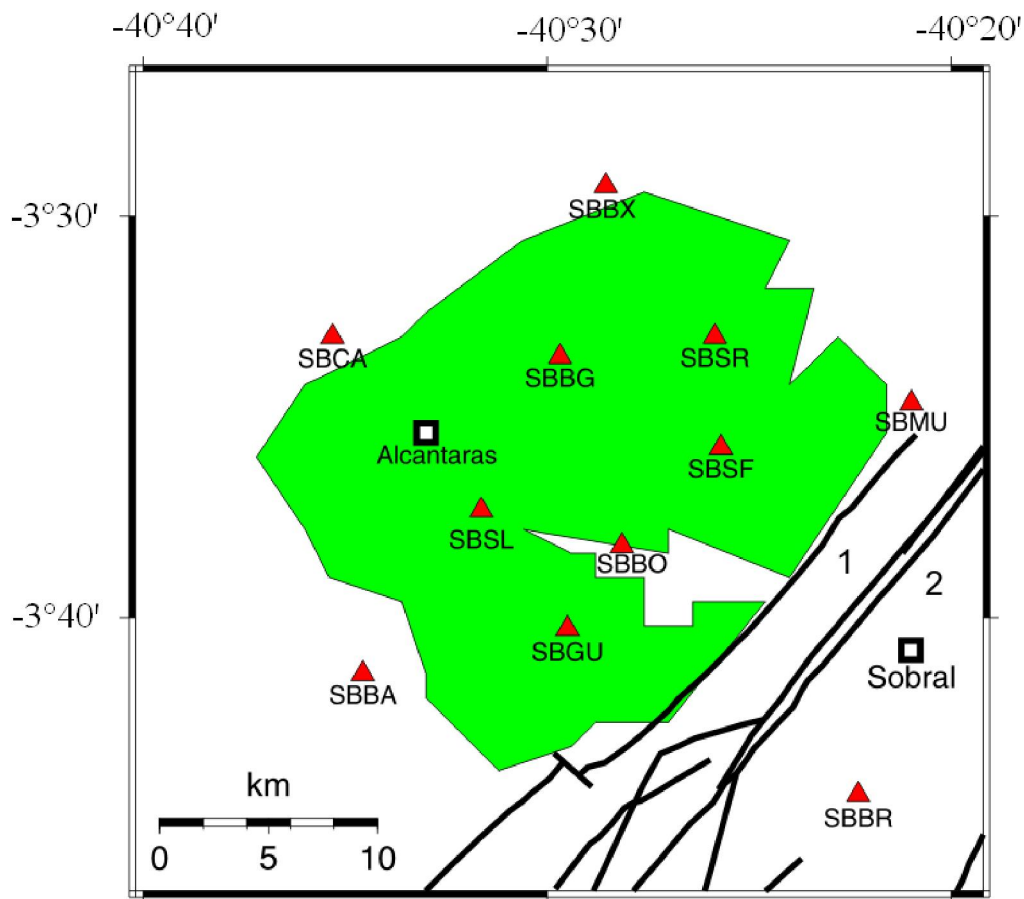


Fig. 1.7 – Segunda etapa da Rede Sismográfica SB, constituída de 11 estações digitais. Nesta etapa a rede atuou entre 10 de julho e 26 de agosto de 2008. Os triângulos vermelhos e números 1 e 2 estão conforme a figura 1.6.

A terceira etapa (fig. 1.8), na verdade, constituiu na retirada de cinco estações. Assim, a rede SB voltou a atuar com seis estações sismográficas digitais. Esta configuração foi mantida entre 27 de agosto e 24 de setembro de 2008 e representou o período com menor volume de dados registrados em pelo menos três estações. Todas estas etapas possibilitaram aquisição de dados para a realização dos objetivos de estudo do presente trabalho, os quais serão citados posteriormente.

Rede Sobral - 2008

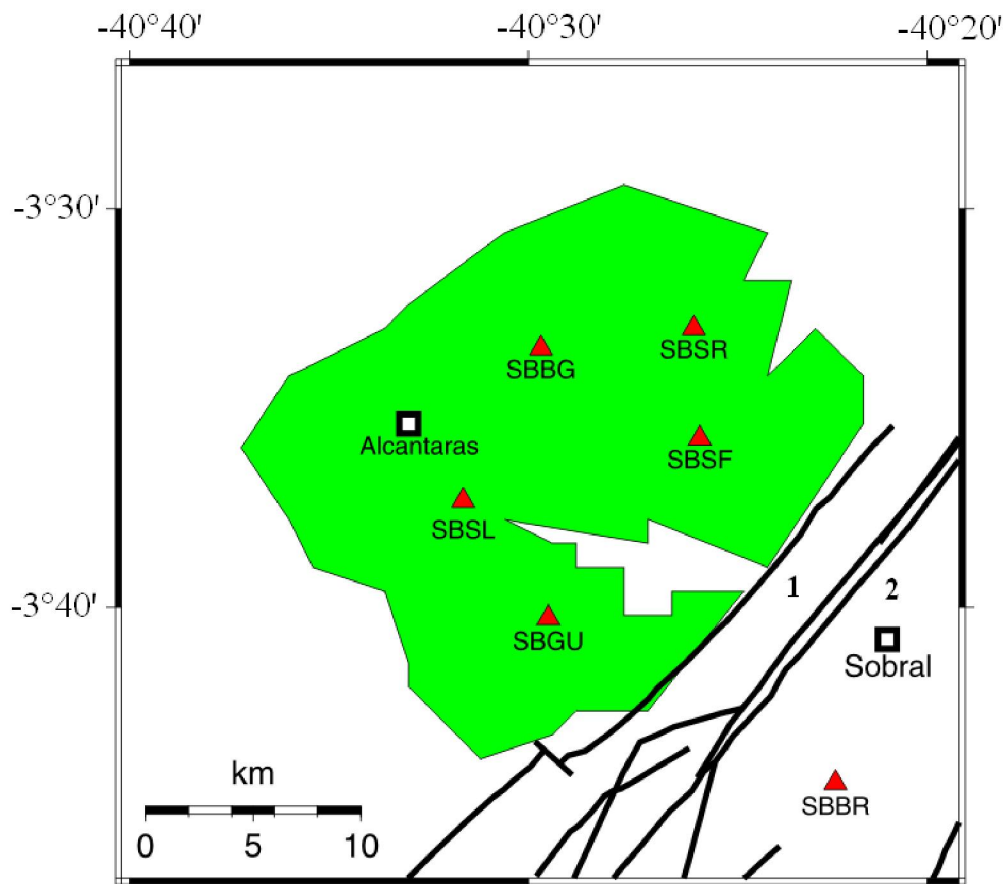


Fig. 1.8 - Terceira etapa da instalação da Rede SB. Esta etapa foi caracterizada pela retirada de 5 estações e atuou entre 27 de agosto e 24 de setembro de 2008. Os triângulos vermelhos e os números 1 e 2 estão conforme a figura 1.6.

1.3 - SISMICIDADE NO NOROESTE DO CEARÁ

O Noroeste cearense é uma das principais áreas sísmicas do Nordeste do Brasil e sua atividade sísmica (fig. 1.9) é conhecida desde o século passado. Conforme Ferreira & Assumpção, 1983, o primeiro evento noticiado ocorreu no município de Granja, em 1810.

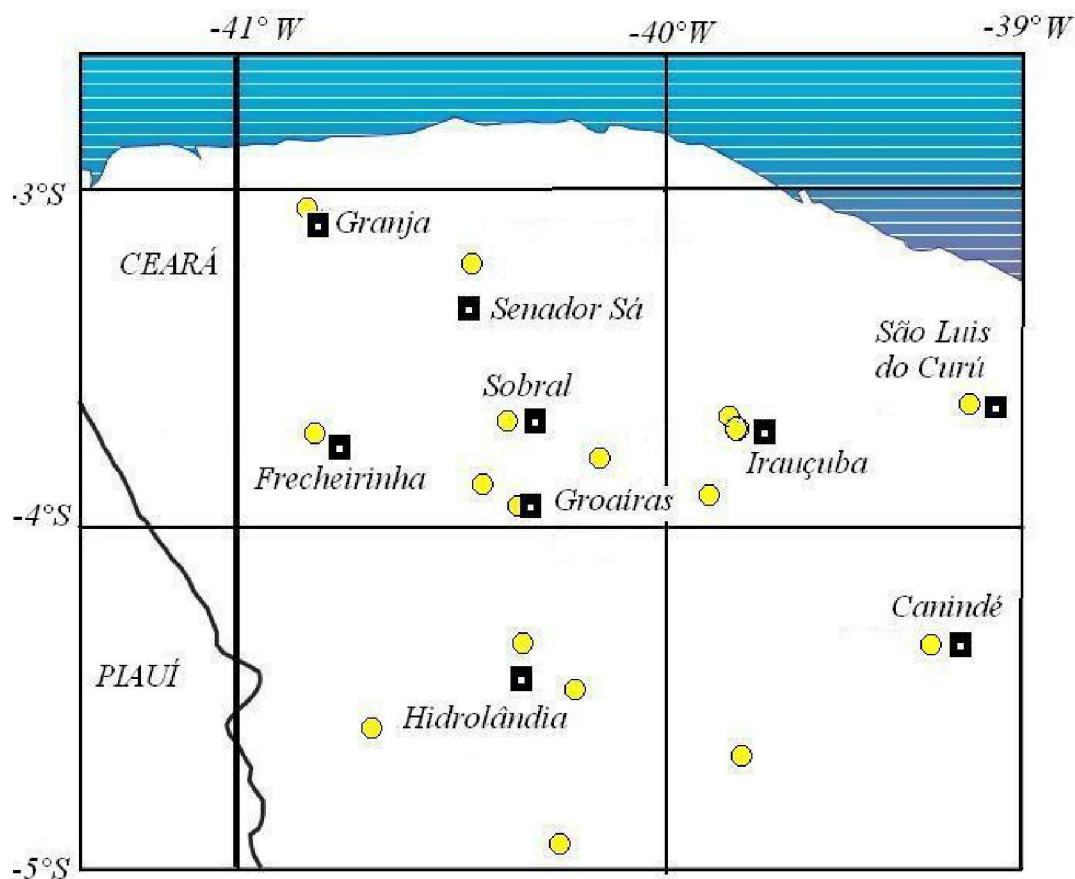


Fig. 1.9 – Sismicidade na região Noroeste do Ceará. Os retângulos escuros representam as cidades e os círculos amarelos os epicentros de sismos históricos e instrumentais (Ferreira & Assumpção, 1983; Berrocal *et al.* 1984; RBGf).

Os eventos que alcançaram maior magnitude foram os ocorridos em Groaíras e em Irauçuba (respectivamente, em 1988 e 1991), com réplicas estudadas por Ferreira *et al.*, 1998, alcançando intensidade **VI MM**; e, atualmente, em Sobral (2008) conforme a tabela 1.2.

Antes da ocorrência destes eventos, os dados disponíveis eram quase todos de caráter histórico, com exceção de alguns eventos registrados pela estação NAT, localizada em Natal e operada pela UFRN, pelas estações da rede de Sobradinho, operada pelo IAG/USP, e da rede de Itatiaia, operada pela UnB.

| LOCALIDADE | ANO | MAGNITUDE(m_b) |
|-------------------------|-------------|------------------------------------|
| Granja | 1942 | 3,0 |
| São Luis do Curú | 1974 | 3,3 |
| Itapajé | 1987 | 3,0 |
| Groaíras | 1988 | 3,9 e 4,1 |
| Frecheirinha | 1989 | 3,2 |
| Irauçuba | 1991 | 4,8 |
| Groaíras | 1995 | 3,4 |
| Frecheirinha | 1997 | 3,2 |
| Senador Sá | 1997 | 3,0 e 3,2 |
| Sobral | 2008 | 3,1; 3,7; 3,9 e 4,2 |

Tab 1.2 – Principais sismos de magnitude maior, ou igual, a 3,0 m_b , ocorridos no Noroeste cearense. Fonte: RBGf – Boletim Sísmico da Revista Brasileira de Geofísica.

A instalação de redes locais na região Noroeste do Ceará, iniciou-se após a sequência de dois tremores de magnitudes 4.1 m_b e 3.9 m_b , ocorridos no município de Groaíras no dia 30 de março de 1988, alcançando intensidade **VI MM** na área epicentral. Após estes eventos, foram instaladas três estações analógicas portáteis (tipo MEQ – 800, com registro em papel enfumaçado) na região, que operaram entre 01 e 15 de abril de 1988. A análise dos sismos registrados possibilitaram um melhor conhecimento sísmico da área (fig. 1.10), mostrados em Ferreira *et al.*, 1998.

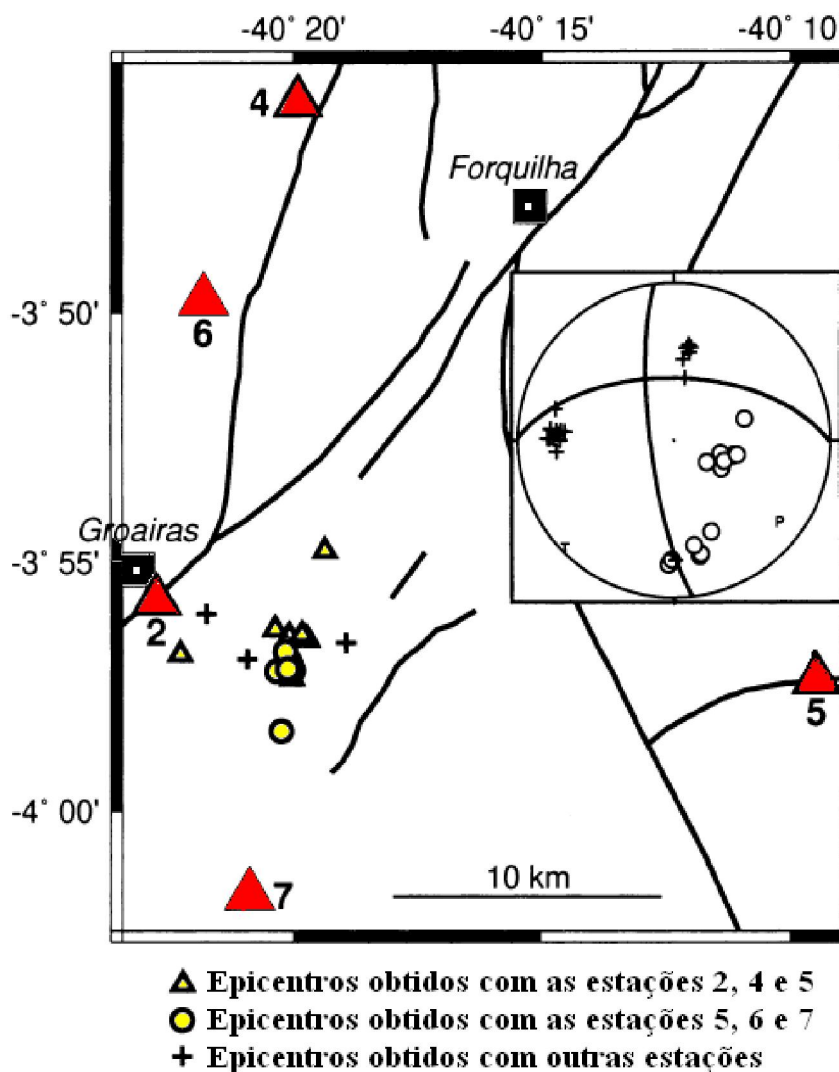


Fig. 1.10 – Mapa dos epicentros dos sismos ocorridos na região de Groaíras. Os quadrados pretos representam cidades. Os triângulos grandes indicam estações sismográficas, o diagrama estereográfico simboliza o mecanismo focal e as linhas grossas falhas Pré – Cambrianas. Demais símbolos conforme legenda (Modificada de Ferreira *et al*, 1998).

Novas campanhas foram realizadas nas cidades de Irauçuba e Hidrolândia, em 1991. No dia 19 de abril de 1991 um sismo de magnitude 4.8 m_b ocorreu nas proximidades do município de Irauçuba, alcançando intensidade **VI MM**. Logo nos dias seguintes, uma rede constituída de seis estações sismográficas foi instalada na região, operando até o dia 31 de maio do mesmo ano. A fig. 1.11 mostra o mapa dos epicentros dos sismos registrados próximos a Irauçuba, conforme Ferreira *et al*, 1988.

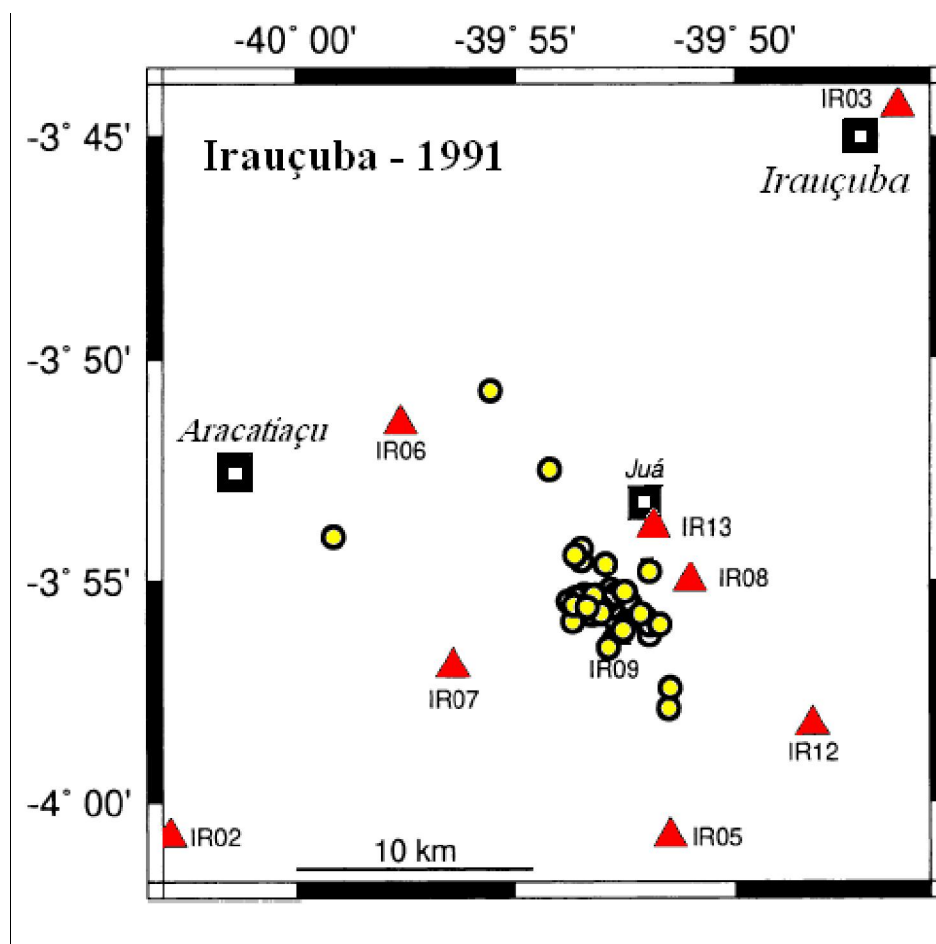


Fig 1.11 – Mapa dos epicentros, representados por círculos amarelos, dos sismos ocorridos na cidade de Irauçuba. Os quadrados indicam as cidades e povoações menores e os triângulos indicam os locais ocupados por estações (Modificada de Ferreira *et al*, 1998).

No dia 27 de maio de 1991, a rede de estações instalada em Irauçuba registrou um sismo de magnitude 2.4 m_R , com localização na cidade de Hidrolândia, possibilitando um deslocamento da rede, no dia 31 de maio, para este novo local. Dois arranjos de rede foram utilizados e os epicentros encontrados, conforme Ferreira *et al*, 1998, estão mostrados na fig. 1.12.

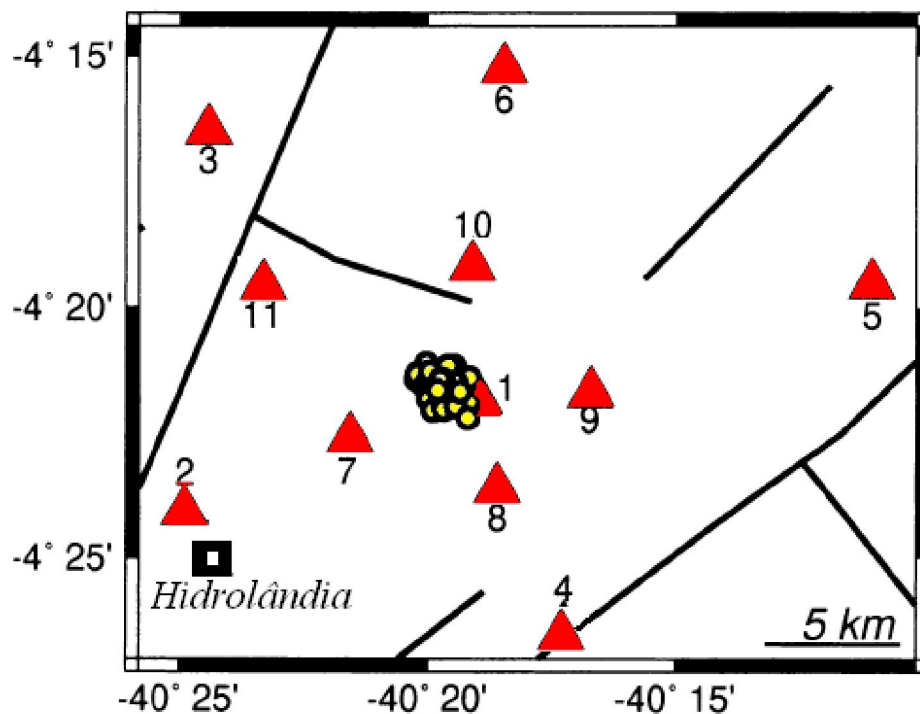


Fig. 1.12 - Mapa dos epicentros dos sismos, representados por círculos, ocorridos em Hidrolândia. Dois arranjos de rede foram utilizados, sendo que os triângulos 1, 7, 8, 9, 10 e 11 representam um dos arranjos e os triângulos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 representam o outro. (Modificada de Ferreira *et al*, 1998).

Em 1992, o LabSis monitorou a região Noroeste do Ceará com uma rede aberta, composta por três estações analógicas portáteis. Estas estações foram instaladas nos municípios de Coreaú, Uruoca e Granja (fig 1.13). Este monitoramento ocorreu entre 03 de maio e 04 de junho de 1992 e, durante este período, foram registrados 78 eventos. Dentre estes, o sismo de maior magnitude ($2.1 m_b$) ocorreu no dia 09 de maio de 1992, com epicentro no município de Senador Sá.

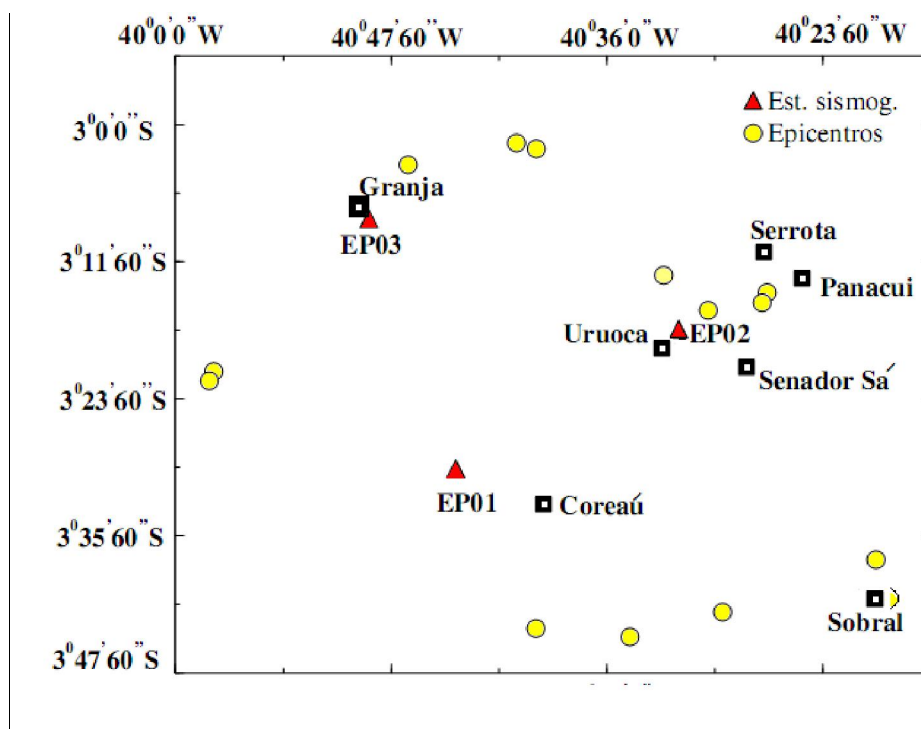


Fig. 1.13 – Mapa mostrando epicentros (simbolizados por círculos amarelos), com os dados registrados durante o monitoramento da região NW do Ceará, em 1992. Retângulos pretos e triângulos vermelhos denotam, respectivamente, as cidades. EP01, EP02 e EP03 as estações sismográficas (Modificada de França, G.S., 1999).

A última rede local instalada na região Noroeste do Ceará, antes da rede SB, teve seu início de operação no dia 11 de junho de 1997 após um tremor de magnitude 3.2 m_b , ocorrido no dia 09 de junho de 1997 nas margens do Açude Tucunduba, localizado em Serrota, distrito do município Senador Sá. Esta rede (SN; fig. 1.14) era constituída de sete estações sismográficas digitais e uma analógica.

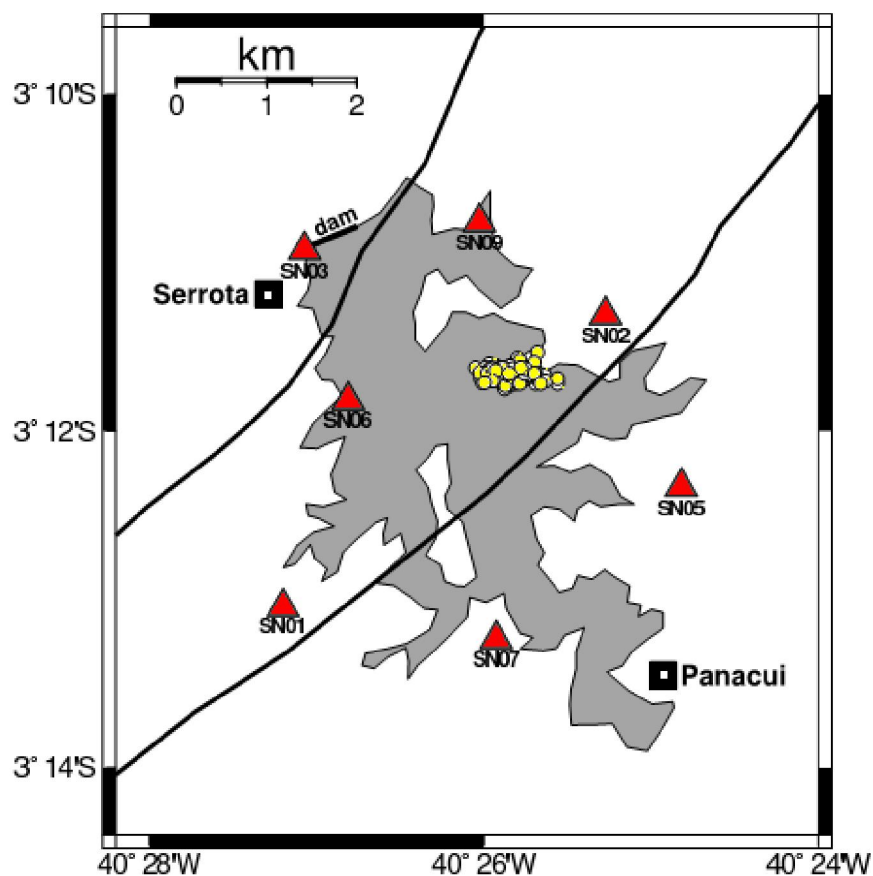


Fig. 1.11 – Rede SN, mostrando os epicentros, simbolizados por círculos amarelos, durante o período de operação da rede. Os triângulos vermelhos representam as estações sismográficas. Os traços denotam falhas mapeadas na região e os quadrados simbolizam as cidades próximas ao açude, sendo este, representado pela área cinza (França *et al*, 2004).

A operação da rede SN ocorreu, para as estações digitais, entre 18 de junho e 05 de novembro de 1997 e, para a estação analógica, entre 11 de junho e 14 de agosto de 1997. Durante sua operação, foram registrados mais de 2000 eventos, tendo o maior deles, atingido uma magnitude de 3.0 m_b . (França, G.S., 1999).

Em agosto de 2007 foi instalada pelo LabSis, na fazenda EMBRAPA Caprinos, uma estação sismográfica (SBBR), com sensor tri-axial do tipo banda larga (*broadband*, BB), com o objetivo de monitorar a sismicidade na região Noroeste do Ceará e também obter registros de telessismos, a serem utilizados em estudos crustais (Novo Barbosa, 2008;

Nascimento, 2010, dissertação em elaboração). Como mencionado anteriormente esta estação permitiu acompanhar a atividade sísmica na região de Sobral, desde o seu início.

Em 2008, devido ao início de uma intensa atividade sísmica, uma nova rede local (SB) foi instalada para estudar esta sismicidade, a qual ocorreu nas proximidades de Sobral. Esta sismicidade é o objeto de estudo da presente dissertação.

Atualmente, uma rede sismográfica local monitora a atividade sísmica que vem ocorrendo em Santana do Acaraú. Futuramente, serão publicados novos trabalhos mostrando características da atividade sísmica ocorrida nesta região, contribuindo, mais uma vez, para o esclarecimento da sismicidade atual do noroeste cearense.

1.4 OBJETIVOS

- Ø Determinação dos parâmetros hipocentrais, a partir dos sismogramas digitais da rede sismográfica de Sobral.
- Ø Determinação dos mecanismos focais dos eventos.
- Ø Utilização dos resultados obtidos na discussão da correlação entre a sismicidade e as principais feições geológicas da região, notadamente o Lineamento Sobral-Pedro II.

CAPÍTULO 2

LOCALIZAÇÃO E GEOLOGIA REGIONAL DA ÁREA ESTUDADA

A região onde se encontra a atividade sísmica de Sobral, objeto deste estudo, está localizada no Domínio Médio Coreaú (DMC), que representa a margem Noroeste da Província Borborema (PB, Almeida *et al.*, 1981), pertencentes ao Nordeste do Brasil.

Duas zonas de cisalhamento de escala continental, os Lineamentos Patos e Pernambuco, subdividem a PB em três domínios tectônicos principais (fig. 2.1):

- 1) O Domínio tectônico Norte, localizado ao Norte do Lineamento Patos;
- 2) O Domínio tectônico Sul, localizado ao Sul do Lineamento Pernambuco;
- 3) O Domínio da Zona Transversal ou Central, entre o Lineamento Patos e o Lineamento Pernambuco.

Como a área sísmica estudada está localizada no DMC (Domínio tectônico Norte), neste capítulo serão abordados apenas detalhes sobre geologia do mesmo.

O Domínio tectônico Norte (fig. 2.2) consiste de três sub-domínios principais:

- 1) O Domínio Rio Grande do Norte (DRN), localizado entre as zonas de cisalhamentos Patos e Senador Pompeu;
- 2) O Domínio Ceará Central (DCC), localizado entre os Lineamentos Senador Pompeu e Sobral – Pedro II;
- 3) O Domínio Médio Coreaú (DMC), localizado ao Noroeste do Lineamento Sobral – Pedro II.

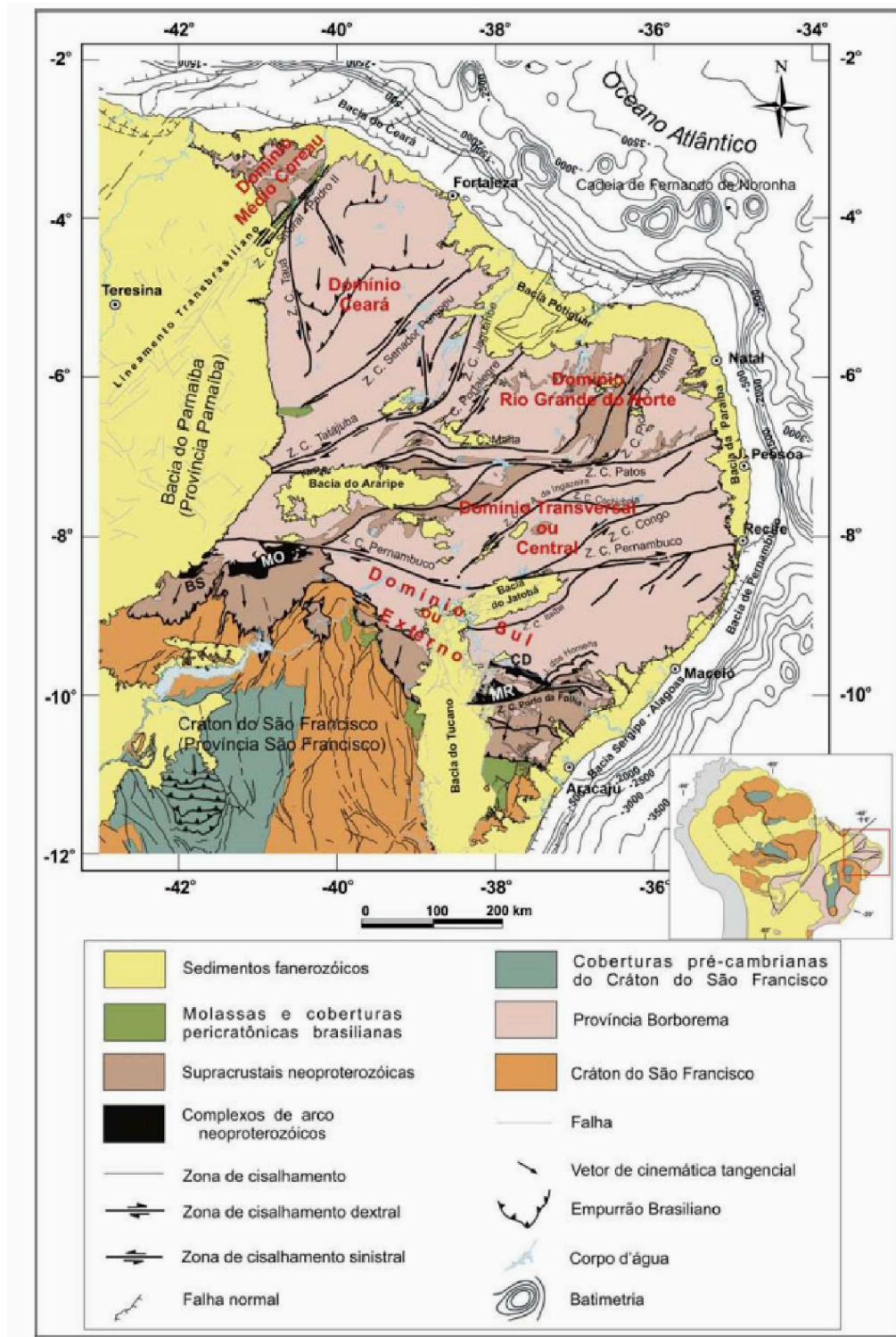


Fig. 2.1 - Mapa mostrando os domínios tectônicos pertencentes a PB. (Modificada de Bizzi *et al.*, 2003)

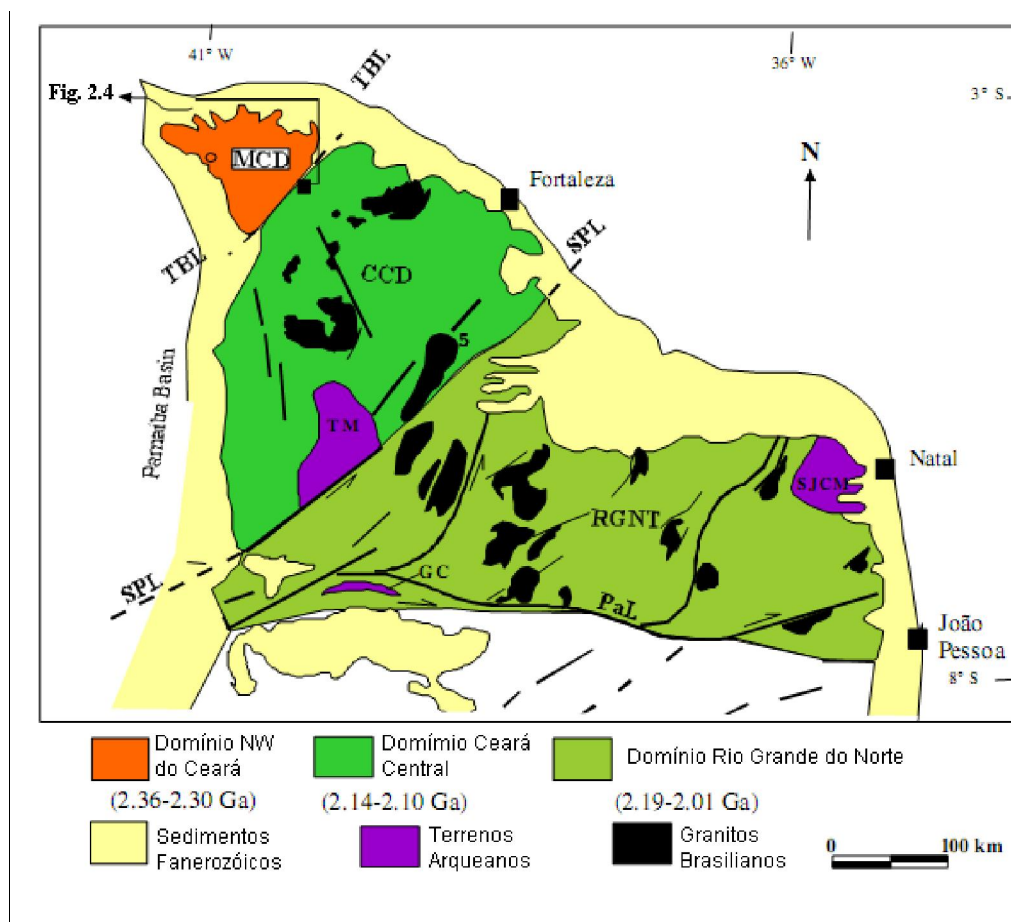


Fig 2.2 – Mapa geológico da porção Norte da Província Borborema. TM: Maciço Troia; SJCM: Maciço São José de Campestre; GC: Complexo Granjeiro; TBL: Lineamento Transbrasiliano; SPL: Lineamento Senador Pompeu; PaL: Lineamento Patos; RGNT: Terreno Rio Grande do Norte; CCD: Domínio Ceará Central; MCD: Domínio Médio Coreaú (Modificada de Santos *et al*, 2008).

O DMC possui embasamento Paleoproterozóico composto de gnaisses migmatíticos e granulitos de caráter juvenil, que estão cobertos por rochas do Paleoproterozóico tardio e Neoproterozóico, intrudidas por granitos sin a pós-tectônicos (Santos *et al*, 2008). O embasamento do DMC provavelmente registrou uma deformação pré – Neoproterozóica durante a orogenia Transamazônica (2.0 – 2.2 Ga) (Santos *et al*, 2001), mas a intensa deformação Neoproterozóica quase que completamente apagou o registro de tectonismo Paleoproterozóico (Santos *et al*, 2008).

O DMC ocupa uma posição de destaque na formulação de um modelo geodinâmico para a orogênese do Brasileiro, em correlação com os grandes traços da cadeia Pan – Africana na África ocidental (Jardin de Sá, 1994) e é caracterizado, tectonicamente, por um sistema de zonas de cisalhamento Neoproterozóicas de direção NE – SW, destacando-se o Lineamento Sobral – Pedro II (LSPII). Este lineamento é um segmento de uma descontinuidade de magnitude continental: o Lineamento Transbrasiliano (LTB), o qual contorna o limite entre o Cráton Amazônico e a porção Leste da Plataforma Sul – Americana (Feng *et al.*, 2004).

2.1 – O MEGALINEAMENTO TRANSBRASILIANO

O LTB representa uma mega – sutura que atuou na formação do supercontinente Gondwana, entre o final do Proterozóico e o início do Paleozóico (Cordani & Sato, 1999) e, além de corresponder à falha de Kandi no Oeste da África, possui um alinhamento que se estende do litoral Oeste do Ceará, através da bacia do Parnaíba e da Província Tocantins, até o Norte do Paraguai.

As marcas do *trend* NE – SW do LTB no relevo continental são notáveis em vários trechos ao longo de sua extensão, como no controle estrutural do curso do rio Paraguai por 150 km, na região do Pantanal (Assine & Soares, 2004) e nas escarpas abruptas e retilíneas das serras da Meruoca e do Rosário, no noroeste cearense (Peulvast & Sales, 2004).

O LTB, no Noroeste do Ceará, aflora entre a Bacia do Parnaíba e a faixa costeira, sendo representado pelo LSPII, dividindo a região em dois Domínios Geotectônicos: o DMC e o DCC; em associação a outras falhas, como a falha Café – Ipueiras, Massapê, Humberto Monte e Forquilha (fig. 2.3).

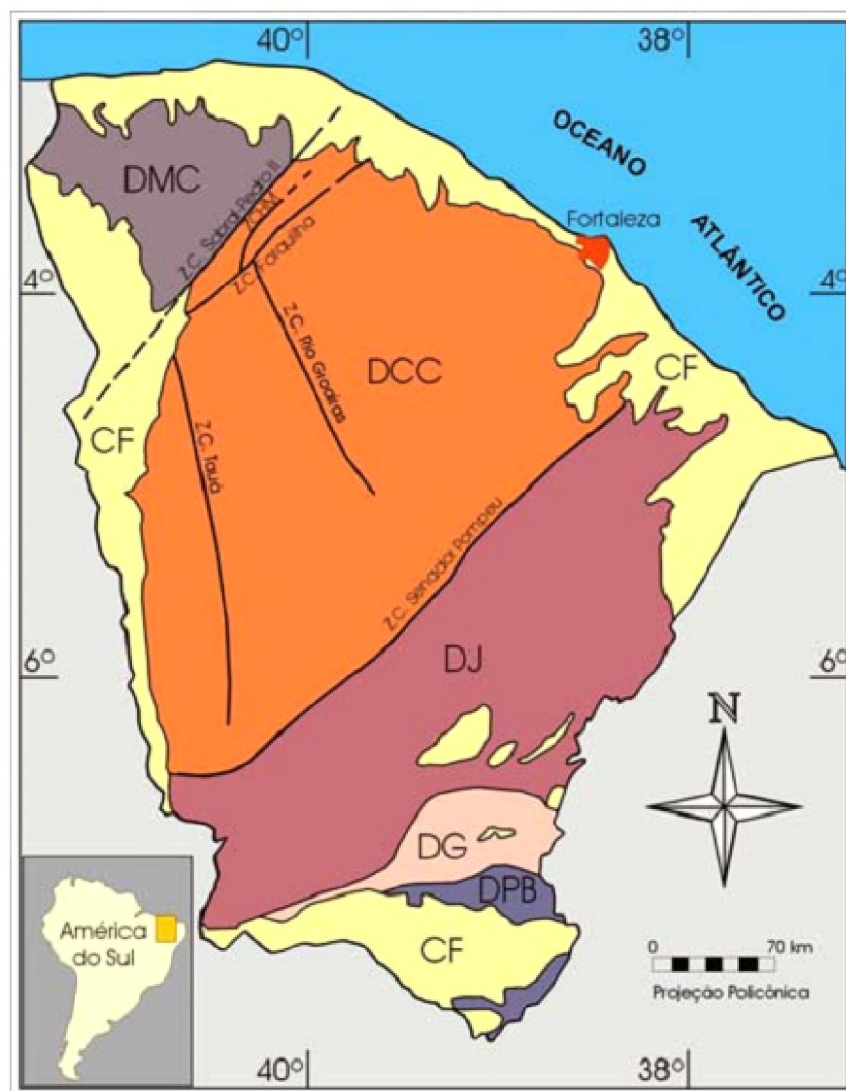


Fig. 2.3 – Domínios tectônicos do estado do Ceará. ZCHM – falha Humberto Monte, DMC – Domínio Médio Coreau, DCC – Domínio Ceará central, DJ – Domínio Jaguaribe, DG – Domínio Granjeiro, DPB – Domínio Piancó – Alto Brígida, CF – Cobertura Fanerozoica (Modificada de CPRM, 2003).

Diferentes texturas e condições metamórficas variadas no DMC sugerem um evento progressivo deformacional diferente do ocorrido durante a orogenia Neoproterozóica. A deformação Neoproterozóica no DMC produziu tectonismo tangencial, caracterizada por foliações de médio a baixos ângulos, mergulhando para Sudeste, que localmente contém uma lineação de muscovita – quartzo mergulhando para baixo (Santos *et al.*, 2008).

2.2 – GRANITO MERUOCA

O granito de Meruoca tem afinidade alcalina, posicionamento mais raso e tardio em relação ao granito de Mucambo e compreende um exame de diques ácidos sub-alcalinos vizinhos (Jardim de Sá, 1994). Os plutons Meruoca e Mucambo são truncados a Leste pelo sistema de falhas normais Café – Ipueiras, separando-os da bacia Jaibaras (fig. 2.4) e parecem igualmente controlados pelo LSPII (Jardim de Sá, 1994). Suas relações de contato permitem demarcar o início da deposição do Grupo Jaibaras.

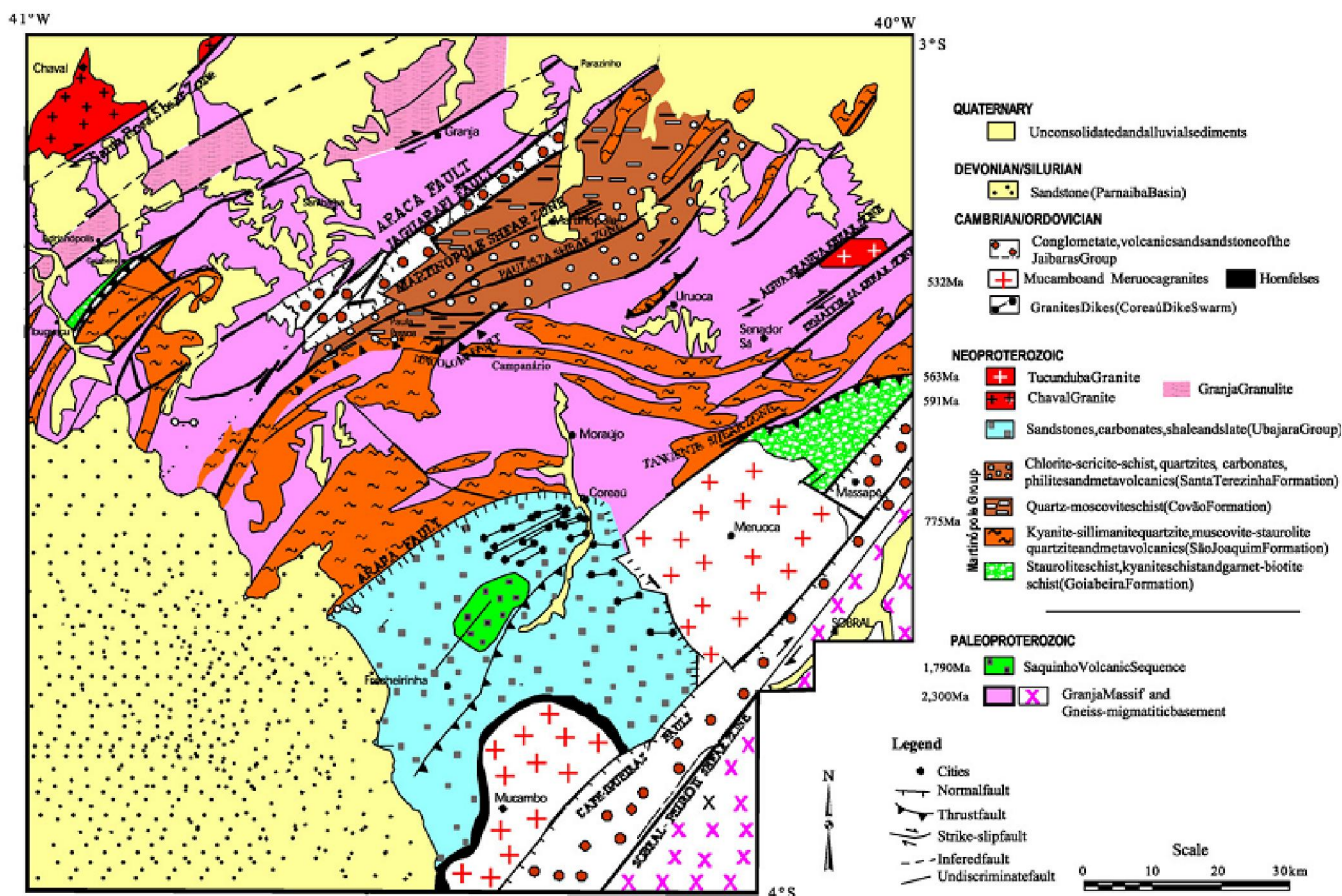


Fig 2.4 – Mapa geológico simplificado do Domínio Médio Coreá (DMC), localizado na porção Noroeste da Província Borborema (Santos *et al*, 2008).

CAPÍTULO 3

DETERMINAÇÃO HIPOCENTRAL – METODOLOGIA E RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo contém informações sobre aquisição e análise dos dados oriundos da rede SB e informações mais detalhadas a respeito desta. A metodologia usada para localizar hipocentros será apresentada. Além disso, serão apresentados os resultados encontrados, mostrando a localização epicentral e hipocentral dos sismos localizados na área de estudo.

3.1 – AQUISIÇÃO DE DADOS

Como foi citado no capítulo 1, após os dois eventos ocorridos no dia 21 de maio de 2008 nas proximidades de Sobral, que atingiram magnitude 4.2 m_b e 3.9 m_b , respectivamente, pesquisadores do LabSis decidiram instalar uma rede sismográfica local. Nesta rede foram utilizados equipamentos do Laboratório de Estudos Litosféricos da UnB e estações de período curto do Projeto do Milênio.

A rede portátil SB foi constituída de equipamentos fabricados pela *Geotech instruments, LCC*, com estações providas de sismômetros de período curto (*short period*, SP), modelo S13J (com componentes: vertical, N-S e E-W), e estações providas de sismômetros de banda larga (*broadband*, BB), modelo KS2000M, tri-axial. O sismômetro S13J possuía uma frequência natural de 1hz e uma constante de transdução de 344 V(m/sec), enquanto o sismômetro modelo KS2000M possuía uma resposta homogênea de 0,0083 a 50 Hz. Os sinais foram digitalizados pelo registrador SMART-24(R) com três canais e 24bits.

As coordenadas das estações (tab 3.1) foram obtidas pelo GPS, acoplado a cada estação. O sincronismo entre o relógio interno e o GPS externo da estação era aferido de hora em hora e corrigido quando surgia uma diferença temporal entre o GPS e o relógio interno maior que 0.001s. Assim, automaticamente, os tempos eram corrigidos, sendo que a hora e a posição eram gravadas no disco do registrador.

| ESTAÇÕES | LAT(°) | LONG(°) | ALT | LOCALIDADE | MUNICÍPIO |
|----------|---------|----------|------|------------------|------------|
| SBBR | -3.7451 | -40.3716 | 55m | EMBRAPA Caprinos | Sobral |
| SBCA | -3.5571 | -40.5885 | 80m | Pedra de Fogo | Coreaú |
| SBMU | -3.5777 | -40.3497 | 109m | Mumbaba de Baixo | Massapê |
| SBBA | -3.6964 | -40.5761 | 143m | Baixa Grande | Coreaú |
| SBBX | -3.4875 | -40.4759 | 155m | Baixio | Massapê |
| SBBO | -3.6368 | -40.4802 | 255m | Boqueirão | Sobral |
| SBSL | -3.6220 | -40.5271 | 488m | São Luis | Alcântaras |
| SBSR | -3.5500 | -40.4308 | 529m | Santa Rosa | Meruoca |
| SBGU | -3.6712 | -40.4917 | 549m | Guariba | Jordão |
| SBSF | -3.5962 | -40.4283 | 624m | São Francisco | Meruoca |
| SBBG | -3.5584 | -40.4947 | 787m | Baixa Grande | Meruoca |

Tab 3.1 – Informações sobre localização (latitude, longitude e altitude), localidade e município de instalação das estações constituintes da rede SB.

As estações funcionaram de duas formas: 1) registrando arquivos em contínuo, com taxa de amostragem de 100 amostras por segundo (*samples per second*, sps), com cada registro possuindo uma hora de duração; 2) registrando arquivos de eventos com 500 sps, gerando arquivos de um minuto de duração, cada um. O critério de disparo (*trigger*), para eventos, era quando a média do sinal, num intervalo de 0,1 s era 3 vezes maior que a média do sinal num intervalo de 1 s precedente.

A coleta de dados e manutenção das estações foram realizadas por técnicos do LabSis. Com o auxílio de um programa fornecido pela *Geotech Instrument* os dados foram transferidos do registrador para um laptop (computador portátil). Após retorno a Natal, os

técnicos disponibilizaram os dados para análise, sendo realizada em um computador tipo PC, localizado no LabSis.

A rede SB operou de 06 de junho a 26 de setembro de 2008 e, durante este período de atuação, foram registrados cerca de 2820 sismos, possibilitando aquisição de dados para a realização dos objetivos de estudo do presente trabalho.

3.2 – ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta em campo, os dados digitais passaram pelas seguintes etapas:

1) Os dados brutos foram disponibilizados pelo técnico Eduardo Alexandre e transferidos para um computador tipo PC;

2) Após isto, foram realizadas as leituras dos registros de eventos (segundo critérios acima estabelecidos), com o auxílio do programa SMART READER (*Geotech*, LCC), com o objetivo de distinguir e selecionar os eventos sísmicos verdadeiros e desprezar os falsos (ruídos);

3) Como nem sempre um evento sísmico era registrado como evento, em todas as estações, foi usado o programa SEISPLUS (*Geotech*, LCC) para “fatiar” os arquivos contínuos associados aos eventos identificados na etapa 2, em estações onde o sismo só foi registrado dessa forma. Para esses eventos registrados somente de forma contínua o fatiamento produzia um arquivo, com amostragem de 100 sps, e duração de 1 minuto.

4) Os arquivos selecionados e gerados nas etapas 2 e 3, com extensão CD11 (formato bruto, original), foram convertidos para a extensão SAC, através do programa SMART OFFLINE (*Geotech*, LCC);

5) As leituras dos tempos de chegadas e das polaridades das ondas P e S foram realizadas com auxílio do programa SAC - Seismic Analysis Code (Tapley & Tull, 1991);

6) Devido a grande quantidade de sismos, estes foram analisados com o auxílio de um script, baseado em *shell*, elaborado com o apoio do Dr. George Sand, da UnB;

7) O programa SAC gerava arquivos com as leituras dos tempos de chegada das ondas P e S, e as respectivas polaridades, no formato de entrada utilizado pelo programa HYPO71 (Lee & Lahr, 1975; seção 3.4).

Para gerar figuras interpretativas dos resultados obtidos foi utilizado, principalmente, o programa GMT (Wessel & Smith, 1991). Demais programas como QTIPlot, Kolourpaint e Inkscape, disponíveis no sistema operacional UBUNTU, em plataforma Linux, auxiliaram, respectivamente, na elaboração dos histogramas/gráficos e na estética das figuras.

A cada chegada de onda P e S foi atribuído um fator de qualidade variando de zero (ótima qualidade) a quatro (péssima qualidade), o qual é utilizado como peso para a execução do programa HYPO71 (Lee & Lahr, 1975) e na utilização do diagrama de Wadati (seção 3.4.1).

3.3 – O PROBLEMA DE LOCALIZAR SISMOS

Em uma rede sismográfica local, o objetivo é conhecer a hora de origem t_0 e a localização hipocentral (x_0 , y_0 , z_0) de um sismo, a partir de um conjunto de tempos de chegada obtido dos dados registrados. Segundo Lee & Stewart (1981) este procedimento é referido como “um problema de localizar um sismo”, abreviado como PLS. Nesta seção será discutido como resolver este problema.

3.3.1 – MÉTODO DE CÍRCULOS E CORDAS

Antes de entrarmos no problema complexo de como localizar hipocentros, será mostrado como utilizar um método que possibilita o sismólogo encontrar epicentros com a maior brevidade possível: o método de círculos e cordas. Apesar de ser um método simples, ele fornece uma estimativa, inicial, de onde estará localizada a área epicentral, pois os círculos e cordas poderão ser desenhados diretamente num mapa topográfico, o que permitirá uma localização da área epicentral num mapa confiável.

Para uma rede sismográfica local bem fechada (“cercando” o epicentro), a localização da estação com menores tempos de chegada nos fornece uma boa estimativa inicial da localização epicentral. Como será mostrado mais à frente, as estações SBBO e SBSL

servirão como referência para isto. Se os tempos de chegada das ondas P e S estiverem disponíveis, podemos usar a diferença entre os tempos de chegada das ondas S e P, para obter uma estimativa do valor da distância epicentral D_e :

$$3.1 \quad \begin{aligned} t_s - t_p &= \frac{D_e}{V_s} - \frac{D_e}{V_p} = \left(\frac{V_p - V_s}{V_p V_s} \right) D_e \Rightarrow \\ D_e &= \frac{V_p \cdot V_s}{V_p - V_s} (t_s - t_p) = \frac{V_p}{k - 1} (t_s - t_p); \quad k = \frac{V_p}{V_s} \end{aligned}$$

onde V_p , V_s e k são, respectivamente, a velocidade da onda P, da onda S e a razão entre estas duas velocidades. Se três ou mais distâncias epicentrais são conhecidas o epicentro pode ser localizado na intersecção das cordas, que possuem seus pontos inicial e final, nos dois pontos de intersecção dos círculos (exemplo, na Figura 3.1). Os círculos, com as estações localizadas nos seus respectivos centros, possuem cada um, raio igual D_e .

Para mostrar este método, foram utilizados os tempos de chegada das ondas P e S, obtidos com auxílio do programa SAC, de um sismo registrado em três estações da rede SB: SBBO, SBBA e SBBCA (Tabela 3.2). Como será visto mais a frente, para a área de estudo: $V_p = 6.0 \text{ km/s}$ e $k = V_p/V_s = 1.71$. Logo:

$$3.2 \quad D_e = \frac{6}{1.71 - 1} (t_s - t_p) = (8.45 \text{ km/s}) (t_s - t_p)$$

| ESTAÇÃO | DATA | HORA | $t_s[s]$ | $t_p[s]$ | $(t_s - t_p)[s]$ | $D_e(\text{km})$ |
|---------|-------------|-------|----------|----------|------------------|------------------|
| SBBA | 06/JUN/2008 | 21:37 | 6.58 | 5.0 | 1.58 | 13.35 |
| SBBO | 06/JUN/2008 | 21:37 | 5.03 | 4.12 | 0.91 | 7.69 |
| SBBCA | 06/JUN/2008 | 21:37 | 6.16 | 4.78 | 1.38 | 11.66 |

Tab 3.2 – Dados provenientes da análise um sismo registrado nas estações SBBA, SBBO E SBBCA. obtidos com o auxílio do programa SAC.

A partir dos dados mostrados na tabela 3.2, foi gerada a figura 3.1. Como veremos posteriormente, com maior precisão, a localização dos epicentros dos sismos registrados pela rede SB encontra-se nas proximidades do local de intersecção das cordas. Geralmente, a área epicentral apresenta uma distribuição aproximadamente linear, o que pode auxiliar na interpretação da direção e mergulho de falhas sismogênicas e padrão de sismicidade.

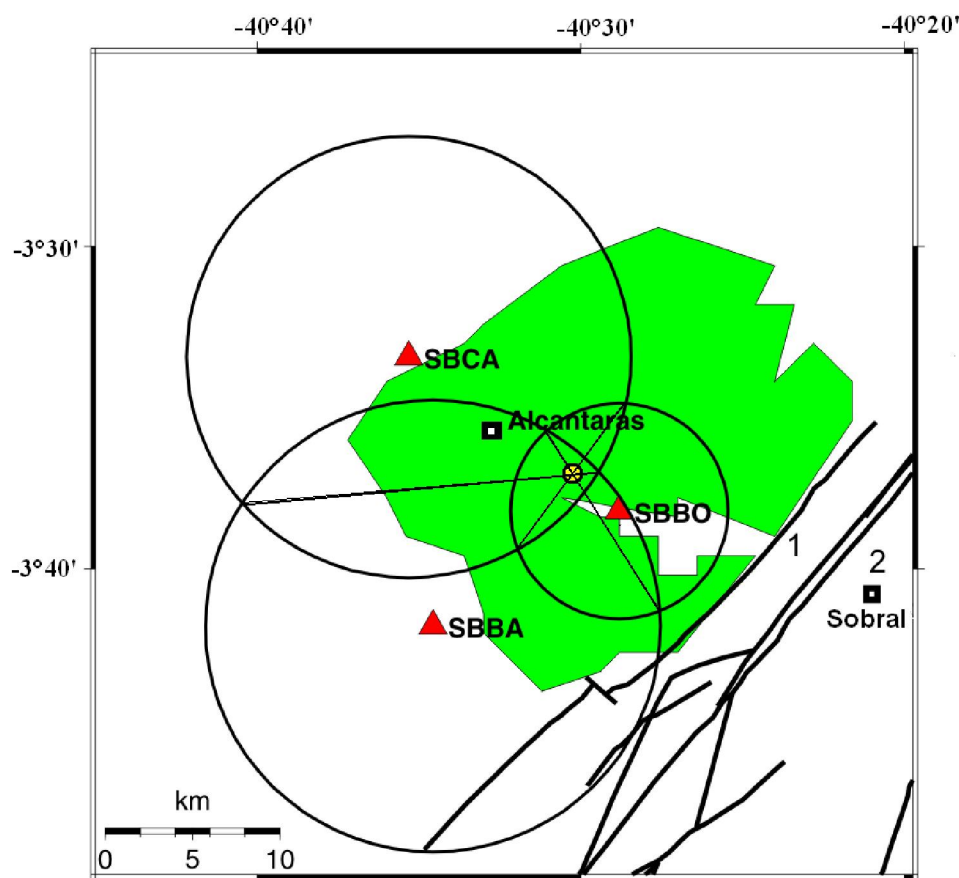


Fig. 3.1 – Método de círculos e cordas aplicado a um evento registrado nas estações SBBO, SBBCA e SBBA, sendo estas representadas por triângulos vermelhos. O ponto de intersecção das cordas será a localização do epicentro. Os números 1 e 2 representam, respectivamente, a falha Café – Ipueiras e o lineamento Sobral – Pedro II e os quadrados as cidades.

Na prática, não se conhece ainda o modelo de velocidades. Se uma nova área sísmica for detectada e possua um ambiente geológico semelhante a alguma outra área da região, já

estudada, é possível utilizar os mesmos parâmetros do modelo de velocidades já obtidos, nesta nova área, como modelo inicial necessário para a localização inicial da área epicentral.

3.3.2 – O PROBLEMA INVERSO

Um dos principais objetivos em Sismologia é a localização de fontes sísmicas. Dada a sua localização, podemos calcular os tempos de viagem para qualquer fase particular, para uma estação sismográfica, em um dado modelo de velocidades. Este tipo de problema é um **problema direto**.

Por outro lado, se encontrarmos a localização da fonte e o tempo de origem através dos tempos de chegada das fases registradas no sismograma, nosso tipo de problema é classificado como um **problema inverso**. Como devemos descobrir as coordenadas da fonte e seu tempo de origem (x_0, y_0, z_0, t_0) , o problema de localizar hipocentros é um problema inverso envolvendo quatro variáveis.

Os tempos de viagem entre dois pontos, o hipocentro e a k - ésima estação, numa rede de m estações, é uma função não – linear das coordenadas espaciais (fig. 3.2), ou seja:

$$3.3 \quad \mathbf{T}_k = \frac{\mathbf{D}_0}{\mathbf{V}} = \frac{\left((\mathbf{x}_k - \mathbf{x}_0)^2 + (\mathbf{y}_k - \mathbf{y}_0)^2 + (\mathbf{z}_k - \mathbf{z}_0)^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{\mathbf{V}}$$

$$\mathbf{k} = 1, 2, \dots, \mathbf{m}$$

No nosso caso, será considerado um modelo de crosta em semi – espaço infinito, homogêneo e isotrópico, como mostrado na figura 3.2. O meio homogêneo nos fornece trajetórias de raios, provenientes das ondas P e S, em forma de linhas retas. Este modelo torna-se aceitável, pois a região sísmica está localizada sobre embasamento Pré – Cambriano constituído de rochas consolidadas e de baixa atenuação. Em geral, isto acarreta, nos sismogramas, chegadas das ondas P e S bem definidas (ver Apêndice A)

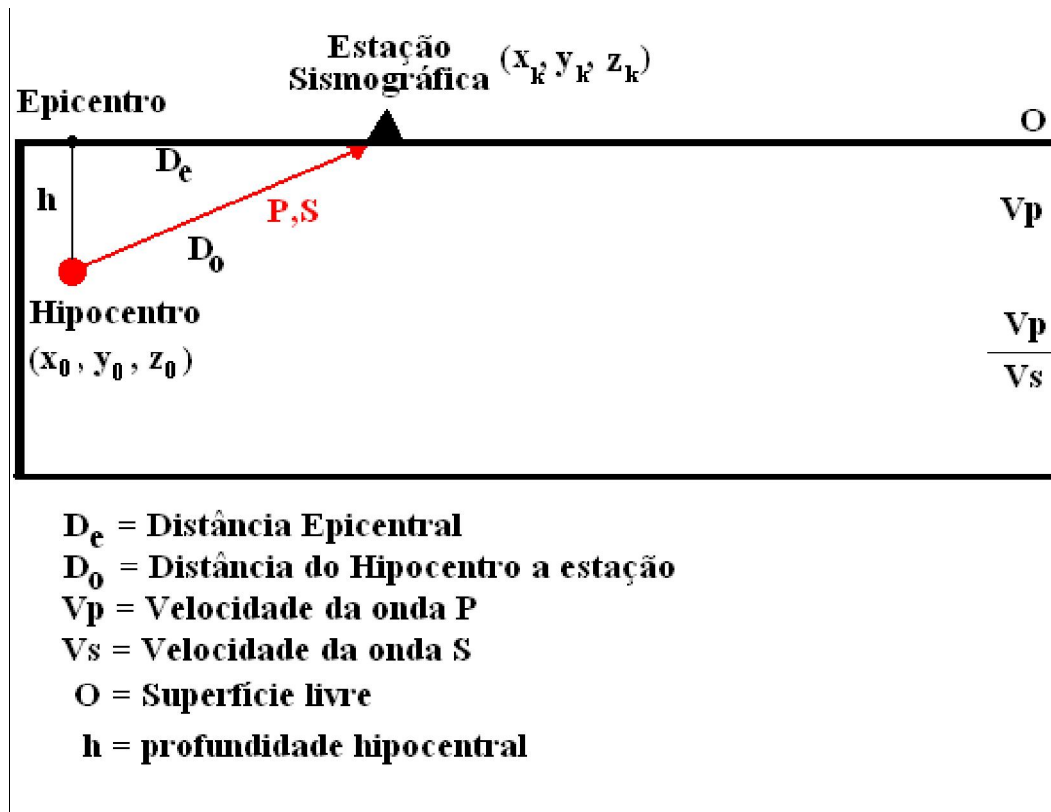


Fig. 3.2 – Modelo de crosta utilizado neste trabalho, para a localização dos sismos. P, S denotam a trajetória das ondas P e S, respectivamente.

A soma dos quadrados dos resíduos entre os tempos observados e os calculados, para um conjunto de estações, é minimizado, o que nos leva a resolver um problema de otimização não – linear, através do método de mínimos quadrados não – lineares: temas das próximas seções.

3.3.2.1- OTIMIZAÇÃO NÃO - LINEAR

Nesta seção serão descritos, brevemente, alguns aspectos de otimização não – linear.

O problema básico em otimização não – linear é minimizar alguma função do tipo:

$$3.4 \quad \Phi = \mathbf{F}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_m)$$

Onde F é chamada de função – objeto e x_1, x_2, \dots, x_m são as variáveis independentes. Os principais métodos de otimização podem ser divididos em dois tipos principais:

- 1) Métodos de busca;
- 2) Métodos de derivada.
 - 2.1) Métodos que requerem informações sobre o gradiente da função ou suas primeiras derivadas (método de Steepest Descent – Máxima declividade);
 - 2.2) Métodos que requerem informações sobre o gradiente e derivadas segundas da função (método de Newton).

O método de busca normalmente não é eficaz quando a função a ser otimizada tem mais que uma variável independente.

Os métodos de derivadas usam informações da derivada de uma função para aumentar a convergência do algoritmo aplicado ao problema. Além disto, estes métodos são, para a otimização, baseados em uma expansão de Taylor para a função – objeto.

Antes de usarmos a expansão de Taylor, definimos um vetor \mathbf{X} de parâmetros:

$$3.5 \quad \mathbf{X} = (\mathbf{x}_1 \quad \mathbf{x}_2 \quad \mathbf{L} \quad \mathbf{x}_m)^T$$

Em adição, definimos um vetor de ajustes como:

$$3.6 \quad \delta \mathbf{X} = (\delta \mathbf{x}_1 \quad \delta \mathbf{x}_2 \quad \mathbf{L} \quad \delta \mathbf{x}_m)^T$$

O vetor ajuste é adicionado ao vetor de parâmetros e um novo resíduo é calculado. Se o resíduo é pequeno, então o vetor de parâmetros é aceito como solução, senão o processo é iterado. O principal meio de obter o vetor de ajustes é baseado em uma expansão de Taylor da função - objeto:

$$3.7 \quad \mathbf{F}(\mathbf{X} + \delta \mathbf{X}) ; \mathbf{F}(\mathbf{X}) + \mathbf{g}^T \delta \mathbf{X} + \frac{1}{2} \delta \mathbf{X}^T \mathbf{H} \delta \mathbf{X} + \mathbf{L}$$

onde \mathbf{g}^T é a transposta do vetor gradiente \mathbf{g} o qual é dado por:

$$3.8 \quad \mathbf{g}^T = \nabla \mathbf{F}(\mathbf{X}) = \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_1} \quad \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_2} \quad \mathbf{L} \quad \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_m} \right)$$

e \mathbf{H} é a matriz Hensiana, dada por:

$$3.9 \quad \mathbf{H} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_1^2} & \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_1 \partial \mathbf{x}_2} & \mathbf{L} & \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_1 \partial \mathbf{x}_m} \\ \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_2 \partial \mathbf{x}_1} & \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_2^2} & \mathbf{L} & \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_2 \partial \mathbf{x}_m} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_m \partial \mathbf{x}_1} & \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_m \partial \mathbf{x}_2} & \mathbf{L} & \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_m^2} \end{pmatrix}$$

Os termos envolvendo derivadas terceiras e de ordem maior foram desconsiderados. Os dois últimos termos no lado direito da eq. 3.7 são as correções escalares de primeira e segunda ordem para o valor da função em \mathbf{X} , que dá uma aproximação para o valor da função em $(\mathbf{X} + \delta \mathbf{X})$. Portanto, podemos escrever:

$$3.10 \quad \mathbf{F}(\mathbf{X} + \delta \mathbf{X}) ; \Phi + \delta \Phi$$

onde corresponde ao valor das correções escalares da função – objeto.

O método de derivada Steepest Descent (Máxima Declividade) usa somente os termos de correções de primeira ordem. Neste caso:

$$3.11 \quad \delta \Phi = \mathbf{g}^T \delta \mathbf{X}$$

O método de Newton usa os termos de correções de primeira e segunda ordem juntos, ou seja:

$$\begin{aligned}
\delta\Phi &= \mathbf{g}^T + \frac{1}{2} \delta\mathbf{X}^T \mathbf{H} \delta\mathbf{X} \\
3.12 \quad &= \sum_{i=1}^m \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_i} \delta\mathbf{x}_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \delta\mathbf{x}_i \frac{\partial^2 \mathbf{F}(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_i \partial \mathbf{x}_j} \delta\mathbf{x}_j
\end{aligned}$$

Para encontrarmos o vetor de ajustes, diferenciamos a eq. 3.12 em relação a \mathbf{x}_k , $k=1, 2, \dots, m$, e igualamos o resultado a zero. Realizando as operações matemáticas, obtemos:

$$3.13 \quad \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_k} + \sum_{i=1}^m \delta\mathbf{x}_i \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}_i \partial \mathbf{x}_k} = 0$$

Em notação matricial, teremos que:

$$3.14 \quad \mathbf{g} + \mathbf{H} \delta\mathbf{X} = 0$$

O que torna nosso problema não – linear em um problema linear. Esta equação é um conjunto de equações lineares em \mathbf{x}_i , $i = 1, 2, \dots, m$, logo podemos aplicar a inversão linear e obter um vetor ajuste ótimo, dado por:

$$3.15 \quad \delta\mathbf{X} = -\mathbf{H}^{-1} \mathbf{g}$$

Este resultado será útil em seções posteriores.

3.3.2.2 – MÍNIMOS QUADRADOS NÃO - LINEARES

Para o nosso caso, o de localizar hipocentros, a função – objeto é a soma dos resíduos quadráticos:

$$3.16 \quad \mathbf{F}(\mathbf{X}) = \sum_{k=1}^m [\mathbf{r}_k(\mathbf{X})]^2$$

Os r_k 's são as componentes do vetor residual \mathbf{r} , ou vetor que contém os resíduos e é simplesmente um vetor contendo as diferenças entre os valores observados e os previstos dos tempos de viagem para todas as estações. Nosso objetivo é minimizar a função – objeto.

Em Sismologia, os tempos teóricos que usamos para computar os resíduos são computados em relação a algum modelo de velocidades para a estrutura de terra abaixo da rede sismográfica. Apesar de considerarmos um modelo de velocidades perfeito, não significa que encontraremos a localização exata de um sismo em relação a Terra. Em outras palavras, encontramos a localização do sismo em relação ao nosso modelo de velocidades.

Podemos considerar o vetor r_k , $k = 1, 2, \dots, m$, como componentes de um vetor em um espaço Euclidiano de m dimensões e escrevê-lo como:

$$3.17 \quad \mathbf{r} = (\mathbf{r}_1(\mathbf{X}), \mathbf{r}_2(\mathbf{X}), L, \mathbf{r}_m(\mathbf{X}))^T$$

Para encontrar o vetor gradiente, diferenciamos a eq 3.16, em relação a x_i , $i = 1, 2, \dots, m$,:

$$3.18 \quad \begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_i} &= \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}_i} \sum_{k=1}^m [\mathbf{r}_k(\mathbf{X})]^2 \\ &= \sum_{k=1}^m 2\mathbf{r}_k(\mathbf{X}) \left[\frac{\partial \mathbf{r}_k(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_i} \right] \end{aligned}$$

Que, em notação matricial, torna-se:

$$3.19 \quad \mathbf{g} = 2\mathbf{A}^T \mathbf{r}$$

onde \mathbf{A} é a matriz Jacobiana, definida por:

$$3.20 \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \mathbf{r}_1}{\partial \mathbf{x}_1} & \frac{\partial \mathbf{r}_1}{\partial \mathbf{x}_2} & \mathbf{L} & \frac{\partial \mathbf{r}_1}{\partial \mathbf{x}_n} \\ \frac{\partial \mathbf{r}_2}{\partial \mathbf{x}_1} & \frac{\partial \mathbf{r}_2}{\partial \mathbf{x}_2} & \mathbf{L} & \frac{\partial \mathbf{r}_2}{\partial \mathbf{x}_n} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{x}_1} & \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{x}_2} & \mathbf{L} & \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{x}_n} \end{pmatrix}$$

Para encontrar a matriz Hensiana, derivamos a eq 3.18, em relação a \mathbf{x}_j ; e, considerando as derivadas de segunda ordem contínuas, obtemos:

$$3.21 \quad \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}_j} \left(\frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_j} \right) = \sum_{k=1}^m \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}_j} \left(\mathbf{r}_k(\mathbf{X}) \frac{\partial \mathbf{r}_k(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_i} \right)$$

$$\frac{\partial^2 \mathbf{F}(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_i \partial \mathbf{x}_j} = 2 \sum_{k=1}^m \frac{\partial \mathbf{r}_k(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_i} \frac{\partial \mathbf{r}_k(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_j} + 2 \sum_{k=1}^m \mathbf{r}_k(\mathbf{X}) \frac{\partial^2 \mathbf{r}_k(\mathbf{X})}{\partial \mathbf{x}_i \partial \mathbf{x}_j}$$

para $i,j=1,2,\dots,n$. Quando os resíduos são, em média, completamente pequenos, podemos desconsiderar o termo de segunda derivada. Logo:

$$3.22 \quad \mathbf{H} ; 2\mathbf{A}^T \mathbf{A}$$

Portanto, aplicando as equações 3.19 e 3.22, na eq. 3.15 (método de Newton), obtemos:

$$3.23 \quad \delta \mathbf{X} = - \left[\mathbf{A}^T \mathbf{A} \right]^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{r}$$

O processo iterativo usado para resolver esta equação, é chamado de método de Gauss – Newton, o qual foi utilizado por Geiger para formular o clássico problema de localizar hipocentros. Esta equação será útil na próxima seção.

3.3.3 – O MÉTODO DE GEIGER PARA DETERMINAÇÃO HIPOCENTRAL

3.3.3.1 – FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAR UM SISMO

Devido à extensão horizontal de uma rede sismográfica local raramente exceder várias centenas de quilômetros, a curvatura da terra pode ser desconsiderada. Assim podemos usar um sistema de coordenadas cartesianas para localização de sismos locais, considerando um ponto próximo ao centro da rede, como origem das coordenadas. O eixo x está em torno da direção Leste - Oeste, o eixo y na direção Norte - Sul e o eixo z na vertical, apontando para baixo.

Nosso problema é de quatro dimensões: as coordenadas são (t, x, y, z). Em seções anteriores, foi usado \mathbf{X} para denotar um vetor em um espaço m-dimensional Euclidiano, com coordenadas $x_1, x_2, x_3, \dots, x_K$. Um vetor neste espaço pode ser escrito como:

$$3.24 \quad \mathbf{X} = (\mathbf{t}, \mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})^T$$

onde o sobrescrito T denota a transposta. O subscrito $k = 1, 2, \dots, m$ das coordenadas é usado para tabelar a observação feita na k-ésima estação.

Para localizar um sismo usando um conjunto de tempos de chegada t_k das estações nas posições (x_k, y_k, z_k) , devemos primeiro assumir um modelo de crosta em que os tempos de viagem teóricos T_k , de um hipocentro teste na posição (x^*, y^*, z^*) , para as estações, possa ser computado. Vamos considerar um dado tempo de origem e hipocentro teste, como um vetor teste \mathbf{X}^* em um espaço Euclidiano de quatro dimensões:

$$3.25 \quad \mathbf{X}^* = (\mathbf{t}^*, \mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*, \mathbf{z}^*)^T$$

Os tempos de viagem teóricos t_k de \mathbf{X}^* para a k-ésima estação é o tempo de viagem teórico T_k mais o tempo de origem teste \mathbf{t}^* , ou seja:

$$3.26 \quad \begin{aligned} \mathbf{t}_k(\mathbf{X}^*) &= \mathbf{T}_k(\mathbf{X}^*) + \mathbf{t}^* \\ \mathbf{k} &= 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

Agora definimos o tempo de viagem residual na k-ésima estação, r_k , como a diferença entre os tempos de chegada teóricos e os observados, ou seja:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_k(\mathbf{X}^*) &= \tau_k - \mathbf{t}_k(\mathbf{X}^*) \\ \mathbf{r}_k &= \tau_k - \mathbf{T}_k(\mathbf{X}^*) - \mathbf{t}^* \\ \mathbf{k} &= 1, 2, \dots, \mathbf{m} \end{aligned} \quad 3.27$$

Nosso objetivo é ajustar o vetor teste \mathbf{X}^* de modo que os resíduos sejam minimizados de algum modo. Geralmente, a aproximação por mínimos quadrados é usada para minimizarmos a soma dos quadrados dos resíduos.

Na seção 3.3.2 foi mostrado que o tempo de viagem entre o hipocentro e a k – ésima estação é uma função não-linear das coordenadas espaciais. Então, localizar sismos é um problema de otimização não-linear.

Na seção 3.3.2.1 demos uma breve introdução de otimização não-linear e agora faremos uso de alguns dos seus resultados.

3.3.3.2 – O MÉTODO DE GEIGER E SUAS IMPLEMENTAÇÕES

Usando as ferramentas matemáticas desenvolvidas na seção 3.3.2, o método de Geiger pode ser derivado como segue.

A função – objeto para a minimização por mínimos quadrados [eq 3.16] aplicada ao PLS é:

$$\mathbf{F}(\mathbf{X}^*) = \sum_{\mathbf{k}=1}^{\mathbf{m}} [\mathbf{r}_k(\mathbf{X}^*)]^2 \quad 3.28$$

onde o resíduo $\mathbf{r}_k(\mathbf{X}^*)$ é dado pela eq. 3.27 e \mathbf{m} é o número total de observações. Podemos considerar os resíduos $\mathbf{r}_k(\mathbf{X}^*)$, $\mathbf{k}=1, 2, \dots, \mathbf{m}$, como componentes de um vetor Euclideano \mathbf{m} -dimensional, sendo escrito como:

$$3.29 \quad \mathbf{r} = \left(\mathbf{r}_1(\mathbf{X}^*), \mathbf{r}_2(\mathbf{X}^*), \dots, \mathbf{r}_m(\mathbf{X}^*) \right)^T$$

O vetor de ajuste [eq. 3.6] torna-se agora:

$$3.30 \quad \delta \mathbf{X} = (\delta \mathbf{t}, \delta \mathbf{x}, \delta \mathbf{y}, \delta \mathbf{z})^T$$

No método de Gauss – Newton, um conjunto de equações lineares é resolvido pelo vetor ajuste em cada passo da iteração. No nosso caso, um conjunto de equações lineares [eq. 3.23], pode ser escrito como:

$$3.31 \quad \mathbf{A}^T \mathbf{A} \delta \mathbf{X} = -\mathbf{A}^T \mathbf{r}$$

onde a matriz de Jacobian (Jacobiano) A, definida pela eq. 3.20, agora é igual a:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \mathbf{r}_1}{\partial \mathbf{t}} & \frac{\partial \mathbf{r}_1}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{r}_1}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{r}_1}{\partial \mathbf{z}} \\ \frac{\partial \mathbf{r}_2}{\partial \mathbf{t}} & \frac{\partial \mathbf{r}_2}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{r}_2}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{r}_2}{\partial \mathbf{z}} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{t}} & \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{z}} \end{pmatrix}$$

e as derivadas parciais são calculadas em relação ao vetor preliminar (teste) \mathbf{X}^* .

Usando os resíduos dos tempos de chegada, definidos pela eq. 3.27, obtemos:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{t}} &= \frac{\partial}{\partial \mathbf{t}} (\tau_m - \mathbf{T}_m(\mathbf{X}^*) - \mathbf{t}^*) = -1 \\ \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{x}} &= \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} (\tau_m - \mathbf{T}_m(\mathbf{X}^*) - \mathbf{t}^*) = -\left(\frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}}\right) | \mathbf{X}^* \quad m > 0 \\ \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{y}} &= \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}} (\tau_m - \mathbf{T}_1(\mathbf{X}^*) - \mathbf{t}^*) = -\left(\frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}}\right) | \mathbf{X}^* \\ \frac{\partial \mathbf{r}_m}{\partial \mathbf{z}} &= \frac{\partial}{\partial \mathbf{z}} (\tau_m - \mathbf{T}_1(\mathbf{X}^*) - \mathbf{t}^*) = -\left(\frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}}\right) | \mathbf{X}^*\end{aligned}$$

Assim, obtemos uma nova matriz Jacobiana:

$$3.32 \quad \mathbf{A} = - \begin{pmatrix} 1 & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} \\ 1 & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{z}} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ 1 & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} \end{pmatrix} | \mathbf{X}^*$$

Substituindo 3.32 em 3.31:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \mathbf{L} & 1 \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{x}} & \mathbf{L} & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{y}} & \mathbf{L} & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{z}} & \mathbf{L} & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} \\ 1 & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{z}} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ 1 & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} \end{pmatrix} | \mathbf{X}^*$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{pmatrix} 1+L+1 & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} & \left(\frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} \right)^2 + L + \left(\frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} \right)^2 & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} & \left(\frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} \right)^2 + L + \left(\frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} \right)^2 & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} & \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} & \left(\frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} \right)^2 + L + \left(\frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} \right)^2 \end{pmatrix} \bigg|_{\mathbf{X}^*} \\
\mathbf{G} = \mathbf{A}^T \mathbf{A} &= \begin{pmatrix} \mathbf{m} & \sum \mathbf{a}_k & \sum \mathbf{b}_k & \sum \mathbf{c}_k \\ \sum \mathbf{a}_k & \sum (\mathbf{a}_k)^2 & \sum \mathbf{a}_k \mathbf{b}_k & \sum \mathbf{a}_k \mathbf{c}_k \\ \sum \mathbf{b}_k & \sum \mathbf{a}_k \mathbf{b}_k & \sum (\mathbf{b}_k)^2 & \sum \mathbf{b}_k \mathbf{c}_k \\ \sum \mathbf{c}_k & \sum \mathbf{a}_k \mathbf{c}_k & \sum \mathbf{b}_k \mathbf{c}_k & \sum (\mathbf{c}_k)^2 \end{pmatrix} \quad 3.33
\end{aligned}$$

$$-\mathbf{A}^T \mathbf{r} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & L & 1 \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{x}} & L & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{y}} & L & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} & \frac{\partial \mathbf{T}_2}{\partial \mathbf{z}} & L & \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{r}_1(\mathbf{X}^*) \\ \mathbf{r}_2(\mathbf{X}^*) \\ M \\ \mathbf{r}_m(\mathbf{X}^*) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{r}_1(\mathbf{X}^*) + L + \mathbf{r}_m(\mathbf{X}^*) \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{r}_1 + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{r}_m \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{y}} \mathbf{r}_1 + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{y}} \mathbf{r}_m \\ \frac{\partial \mathbf{T}_1}{\partial \mathbf{z}} \mathbf{r}_1 + L + \frac{\partial \mathbf{T}_m}{\partial \mathbf{z}} \mathbf{r}_m \end{pmatrix}$$

$$\rho = -\mathbf{A}^T \mathbf{r} = \begin{pmatrix} \sum \mathbf{r}_k \\ \sum \mathbf{a}_k \mathbf{r}_k \\ \sum \mathbf{b}_k \mathbf{r}_k \\ \sum \mathbf{c}_k \mathbf{r}_k \end{pmatrix} \quad 3.34 \quad \text{onde} \quad \begin{aligned} \mathbf{a}_k &= \frac{\partial \mathbf{T}_k}{\partial \mathbf{x}} \bigg|_{\mathbf{X}^*} \\ \mathbf{b}_k &= \frac{\partial \mathbf{T}_k}{\partial \mathbf{y}} \bigg|_{\mathbf{X}^*} \quad k=1,2,\dots,m \\ \mathbf{c}_k &= \frac{\partial \mathbf{T}_k}{\partial \mathbf{z}} \bigg|_{\mathbf{X}^*} \end{aligned}$$

Então:

$$3.35 \quad \mathbf{G} \delta \mathbf{X} = \rho$$

Portanto, dado um conjunto de tempos de chegada e derivadas do vetor preliminar (inicial) \mathbf{X}^* , podemos resolver a eq. 3.35, iterativamente, para o vetor ajuste \mathbf{X} , até que algum critério de convergência seja satisfeito. Em outras palavras, o problema não-linear de

localizar um sismo é resolvido por um processo iterativo envolvendo apenas soluções de um conjunto de quatro equações lineares.

O método de Geiger envolve os seguintes passos computacionais:

- 1) Supõe um tempo de origem inicial t^* e um hipocentro inicial (x^*, y^*, z^*) .
- 2) Computa os tempos de viagem teóricos T_k e suas derivadas parciais, T/x , T/y e T/z , calculadas em (x^*, y^*, z^*) , $k=1,2,\dots,m$, de um hipocentro teste para a k -ésima estação, usando o modelo de velocidade abaixo da rede sismográfica.
- 3) Computa a matriz G dada pela eq. 3.33 e o vetor d dado pela equação 3.34.
- 4) Resolve o sistema de quatro equações lineares dada pela eq. 3.35, para os ajustes t , x , y , e z .
- 5) Um melhor tempo de origem é então dado por $t^* + t$ e um melhor hipocentro $(x^* + x, \dots, z^* + z)$. Usam-se estes como um novo tempo de origem e hipocentro iniciais.
- 6) Repete os passos de 2 a 5 até que algum critério de convergência seja aceito. No ponto $t_0=t^*$, $x_0=x^*$, $y_0=y^*$ e $z_0=z^*$ como nossa solução para o tempo de origem e hipocentro para o sismo.

A matriz G pode estar mal-condicionada se a distribuição de estações é pobre, se um sismo ocorrer fora da rede ou se a profundidade do sismo for muito menor que a distância dele à estação mais próxima. Lee & Stewart, 1981, citam que as estações devem ser bem distribuídas, de maneira que, o epicentro esteja circundado por elas.

Apesar do método de Geiger considerar que todos os dados têm a mesma qualidade, é importante lembrar, que a qualidade da localização hipocentral depende da qualidade dos dados de entrada. A qualidade do dado varia de estação para estação, por fatores como diferenças de razão sinal/ruído (podendo ser diferente entre elas), distância à fonte, primeira chegada de onda impulsiva ou emergente, etc. Estes problemas podem ser contornados atribuindo peso aos dados, como será feito na utilização dos dados para executar o programa HYPO71.

A rotina de localização de sismos para uma rede local é baseada principalmente em um modelo de velocidade de camadas horizontais e o problema de variações laterais de velocidade normalmente é ignorado, ou seja, o método de Geiger considera que o modelo de velocidades é perfeito e que as únicas fontes de erros são de natureza estatística.

O método de Geiger é um processo iterativo. Então, para haver convergência, é necessária uma boa distribuição das estações em relação ao epicentro, a suposição inicial do tempo de origem e do hipocentro, os tempos de chegada observados e o modelo de velocidade usado para computar tempos de viagem e suas derivadas.

3.4 – RESULTADOS OBTIDOS

Durante o período de atuação da rede SB, aproximadamente quatro meses, cerca de 2820 sismos foram registrados. Destes 2820 sismos, 581 foram registrados em três ou mais estações e foram selecionados para as análises que possibilitaram obter respostas para os objetivos do presente trabalho.

3.4.1 – ESCOLHA DE UM CONJUNTO CONSISTENTE DE DADOS, VIA DIAGRAMA DE WADATI

Para determinar o modelo de velocidades, inicialmente é necessário encontrar um conjunto confiável de dados e, para isto, foi usado o diagrama de Wadati (Kissinger & Engdahl, 1973).

O referido diagrama representa graficamente a diferença nos tempos de chegada das ondas P e S ($t_s - t_p$) e a diferença entre o tempo de chegada da onda P e a hora de origem do sismo ($t_p - t_0$). Idealmente o gráfico seria uma reta passando pela origem, com coeficiente angular dado por:

$$a = k - 1 \quad \text{com} \quad k = \frac{V_p}{V_s}$$

Na execução do diagrama de Wadati, quanto mais sismos registrados em um número maior de estações, melhores serão os resultados. Então dos 581 sismos registrados em três ou mais estações, 157 foram registrados, no mínimo, em cinco, sendo utilizados para a execução do diagrama de Wadati.

Durante a execução deste diagrama, foram descartadas as leituras acima do dobro do valor do desvio padrão, em relação a reta determinada por mínimos quadrados. Realizando isto sucessivamente, restou um conjunto confiável de 93 eventos (fig. 3.3), e o coeficiente k obtido foi:

$$k = \frac{V_p}{V_s} = 1,709 \pm 0,001$$

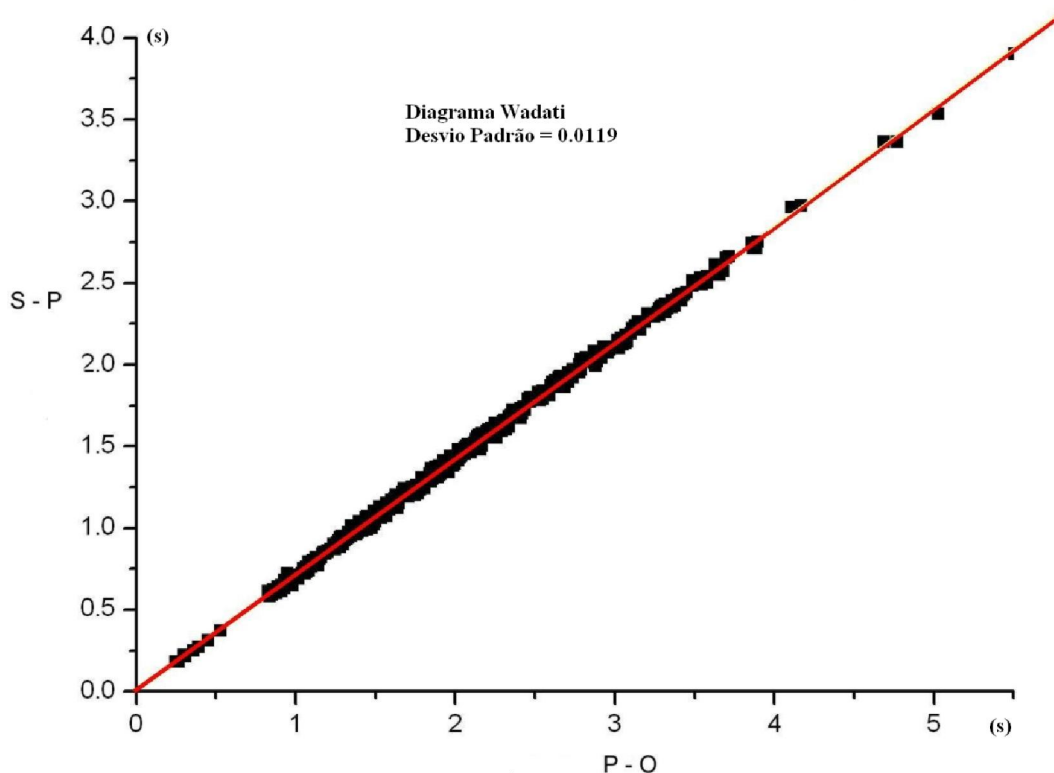


Fig 3.3 – Resultado da execução do diagrama Wadati, gerando um conjunto confiável de 93 eventos para a obtenção do modelo de velocidades.

3.4.2 - DETERMINAÇÃO DO MODELO DE VELOCIDADES

O conjunto consistente de 93 eventos obtido pelo diagrama Wadati, foi utilizado na determinação da velocidade da onda P, V_p , e razão V_p/V_s , que para o modelo adotado (fig. 3.2) são consideradas constantes. V_p é considerado constante dentro da camada e k , constante para cada camada e ambos não variam lateralmente, nem com a profundidade e nem com o tempo.

O programa HYPO71 foi utilizado para obter um modelo de velocidades. O critério inicial para a escolha dos melhores parâmetros para o modelo de velocidades constituiu em selecionar o maior número de sismos (N_2) que satisfaziam as seguintes condições:

$$\mathbf{RMS} \leq 0,02\mathbf{s}$$

RMS = Média do erro quadrático médio dos 93 sismos

$$\mathbf{ERH} \leq 0,4\mathbf{km}$$

ERH = Média do erro horizontal médio dos 93 sismos

$$\mathbf{ERZ} \leq 0,4\mathbf{km}$$

ERZ = Média do erro vertical médio dos 93 sismos.

A seleção para a escolha dos melhores parâmetros pode ser feita das seguintes formas:

- 1) Variando V_p e V_p/V_s ;
- 2) Fixando V_p/V_s e variando a velocidade V_p .

Inicialmente, variando V_p de 5,0 Km/s a 6,4 Km/s (Charmichael, 1982) e $k = V_p/V_s$ de 1,60 a 1,74 e usando o programa HYPO71, foram observados poucos conjuntos que satisfaziam as condições citadas acima (tab 3.4) e, quando surgiam, tinham valores de velocidade e k próximos de 6,0 Km/s e 1,71, respectivamente.

| N° | K | V_p (Km/s) | N_2 | RMS(s) | N_1 | RMS(s) | ERH (Km) | ERZ (Km) |
|----|------|--------------|-------|--------|-------|--------|----------|----------|
| 1 | 1.64 | 5.6 | 2 | 0.047 | 0 | 0.020 | 0.10 | 0.10 |
| 2 | 1.66 | 5.8 | 3 | 0.044 | 1 | 0.017 | 0.10 | 0.10 |

| | | | | | | | | |
|---|------|------|----|-------|---|-------|------|------|
| 3 | 1.71 | 5.8 | 3 | 0.048 | 1 | 0.017 | 0.10 | 0.10 |
| 4 | 1.71 | 5.95 | 24 | 0.039 | 7 | 0.027 | 0.10 | 0.10 |
| 5 | 1.71 | 6.0 | 25 | 0.038 | 8 | 0.026 | 0.10 | 0.10 |
| 6 | 1.71 | 6.05 | 22 | 0.039 | 8 | 0.026 | 0.10 | 0.10 |

Tab. 3.3 – Resultados dos testes de escolha dos parâmetros do modelo de velocidades para a rede SB, com todas as leituras dos 93 sismos selecionados.

No presente caso, o fator crítico e principal, com certeza, foi a grande discrepância de altitudes das estações, visto que as mesmas estão instaladas por dentro e ao redor da serra da Meruoca (fig. 1.7), a qual possui um relevo movimentado dispendo na direção SW – NE com cotas de até 920m e desníveis altimétricos entre 700 – 800 metros, em relação ao pediplano circunjacente (Lima, E.C., 1999).

O programa HYPO71 considera que a terra é plana (Lahr & Snoke, 2001) e a rede sismográfica de Sobral possui estações com grandes discrepâncias de altitudes (a estação mais baixa possui altitude de 55m e a mais alta, altitude de 787m; tab. 3.1, fig. 3.3). Levando estes fatores em conta e várias dificuldades, como componentes com problemas, sismogramas não muito claros (sinal/ruído grande), que ocasionaram em dificuldade na percepção e marcação das ondas P e S e em RMS altos, foram canceladas as leituras dos sismos registrados nas estações SBBR, SBCA e SBMU. Na prática, para a exclusão, no programa HYPO71, basta atribuir peso 4 a determinadas leituras provenientes de determinadas estações. Casos como este são raros em sismologia.

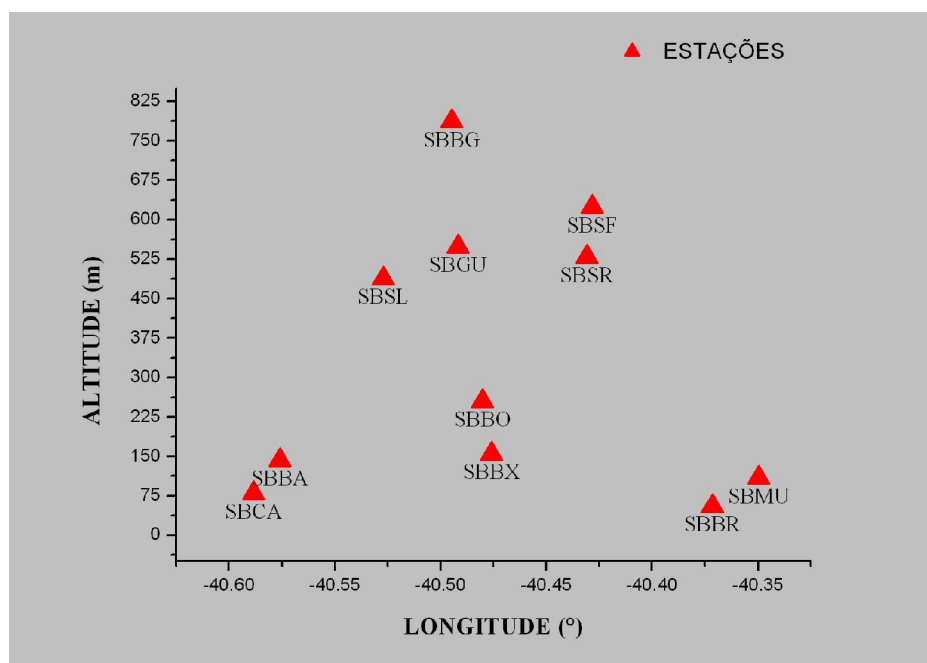


Fig. 3.4 – Gráfico relacionando as longitudes das estações constituintes da rede SB e as suas respectivas altitudes.

Seguindo isto e fixando o valor de $k = 1.71$ (valor muito próximo do obtido pelo diagrama de Wadati), foram observados os seguintes conjuntos:

| Nº | V _P (Km/s) | N ₂ | RMS (s) | N ₁ | RMS (s) | ERH (Km) | ERZ (Km) |
|----|-----------------------|----------------|---------|----------------|---------|----------|----------|
| 1 | 5.90 | 32 | 0.033 | 12 | 0.017 | 0.10 | 0.075 |
| 2 | 5.95 | 43 | 0.031 | 16 | 0.017 | 0.10 | 0.10 |
| 3 | 6.00 | 46 | 0.030 | 18 | 0.018 | 0.10 | 0.10 |
| 4 | 6.05 | 44 | 0.030 | 16 | 0.018 | 0.10 | 0.10 |
| 5 | 6.10 | 40 | 0.032 | 09 | 0.017 | 0.10 | 0.10 |

Tab. 3.4 – Resultado dos testes para a escolha dos parâmetros do modelo de velocidades para a rede sismográfica de Sobral, com exceção das leituras registradas nas estações SBCA, SBMU e SBBR.

Como os conjuntos satisfazem as condições iniciais, foi necessário utilizar critérios adicionais. Estes foram os seguintes:

- 1) Máxima quantidade de eventos com $RMS \leq 0.02s$ (N_2);
- 2) Máxima quantidade de eventos com $RMS \leq 0.01s$ (N_1);
- 3) Menores erros possíveis de ERH e ERZ.

Observando a tabela 3.4 percebe-se que o melhor modelo que se enquadra dentro destes critérios, é o modelo 3, com $V_p = 6.00\text{Km/s}$ e $k = 1.71$. A atividade sísmica, objeto deste trabalho, está concentrada no granito Meruoca (cap. 2). Em Bormann *et al*, 2002, no capítulo 2 é dada uma tabela com os principais parâmetros elásticos, densidades, velocidades de ondas sísmicas, etc, para diversos tipos de materiais e formações geológicas (tab. 3.5).

| Formação geológica | Módulo de Bulk (10^9 Pa) | Módulo de corte (10^9 Pa) | Densidade (kg/m^3) | Razão de Poisson | V_p (km/s) | V_s (km/s) | V_p/V_s |
|---------------------------|--|---|---|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Granito | 56 (47-69) | 34 (30-37) | 2610 (2340-2670) | 0.25 (0.20-0.31) | 6.2 (5.8-6.4) | 3.6 (3.4-3.7) | 1.73 (1.6-1.91) |

Tab 3.5 – Valores típicos (médias e/ou intervalos aproximados) de constantes elásticas, densidade, velocidade de ondas sísmicas, etc. (Conforme Bormann *et al*, 2002)

Considerando isto e o diagrama de Wadati, o conjunto de parâmetros encontrado é coerente e está dentro do intervalo de aceitação, portanto será utilizado em todos os cálculos futuros.

A tabela 3.6 mostra a comparação entre os RMS do conjunto escolhido com todos os sismos registrados em 8 e 11 estações, mostrando como a topografia, neste caso, é crítica.

| N° Estações | V _P /V _S | V _P (km/s) | N ₂ | RMS(s) | ERH (km) | ERZ (km) |
|-------------|--------------------------------|-----------------------|----------------|--------|----------|----------|
| 8 | 1.71 | 6.0 | 46 | 0.030 | 0.10 | 0.10 |
| 11 | 1.71 | 6.0 | 46 | 0.092 | 0.70 | 0.80 |

Tab 3.6 – Comparação dos RMS dos 46 sismos registrados em 8 e 11 estações.

3.4.3 – DETERMINAÇÃO DOS EPICENTROS E HIPOCENTROS

Geiger, em 1912, introduziu o procedimento básico para localização de hipocentros baseado em mínimos quadrados, o qual não era um procedimento prático para os computadores da época. Então, após o advento de computadores digitais na década de 1960, muitos sismólogos em todo mundo começaram a escrever programas para localizar hipocentros. Podemos citar como exemplo, os programas HYPOLAYR (Eaton, 1969), HYPO71 (Lee & Lahr, 1972), HYPOINVERSE (Klein, 1978), HYPOELLIPSE (Lahr, 1979) e HYPOCENTER (Lienert *et al.*, 1986).

Estes programas são baseados em modelos homogêneos, com camadas possuindo velocidades constantes e são aplicados para atividades sísmicas locais. A maioria dos trabalhos anteriores em sismologia, principalmente no Brasil, utilizaram o programa HYPO71, conseguindo sucesso no estudo de atividades sísmicas locais, presentes, em sua maioria, no Nordeste brasileiro (Ferreira *et al.*, 1987, 1995, 1998; Takeya, 1992; do Nascimento, 1997; França, 1997; Vilar, 2000; Lima Neto, 2009).

No presente trabalho também foi selecionado o programa HYPO71. No entanto, o programa HYPOELLIPSE seria uma ferramenta interessante, visto que o seu modelo de camadas adotado (fig. 3.4) possibilita que as estações estejam localizadas em variadas altitudes.

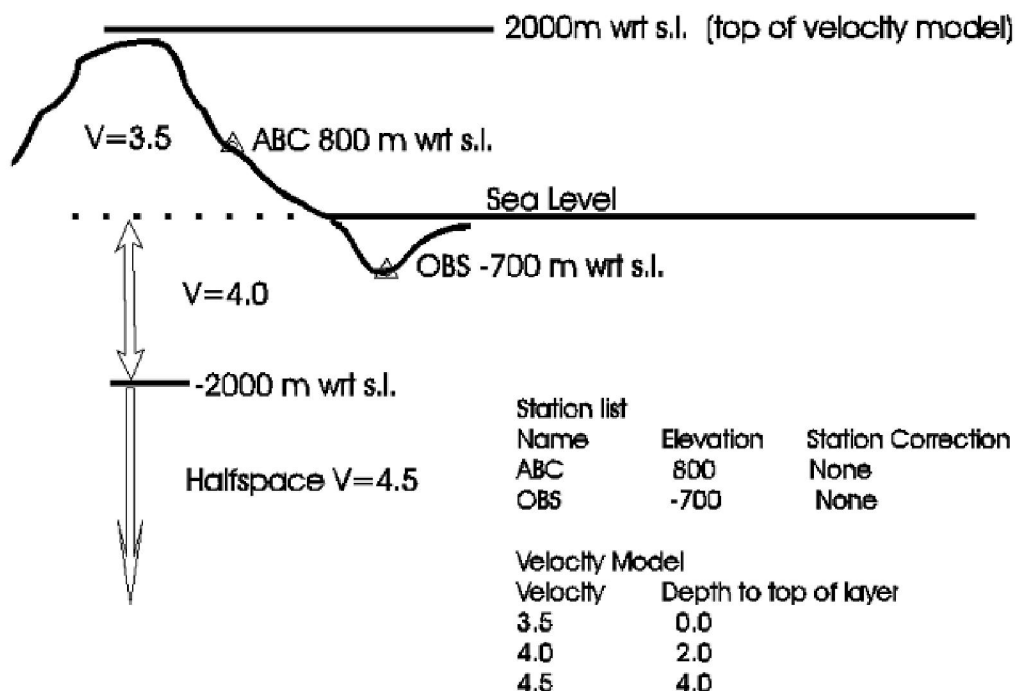


Fig. 3.5 – Modelo de camadas adotado pelo programa HYPOELLIPSE (Lahr, 1999).

Infelizmente, devido à razão do pouco tempo disponível, não foi possível utilizá-lo, porém isto pode ser feito futuramente, possibilitando melhores resultados e diferentes análises dos dados obtidos pela rede SB.

Para executar o programa HYPO71 são necessários três conjuntos de dados: as coordenadas das estações, o modelo de velocidades e as leituras dos tempos de chegada das ondas sísmicas nas respectivas estações. As coordenadas das estações (tab. 3.1) foram obtidas com o auxílio do aparelho de GPS acoplado em cada estação, fazendo uma média das posições determinadas durante o período de operação da rede SB.

O modelo de velocidades utilizado (vide seção 3.3.2) foi um semi – espaço com parâmetros iguais a $V_p = 6.0$ km/s e $V_p/V_s = 1.71$ e as leituras das ondas foram obtidas com o auxílio do programa SAC.

3.4.3.1 - PRIMEIRA ETAPA

Na primeira etapa de atuação da rede SB, compreendida entre 06/jun/2008 e 09/jul/2008, foram registrados 1290 sismos. Entre estes, 237 sismos foram registrados, no mínimo, em três estações. A atividade sísmica, nesta etapa, atingiu seu valor máximo no dia 22 de junho, como mostra a figura 3.5. O mapa epicentral obtido mostra um aglomerado localizado na área epicentral estimada na seção 3.1(fig. 3.1) e está representado pela figura 3.7.

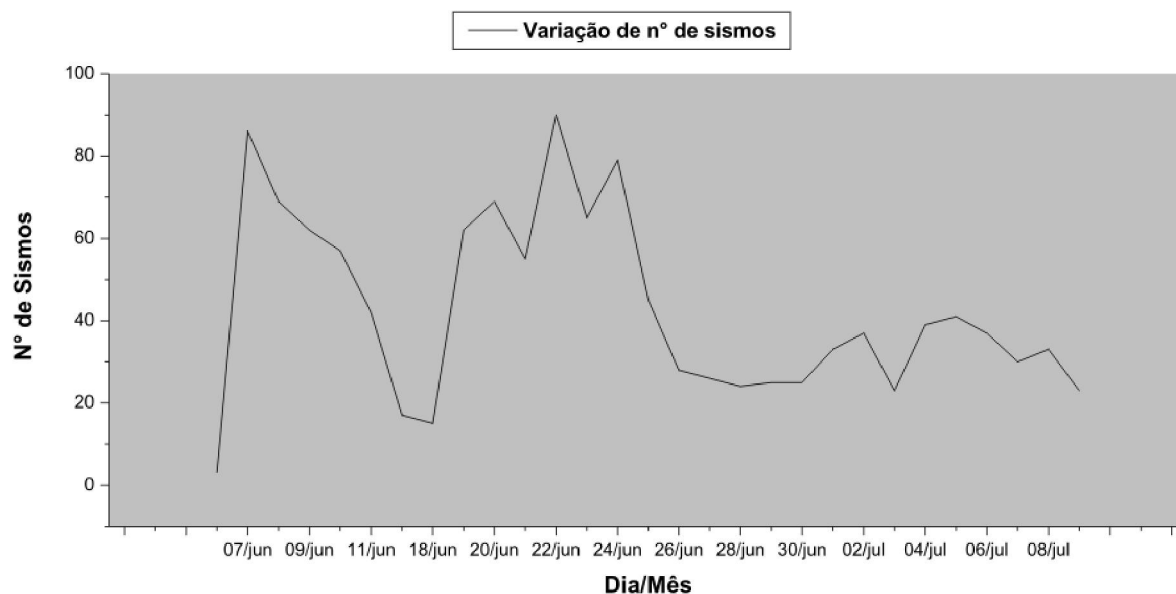


Fig 3.6 – Histograma mostrando a ocorrência da atividade sísmica durante a primeira etapa de atuação da rede SB, alcançando seu pico no dia 22 de junho.

Rede Sobral - 2008

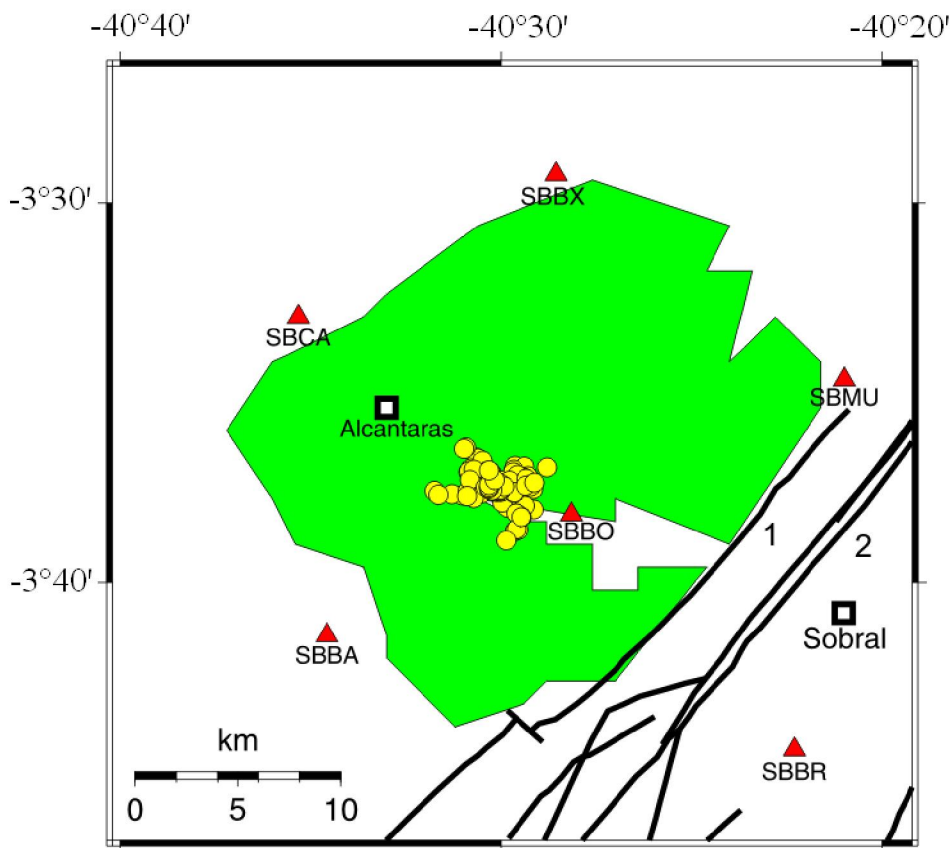


Fig. 3.7 – Mapa epicentral dos 237 sismos registrados (representados por círculos amarelos), no mínimo, em três estações sismográficas, durante a primeira etapa de operação da rede SB; com os seguintes critérios: RMS 0.04s; ERH 0.3km; ERZ 0.4km; NO (número de observações) = 10.

3.4.3.2 - SEGUNDA ETAPA

Na segunda etapa de operação da rede SB, atuante entre 10/jul/2008 e 26/ago/2008, foram registrados 674 sismos. Entre estes, 312 sismos foram registrados, no mínimo, em três estações. A atividade sísmica, nesta etapa, alcançou seu valor máximo no dia 13 de agosto, como mostra a figura 3.8. O mapa epicentral obtido está representado na figura 3.9.

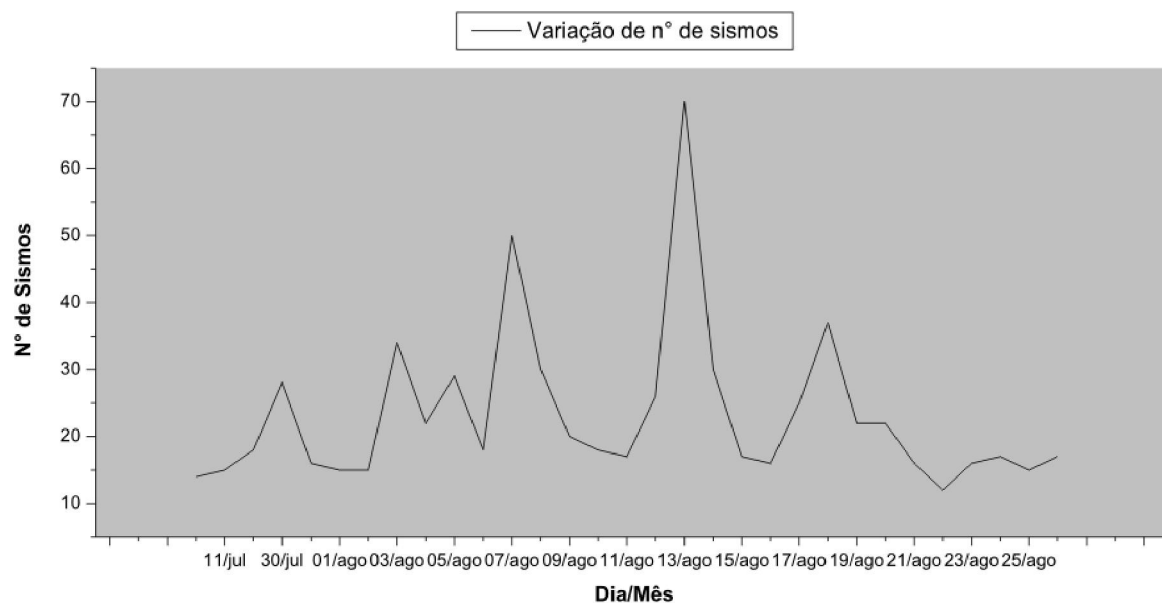


Fig. 3.8 – Histograma mostrando a ocorrência da atividade sísmica durante a segunda etapa de atuação da rede SB, atingindo seu pico no dia 13 de agosto.

Rede Sobral - 2008

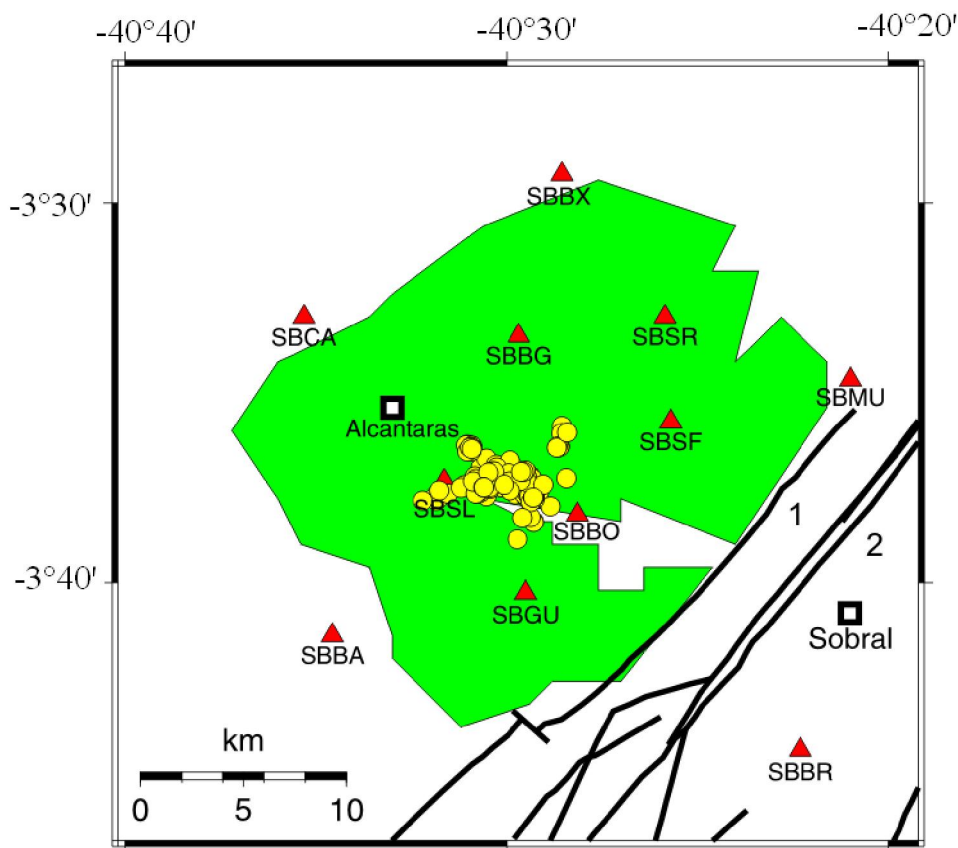


Fig. 3.9 – Mapa epicentral dos 312 sismos registrados (representados por círculos amarelos), no mínimo, em três estações sismográficas, durante a segunda etapa de operação da rede SB, utilizando os seguintes critérios: RMS 0.04s; ERH 0.3km; ERZ 0.4km; NO (número de observações) = 10.

3.4.3.3 - TERCEIRA ETAPA

Na terceira etapa de atuação da rede SB, compreendida entre 27/ago/2008 e 24/set/2008 a atividade sísmica registrada na estação SBSL foi bastante alta, devido a sua proximidade dos epicentros. Neste período, 853 sismos foram registrados, onde apenas 32 sismos foram catalogados, no mínimo, em três estações. Nesta etapa, a sismicidade atingiu o valor máximo nos dias 01 e 02 de setembro, como mostra a figura 3.9. O mapa epicentral obtido está representado pela figura 3.10.

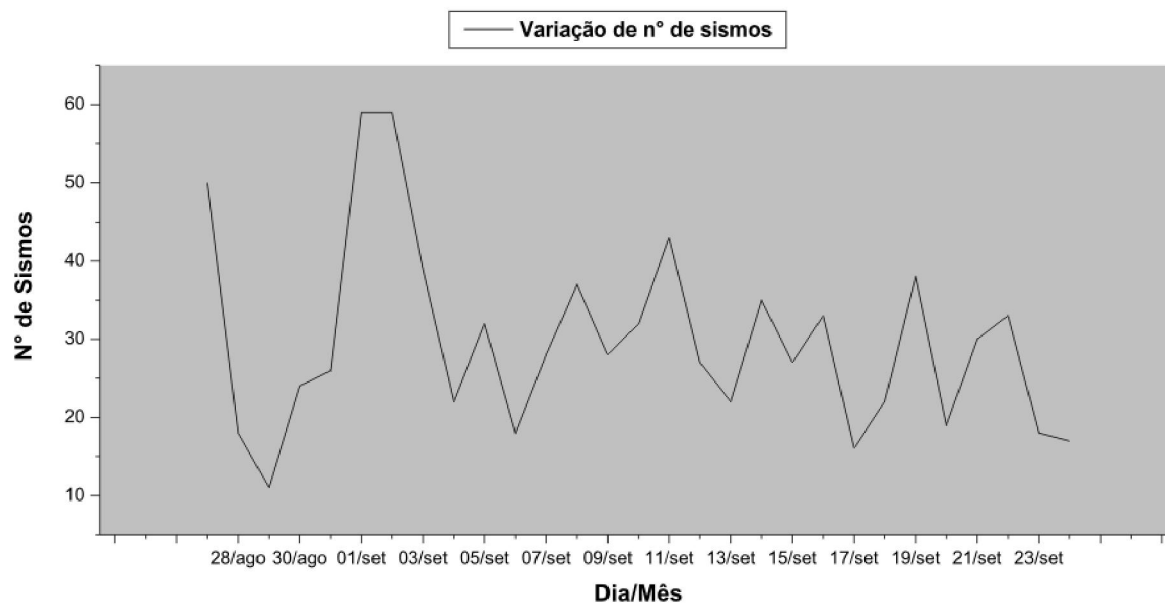


Fig. 3.10 – Histograma mostrando a ocorrência da atividade sísmica durante a terceira etapa de atuação da rede SB. Nesta etapa a sismicidade teve uma grande diminuição e atingiu seu pico nos dias 01 e 02 de setembro.

Rede Sobral - 2008

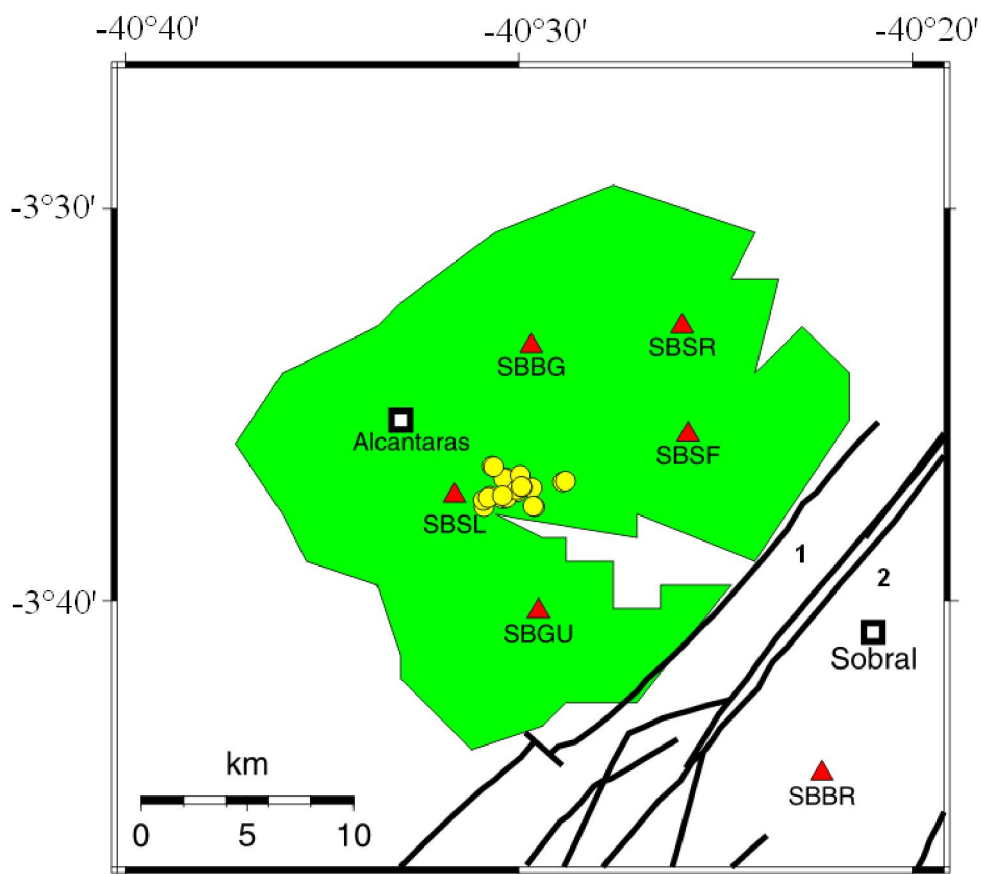


Fig. 3.11 - Mapa epicentral dos 32 sismos registrados (representados por círculos amarelos), no mínimo, em três estações sismográficas, durante a terceira etapa de operação da rede SB, utilizando os seguintes critérios: RMS 0.05s; ERH 0.3km; ERZ 0.4km; NO (número de observações) = 10.

Os dados hipocentrais obtidos com os dados das três etapas revelam uma zona sísmica variando de 0.19km a 11.8 km e apresentam diferentes estruturas (figs. 3.7, 3.9 e 3.11). Os dados hipocentrais obtidos com o auxílio do programa HYPO71, de todos os 581 sismos registrados, no mínimo, em três estações, estão listados no Apêndice C.

CAPÍTULO 4

SISMOTECTÔNICA, DETERMINAÇÃO DE PLANOS DE FALHA E MECANISMOS FOCAIS

4.1 - SISMOTECTÔNICA

Cerca de 1% da atividade sísmica global, de origem tectônica, ocorre em regiões intraplaca: interior de uma placa tectônica (Miranda *et al.*, 2007). Apesar de menos recorrente, em relação às atividades sísmicas ocorridas em bordas de placas tectônicas (fig. 4.1), este tipo de sismicidade não é insignificante e merece atenção especial, principalmente, quando o objetivo é conhecer o potencial sismogênico de alguma região dentro de uma placa tectônica. A quantidade de sismos, suas magnitudes e dissipações de energia liberadas serviram, ao longo do tempo, como orientação na delimitação das placas tectônicas, atualmente, bem conhecidas.

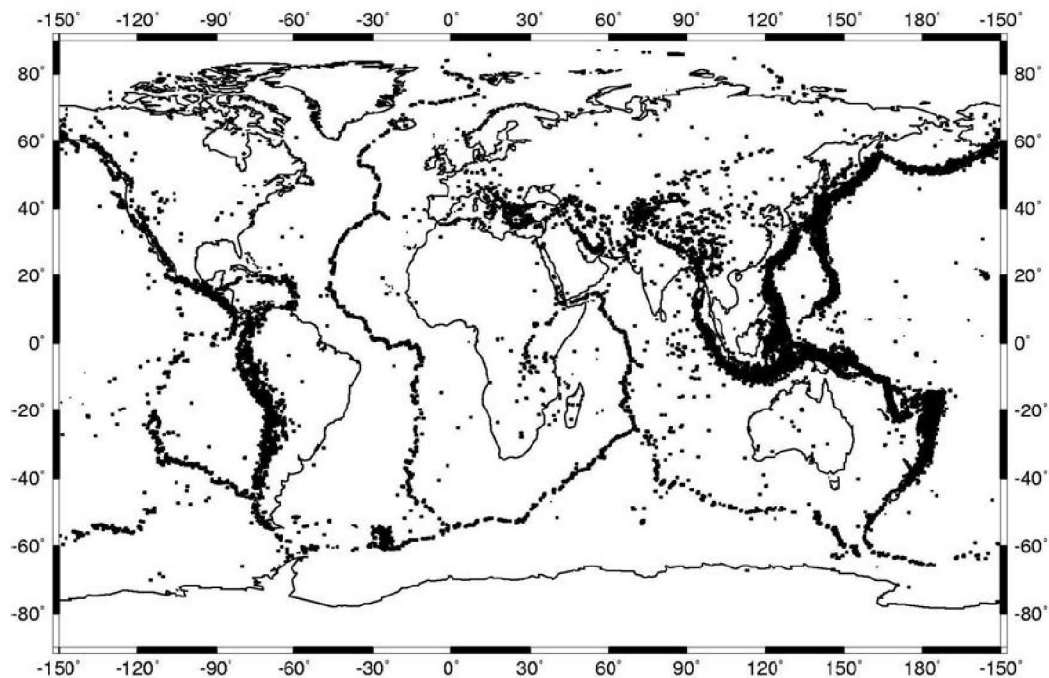


Fig. 4.1 – Distribuição geográfica da sismicidade global, com sismos que atingiram magnitude superior a 5, entre o período de 1980 e 1999, ilustrando a ocorrência de alta atividade sísmica em regiões de borda de placa e a baixa atividade sísmica ocorrente em regiões intraplaca (Miranda *et al.*, 2007).

Os maiores eventos do tipo intraplaca, noticiados até então, ocorreram em um intervalo de pouco mais de um mês, entre dezembro de 1811 e fevereiro de 1812, em New Madrid, Missouri, alcançando intensidade máxima (**XII MM**; Johnston, 1989). Estes sismos não causaram grandes danos devido ao fato de, na época, a região possuir pouca habitação. Entretanto, na China, região historicamente muito povoada, milhares de pessoas já morreram devido aos sismos originados em regiões intraplaca.

Os sismos ocorridos em bordas de placas tectônicas não ocorrem aleatoriamente, mas se distribuem em torno dos seus contornos (fig. 4.1). No entanto, surge uma indagação importante: as distribuições dos sismos do tipo intraplaca são aleatórias? Quais fatores estruturais permitem regiões distantes do encontro de placas tectônicas apresentarem atividade sísmica?

Em seu famoso artigo, publicado em 1978, Sykes sugere que, nos continentes, os sismos do tipo intraplaca possuem uma tendência a se concentrar ao longo de zonas de fraquezas pré-existentes, incluindo zonas de cisalhamento, de sutura, riftes abortados e outros limites tectônicos e que, durante os primeiros estágios da separação dos continentes, estas zonas de fraqueza, principalmente aquelas localizadas próximas das margens continentais, foram reativadas. A reativação de zonas de fraqueza, assim como a concentração de esforços (*stress*), ou ambos, explica, em alguns casos, a ocorrência de sismos do tipo intraplaca em áreas de crosta continental.

A região Nordeste do Brasil representa a área com uma das maiores concentrações de sismos do tipo intraplaca deste país e sua atividade sísmica, nos últimos quarenta anos, tem se manifestado em forma de enxame de sismos, com profundidade raramente excedendo 10 km, com duração de até uma década (Ferreira *et al.*, 1998). Os sismos do tipo intraplaca ocorridos no Nordeste do Brasil, que atingiram maior magnitude, ocorreram em Cascavel – CE (5.2 m_b, 1980), João Câmara – RN (5.1 m_b, 1986; 5.0 m_b, 1989) e Irauçuba – CE (4.9 m_b, 1991).

Ferreira *et al.*, 1998 realizaram extensas análises de dados provenientes de várias redes sismográficas locais e atividades sísmicas ocorridas em diferentes lugares, pelo Nordeste do Brasil e comprovaram que, na grande maioria dos casos, a correlação entre as sismicidades

encontradas e falhas mapeadas, situadas nas respectivas regiões estudadas, é inexistente. Entretanto, recentemente, Ferreira *et al.*, 2008, Lima Neto *et al.*, 2009 e Vasconcelos *et al.*, 2010 mostraram nos seus respectivos trabalhos, clara correlação entre a sismicidade ocorrida, respectivamente, em Caruaru, São Caetano e Belo Jardim com o Lineamento Pernambuco, uma zona de cisalhamento dúctil com, aproximadamente, 700 km de extensão, que deforma a Província Borborema. Em geral, no Nordeste do Brasil a correlação da sismicidade com grandes estruturas geológicas é bastante rara.

A atividade sísmica estudada na presente dissertação está localizada na região Noroeste do Ceará, no Nordeste do Brasil. Esta região possui importantes estruturas tectônicas mapeadas, destacando-se o Lineamento Transbrasiliano (cujas secções na área de estudo é conhecida como Lineamento Sobral-Pedro II), uma gigantesca faixa milonítica que se estende para Nordeste, na África Ocidental (falha de Kandi), e para Sudoeste, até a região central do Brasil (Caby, 1989; Caby *et al.*, 1995). A extensão deste lineamento implica em um rejeito substancial (transcorrente dextral), dificultando a correlação entre as unidades lito-tectônicas de cada lado desta zona milonítica (Jardim de Sá, 2004).

4.2 – PLANOS DE FALHA E MECANISMOS FOCAIS

Os sismogramas registrados em diferentes distâncias e ângulos azimutais são usados para estudar a geometria de falhas e mecanismos focais. Para isto torna-se necessário compreender o comportamento das ondas elásticas que se propagam para longe do foco (hipocentro). Segundo a “teoria do ressalto elástico”, elaborada por Reid em 1910, os sismos ocorrem em regiões que estão sob esforços, acumulando energia em forma de deformação elástica. Quando estas deformações atingem o limite de resistência das rochas, ocorre ruptura, gerando falhamento, calor e vibrações sísmicas em todas as direções. Para a determinação do mecanismo focal são utilizados dois tipos de ondas sísmicas: as ondas de corpo (P e S), que se propagam pelo interior da terra e as ondas de superfície, que se propagam radialmente, a partir do epicentro, mais lentamente.

O método mais simples é o que considera as distribuições azimutais de polaridades dos primeiros movimentos das ondas compressoriais P na componente vertical de cada estação,

que provoca um movimento do solo para cima ou para baixo. A onda P se move na mesma direção de propagação da frente de onda, o que a caracteriza como uma onda longitudinal. O sentido do movimento inicial do solo varia entre as estações, devido aos seus respectivos azimutes, em relação ao epicentro do sismo, sendo o primeiro movimento compressivo para estações sísmicas em que o deslocamento da falha é de “aproximação” e de dilatação para estações sísmicas em que o movimento da falha é de “afastamento” (fig. 4.2).

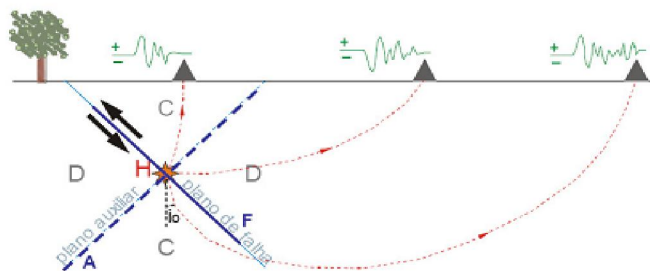


Fig. 4.2 – Diferentes polaridades das ondas registradas nas estações sismográficas. Triângulos pretos denotam as estações, H o hipocentro. C e D representam, respectivamente, os quadrantes de compressão e dilatação e i_0 o ângulo de saída. (Fonte: <http://sismo.iag.usp.br>).

Como vemos na figura 4.2 os primeiros movimentos se dividem em quatro quadrantes, dois compressivos e dois distensivos, perpendiculares entre si. Estas direções perpendiculares dividem o espaço em dois planos nodais, que diferenciam os quadrantes de compressão e dilatação.

O mecanismo focal é definido através dos seguintes parâmetros de falha (fig. 4.3):

- 1) *strike*. azimuth da falha;
- 2) *dip*. mergulho da falha;
- 3) *rake*. ângulo do deslocamento relativo entre o teto e o muro da falha.

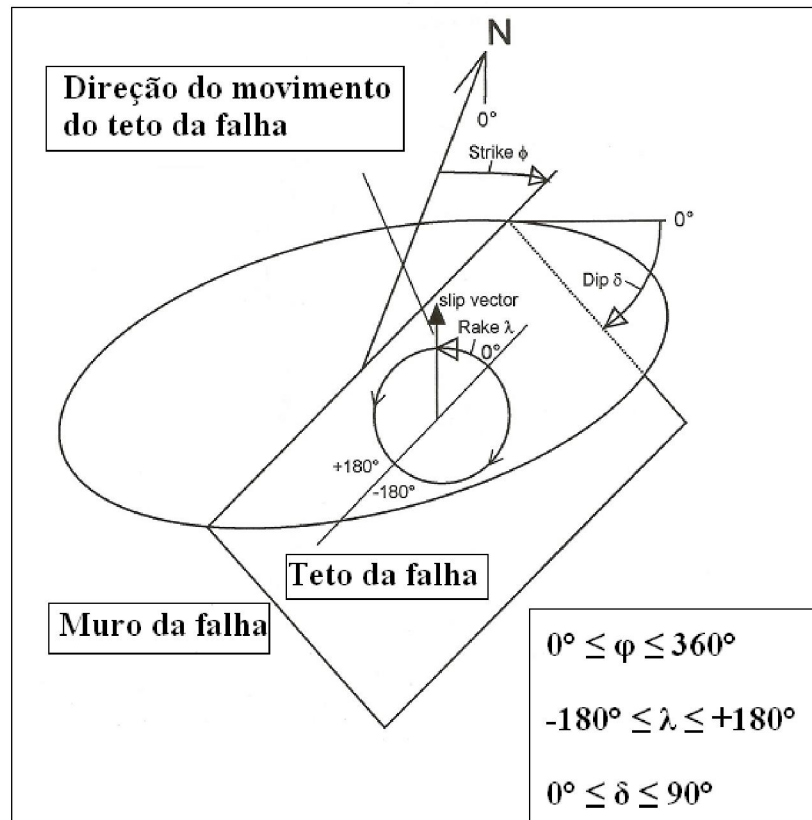


Fig. 43 - Parâmetros de falha necessários para a determinação do mecanismo focal (Modificada de Bormann, 2002)

A figura 4.3 mostra os ângulos que descrevem a orientação e o movimento do plano de falha. O ângulo *strike* é medido a partir do norte no sentido horário. O ângulo *dip* descreve a inclinação do teto da falha com a horizontal. O ângulo *rake* descreve o deslocamento do teto da falha em relação ao muro da falha. Para: $\lambda = 0$ temos um falhamento transcorrente sinistral; $\lambda > 0$ o teto da falha se move para cima, caracterizando um falhamento com componente reverso; $\lambda < 0$ o teto da falha se move para baixo, caracterizando um falhamento com componente normal. Na figura 4.4 são mostradas algumas combinações de ϕ e δ .

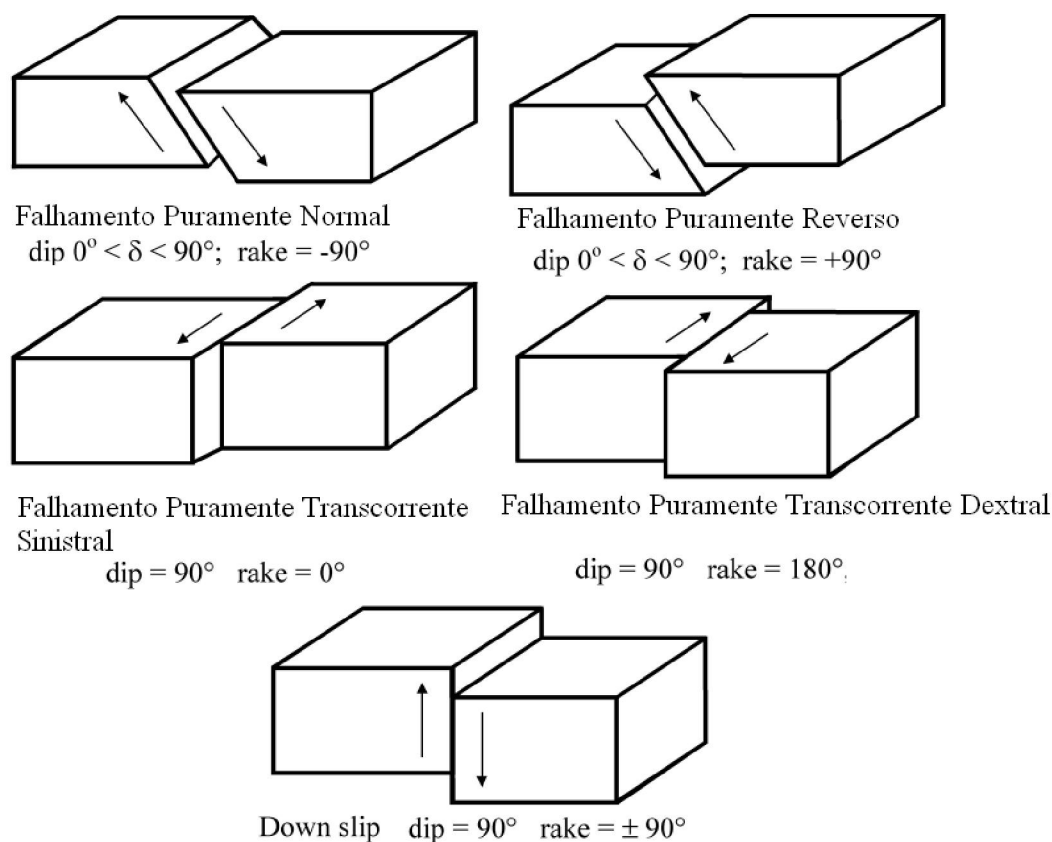


Fig. 4.4 – Tipos básicos de falhamento para alguns valores do *dip* e do *rake* (Modificada de Bormann, 2002).

O mecanismo focal é representado por um símbolo do tipo “bola de praia” em uma rede de projeções (fig. 4.5; rede de Wuff ou rede de Schmidt de área igual), onde é possível perceber qual o tipo de falhamento ocorrido (normal, reverso, transcorrente ou combinações destes).

Em sismologia, o problema de encontrar estes parâmetros é um problema inverso, ou seja, a partir do conhecimento do primeiro movimento da onda P, nos sismogramas, tentamos determinar os parâmetros de falha, os quais são responsáveis pelo padrão de polaridades. Para isto adotamos um modelo de forças atuantes na fonte sísmica de duplo binário sem momento (Honda, 1957, *apud* Kasahara, 1981) que pode ser entendido como uma superposição de dois binários simples ortogonais. Como consequência deste modelo, temos um problema ambíguo, existindo dois planos nodais capazes de reproduzir o mesmo padrão de polaridades (fig. 4.5).

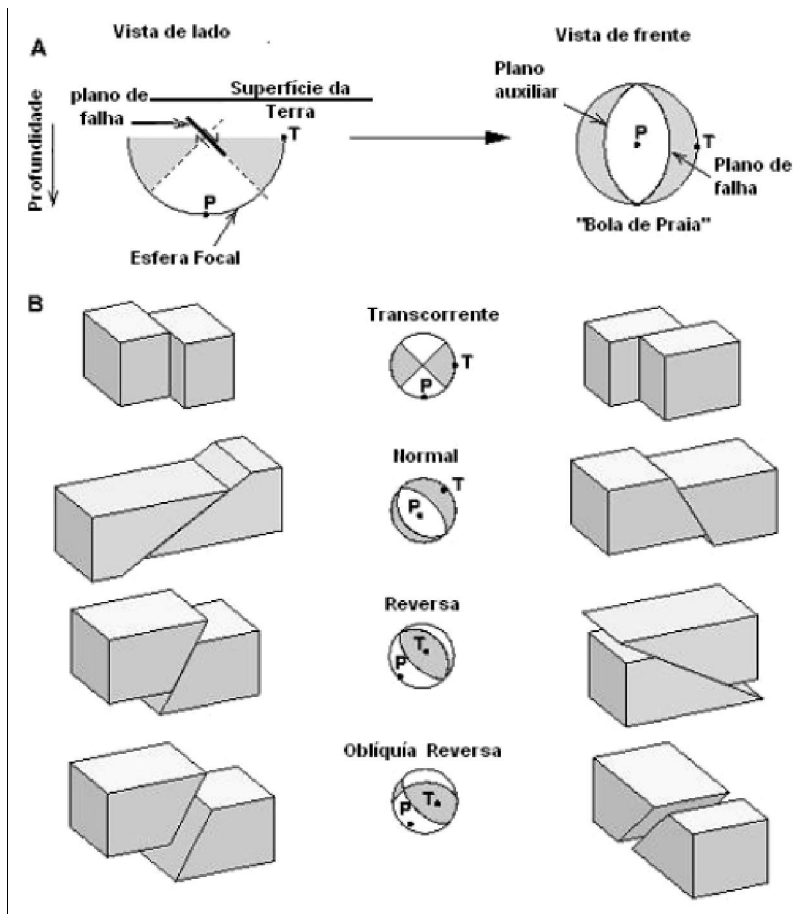


Fig. 4.5 – Diagrama esquemático dos mecanismos focais e os dois tipos possíveis de movimento, gerando ambigüidade. “Retirada” e Modificada de: <http://www.usgs.gov/>

Esta ambigüidade pode ser solucionada se existe conhecimento da distribuição hipocentral. Isto pode ser obtido construindo um mapa de projeções. Na próxima seção, será mostrado este mapa, o qual servirá como suplemento para a construção dos mecanismos focais.

4.3 – MÉTODO UTILIZADO

Na presente dissertação foi utilizado o método que considera as polaridades das ondas P, registradas na rede SB. Para isto, foi utilizado o programa FPFIT. Somente polaridades claras da onda P (peso 0) foram utilizadas na determinação do mecanismo focal.

4.3.1 – O PROGRAMA FPFIT

O programa FPFIT (Reasenberg & Oppenheimer, 1985) determina mecanismos focais a partir do primeiro movimento da onda P, considerando como padrão de irradiação um modelo de duplo binário sem momento, permitindo calcular os parâmetros de falha, citados na seção anterior. Este programa calcula tanto o mecanismo de um sismo, como o de um conjunto de sismos.

O programa FPFIT busca numa malha a solução que minimiza as discrepâncias entre o modelo teórico e o observado para as polaridades do primeiro movimento da onda P, segundo o seguinte funcional das discrepâncias (misfit):

$$4.1 \quad \mathbf{F}^i = \frac{\sum_{\mathbf{k}} (|\mathbf{P}_0^{\mathbf{k}} - \mathbf{P}_t^{i,\mathbf{k}}| \mathbf{W}_0^{\mathbf{k}} \mathbf{W}_t^{i,\mathbf{k}})}{\sum_{\mathbf{k}} (\mathbf{W}_0^{\mathbf{k}} \mathbf{W}_t^{i,\mathbf{k}})}$$

para cada evento inicial E^j . F^i é o valor de discrepância para o modelo inicial. O programa compara a polaridade observada na k -ésima estação, calculada para um conjunto de modelos M^j . $P_0^{j,k}$ e $P_t^{i,k}$ são, respectivamente, as polaridades observadas e a teóricas do primeiro movimento da onda P. O peso atribuído á medida observacional é $W_0^{j,k}$, enquanto $W_t^{i,k} = [A(i,k)]^{1/2}$ é a raiz quadrada da amplitude teórica normalizada na k -ésima estação, para um modelo M^i . Esta ponderação tem objetivo atribuir um peso menor as observações próximas ao plano nodal, com a intenção de minimizar as discrepâncias nesta área.

Para utilizar o programa FPFIT são necessários os seguintes dados:

- 1) Polaridade da primeira fase da onda P;
- 2) Azimute da estação, em relação ao epicentro;
- 3) Ângulo de saída do raio do foco;
- 4) Peso atribuído na marcação da onda P.

O programa considera que os ângulos de incidência e o modelo utilizado estão corretos e que a determinação hipocentral é precisa. Para se obter uma boa solução é necessário ter um grande número de polaridades bem distribuídas na rede estereográfica. No caso do

cálculo de um mecanismo focal composto, alguns fatores podem não permitir uma boa solução, pois nem todos os sismos têm o mesmo mecanismo e nem sempre a zona sísmica ativa é extensa.

4.4 - RESULTADOS OBTIDOS

4.4.1 - SELEÇÃO DE DADOS MAIS CONFIÁVEIS

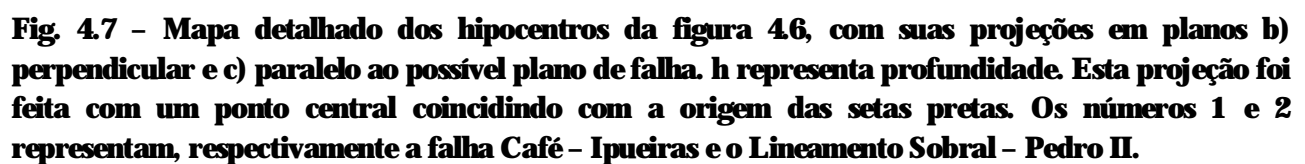
Com o objetivo de obter uma melhor visualização da distribuição epicentral e uma maior confiabilidade para a determinação dos parâmetros de falhamento, a partir dos hipocentros, foram realizadas algumas filtragens no conjunto de 46 sismos obtido para o modelo de velocidades (Capítulo 3), com os seguintes critérios: NO = 10, RMS = 0.03s, ERH = 0.1km; ERZ = 0.2km e GAP = 180°. Segundo Lee & Lahr (1975), uma localização precisa para as estações, dever ser da ordem de ± 0.1 km. Além disto, o GAP é uma ferramenta fundamental, pois através dele podemos saber se um sismo está dentro da rede (GAP < 180°) ou fora da rede (GAP > 180°). Realizando isto, foram obtidos 24 sismos, listados na tabela 4.1, com seus epicentros mostrados na figura 4.6. Estes sismos foram selecionados para determinar os parâmetros de falhamento.

| DATA | ORIGEM | LAT S | LON W | PROF(Km) | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM | NSS |
|--------|--------|-------|----------|----------|-------|-----|------|-----|------|-----|-----|-------|
| 080730 | 2304 | 17.75 | 03-37.33 | 40-30.63 | 05.27 | 10 | 112 | 1.8 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 1 |
| 080730 | 2306 | 52.57 | 03-37.41 | 40-29.78 | 04.40 | 12 | 99 | 2.3 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 2 |
| 080801 | 452 | 39.17 | 03-37.30 | 40-30.66 | 05.67 | 14 | 105 | 1.8 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | B1 3 |
| 080805 | 316 | 50.54 | 03-38.30 | 40-29.41 | 05.26 | 14 | 100 | 1.1 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 4 |
| 080805 | 1248 | 07.95 | 03-38.34 | 40-29.39 | 05.33 | 13 | 105 | 1.1 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 5 |
| 080806 | 1829 | 40.63 | 03-37.29 | 40-30.23 | 04.40 | 12 | 103 | 2.6 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 6 |
| 080807 | 426 | 14.68 | 03-37.22 | 40-30.09 | 04.41 | 16 | 100 | 2.8 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 7 |
| 080807 | 950 | 17.85 | 03-37.31 | 40-29.42 | 05.88 | 12 | 86 | 2.0 | 0.01 | 0.1 | 0.1 | A1 8 |
| 080807 | 1958 | 09.52 | 03-37.50 | 40-30.89 | 05.60 | 14 | 92 | 1.4 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | B1 9 |
| 080808 | 544 | 07.35 | 03-37.30 | 40-30.48 | 05.57 | 16 | 102 | 2.1 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 10 |
| 080808 | 934 | 43.44 | 03-37.53 | 40-30.88 | 05.62 | 16 | 89 | 1.4 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | A1 11 |
| 080808 | 2012 | 14.77 | 03-37.29 | 40-30.37 | 05.06 | 16 | 101 | 2.3 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 12 |
| 080810 | 520 | 15.30 | 03-37.69 | 40-31.95 | 02.43 | 11 | 176 | 0.9 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 13 |
| 080812 | 1512 | 17.98 | 03-37.57 | 40-31.67 | 02.10 | 16 | 157 | 0.5 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 14 |
| 080813 | 348 | 16.12 | 03-37.87 | 40-29.51 | 07.85 | 11 | 116 | 1.4 | 0.01 | 0.1 | 0.1 | B1 15 |
| 080813 | 2213 | 27.39 | 03-37.27 | 40-31.17 | 01.32 | 13 | 114 | 0.8 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 16 |
| 080814 | 643 | 13.39 | 03-37.33 | 40-30.53 | 06.17 | 16 | 102 | 2.0 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 17 |
| 080814 | 1100 | 45.05 | 03-37.48 | 40-29.60 | 06.32 | 14 | 92 | 2.0 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 18 |
| 080814 | 1501 | 12.21 | 03-37.44 | 40-31.53 | 01.59 | 11 | 112 | 0.3 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | B1 19 |
| 080817 | 322 | 28.98 | 03-37.41 | 40-30.87 | 05.56 | 12 | 131 | 1.4 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 20 |
| 080820 | 846 | 34.08 | 03-37.36 | 40-31.32 | 01.34 | 10 | 154 | 0.6 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | B1 21 |
| 080820 | 1742 | 23.73 | 03-37.39 | 40-31.32 | 01.32 | 10 | 98 | 0.6 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 22 |
| 080822 | 1954 | 17.94 | 03-37.33 | 40-30.59 | 05.02 | 13 | 103 | 1.9 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 23 |
| 080825 | 508 | 29.13 | 03-37.41 | 40-30.73 | 05.53 | 12 | 99 | 1.7 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 24 |

Tab 4.1 – Tabela mostrando os 24 sismos selecionados para obter os parâmetros de falha, com os seguintes critérios: NO = 10, RMS = 0.03s, ERH = 0.1km; ERZ = 0.2km e GAP = 180°.

Os dados hipocentrais mostrados na figura 4.6 revelam uma falha sismogênica com predominância na direção E–W, com extensão aproximada de 6 km.

Informações sobre distribuições epicentrais e hipocentrais são importantes em sismologia, pois possibilitam uma interpretação mais precisa sobre possíveis falhas, ou



Como visto na figura 4.7 temos três estruturas de hipocentros, aparentemente, com mesma direção:

Grupo A: $1.1 \text{ km} < h < 3.4 \text{ km}$

Grupo B: $3.4 \text{ km} < h < 5.7 \text{ km}$

Grupo C: $5.7 \text{ km} < h < 7.8 \text{ km}$.

4.4.3 – PARÂMETROS DE FALHAMENTO E MECANISMOS FOCAIS

Na determinação dos parâmetros do plano de falha foi utilizado o programa PLAN (Sophia, 1989). O método usado por este programa procura encontrar um plano que melhor se ajusta às observações, utilizando como critério o método de mínimos quadrados, levando em consideração que a latitude, longitude e profundidade hipocentral são variáveis independentes, com o objetivo de minimizar as distâncias de cada hipocentro ao plano.

Para o conjunto de 24 sismos foram calculados os parâmetros de falha, usando o programa PLAN (tab. 4.2), e o mecanismo focal correspondente com o programa FPFIT (fig. 4.8). A direção do plano de falha, obtido com o programa PLAN (seção 4.4.2), foi fixada e utilizada no arquivo de entrada do programa FPFIT.

| PROGRAMA | <i>STRIKE</i> | <i>DIP</i> | <i>RAKE</i> |
|-----------------|----------------------|-------------------|--------------------|
| PLAN | 81° | 87° | X |
| FPFIT | 81° | 84°± 2 | 160°± 0° |

Tab. 4.2 – Resultados obtidos com os programas PLAN e FPFIT para todos os 24 sismos selecionados.

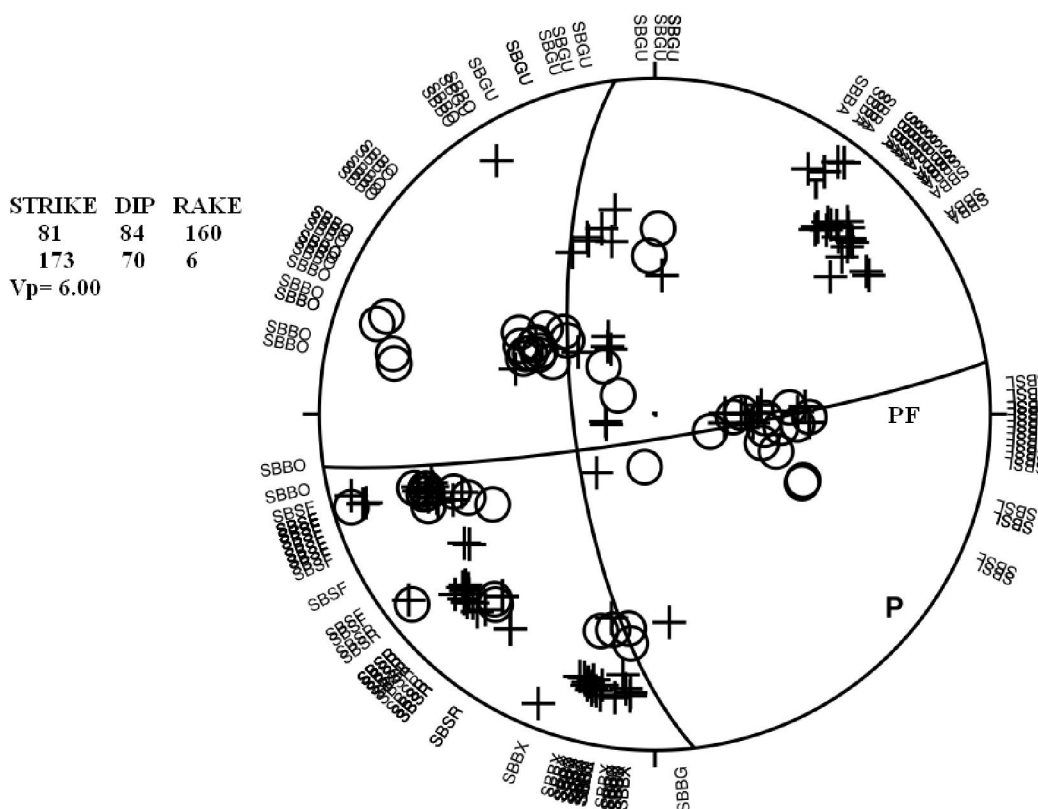


Fig. 4.8 – Mecanismo focal composto para o conjunto de 24 sismos utilizando o programa FPFIT. Hemisfério inferior, projeção de área igual. Cruzes e círculos representam, respectivamente, os eixos de compressão (P) e de extensão (T) e PF é o plano de falha, cuja direção foi obtida com o auxílio do programa PLAN.

Devido à grande discrepância de polaridades, dificultando a visualização e interpretação, foi proposta uma divisão do conjunto constituído dos 24 sismos selecionados, em três grupos principais, constituídos de sismos com profundidade (h) menor ($1.1 \text{ km} < h < 3.4 \text{ km}$, grupo A), com profundidade intermediária ($3.4 \text{ km} < h < 5.7 \text{ km}$, grupo B) e com sismos mais profundos ($5.7 \text{ km} < h < 7.8 \text{ km}$, grupo C).

Nas seções 4.4.1 e 4.4.2 foram mostradas as distribuições epicentrais e hipocentrais do conjunto com os 24 sismos, selecionados para calcular o mecanismo focal, e os diferentes aglomerados encontrados. Na figura 4.7, os 24 sismos, praticamente, possuem a mesma direção, com uma tendência a pertencer, geometricamente, ao mesmo plano de falha. Portanto, nos cálculos subsequentes, para todos os três conjuntos, será fixado o valor da

A figura 4.11 mostra um mecanismo focal transcorrente dextral.

4.4.4 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após várias e exaustivas filtragens nos dados obtidos pela rede sismográfica instalada em Sobral, foi possível obter uma estimativa da zona sísmica ativa, com profundidade variando entre 1 e 8 km e com aproximadamente 6 km de extensão, no plano horizontal, orientada na direção aproximada E-W.

As estações SBBO e SBSL estão localizadas, principalmente a SBSL, praticamente sobre os epicentros, o que possibilitou encontrar erros mínimos verticais e horizontais nas localizações dos sismos.

O mecanismo focal composto obtido para todos os 24 sismos possui grandes discrepâncias de polaridades, dificultando a visualização e interpretação. Então, foi proposta uma divisão em três conjuntos principais, constituídos de sismos mais rasos (grupo A), com profundidade intermediária (grupo B) e com sismos mais profundos (grupo C). Como praticamente todos os sismos possuíam a mesma direção, com uma tendência a pertencer, geometricamente, ao mesmo plano de falha (fig. 4.7), foi fixado o valor da direção do plano obtido com o programa PLAN (81°), tornando mais simples a interpretação dos mecanismos focais. Isto fortifica o fato que são necessárias informações sobre distribuições hipocentrais, para a visualização correta do mecanismo focal.

Os planos de falha dos três mecanismos focais obtidos e suas respectivas interpretações foram baseados na distribuição dos hipocentros. Os mecanismos focais obtidos para os três conjuntos foram do tipo transcorrente, com movimento dextral, fortificando o fato de que no Nordeste brasileiro este tipo de mecanismo predomina (Assumpção, 1992).

Os resultados deste capítulo mostram mais uma vez, que nem sempre é possível obter correlação entre sismicidade e falhas mapeadas. As maiores feições geológicas presentes na região, com as quais poderia haver algum tipo de correlação, são a falha Café – Ipueiras e o

Lineamento Sobral – Pedro II, mas a sismicidade não pode ser diretamente correlacionada com nenhuma das duas, conforme se pode ver na figura 4.7.

Para se estabelecer a correlação entre a atividade sísmica intraplaca e a geologia de uma dada área de estudo, é necessário um vasto conjunto de dados sismológicos, geológicos e geofísicos. Espera-se que novos dados geológicos e geofísicos provenientes de novos projetos, tais como o do INCT de Estudos Tectônicos, com certeza irão possibilitar, quando integrados, uma melhor explicação para a atividade sísmica aqui estudada.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Na presente dissertação, todos os resultados foram obtidos com os dados provenientes de uma rede sismográfica local constituída de estações digitais e instalada por técnicos do LabSis/UFRN, nas proximidades do município de Sobral. A rede operou com até 11 estações sismográficas, durante quatro meses, registrando cerca de 2820 sismos, e foram instaladas rodeando, por dentro e por fora a serra da Meruoca, a qual é constituída de vários desníveis altimétricos (entre 700 – 800 metros).

A extensa e exaustiva tarefa de obter dados com precisões aceitáveis, visando concluir os objetivos, foi árdua (visto que as estações estão distribuídas em vários níveis de altitude), sendo necessárias discussões, tentativas e observações externas. O modelo de semi-espaço infinito, homogêneo e isotrópico, adotado no presente trabalho devido a sua simplicidade e ampla utilização, tem sido usado com êxito na determinação hipocentral e epicentral de atividades sísmicas locais, espalhadas por quase todo o Nordeste do Brasil, possibilitando melhor conhecimento e percepção de estruturas de falhamento, reativação ou não de falhas, e na observação de padrões de sismicidade e suas implicações no perigo sísmico e evolução crustal.

Uma zona sísmica ativa com aproximadamente 6 km de extensão, variando entre 1 e 8 km de profundidade com direção aproximada E-W foi encontrada, não mostrando visualmente correlação com as principais falhas mapeadas na região: a falha Café-Ipueiras e o LTB, uma zona de cisalhamento dúctil Proterozóica, denotada na área estudada pelo Lineamento Sobral-Pedro II.

Os mapas epicentrais iniciais evidenciam várias distribuições na sismicidade. Por isso foi selecionado um conjunto de 24 sismos que continham parâmetros hipocentrais mais precisos, sendo dividido em três subconjuntos, com o objetivo de obter uma melhor visualização dos hipocentros e dos mecanismos focais. Com isto, foi possível obter resultados significativos, mostrando a predominância de mecanismos com falhamentos trancorrentes, sendo que este é o tipo de falhamento que predomina no Nordeste do Brasil (Ferreira *et al.*, 1998).

Reativações de zonas de cisalhamento dúcteis Proterozóicas são difíceis de documentar, devido à falta de evidências conclusivas. No entanto, Destro *et al.*, 1993 documentaram uma reativação do LTB, em torno de sua extremidade Nordeste, pela intensa deformação de um arenito do Devoniano por cerca de 30 km de extensão e 4 km de largura. Segundo o mesmo autor, a reativação pós-Devoniana do LTB, atualmente com movimento dextral, deu início a falhas frágeis que circundam o arenito.

Apesar do LTB (transcorrente dextral) e a falha Café-Ipueiras (falha normal, Cavalcante & Ferreira, 1983) controlarem a evolução de várias feições geológicas na região, não foi possível correlacionar uma possível reativação das referidas falhas com a sismicidade estudada. A reativação atual destas falhas ainda não está provada, embora tenha sido constatada atividade sísmica na região de Santana do Acaraú, onde foi instalada uma rede sismográfica local. A interpretação desses dados, bem como estudos neotectônicos poderão elucidar esta questão.

Como os dados foram obtidos com sismômetros tri-axiais, é possível encontrar mecanismos focais utilizando o programa FOCMEC (Snoke *et al.*, 1984), o qual utiliza no seu arquivo de entrada (input) a razão das amplitudes das ondas P e S, assim como a polarização da onda S, utilizando a razão SV/SH. Além disso, é possível realizar estudos de anisotropia sísmica na região estudada.

Devido ao problema das diferenças de altitude das estações, é possível e recomendável utilizar outros programas que levem estas em conta (por exemplo: HYPOELLIPSE, HYPOCENTER, etc), com o objetivo de aproveitar melhor os dados e obter resultados mais significativos e precisos, objetivando uma melhor elucidação da ocorrência da sismicidade ocorrida na região.

A atividade sísmica na região Noroeste do Ceará vem sendo registrada desde o século passado e ultimamente tem se manifestado de forma mais intensa e numerosa (Ferreira *et al.*, 1998; França *et al.*, 2004, presente trabalho). Juntando isto ao fato da região estudada estar localizada em ambiente com histórico de intensa atividade tectônica (DMC), seu risco sísmico não pode ser subestimado.

A sismicidade na região de Sobral continua até os dias atuais, mas com menos intensidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F.A.M., T. GAMA Jr., P.S.S. GORAYEB e Y. HASUI. 1988. O cinturão de cisalhamento Noroeste do Ceará. Anais 7º Cong. Latin-Amer. Geol. 1: 20-34.
- AKI, K., RICHARDS P. G. 1980. Quantitative Seismology: Theory and Methods, W. H. Freeman, San Francisco, CA.
- ALMEIDA, F.F.M., Y. HASUI, B.B.B. NEVES & R.A. FUCK. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. Earth Sci. Rev. 17: 20-34.
- ASSINE, M.L., SOARES, P.C. 2004. Quaternary of the Pantanal, West-Ceara Brazil. Quaternary Internacional. 114: 23-24
- ASSUMPÇÃO, M., FERREIRA, J.M., CARVALHO, J.M., BLUM, M.L., MENEZES, E.A., FONTENELE D & AIRES, A. 1989. Seismic activity in Palhano, CE, october 1988, preliminary results. Ver. Brás. Geof., 7: 11-17.
- ASSUMPÇÃO, M. 1992. The Regional intraplate stress field in South América. J. Geophys.Res., 97(B8): 11889-11903.
- ASSUMPÇÃO, M. 1993. Earthquakes and stresses in the Brazilian continental margins. Proc.III Intern.Congr.Braz.Geophys.Soc..2: 1128-1133.
- ASSUMPÇÃO, M. 1983. A regional magnitude scale for Brazil. Bull. Seism. Soc. Am.,73: 237-246.
- BERROCAL, J. ASSUMPÇÃO, M., ANTEZANA, R., DIAS NETO, C.M. ORTEGA, R., FRANÇA H. & VELOSO, J.A. 1984. Sismicidade no Brasil, IAG – USP.
- BEZERRA, F.H.R., FERREIRA, J.M., SOUSA, M.O.L. 2006. Review of Seismicity and Neogene Tectonics in Northeastern Brazil. Rev. Asoc. Geol. Argentina. 61 (4): 525-535.
- BEZERRA, F.H.R., TAKEYA, M.K., SOUSA, M.O.L., do NASCIMENTO, A.F. 2007. Coseismic reactivation of the Samambaia fault, Brazil. Tectonophysics 430: 27–39.
- BEZERRA, F.H.R., VITANFIZI, C. 2000. How Active is a Passive Margin? Paleoseismicity in Northeastern Brazil. Geology, Boulder, CO. 28: 591-594.

BIZZI L.A., VIDOTTI R.M. 2003. Condicionamento do Magmatismo pós-Gondwana. Geologia, Tectônica e Recurso Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Brasília. 355-361.

BORMANN, P., BAUMBACH, M., BOCK, G., GROSSER, H., CHOY, G.L AND BOATWRIGHT. 2002. Seismic Source and Source Parameters. **In** : IASPEI – New Manual of Seismological Observatory Practice. Vol 1.

BRITO NEVES, B.B., STIPP BASEI, M.A., dos SANTOS, E.J. 2003. Idades U-Pb em Zircão de Alguns Granitos Clássicos da Província Borborema. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo. 3: 25-38.

BULAND, R., CHAPMAN, C. H. 1983. The computation of seismic travel times, Bull. Seism. Soc. Am. **73**: 1271 – 1302.

CABY, R. 1989. Precambrian terrane of Benin – Nigeria and northeast Brazil and Proterozoic Atlantic fit barks. Geological Soc. Of America, Special paper. 145-158.

CABY, R., ARTHAUD, M.H., ARCHANJO, C.J. 1995. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in Brasiliano Belt of Northeast Brasil: geodynamic implications. Journal of South American Earth Sciences. 8: 235-246

CARVALHO, J.M.; LINS, F.A.P.L., ALVES DA SILVA, F.C., JARDIM DE SÁ, E.F. 2001. Geometria do corpo de arenito ao longo do Lineamento Sobral-Pedro II: Implicações para a deformação na margem continental NW do Ceará. 1º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Natal, RN.

CARVALHO, J.M., 2003 – Estruturação do grupo serra grande na região de Santana do Acaraú (CE) e reativação do Lineamento Sobral-Pedro II: Integração com dados Geofísicos. Dissertação de mestrado. PPGG/UFRN. 61pp.

CAVALCANTI, J. FERREIRA, C.A. 1983. Mapa Geológico do Estado do Ceará. Scale 1:500.000, MME/CPRM - Brasília.

CHARMICHAEL, R.S. 1982. Handbook of Physical Properties of Rocks, vol. II. CRS Press, 345 pp.

CORDANI, U.G., SATO, K. 1999. Crustal Evolution of the South American Platform, Based on Nd Isotopic Systematics on Granitoid Rocks. Episodes 22 (3): 167-173.

COSTA, M.J., FRANÇA, J.B., BACCHIEGGA, I.F., HABEKOST, C.R., CRUZ, W.B. da. 1973. Geologia da Bacia Jaibaras; Ceará, Piauí e Maranhão. Projeto Jaibaras. DNPM/CPRM. Relatório Final (5 volumes).

CPRM. 1998. “Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento de Água Subterrânea no Estado do Ceará”.

CUNHA, F.S.S. 2007. Condicionamento estrutural das zonas de cisalhamento da região de Forquilha, Domínio Ceará Central: Uma abordagem de sensoriamento remoto e geologia estrutural. Tese de Doutorado n° 17. PPGG/UFRN. 151pp

DESTRO, N., SZATMARI, P., LADEIRA, E.A. 1994. Post-Devonian Transpressional Reactivation of a Proterozoic Ductile Shear Zone in Ceará, NE Brazil. Journal of Structural Geology. 147: 315-331.

do NASCIMENTO, A .F. 1997. Estudo da sismicidade induzida pelo reservatório da Barragem do Assu (RN) - Dissertação de mestrado n° 01 - PPGG/UFRN. 68 pp.

DNPM, 1973. Projeto Jaibaras. 1:100.000. DNPM, Brasil.

EATON, J. P. 1969. HYPOLAYR, a computer program for determining hypocenters of local earthquakes in an earth consisting of uniform flat layers over a half space. Ged. Surr Open-File Report. (U.S.) 155.

FENG, M., ASSUMPÇÃO, M., VAN DER LEE, S. 2004 - Group-Velocity Tomography and Lithospheric S-Velocity of South American Continent. Physics of the Earth and Planetary Interiors. 147: 315-331.

FERREIRA, J.M. & ASSUMPÇÃO, M. 1983. Sismicidade do Nordeste do Brasil. Rev Brás. Geofís, 1: 67-88.

FERREIRA, J.M., ASSUMPÇÃO, M., COSTA, J.M., MOREIRA, J.A.M., PEARCE, R.G. & TAKEYA, M.K. 1995. Correlation of seismicity and water level in the Açú reservoir - an example from Northeast Brazil. Bull. Seism.Soc, Am. 85: 1483-1489.

FERREIRA, J.M. 1997. Sismicidade e Esforços no Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado, IAG/USP.

FERREIRA, J.M., OLIVEIRA, R.T., TAKEYA, M.K. & ASSUMPÇÃO, M. 1998. Superposition of local and regional stress in northeast Brazil: evidence from focal mechanism around the Potiguar marginal basin. Geophys. J. Int., 134: 341-355.

FERREIRA, J.M., BEZERRA, F.H.R., SÁ, J.M. & OLIVEIRA, R.T. 2003. Reativação sísmica do Lineamento Pernambuco na região de Caruaru, Nordeste do Brasil. IX Simpósio Nacional de Estudos tectônicos, Búzios-RJ, Boletim de resumos. 280-283.

FERREIRA, J.M., BEZERRA, F.H.R., SOUZA, M.O.L., do NASCIMENTO, A.F. MARTINS SÁ, J., FRANÇA, G.S. 2008. The role of precambrian mylonitic na present day stress field in the coseismic reactivation of the Pernambuco Lineament, Brazil. Tectonophysics. 456:11-126.

FRANÇA, G. S.L. A., 1999. Estudo sísmico no Açude Tucunduba, Senador Sá, CE – Tese de mestrado, PPGG/UFRN.

FRANÇA, G.S., FERREIRA, J.M., TAKEYA, M.K. 2004. Seismic Activity in Senador Sá – CE, Brazil, 1997-1998. Rev. Brás. Geofís. 22(2): 115-125.

GEOTECH INSTRUMENTS, LLC. 2003. SeisPlus v2.2. Interactive Seismological Data Processing Package. Dallas, 66 pp.

GORAYEB, P.S.S., ABREU, F.A.M., CORREA, J.A.M., & MOURA, C.A.V. 1988. Relações Estratigráficas entre o Granito Meruoca e a Sequência Ubajara-Jaibaras. Proceeding of the 35th Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. 6: 2678-2688.

HONDA, H. 1957. The mechanism of earthquake. Tohoku Univ. Sci. Rep. Ser.5.Geophys., 9, suppl. 1-46.

KASAHARA, K. 1981. Earthquake mechanics. Cambridge Earth Siences Series. Cambridge University Press, 248 pp.

KISSSLINGER, C. & ENGDAHL, E.R. 1973. The interpretation of the Wadati diagrm with relaxed assumptions.Bull.Seism.Soc.Am. 63: 1723-1736.

KLEIN, F. W. 1978. Hypocenter location program- HYPOINVERSE. U.S. Geol. Surv.Open-file Report. 78-694.

JARDIM DE SÁ, E.F. 1994. A faixa seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese de doutoramento. IG/UnB. 862pp.

JOHNSTON, A.C. 1989. The seismicity of ‘stable continental interiors’ **In:** Earthquakes at North Atlantic passive Margins: Neotectonics and Post-Glacial Rebound. S. Gregersen & P.W. Basham (eds.), Kluwer, Dordrecht. 299-327.

KLEIN, F.W. 1978. Hypocenter Location Program - HYPOINVERSE. U.S.G.S. Open File Report. 78-694.

LAHR, J.C. 1979. HYPOELIPSE: A computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern. U.S. Geol. Surv. Open File Report. 79-431.

LAHR, J. C., SNOKE J. A. 2001. The HYPOELLIPSE earthquake location program, in Lee, W. H. K., H. Kanamori, P. C. Jennings, and C. Kisslinger (editors), IASPEI Centennial International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Academic Press, San Diego (in press).

LAHR, J.C., SNOKE J. A. 2001. Locating Earthquake: At What Distance Can the Earth No Longer Be Treated as Flat?. Seismological Research Letters Volume 72, Number 5 September/October 2001

LEE, W.H.K. & LAHR, J.C. 1975. HYPO71 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. U.S. Geol. Surv. Open File Rep. 75-311, 114 pp.

LEE, W.H.K., DODGE D.A. 1992. A course on: PC-based seismic networks. 207 pp.

LEE, W.H.K, STEWART, S.W. 1981. Principles and Applications of Microearthquake Networks. Academic Press, Inc (London), LTD.

LIERNET, B. R., BERG, E., FRAZER L.N. 1986. HYPOCENTER: An Earthquake Location Method Using Centered, Scaled, and Adaptively Damped Least Squares, Bull. Seism. Soc. Am. 76: 771-783.

LIMA, E. C. 1999. A Serra da Meruoca. Revista da Casa da Geografia, Sobral, 05 mar.

LIMA NETO, H.C. 2008. Estudo da atividade sísmica de São Caetano - PE em 2007. Dissertação de Mestrado, PPGG/UFRN. 127pp.

LOPES, A. E. V, ASSUMPÇÃO, M., do NASCIMENTO, A. F., FERREIRA, J.M, MENEZES, E. A. S., BARBOSA, J.R. 2010. Intraplate earthquakes in Belo Jardim, NE Brazil: reactivation of a major Neoproterozoic shear zone (Pernambuco Linement). Geophysics Journal International. 1:1-10.

MIRANDA, J.M., LUIS, J.F., COSTA, P.T., SANTOS, F.M. 2007. Fundamentos de Geofísica (Revised). Universidade de Lisboa. Capítulo 2, 17-64.

OLIVEIRA, D.C., MOHRIAK, W.U. 2003. Jaibaras Trough: Na Important Element in the Early Tectonic evolution of the Parnaíba Interior Sag Basin, Northern Brazil. *Marine and Petroleum geology*. 20: 351-283

OLIVEIRA, R.T., TAKEYA, M.K., FERREIRA, J.M., ASSUMPÇÃO, M. & PEARCE R.G. 1994. Eight years of continuous seismic activity near João Câmara NE Brazil. *Regional Seismological Assembly in South America, Brasília 22-26 de agosto*, Abstracts: 17.

PEULVAST, J.P., CLAUDINO-SALES, V. 2004. La Bande Côtière de l'état du Ceará, Nord-est du Brasil: Presentation Geomorphologique. Fortaleza: UFC, Mercator, ano 3, n. 5.

PEULVAST, J.P., CLAUDINO-SALES, V. 2007. Evolução Morfoestrutural do Relevo da Margem Continental do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. *Caminhos da geografia, Uberlândia, MG*. 7 (20):1-21.

RBGf - Boletim Sísmico. *Revista Brasileira de Geofísica*. 1992 - 2010.

REASENBERG, P.A. 1992. Focal Mechanism : Theory and History. In *A Course on: pc-based seismic networks*. U.S. Geological Survey. Lee, W. H. K. And Dodges, D. A.

REASENBERG, P. & D. OPPENHEIMER. 1985. FPFIT, FPLOT and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions. *U.S. Geol. Surv. Open File Rep.* 85-739, 109pp.

SAADI, A. 1993. Neotectônica da Plataforma Brasileira: Esboço e Interpretação Preliminares. *Geonomos, Belo Horizonte*. 1(1): 1-15.

SANTOS, T.J.S., NOGUEIRA NETO, J.A.FETTER, A.H, HACKSPACHER, P.C. 2001. Petrografia e Litogeoquímica das Rochas do Embasamento Cristalino da região de Granja - CE. *Revista de Geologia (UFC)*. 14: 33-48.

SANTOS, T.J.S., FETTER, A.H, HACKSPACHER, P.C., NOGUEIRA NETO, J.A. 2008. Neoproterozoic Tectonic and Magmatic Episodes in the NW Sector of Borborema Province, NE Brazil, During Assembly of Western Gondwana. *Journal of American earth Sciences*. 25: 271-284.

SIAL, A.N., LONG, L.E., FIGUEIREDO, M.H. 1981. Rare Earth Element Geochemistry of the Meruoca and Mucambo Plutons, Ceara, Northeast Brazil. *Chemical Geology*. 31: 271-283.

SNOKE, J.A., MUNSEY, J.W., TEAGUE, A.G., BOLLINGER, G.A. 1984. A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. *Earthquake Notes*. 55(3): 15pp.

SOPHIA, C.M. 1989. A reativação sísmica de João Câmara, RN, de janeiro – fevereiro de 1987. Dissertação de mestrado. IAG/USP, 90pp.

SYKES, L. & SBAR, M. L. 1973. Intraplate earthquakes, lithospheric stress and the driving mechanism of Plate Tectonics. *Nature*, 245: 298-302.

SYKES, L.R. 1978. Intraplate seismicity, reactivation of preexisting zones of weakness alkaline magmatism, and other tectonism postdating continental fragmentation. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 16: 621-688.

TAKEYA, M.K., FERREIRA, J.M., PEARCE, R.P., ASSUMPÇÃO, M., COSTA, J.M. & SOPHIA C.M. 1989. The 1986-1987 intraplate earthquakes sequence near João Câmara, northeast Brazil - evolution of seismicity. *Tectonophysics*, 167: 117-131.

TAPLEY W.C. & J.E. TULL. 1991. SAC - Seismic Analysis Code, USER MANUAL, Livermore National Laboratory, 413 pp.

VILAR, C.S. 2000. Estudo da atividade sísmica em Cascavel-CE com estações sismográficas digitais, PPGG/UFRN, 73 pp.

VILAR, C. S., FERREIRA, J. M., FRANCA, G. S. 2005. Monitoramento da Atividade Sísmica no Estado do Rio Grande do Norte. *Revista Fapern, Brasil*. 1(2): 24-25.

VILAR, C.S., LIMA NETO, H.C., FERREIRA, J.M. & do NASCIMENTO, A.F. 2007. Monitoramento da atividade sísmica no Nordeste do Brasil com a estação RCBR. 10th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil.

WESSEL, P., SMITH, W.H.F. 1991. Free software helps maps and displays data: EOS Trans. AGU. 72(441): 445-446.

APÊNDICE A

**SISMOGRAMAS DE TRÊS SISMOS, REGISTRADOS COMO EVENTOS EM
5 ESTAÇÕES, OCORRIDOS EM MENOS DE UM MINUTO.**

NOTA EXPLICATIVA

c1p ou V - Componente Vertical

c2p ou N/S - Componente Norte-Sul

c3p ou E/W- Componente Leste-Oeste

MUMBA - Estação SBMU

SLUI - Estação SBSL

SROS - Estação SBSR

SFRA - Estação SBSF

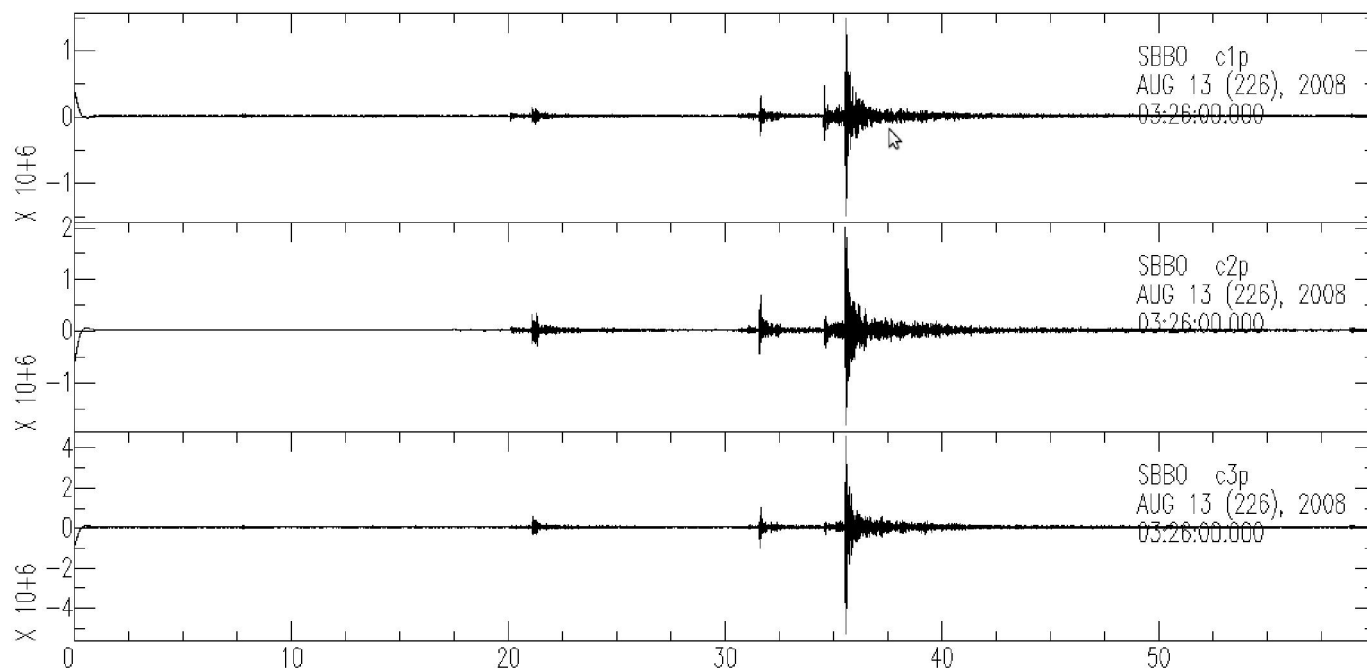


Fig. A.1- três eventos registrados na estação SBBO.

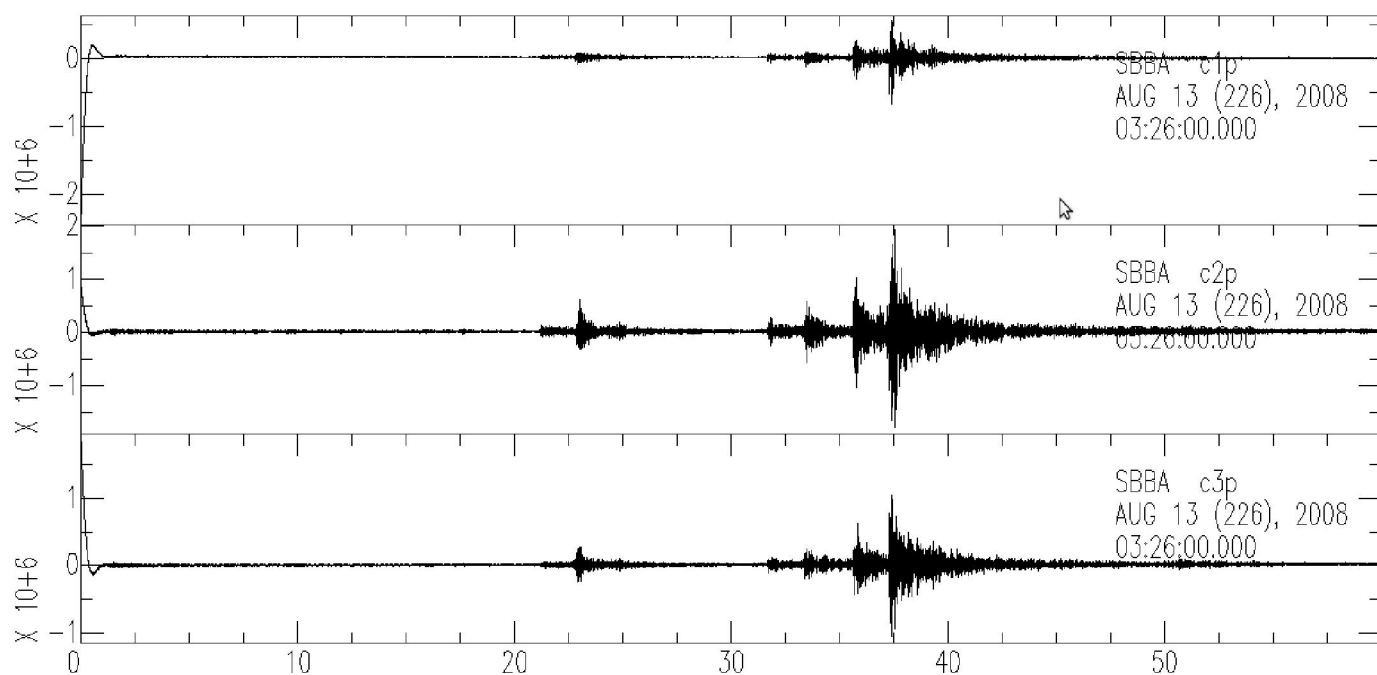


Fig. A.2 – três eventos registrados na estação SBBA.

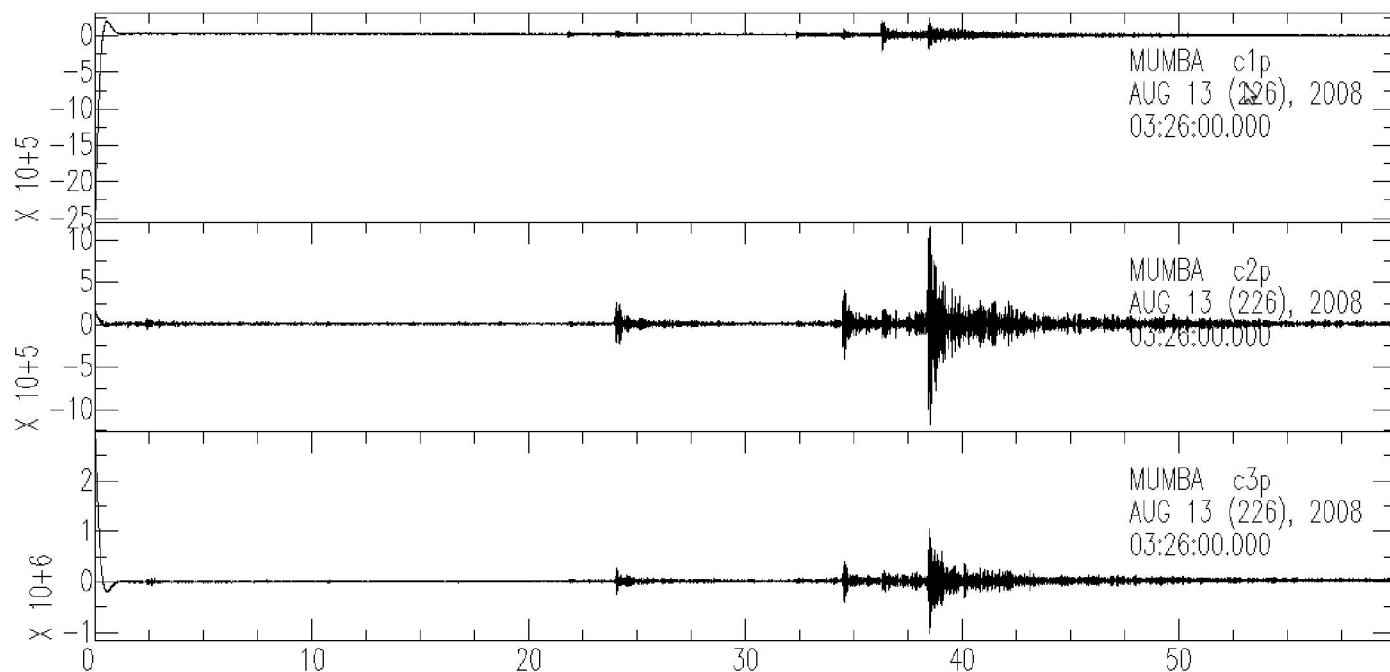


Fig. A.3 – três eventos registrados na estação SBMU.

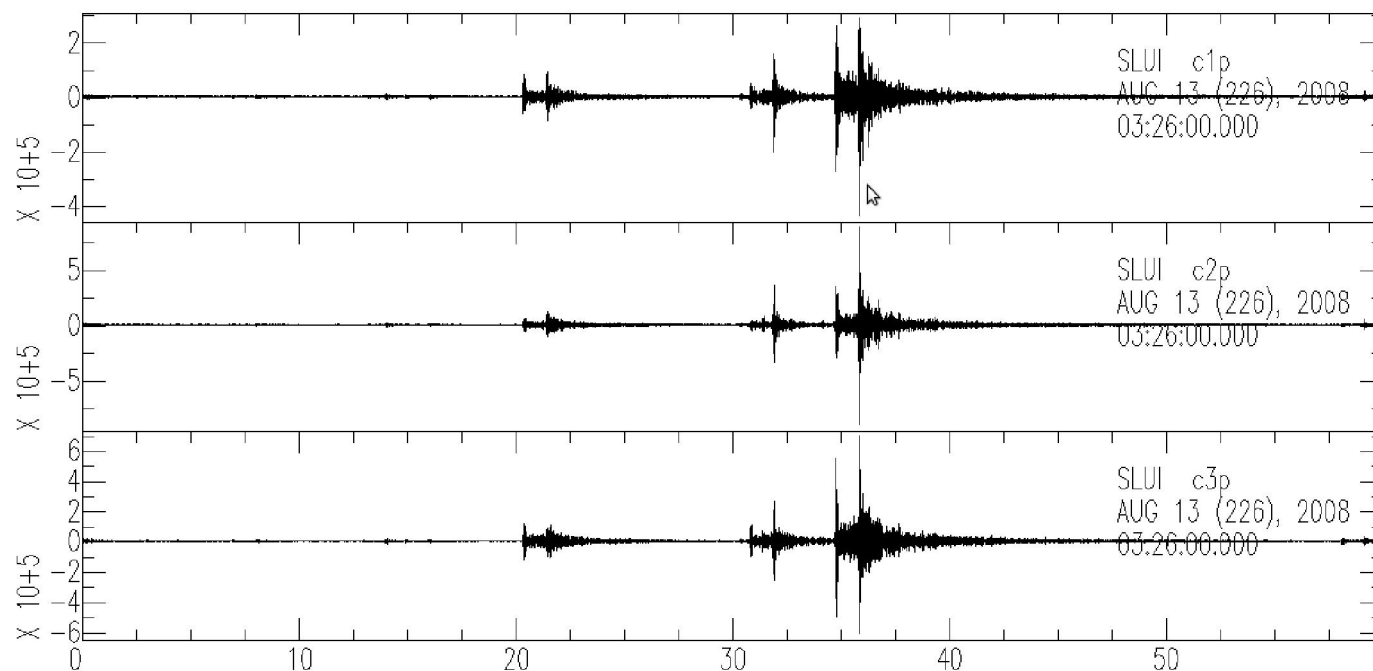


Fig. A.4 – três eventos registrados na estação SBSL.

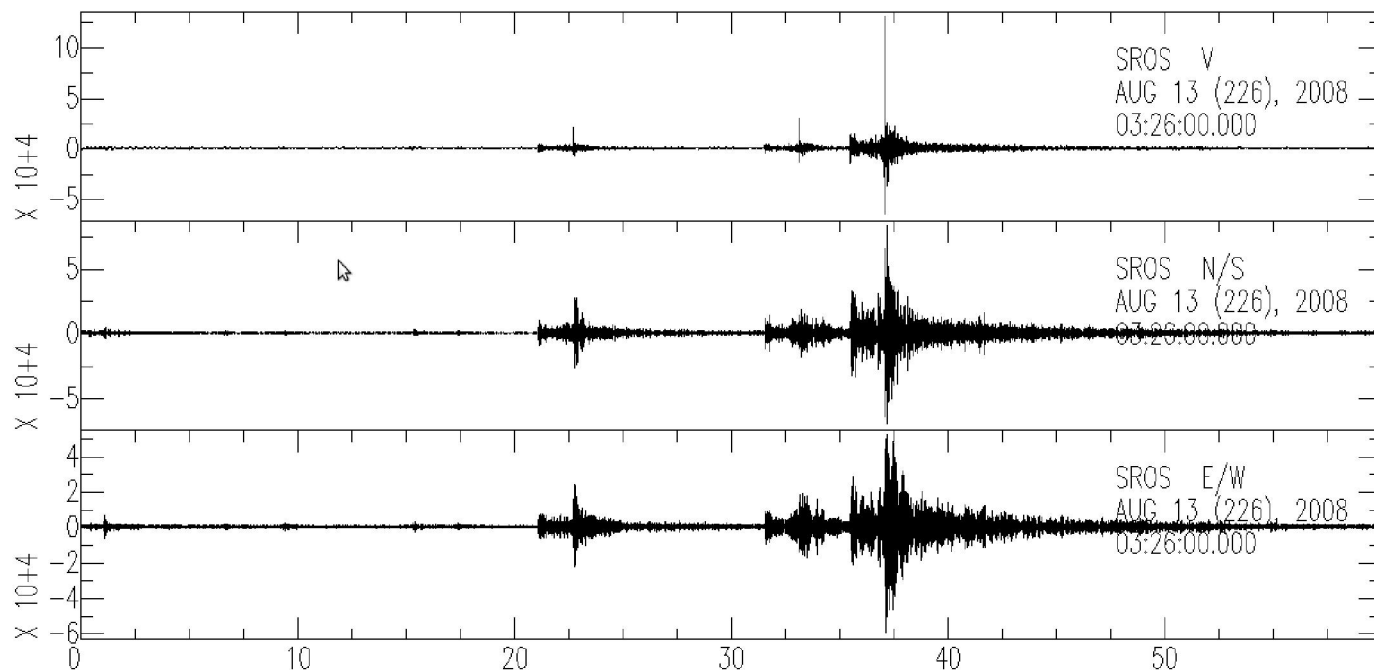


Fig. A.5 – três eventos registrados na estação SBSR.

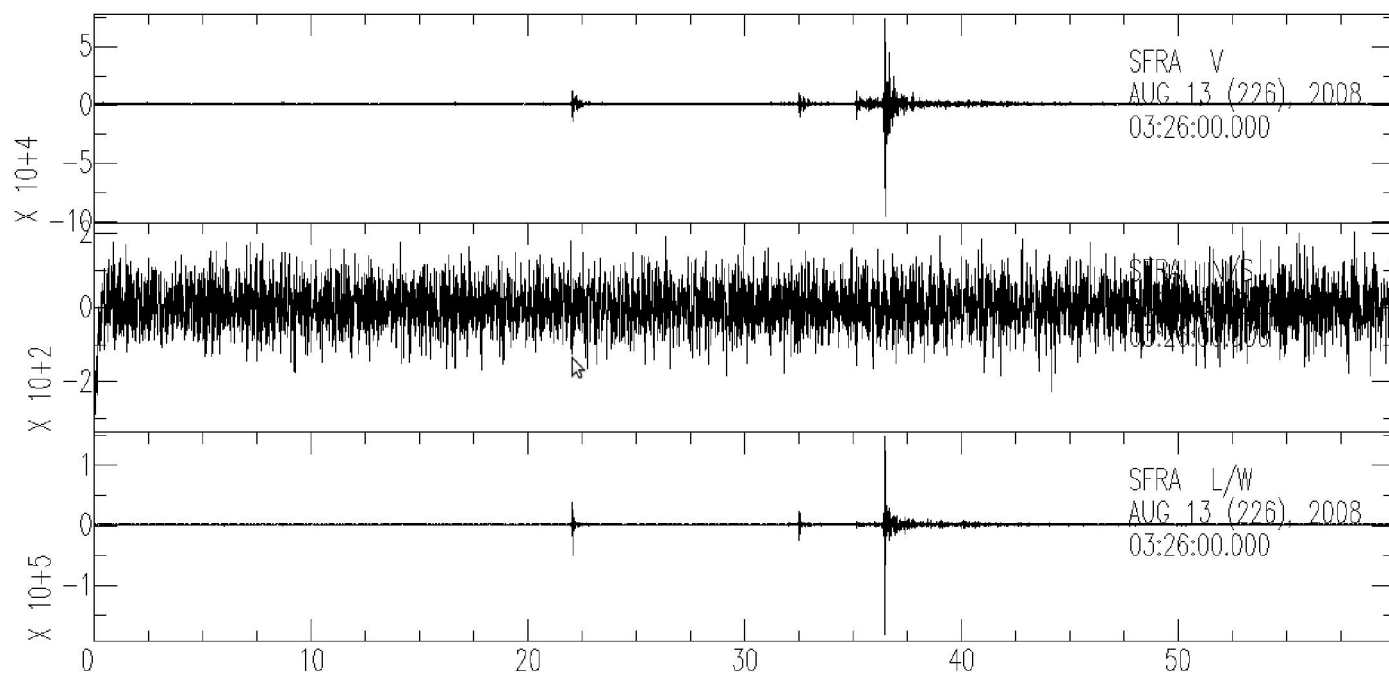


Fig. A.6 – três sismos ocorridos em menos de um minuto, registrado na estação SBSF, na forma de contínuo.

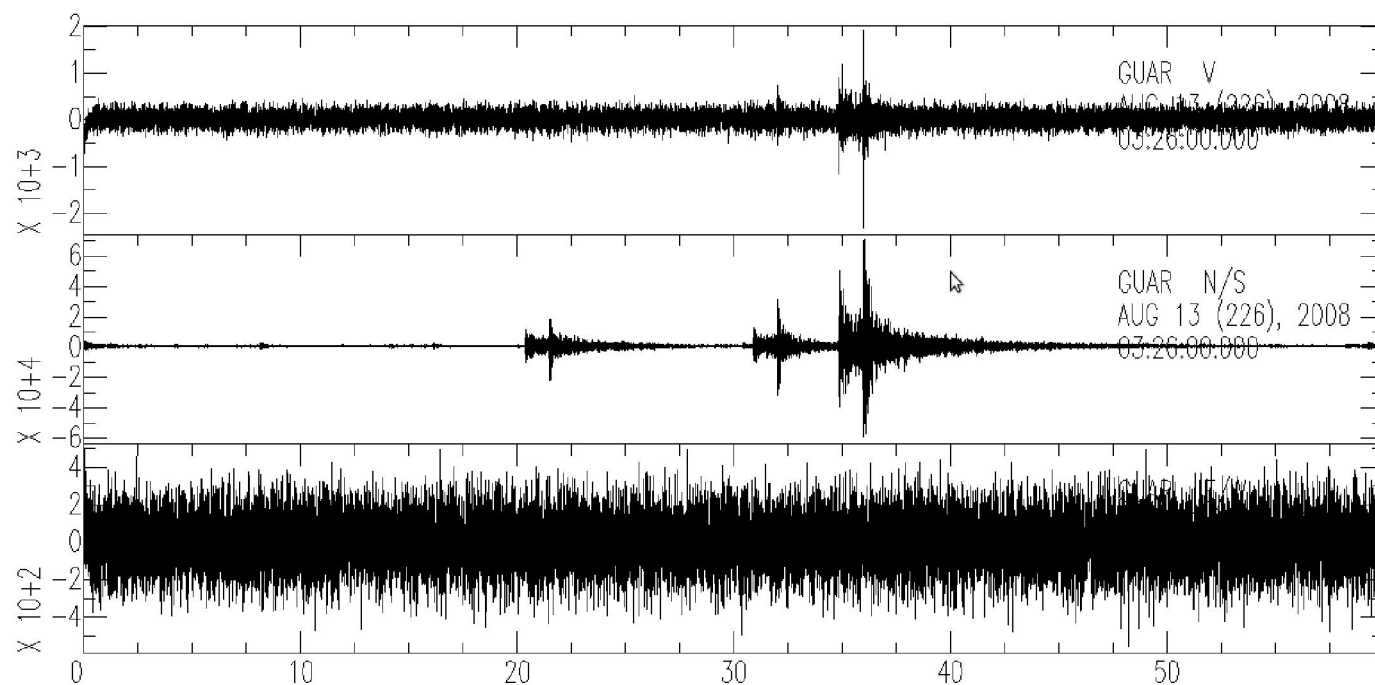


Fig. A.7 – três sismos ocorridos em menos de um minuto, registrado na estação SBGU, na forma de contínuo.

APÊNDICE B

MÉTODO DE MÍNIMOS QUADRADOS

Este apêndice tem como objetivo mostrar como é realizado o método de mínimos quadrados, devido a sua importância e ampla utilização neste trabalho.

Em 1809, Carl Friedrich Gauss (1777-1855) publicou um artigo demonstrando que a melhor maneira de determinar um parâmetro desconhecido de uma equação de condições é minimizando a soma dos quadrados dos resíduos, mais tarde chamado de Mínimos Quadrados por Adrien-Marie Legendre (1752-1833).

O Método dos Mínimos Quadrados é uma técnica de otimização matemática que procura encontrar o melhor ajuste (fig. B.1), para um conjunto de dados, tentando minimizar a soma dos quadrados dos resíduos (r_i 's), os quais são definidos, em Geofísica, como as diferenças entre as medidas dos dados observados e os previstos.

$$S \equiv \sum_{i=1}^N r_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i^o - y_i)^2$$

onde y_i^o são os valores observados de y e y_i os valores previstos para a medida y .

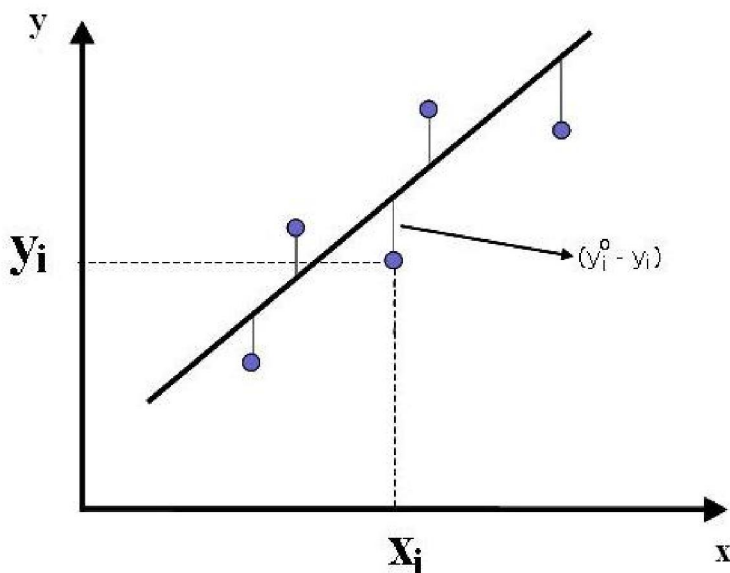


Fig. B.1 – Ilustração do processo de mínimos quadrados. O resíduo é definido como $r_i = y_i^o - y_i$.

APLICAÇÃO A GEOFÍSICA

Se N medidas são executadas em um experimento particular, por exemplo, podemos considerar essas medidas como os elementos de um vetor \mathbf{d} de comprimento N .

$$\text{B.1} \quad \mathbf{d} = [\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \mathbf{d}_4, L, \mathbf{d}_N]^T$$

Analogamente, os parâmetros do modelo podem ser representados como os termos de um vetor \mathbf{m} , de comprimento M , representados por:

$$\text{B.2} \quad \mathbf{m} = [\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \mathbf{m}_4, L, \mathbf{m}_M]^T$$

onde o sobrescrito T denota a transposta.

Em um problema inverso o modelo de parâmetros e os dados estão, de algum modo, relacionados. Esta relação é chamada de modelo. Se a relação entre estes dois é linear, temos:

$$\text{B.3} \quad \mathbf{d} = \mathbf{Gm}$$

Então podemos aplicar os mínimos quadrados ao problema inverso linear de maneira direta. Primeiro calcula-se a derivada do erro E , em relação ao modelo de parâmetros \mathbf{m}_q . Como devemos minimizar E , derivamos seu valor e igualamos o seu resultado a zero. O erro E é definido como:

$$\begin{aligned} \text{B.4} \quad \mathbf{E} &= \mathbf{e}^T \mathbf{e} = (\mathbf{d} - \mathbf{Gm})^T (\mathbf{d} - \mathbf{Gm}) = \\ &= \sum_i^N \left[\mathbf{d}_i - \sum_j^M \mathbf{G}_{ij} \mathbf{m}_j \right] \left[\mathbf{d}_i - \sum_k^M \mathbf{G}_{ik} \mathbf{m}_k \right] \\ \mathbf{E} &= \sum_j^M \sum_k^M \mathbf{m}_j \mathbf{m}_k \sum_i^N \mathbf{G}_{ij} \mathbf{G}_{ik} - 2 \sum_j^M \mathbf{m}_j \sum_i^N \mathbf{G}_{ij} \mathbf{d}_i + \sum_i^N \mathbf{d}_i \mathbf{d}_i \end{aligned}$$

Agora derivamos a eq. B.4 ($\partial \mathbf{E} / \partial \mathbf{m}_q$).

Para o primeiro termo, as derivadas da forma $\frac{\partial \mathbf{m}_i}{\partial \mathbf{m}_j}$ representam os deltas de Kronercker δ_{ij} . Logo, m_i e m_j são variáveis independentes e suas derivadas são nulas (exceto quando $i=j$).

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \mathbf{m}_q} \left[\sum_j^M \sum_k^M \mathbf{m}_j \mathbf{m}_k \sum_i^N \mathbf{G}_{ij} \mathbf{G}_{ik} \right] = \\ \sum_j^M \sum_k^M [\delta_{jq} \mathbf{m}_k + \mathbf{m}_j \delta_{kq}] \sum_i^N \mathbf{G}_{ij} \mathbf{G}_{ik} = 2 \sum_k^M \mathbf{m}_k \sum_i^N \mathbf{G}_{iq} \mathbf{G}_{ik} \end{aligned}$$

Para o segundo termo:

$$-2 \frac{\partial}{\partial \mathbf{m}_q} \left[\sum_j^M \mathbf{m}_j \sum_i^N \mathbf{G}_{ij} \mathbf{d}_i \right] = -2 \sum_j^M \delta_{jq} \sum_i^N \mathbf{G}_{ij} \mathbf{d}_i = -2 \sum_i^N \mathbf{G}_{iq} \mathbf{d}_i$$

Para o terceiro termo, temos:

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{m}_q} \left[\sum_i^N \mathbf{d}_i \mathbf{d}_i \right] = 0$$

Combinando estes três resultados, temos que:

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial \mathbf{m}_q} = 2 \sum_k^M \mathbf{m}_k \sum_i^N \mathbf{G}_{iq} \mathbf{G}_{ik} - 2 \sum_i^N \mathbf{G}_{iq} \mathbf{d}_i = 0$$

Escrevendo esta equação em notação matricial, teremos:

$$\text{B.5} \quad \mathbf{G}^T \mathbf{G} \mathbf{m} - \mathbf{G}^T \mathbf{d} = 0$$

$\mathbf{G}^T \mathbf{G}$ é uma matriz quadrada $M \times M$. A quantidade $\mathbf{G}^T \mathbf{d}$ é um vetor de comprimento M . Portanto, a eq. B.5 é a equação da matriz quadrada para um modelo de parâmetros. Assumindo que $[\mathbf{G}^T \mathbf{G}]^{-1}$ existe, a solução é dada por:

$$\text{B.6} \quad \mathbf{m} = [\mathbf{G}^T \mathbf{G}]^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{d}$$

A equação B.6 representa a solução dos mínimos quadrados para um problema inverso do tipo:

$$\mathbf{G}\mathbf{m} = \mathbf{d}$$

onde \mathbf{m} é chamado de estimador de mínimos quadrados.

APÊNDICE C

**PARÂMETROS HIPOCENTRAIS DOS 581 EVENTOS REGISTRADOS, NO
MÍNIMO, EM TRÊS ESTAÇÕES SISMOGRÁFICAS.**

NOTA EXPLICATIVA

DATE - Os dois primeiros dígitos registram o ano, os próximos dois representam o mês e os dois últimos o dia.

ORIGIN - Tempo de origem de acordo com Greenwich Civil Time, registrado na seguinte sequência: hora_minutos_segundos.

LAT S - Latitude Sul em graus e minutos

LONG W - Longitude Oeste em graus e minutos

QM - Esta medida é intencionada para indicar a confiabilidade geral da solução hipocentral e epicentral, sendo:

A: epicentro = excelente, hipocentro = bom;

B: epicentro = bom, hipocentro = médio;

C: epicentro = médio, hipocentro = pobre e

D: epicentro = pobre, hipocentro = pobre;

DMIN - Distância epicentral à estação mais próxima, em kilometros;

RMS - Erro médio quadrático dos resíduos dos tempos em segundos.

DEPTH - Profundidade do hipocentro em km;

NO - Número de leituras de estações usadas na localização do sismo. Se $NO < 3$ nenhuma solução é dada;

GAP - Maior separação azimutal em graus entre as estações;

ERH - Erro padrão do epicentro em km;

ERZ - Erro padrão da profundidade do foco em km;

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080606 | 2137 02.90 | 3-36.97 | 40-30.81 | 6.06 | 8 | 169 | 4.4 | 0.03 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080607 | 0605 35.02 | 3-37.51 | 40-30.87 | 2.13 | 8 | 151 | 4.0 | 0.05 | 0.3 | 0.8 | B1 |
| 080607 | 1212 15.24 | 3-38.05 | 40-29.87 | 4.78 | 8 | 145 | 2.0 | 0.03 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080607 | 2034 10.21 | 3-37.18 | 40-29.73 | 7.05 | 12 | 88 | 2.6 | 0.06 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080607 | 2106 10.33 | 3-36.47 | 40-31.00 | 3.54 | 12 | 96 | 5.2 | 0.23 | 0.8 | 2.2 | B1 |
| 080607 | 2135 44.17 | 3-37.38 | 40-29.77 | 4.90 | 12 | 94 | 2.4 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080607 | 2235 20.16 | 3-36.97 | 40-30.81 | 6.65 | 12 | 95 | 4.4 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080607 | 2245 40.10 | 3-37.65 | 40-30.52 | 5.43 | 12 | 94 | 3.3 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080608 | 0002 26.19 | 3-37.32 | 40-29.21 | 5.52 | 10 | 134 | 1.8 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080608 | 1341 45.29 | 3-36.72 | 40-30.65 | 6.55 | 10 | 92 | 4.4 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080608 | 2242 50.40 | 3-37.59 | 40-29.93 | 5.12 | 12 | 95 | 2.4 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080609 | 0051 31.11 | 3-37.38 | 40-29.83 | 4.83 | 12 | 94 | 2.4 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080609 | 0111 37.20 | 3-37.35 | 40-30.46 | 6.48 | 10 | 182 | 3.4 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | C1 |
| 080609 | 0431 07.98 | 3-38.61 | 40-29.59 | 7.60 | 12 | 108 | 1.6 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080609 | 0447 02.61 | 3-38.64 | 40-29.62 | 7.59 | 12 | 109 | 1.7 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080609 | 0452 36.23 | 3-38.63 | 40-29.61 | 7.55 | 12 | 108 | 1.7 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080609 | 0518 03.02 | 3-38.63 | 40-29.59 | 7.61 | 12 | 108 | 1.6 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080609 | 0605 49.72 | 3-38.64 | 40-29.63 | 7.61 | 12 | 109 | 1.7 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080609 | 0952 09.41 | 3-37.41 | 40-30.21 | 5.04 | 12 | 93 | 3.0 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080609 | 1148 35.80 | 3-37.48 | 40-31.21 | 2.00 | 12 | 102 | 4.7 | 0.08 | 0.3 | 1.1 | B1 |
| 080609 | 1536 06.17 | 3-37.25 | 40-29.45 | 5.69 | 12 | 82 | 2.1 | 0.07 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080609 | 1708 32.32 | 3-37.23 | 40-29.28 | 5.42 | 12 | 76 | 2.0 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080609 | 2034 04.78 | 3-37.65 | 40-30.72 | 8.40 | 12 | 95 | 3.7 | 0.33 | 1.4 | 2.1 | C1 |
| 080609 | 2041 47.41 | 3-37.44 | 40-30.87 | 3.01 | 12 | 97 | 4.1 | 0.06 | 0.2 | 0.5 | B1 |
| 080609 | 2214 16.05 | 3-37.20 | 40-29.47 | 5.92 | 12 | 81 | 2.2 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080609 | 2305 05.07 | 3-36.74 | 40-30.62 | 6.25 | 12 | 92 | 4.3 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080610 | 0038 33.00 | 3-37.48 | 40-30.99 | 2.11 | 12 | 99 | 4.3 | 0.06 | 0.2 | 0.7 | B1 |
| 080610 | 0612 41.59 | 3-37.53 | 40-30.80 | 5.70 | 12 | 96 | 3.9 | 0.04 | 0.1 | 0.3 | B1 |
| 080610 | 0654 41.66 | 3-37.45 | 40-29.85 | 4.44 | 12 | 94 | 2.4 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080610 | 1438 03.78 | 3-36.93 | 40-29.64 | 7.09 | 12 | 80 | 2.8 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080618 | 2058 18.75 | 3-37.41 | 40-29.89 | 4.92 | 12 | 94 | 2.5 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080618 | 2355 20.98 | 3-37.48 | 40-31.10 | 2.11 | 12 | 100 | 4.4 | 0.05 | 0.2 | 0.7 | B1 |
| 080619 | 0050 17.78 | 3-37.56 | 40-30.28 | 4.40 | 12 | 94 | 3.0 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080619 | 0057 04.67 | 3-37.06 | 40-30.77 | 5.91 | 12 | 95 | 4.2 | 0.04 | 0.1 | 0.3 | B1 |
| 080619 | 0114 33.24 | 3-37.08 | 40-30.75 | 6.02 | 12 | 95 | 4.2 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080619 | 0218 22.39 | 3-37.10 | 40-30.85 | 5.97 | 12 | 96 | 4.3 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080619 | 0229 18.98 | 3-37.47 | 40-29.53 | 4.80 | 11 | 94 | 1.9 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080619 | 0327 28.61 | 3-37.47 | 40-30.35 | 5.44 | 12 | 93 | 3.2 | 0.04 | 0.1 | 0.3 | B1 |
| 080619 | 0412 16.72 | 3-37.51 | 40-29.59 | 4.71 | 12 | 95 | 1.9 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080619 | 0503 31.57 | 3-37.59 | 40-31.73 | 5.46 | 12 | 111 | 5.5 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080619 | 0507 32.90 | 3-37.01 | 40-30.78 | 5.83 | 12 | 95 | 4.3 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080619 | 0523 17.70 | 3-37.38 | 40-29.93 | 4.87 | 12 | 93 | 2.6 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080619 | 0707 30.49 | 3-37.42 | 40-30.86 | 2.18 | 12 | 97 | 4.1 | 0.05 | 0.2 | 0.6 | B1 |
| 080619 | 0943 03.95 | 3-37.16 | 40-29.56 | 5.65 | 12 | 83 | 2.4 | 0.07 | 0.3 | 0.5 | A1 |
| 080619 | 1127 12.07 | 3-37.16 | 40-30.70 | 6.17 | 12 | 94 | 4.0 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080619 | 1222 50.20 | 3-37.45 | 40-30.16 | 5.88 | 10 | 93 | 11.0 | 0.05 | 0.2 | 0.8 | B1 |
| 080619 | 1625 09.01 | 3-37.23 | 40-29.28 | 5.78 | 12 | 76 | 2.0 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080619 | 1638 18.00 | 3-37.21 | 40-29.28 | 5.97 | 12 | 76 | 2.1 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080619 | 1713 16.23 | 3-37.24 | 40-29.30 | 5.76 | 12 | 76 | 2.0 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080619 | 1820 08.79 | 3-37.17 | 40-30.73 | 6.20 | 12 | 121 | 4.1 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080619 | 1858 29.17 | 3-37.25 | 40-29.95 | 5.72 | 12 | 92 | 2.8 | 0.07 | 0.3 | 0.5 | B1 |
| 080619 | 2350 31.70 | 3-36.95 | 40-29.38 | 6.31 | 12 | 77 | 2.6 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080620 | 0334 09.56 | 3-37.39 | 40-30.20 | 4.51 | 12 | 93 | 3.0 | 0.09 | 0.3 | 0.6 | B1 |
| 080620 | 0344 19.64 | 3-37.45 | 40-30.11 | 4.68 | 12 | 94 | 2.8 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080620 | 0346 27.90 | 3-37.52 | 40-30.08 | 4.79 | 12 | 94 | 2.7 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080620 | 0359 41.19 | 3-38.07 | 40-29.14 | 6.29 | 12 | 102 | 0.7 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080620 | 0448 46.62 | 3-37.46 | 40-30.33 | 4.91 | 12 | 93 | 3.1 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080620 | 0628 51.67 | 3-38.79 | 40-30.00 | 8.07 | 12 | 110 | 2.4 | 0.46 | 2.0 | 2.9 | C1 |
| 080620 | 0716 08.64 | 3-36.97 | 40-30.83 | 5.83 | 12 | 95 | 4.4 | 0.10 | 0.4 | 0.7 | B1 |
| 080620 | 0905 10.39 | 3-38.62 | 40-29.53 | 7.66 | 12 | 108 | 1.5 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080620 | 0915 35.83 | 3-37.51 | 40-30.66 | 5.96 | 12 | 94 | 3.7 | 0.04 | 0.1 | 0.3 | B1 |
| 080620 | 1538 17.87 | 3-37.71 | 40-31.74 | 4.75 | 12 | 112 | 5.5 | 0.09 | 0.3 | 0.8 | B1 |
| 080620 | 1549 26.47 | 3-37.16 | 40-30.24 | 6.63 | 12 | 90 | 3.3 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080620 | 1820 36.31 | 3-37.61 | 40-30.04 | 5.07 | 9 | 111 | 2.5 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080620 | 1857 12.49 | 3-37.21 | 40-29.28 | 6.06 | 12 | 76 | 2.0 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080620 | 2009 41.61 | 3-37.50 | 40-30.13 | 4.78 | 12 | 94 | 2.8 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080620 | 2117 25.02 | 3-37.31 | 40-29.69 | 5.85 | 12 | 92 | 2.3 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080621 | 0238 14.47 | 3-36.81 | 40-30.48 | 6.05 | 10 | 128 | 4.0 | 0.03 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080621 | 0626 06.21 | 3-37.42 | 40-29.66 | 4.66 | 10 | 123 | 2.2 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080621 | 0905 29.19 | 3-37.20 | 40-30.77 | 5.56 | 10 | 121 | 4.1 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080621 | 1440 21.99 | 3-37.71 | 40-31.00 | 4.95 | 10 | 113 | 4.2 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080621 | 1646 15.59 | 3-37.57 | 40-30.11 | 4.61 | 10 | 119 | 2.7 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080621 | 1710 46.55 | 3-37.56 | 40-29.51 | 4.73 | 10 | 122 | 1.8 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080621 | 1842 25.91 | 3-37.72 | 40-29.83 | 4.56 | 10 | 119 | 2.1 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080621 | 1856 07.80 | 3-36.27 | 40-26.30 | 6.85 | 10 | 144 | 5.9 | 0.06 | 0.3 | 0.5 | B1 |
| 080621 | 1935 18.19 | 3-37.46 | 40-29.81 | 4.45 | 10 | 122 | 2.3 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080621 | 1956 55.66 | 3-36.87 | 40-30.67 | 7.15 | 8 | 126 | 4.2 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080621 | 2244 56.75 | 3-37.78 | 40-31.16 | 4.56 | 5 | 139 | 4.4 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | C1 |

| DATA | ORIGEM | LAT S | LAT W | PROF | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080621 | 2301 51.01 | 3-37.67 | 40-31.29 | 3.86 | 10 | 112 | 4.7 | 0.03 | 0.1 | 0.3 | B1 |
| 080621 | 2351 45.44 | 3-36.60 | 40-28.63 | 6.67 | 10 | 138 | 3.0 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080622 | 0221 18.55 | 3-36.38 | 40-26.69 | 4.90 | 10 | 143 | 5.2 | 0.08 | 0.4 | 0.7 | B1 |
| 080622 | 0222 49.81 | 3-37.54 | 40-29.15 | 5.26 | 10 | 124 | 1.4 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080622 | 0236 11.33 | 3-36.55 | 40-31.00 | 7.50 | 10 | 128 | 5.1 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080622 | 0302 23.96 | 3-37.44 | 40-29.21 | 5.20 | 10 | 125 | 1.6 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080622 | 0406 40.21 | 3-37.43 | 40-29.60 | 5.01 | 10 | 123 | 2.1 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080622 | 0654 09.75 | 3-38.28 | 40-29.96 | 8.64 | 8 | 146 | 2.1 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080622 | 0813 48.64 | 3-36.46 | 40-30.92 | 7.76 | 10 | 130 | 5.1 | 0.01 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080622 | 0817 31.08 | 3-36.48 | 40-30.97 | 7.89 | 10 | 129 | 5.1 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080622 | 0845 53.21 | 3-36.51 | 40-31.02 | 7.74 | 8 | 129 | 5.2 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080622 | 2239 11.20 | 3-37.42 | 40-29.66 | 4.61 | 10 | 123 | 2.2 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080622 | 2335 37.23 | 3-37.60 | 40-31.16 | 1.49 | 9 | 113 | 4.5 | 0.05 | 0.2 | 0.9 | B1 |
| 080623 | 0142 43.96 | 3-37.59 | 40-30.87 | 6.31 | 10 | 115 | 4.0 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080623 | 0436 43.88 | 3-38.03 | 40-29.83 | 4.43 | 10 | 115 | 1.9 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080623 | 0442 18.38 | 3-37.90 | 40-29.96 | 4.61 | 10 | 116 | 2.2 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080623 | 0605 12.44 | 3-37.39 | 40-30.78 | 2.29 | 10 | 118 | 4.0 | 0.05 | 0.2 | 0.7 | B1 |
| 080623 | 0902 53.72 | 3-37.47 | 40-29.87 | 4.53 | 10 | 122 | 2.4 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080623 | 0948 22.66 | 3-37.50 | 40-29.61 | 4.86 | 10 | 123 | 2.0 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080623 | 1118 25.81 | 3-37.53 | 40-31.16 | 1.75 | 10 | 114 | 4.5 | 0.05 | 0.2 | 0.8 | B1 |
| 080623 | 1136 21.27 | 3-37.56 | 40-30.09 | 4.65 | 10 | 120 | 2.7 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080623 | 1209 12.31 | 3-37.98 | 40-29.36 | 5.37 | 10 | 117 | 1.1 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080623 | 1811 21.58 | 3-37.54 | 40-30.30 | 5.45 | 10 | 119 | 3.0 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080624 | 0210 18.30 | 3-37.40 | 40-29.26 | 5.32 | 10 | 125 | 1.7 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080624 | 0215 38.76 | 3-37.60 | 40-29.64 | 4.66 | 10 | 121 | 1.9 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080624 | 0352 10.19 | 3-37.61 | 40-30.13 | 4.56 | 10 | 119 | 2.7 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080624 | 0440 32.34 | 3-37.03 | 40-29.66 | 6.95 | 10 | 129 | 2.7 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080624 | 0658 21.03 | 3-37.63 | 40-31.77 | 5.29 | 10 | 112 | 5.6 | 0.06 | 0.2 | 0.5 | B1 |
| 080624 | 0728 52.48 | 3-37.75 | 40-31.82 | 2.79 | 10 | 113 | 5.6 | 0.04 | 0.1 | 0.5 | B1 |
| 080624 | 0857 43.08 | 3-36.42 | 40-31.02 | 6.64 | 10 | 130 | 5.3 | 0.06 | 0.3 | 0.5 | B1 |
| 080624 | 0915 38.58 | 3-37.42 | 40-29.87 | 4.45 | 10 | 122 | 2.5 | 0.08 | 0.3 | 0.5 | B1 |
| 080624 | 1217 12.00 | 3-37.59 | 40-30.08 | 4.60 | 10 | 119 | 2.6 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080624 | 1219 08.38 | 3-37.58 | 40-30.08 | 4.53 | 10 | 119 | 2.6 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080624 | 1226 26.19 | 3-37.59 | 40-30.05 | 4.56 | 10 | 120 | 2.6 | 0.03 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080624 | 1815 03.61 | 3-37.32 | 40-29.31 | 5.62 | 12 | 79 | 1.9 | 0.10 | 0.4 | 0.5 | A1 |
| 080624 | 1820 15.33 | 3-37.53 | 40-30.00 | 4.67 | 12 | 95 | 2.5 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080624 | 1821 42.36 | 3-37.49 | 40-30.02 | 4.52 | 12 | 94 | 2.6 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080624 | 1959 03.38 | 3-36.45 | 40-31.04 | 6.96 | 9 | 129 | 5.3 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080625 | 0011 32.76 | 3-37.20 | 40-29.21 | 5.24 | 12 | 76 | 2.0 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080625 | 0049 09.40 | 3-36.14 | 40-26.73 | 5.36 | 12 | 91 | 5.4 | 0.18 | 0.6 | 1.5 | B1 |
| 080625 | 0953 22.17 | 3-37.27 | 40-29.75 | 4.44 | 12 | 92 | 2.5 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080625 | 0959 54.16 | 3-37.67 | 40-31.76 | 5.63 | 6 | 134 | 5.6 | 0.01 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080625 | 1338 05.63 | 3-38.20 | 40-29.56 | 6.64 | 12 | 103 | 1.4 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080625 | 1424 52.30 | 3-38.26 | 40-29.54 | 6.57 | 11 | 104 | 1.4 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080625 | 1730 52.45 | 3-37.69 | 40-31.47 | 2.87 | 10 | 110 | 5.0 | 0.06 | 0.2 | 0.7 | B1 |
| 080625 | 2112 39.37 | 3-38.27 | 40-29.45 | 6.75 | 11 | 104 | 1.2 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080626 | 0206 50.29 | 3-36.69 | 40-28.20 | 5.97 | 12 | 77 | 3.0 | 0.07 | 0.3 | 0.5 | A1 |
| 080626 | 0249 51.00 | 3-37.33 | 40-29.87 | 4.68 | 12 | 93 | 2.6 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080626 | 0330 20.48 | 3-37.26 | 40-29.22 | 5.38 | 12 | 76 | 1.9 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080626 | 0924 50.67 | 3-37.11 | 40-29.69 | 6.08 | 12 | 85 | 2.6 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080626 | 1106 34.24 | 3-37.22 | 40-29.88 | 3.35 | 10 | 125 | 2.7 | 0.06 | 0.3 | 0.4 | B1 |
| 080626 | 1139 19.07 | 3-38.33 | 40-30.20 | 8.97 | 11 | 103 | 2.6 | 0.15 | 0.7 | 0.9 | B1 |
| 080627 | 0015 42.97 | 3-37.57 | 40-31.30 | 2.25 | 12 | 104 | 4.8 | 0.06 | 0.2 | 0.7 | B1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080627 | 0027 45.88 | 3-37.25 | 40-29.40 | 5.72 | 12 | 80 | 2.1 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080627 | 0052 18.36 | 3-37.24 | 40-29.42 | 5.66 | 12 | 81 | 2.1 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080627 | 0502 18.49 | 3-37.43 | 40-30.12 | 5.11 | 11 | 93 | 2.8 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080627 | 0728 52.10 | 3-37.09 | 40-30.28 | 6.27 | 12 | 89 | 3.4 | 0.04 | 0.1 | 0.3 | A1 |
| 080627 | 1416 05.03 | 3-38.17 | 40-29.60 | 6.59 | 12 | 103 | 1.5 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080627 | 2058 33.34 | 3-37.32 | 40-29.85 | 4.73 | 12 | 93 | 2.5 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080628 | 0324 53.17 | 3-38.53 | 40-29.38 | 6.70 | 10 | 107 | 1.2 | 0.08 | 0.4 | 0.5 | B1 |
| 080628 | 0332 46.40 | 3-37.40 | 40-29.29 | 5.98 | 10 | 125 | 1.8 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080628 | 0837 41.64 | 3-37.61 | 40-30.11 | 4.43 | 10 | 119 | 2.6 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080628 | 1255 43.24 | 3-37.43 | 40-29.83 | 5.56 | 10 | 123 | 2.4 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080628 | 1349 56.26 | 3-37.16 | 40-30.82 | 6.48 | 7 | 121 | 4.2 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080628 | 1720 38.32 | 3-36.58 | 40-31.04 | 5.81 | 9 | 127 | 5.1 | 0.04 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080628 | 1831 15.51 | 3-37.33 | 40-29.44 | 5.45 | 10 | 125 | 2.0 | 0.03 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080629 | 0533 14.64 | 3-37.08 | 40-30.39 | 7.38 | 10 | 124 | 3.6 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080629 | 0759 17.47 | 3-37.32 | 40-29.65 | 4.30 | 10 | 125 | 2.3 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080629 | 1254 37.89 | 3-36.61 | 40-28.57 | 6.71 | 10 | 138 | 3.0 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080629 | 1327 24.30 | 3-37.36 | 40-29.23 | 5.27 | 10 | 126 | 1.8 | 0.06 | 0.3 | 0.4 | B1 |
| 080629 | 1744 06.54 | 3-38.59 | 40-29.59 | 7.50 | 10 | 109 | 1.6 | 0.03 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080629 | 2017 44.82 | 3-37.55 | 40-29.63 | 4.40 | 10 | 122 | 2.0 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080630 | 0108 43.63 | 3-37.54 | 40-30.27 | 6.03 | 10 | 119 | 3.0 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080630 | 0200 48.75 | 3-37.17 | 40-29.57 | 6.40 | 10 | 127 | 2.4 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080630 | 1009 38.26 | 3-36.82 | 40-29.04 | 7.82 | 8 | 134 | 2.6 | 0.01 | 0.0 | 0.1 | B1 |
| 080630 | 1910 17.93 | 3-37.64 | 40-29.65 | 6.60 | 10 | 121 | 1.9 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080701 | 0054 06.87 | 3-36.43 | 40-31.16 | 6.15 | 9 | 129 | 5.5 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080701 | 0148 17.32 | 3-37.54 | 40-29.80 | 4.40 | 10 | 121 | 2.2 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080701 | 0245 13.51 | 3-37.45 | 40-30.31 | 6.18 | 10 | 120 | 3.1 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080701 | 0250 49.65 | 3-37.46 | 40-30.40 | 6.30 | 10 | 120 | 3.3 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080701 | 0317 25.85 | 3-37.54 | 40-30.32 | 6.11 | 10 | 119 | 3.1 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080701 | 1125 04.61 | 3-37.60 | 40-30.18 | 5.76 | 10 | 119 | 2.8 | 0.11 | 0.6 | 0.8 | B1 |
| 080701 | 1618 20.35 | 3-37.60 | 40-30.03 | 4.41 | 10 | 120 | 2.5 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080701 | 1808 37.53 | 3-37.33 | 40-30.00 | 5.68 | 10 | 123 | 2.7 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080701 | 2302 33.90 | 3-38.23 | 40-29.58 | 6.28 | 10 | 114 | 1.4 | 0.07 | 0.3 | 0.5 | B1 |
| 080702 | 0208 54.60 | 3-38.27 | 40-29.46 | 6.93 | 10 | 114 | 1.2 | 0.05 | 0.3 | 0.3 | B1 |
| 080702 | 0305 39.07 | 3-37.40 | 40-31.14 | 2.86 | 10 | 116 | 4.6 | 0.07 | 0.3 | 0.8 | B1 |
| 080702 | 0438 22.02 | 3-37.07 | 40-30.84 | 6.42 | 10 | 122 | 4.3 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080702 | 0459 09.33 | 3-37.25 | 40-29.54 | 6.11 | 10 | 126 | 2.2 | 0.05 | 0.3 | 0.4 | B1 |
| 080702 | 0649 45.28 | 3-37.02 | 40-30.83 | 6.19 | 10 | 123 | 4.3 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080702 | 1636 50.32 | 3-37.03 | 40-30.72 | 5.96 | 12 | 94 | 4.2 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080702 | 2047 44.47 | 3-36.81 | 40-30.37 | 5.79 | 12 | 89 | 3.9 | 0.10 | 0.4 | 0.7 | A1 |
| 080702 | 2123 11.29 | 3-37.56 | 40-31.23 | 2.66 | 12 | 103 | 4.6 | 0.04 | 0.1 | 0.4 | B1 |
| 080702 | 2133 12.82 | 3-37.57 | 40-31.24 | 2.64 | 12 | 103 | 4.7 | 0.04 | 0.1 | 0.4 | B1 |
| 080702 | 2158 55.10 | 3-39.08 | 40-28.59 | 9.98 | 9 | 186 | 1.6 | 0.82 | 6.1 | 6.3 | D1 |
| 080702 | 2210 56.74 | 3-37.60 | 40-31.07 | 3.85 | 6 | 115 | 4.3 | 0.01 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080703 | 0127 49.10 | 3-37.70 | 40-31.63 | 6.13 | 12 | 109 | 5.3 | 0.03 | 0.1 | 0.3 | B1 |
| 080703 | 0429 21.99 | 3-37.32 | 40-29.78 | 4.95 | 12 | 93 | 2.4 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080703 | 1021 30.35 | 3-37.30 | 40-29.85 | 4.55 | 12 | 93 | 2.6 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080703 | 1121 46.27 | 3-37.42 | 40-30.28 | 6.11 | 12 | 93 | 3.1 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080703 | 2030 08.64 | 3-37.42 | 40-30.02 | 4.66 | 12 | 93 | 2.7 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080704 | 0351 24.22 | 3-37.38 | 40-30.30 | 5.22 | 12 | 92 | 3.2 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080704 | 2309 31.08 | 3-34.67 | 40-29.89 | 6.88 | 11 | 89 | 6.8 | 0.77 | 3.1 | 6.5 | C1 |
| 080704 | 0941 03.86 | 3-37.31 | 40-30.82 | 8.05 | 12 | 96 | 4.1 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080704 | 0957 32.21 | 3-37.39 | 40-30.29 | 6.06 | 12 | 92 | 3.1 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080704 | 2046 42.51 | 3-37.43 | 40-29.92 | 4.60 | 12 | 94 | 2.5 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080704 | 2132 10.39 | 3-37.27 | 40-29.34 | 6.08 | 11 | 78 | 2.0 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080704 | 2309 31.08 | 3-34.67 | 40-29.89 | 6.88 | 11 | 89 | 6.8 | 0.77 | 3.1 | 6.5 | C1 |
| 080705 | 0022 14.47 | 3-37.42 | 40-29.19 | 5.20 | 10 | 125 | 1.6 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080705 | 0542 29.95 | 3-37.56 | 40-31.21 | 1.64 | 10 | 113 | 4.6 | 0.05 | 0.2 | 0.9 | B1 |
| 080705 | 0759 14.77 | 3-38.84 | 40-33.80 | 1.94 | 10 | 157 | 5.6 | 0.18 | 0.8 | 4.1 | C1 |
| 080705 | 0816 07.48 | 3-37.60 | 40-30.00 | 4.60 | 10 | 120 | 2.5 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080705 | 0922 26.52 | 3-37.77 | 40-30.72 | 5.18 | 10 | 114 | 3.6 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080705 | 1343 38.90 | 3-37.62 | 40-29.65 | 4.67 | 10 | 121 | 1.9 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080705 | 1413 34.08 | 3-37.73 | 40-30.89 | 5.60 | 10 | 113 | 3.9 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080705 | 2255 47.96 | 3-37.57 | 40-30.01 | 4.64 | 10 | 120 | 2.5 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080705 | 2358 41.36 | 3-37.23 | 40-30.90 | 6.51 | 10 | 119 | 4.3 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080706 | 0232 27.37 | 3-36.97 | 40-28.78 | 5.83 | 10 | 132 | 2.3 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080706 | 0524 23.29 | 3-38.90 | 40-29.86 | 8.64 | 10 | 112 | 2.3 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080706 | 0726 21.32 | 3-37.58 | 40-30.02 | 4.53 | 10 | 120 | 2.5 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080706 | 0943 09.07 | 3-36.33 | 40-26.74 | 4.87 | 10 | 144 | 5.2 | 0.07 | 0.3 | 0.7 | B1 |
| 080706 | 1352 26.93 | 3-37.04 | 40-28.74 | 6.00 | 9 | 131 | 2.2 | 0.05 | 0.3 | 0.4 | B1 |
| 080706 | 1424 52.97 | 3-37.00 | 40-28.77 | 5.80 | 10 | 132 | 2.3 | 0.06 | 0.3 | 0.4 | B1 |
| 080706 | 1650 48.88 | 3-37.48 | 40-29.22 | 5.25 | 10 | 124 | 1.6 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080706 | 1757 44.03 | 3-37.45 | 40-29.35 | 5.09 | 10 | 124 | 1.7 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080706 | 2050 33.36 | 3-37.49 | 40-30.40 | 6.12 | 10 | 119 | 3.2 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080707 | 0004 45.81 | 3-37.42 | 40-29.98 | 6.26 | 10 | 122 | 2.6 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080707 | 0210 54.20 | 3-36.52 | 40-27.18 | 10.52 | 7 | 151 | 4.3 | 0.51 | 4.8 | 5.5 | D1 |
| 080707 | 0428 12.42 | 3-37.49 | 40-30.23 | 4.55 | 10 | 120 | 2.9 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080707 | 0935 08.40 | 3-37.56 | 40-30.02 | 4.44 | 10 | 120 | 2.6 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080707 | 1356 54.37 | 3-37.57 | 40-29.86 | 4.43 | 9 | 121 | 2.3 | 0.06 | 0.3 | 0.4 | B1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|------|----|
| 080707 | 2237 35.16 | 3-37.47 | 40-29.92 | 4.47 | 10 | 122 | 2.5 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080708 | 0140 29.84 | 3-37.58 | 40-30.23 | 4.60 | 10 | 119 | 2.9 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080708 | 0258 36.37 | 3-37.53 | 40-30.32 | 6.01 | 10 | 119 | 3.1 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080708 | 0553 32.17 | 3-37.37 | 40-29.12 | 5.01 | 10 | 126 | 1.7 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080708 | 0759 16.92 | 3-37.49 | 40-30.31 | 6.05 | 10 | 120 | 3.1 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080708 | 2347 31.73 | 3-37.44 | 40-30.31 | 6.20 | 12 | 93 | 3.1 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080709 | 0453 03.76 | 3-37.30 | 40-30.16 | 6.39 | 12 | 92 | 3.0 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080709 | 0555 20.49 | 3-37.06 | 40-30.31 | 6.14 | 11 | 89 | 3.5 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080710 | 0000 17.91 | 3-37.45 | 40-29.71 | 4.77 | 10 | 98 | 2.2 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080710 | 0051 59.30 | 3-37.27 | 40-29.39 | 5.09 | 14 | 77 | 2.0 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080710 | 0128 23.08 | 3-36.59 | 40-30.01 | 7.51 | 14 | 83 | 3.7 | 0.07 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080710 | 0843 07.66 | 3-38.87 | 40-29.72 | 7.91 | 12 | 111 | 2.1 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080710 | 1139 40.22 | 3-37.55 | 40-29.56 | 5.56 | 14 | 79 | 1.9 | 0.10 | 0.3 | 0.5 | A1 |
| 080710 | 2123 12.74 | 3-36.36 | 40-30.00 | 7.66 | 20 | 82 | 4.1 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080711 | 0139 54.28 | 3-37.64 | 40-29.61 | 5.96 | 17 | 80 | 1.8 | 0.17 | 0.6 | 0.9 | B1 |
| 080711 | 0844 48.76 | 3-37.26 | 40-28.44 | 7.79 | 14 | 89 | 1.9 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080729 | 1904 49.13 | 3-36.43 | 40-30.92 | 5.99 | 12 | 91 | 2.1 | 0.03 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080729 | 1907 31.76 | 3-36.45 | 40-30.93 | 6.07 | 12 | 91 | 2.0 | 0.03 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080729 | 1911 15.17 | 3-44.43 | 40-36.27 | 1.40 | 12 | 311 | 15.7 | 0.05 | 0.5 | 4.7 | C1 |
| 080729 | 1913 56.17 | 3-34.98 | 40-30.26 | 4.27 | 10 | 87 | 5.0 | 0.27 | 1.5 | 3.9 | B1 |
| 080729 | 1934 42.86 | 3-37.73 | 40-30.54 | 5.76 | 10 | 185 | 2.1 | 0.03 | 0.3 | 0.2 | C1 |
| 080729 | 1940 30.87 | 3-36.35 | 40-30.93 | 5.54 | 10 | 93 | 2.2 | 0.07 | 0.5 | 0.7 | B1 |
| 080729 | 2142 52.27 | 3-34.39 | 40-29.83 | 0.19 | 12 | 92 | 6.3 | 0.43 | 1.9 | 88.5 | C1 |
| 080729 | 2314 52.91 | 3-38.42 | 40-31.04 | 7.09 | 12 | 240 | 2.3 | 0.10 | 0.6 | 0.6 | C1 |
| 080730 | 0015 53.77 | 3-38.09 | 40-30.02 | 8.77 | 12 | 200 | 2.3 | 0.06 | 0.4 | 0.4 | C1 |
| 080730 | 0112 37.28 | 3-36.40 | 40-30.92 | 5.89 | 12 | 91 | 2.1 | 0.03 | 0.2 | 0.3 | B1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|------|----|
| 080730 | 0205 13.26 | 3-36.48 | 40-31.03 | 5.45 | 12 | 96 | 1.9 | 0.08 | 0.5 | 0.7 | B1 |
| 080730 | 0328 08.78 | 3-37.30 | 40-29.62 | 4.48 | 12 | 131 | 2.3 | 0.04 | 0.3 | 0.3 | B1 |
| 080730 | 0551 54.86 | 3-37.11 | 40-27.97 | 11.67 | 10 | 147 | 2.6 | 0.50 | 5.0 | 3.8 | D1 |
| 080730 | 0801 24.72 | 3-37.01 | 40-29.77 | 7.56 | 11 | 119 | 2.9 | 0.04 | 0.3 | 0.3 | B1 |
| 080730 | 1100 56.81 | 3-37.51 | 40-31.12 | 1.14 | 9 | 185 | 1.0 | 0.05 | 0.5 | 0.5 | C1 |
| 080730 | 1218 03.39 | 3-37.39 | 40-30.46 | 4.93 | 12 | 157 | 2.2 | 0.07 | 0.4 | 0.5 | B1 |
| 080730 | 1700 17.80 | 3-37.32 | 40-30.95 | 1.21 | 16 | 117 | 1.2 | 0.06 | 0.2 | 0.5 | B1 |
| 080730 | 1800 17.85 | 3-36.54 | 40-27.98 | 5.87 | 16 | 127 | 3.5 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080730 | 1905 37.39 | 3-37.32 | 40-30.14 | 4.47 | 14 | 103 | 2.7 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080730 | 2014 46.39 | 3-36.97 | 40-30.69 | 7.72 | 16 | 90 | 1.8 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080730 | 2234 15.06 | 3-37.49 | 40-29.67 | 4.29 | 16 | 99 | 2.1 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080730 | 2304 17.78 | 3-37.41 | 40-30.51 | 5.23 | 16 | 115 | 2.1 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080730 | 2306 52.62 | 3-37.46 | 40-29.64 | 4.24 | 16 | 97 | 2.1 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080730 | 2334 52.11 | 3-37.68 | 40-29.57 | 5.19 | 16 | 102 | 1.7 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080731 | 0243 38.03 | 3-37.31 | 40-30.33 | 4.67 | 16 | 106 | 2.4 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080731 | 0324 04.63 | 3-37.55 | 40-31.05 | 2.69 | 14 | 169 | 4.3 | 0.05 | 0.2 | 0.6 | B1 |
| 080731 | 0441 11.83 | 3-36.74 | 40-30.54 | 7.43 | 16 | 79 | 2.3 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080731 | 1539 33.67 | 3-37.29 | 40-29.20 | 5.37 | 16 | 85 | 1.9 | 0.10 | 0.4 | 0.6 | A1 |
| 080731 | 1546 44.18 | 3-37.13 | 40-29.22 | 6.02 | 12 | 99 | 2.1 | 0.08 | 0.4 | 0.6 | B1 |
| 080731 | 1609 19.20 | 3-37.03 | 40-29.17 | 4.96 | 7 | 159 | 2.3 | 0.02 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080731 | 1703 31.14 | 3-34.76 | 40-30.13 | 4.53 | 13 | 89 | 5.5 | 0.62 | 2.2 | 6.4 | C1 |
| 080731 | 1932 38.50 | 3-43.55 | 40-36.30 | 0.19 | 17 | 305 | 4.6 | 0.13 | 0.9 | 22.5 | D1 |
| 080801 | 0452 39.20 | 3-37.45 | 40-30.54 | 5.63 | 20 | 63 | 2.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080801 | 1100 44.10 | 3-37.44 | 40-31.12 | 1.50 | 14 | 114 | 1.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080801 | 1254 53.41 | 3-37.72 | 40-31.86 | 2.22 | 20 | 114 | 0.9 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080801 | 1436 22.18 | 3-36.83 | 40-30.27 | 6.89 | 19 | 64 | 2.6 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|------|----|
| 080801 | 1443 08.36 | 3-36.91 | 40-30.28 | 6.91 | 20 | 64 | 2.6 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080801 | 2018 38.41 | 3-37.82 | 40-31.97 | 2.28 | 18 | 116 | 5.9 | 0.26 | 0.7 | 3.1 | B1 |
| 080801 | 2123 03.33 | 3-37.26 | 40-29.40 | 5.57 | 20 | 63 | 2.1 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080801 | 2352 43.85 | 3-37.36 | 40-30.13 | 4.73 | 20 | 59 | 2.8 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080802 | 0125 39.39 | 3-37.63 | 40-29.91 | 5.78 | 18 | 57 | 2.3 | 0.13 | 0.4 | 0.6 | A1 |
| 080802 | 1015 38.81 | 3-37.67 | 40-31.05 | 9.57 | 18 | 81 | 1.2 | 0.07 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080802 | 2031 49.95 | 3-45.05 | 40-35.69 | 0.30 | 21 | 277 | 6.4 | 0.05 | 0.2 | 2.8 | C1 |
| 080802 | 2355 05.95 | 3-37.15 | 40-27.53 | 6.27 | 20 | 75 | 3.1 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080803 | 0220 54.32 | 3-31.55 | 40-29.32 | 1.94 | 18 | 128 | 4.5 | 1.35 | 4.6 | 21.1 | C1 |
| 080803 | 0655 15.42 | 3-37.41 | 40-29.37 | 5.02 | 20 | 63 | 1.8 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080803 | 0711 03.40 | 3-37.23 | 40-29.39 | 5.80 | 20 | 63 | 2.1 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080803 | 0740 43.93 | 3-37.37 | 40-30.42 | 5.99 | 20 | 61 | 2.2 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080803 | 1106 20.44 | 3-35.76 | 40-28.56 | 7.90 | 19 | 69 | 4.6 | 0.07 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080803 | 1223 37.78 | 3-37.62 | 40-29.15 | 5.39 | 14 | 114 | 1.3 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080803 | 1609 50.62 | 3-37.51 | 40-31.21 | 0.99 | 20 | 77 | 0.8 | 0.06 | 0.1 | 0.3 | A1 |
| 080803 | 1804 11.51 | 3-37.27 | 40-30.88 | 1.48 | 20 | 64 | 1.4 | 0.08 | 0.2 | 0.5 | A1 |
| 080803 | 1920 44.70 | 3-35.57 | 40-28.84 | 7.90 | 20 | 72 | 4.9 | 0.08 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080803 | 2220 03.82 | 3-37.17 | 40-29.38 | 6.09 | 20 | 63 | 2.2 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080804 | 0200 14.34 | 3-38.00 | 40-28.85 | 5.44 | 20 | 68 | 0.4 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080804 | 1307 12.91 | 3- 3.38 | 40-41.46 | 4.16 | 21 | 337 | 56.8 | 0.15 | 1.2 | 13.3 | D1 |
| 080804 | 1915 33.10 | 3-37.34 | 40-30.27 | 4.19 | 18 | 60 | 2.5 | 0.09 | 0.3 | 0.5 | A1 |
| 080804 | 2249 16.82 | 3-36.73 | 40-30.60 | 6.25 | 17 | 102 | 2.2 | 0.31 | 1.0 | 1.5 | C1 |
| 080804 | 2312 42.27 | 3-36.40 | 40-28.62 | 6.69 | 22 | 64 | 3.4 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080805 | 0010 06.08 | 3-37.33 | 40-30.22 | 5.40 | 20 | 60 | 2.6 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080805 | 0119 35.95 | 3-37.41 | 40-30.13 | 5.01 | 18 | 59 | 2.8 | 0.07 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080805 | 0135 48.74 | 3-37.47 | 40-30.08 | 4.78 | 17 | 58 | 2.7 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|------|----|
| 080805 | 0138 36.34 | 3-37.79 | 40-29.67 | 4.43 | 19 | 56 | 1.8 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080805 | 0316 50.55 | 3-38.40 | 40-29.28 | 5.25 | 20 | 63 | 0.9 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080805 | 0936 37.90 | 3-37.32 | 40-30.27 | 5.07 | 20 | 60 | 2.5 | 0.24 | 0.7 | 1.1 | B1 |
| 080805 | 1248 07.97 | 3-38.41 | 40-29.28 | 5.24 | 20 | 64 | 0.9 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080805 | 1606 35.36 | 3-37.38 | 40-30.28 | 4.96 | 18 | 92 | 2.5 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080805 | 1922 36.14 | 3-37.49 | 40-30.36 | 5.52 | 14 | 116 | 2.4 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080805 | 1934 19.96 | 3-36.61 | 40-28.97 | 6.80 | 18 | 98 | 3.0 | 0.11 | 0.4 | 0.6 | B1 |
| 080805 | 2040 38.11 | 3-37.26 | 40-30.38 | 3.30 | 20 | 60 | 2.3 | 0.65 | 1.7 | 2.8 | C1 |
| 080805 | 2211 04.22 | 3-36.42 | 40-28.63 | 6.68 | 20 | 65 | 3.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080805 | 2233 29.18 | 3-16.36 | 40-33.21 | 12.02 | 20 | 322 | 25.3 | 0.80 | 6.9 | 13.7 | D1 |
| 080806 | 1216 41.20 | 3-37.49 | 40-30.11 | 4.67 | 16 | 91 | 2.8 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080806 | 1756 41.76 | 3-36.78 | 40-28.92 | 6.81 | 20 | 65 | 2.7 | 0.22 | 0.6 | 1.0 | B1 |
| 080806 | 1829 40.65 | 3-37.44 | 40-30.11 | 4.49 | 20 | 59 | 2.8 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080806 | 1841 36.98 | 3-37.31 | 40-30.15 | 3.91 | 20 | 60 | 2.7 | 0.12 | 0.3 | 0.5 | A1 |
| 080806 | 1954 52.93 | 3-37.67 | 40-29.77 | 4.85 | 20 | 57 | 2.0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080807 | 0106 40.34 | 3-37.37 | 40-29.76 | 4.77 | 22 | 59 | 2.4 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080807 | 0111 30.70 | 3-36.98 | 40-28.75 | 6.89 | 22 | 66 | 2.3 | 0.09 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080807 | 0140 04.23 | 3-37.62 | 40-31.76 | 2.75 | 22 | 112 | 0.6 | 0.06 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080807 | 0227 18.80 | 3-28.98 | 40-15.55 | 6.66 | 19 | 294 | 14.5 | 0.08 | 0.6 | 1.1 | C1 |
| 080807 | 0238 11.73 | 3-36.44 | 40-28.64 | 6.53 | 22 | 65 | 3.3 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080807 | 0242 08.31 | 3-36.41 | 40-28.61 | 6.78 | 22 | 65 | 3.4 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080807 | 0329 31.32 | 3-37.60 | 40-30.82 | 6.15 | 14 | 154 | 5.5 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080807 | 0426 14.70 | 3-37.32 | 40-29.95 | 4.46 | 20 | 60 | 2.7 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080807 | 0612 34.73 | 3-37.45 | 40-30.02 | 4.48 | 22 | 57 | 2.6 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080807 | 0758 23.71 | 3-36.46 | 40-28.62 | 6.73 | 22 | 65 | 3.3 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080807 | 0806 05.67 | 3-37.30 | 40-30.31 | 6.22 | 22 | 59 | 2.4 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080807 | 0950 17.91 | 3-37.28 | 40-29.39 | 5.63 | 20 | 81 | 2.0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080807 | 1004 05.75 | 3-37.33 | 40-29.37 | 5.67 | 21 | 63 | 1.9 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080807 | 1019 36.03 | 3-37.76 | 40-30.40 | 7.68 | 22 | 66 | 2.4 | 0.10 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080807 | 1252 21.72 | 3-37.46 | 40-31.12 | 8.28 | 22 | 69 | 1.0 | 0.09 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080807 | 1402 33.03 | 3-38.27 | 40-29.36 | 6.20 | 20 | 57 | 1.0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080807 | 1507 40.96 | 3-37.41 | 40-30.78 | 6.17 | 22 | 65 | 1.6 | 0.40 | 1.2 | 1.6 | B1 |
| 080807 | 1531 05.48 | 3-37.07 | 40-30.66 | 3.06 | 21 | 62 | 1.8 | 0.52 | 1.3 | 2.3 | C1 |
| 080807 | 1605 29.96 | 3-37.62 | 40-30.81 | 5.51 | 22 | 69 | 1.6 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080807 | 1958 09.62 | 3-37.53 | 40-30.76 | 5.16 | 19 | 67 | 1.6 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080807 | 2037 48.59 | 3-45.33 | 40-35.85 | 0.24 | 15 | 279 | 7.0 | 0.04 | 0.3 | 7.8 | D1 |
| 080807 | 2041 38.64 | 3-36.42 | 40-28.61 | 6.81 | 21 | 65 | 3.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080807 | 2047 53.11 | 3-36.43 | 40-28.61 | 6.80 | 22 | 65 | 3.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080807 | 2056 44.73 | 3-35.89 | 40-28.55 | 7.48 | 17 | 99 | 4.3 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080807 | 2126 45.43 | 3-35.82 | 40-28.62 | 7.71 | 22 | 55 | 4.4 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080808 | 0126 15.11 | 3-37.24 | 40-30.37 | 5.88 | 21 | 59 | 2.3 | 0.06 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080808 | 0259 05.73 | 3-38.28 | 40-29.37 | 6.25 | 22 | 57 | 1.0 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080808 | 0356 04.76 | 3-36.79 | 40-29.92 | 6.15 | 22 | 59 | 3.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080808 | 0544 07.38 | 3-37.39 | 40-30.31 | 5.53 | 22 | 60 | 2.4 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080808 | 0618 20.18 | 3-36.40 | 40-31.09 | 5.96 | 21 | 98 | 1.9 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080808 | 0620 24.75 | 3-37.14 | 40-30.53 | 5.50 | 20 | 61 | 2.0 | 0.08 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080808 | 0628 34.81 | 3-36.37 | 40-31.04 | 5.91 | 22 | 97 | 2.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080808 | 0630 39.36 | 3-36.25 | 40-29.45 | 8.16 | 24 | 57 | 3.8 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080808 | 0648 28.75 | 3-35.93 | 40-28.60 | 7.61 | 22 | 57 | 4.2 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080808 | 0726 55.26 | 3-36.95 | 40-30.82 | 5.36 | 16 | 71 | 1.6 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080808 | 0901 26.67 | 3-37.45 | 40-30.52 | 4.89 | 20 | 63 | 2.0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080808 | 0917 45.33 | 3-37.07 | 40-30.56 | 6.61 | 22 | 62 | 2.0 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080808 | 0928 50.43 | 3-36.88 | 40-30.56 | 6.84 | 20 | 64 | 2.1 | 0.08 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080808 | 0934 43.47 | 3-37.60 | 40-30.79 | 5.56 | 22 | 68 | 1.6 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080808 | 0949 04.86 | 3-37.85 | 40-31.85 | 1.74 | 10 | 114 | 1.1 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080808 | 0956 06.40 | 3-35.89 | 40-28.61 | 7.73 | 22 | 56 | 4.3 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080808 | 1724 17.85 | 3-37.15 | 40-30.53 | 5.64 | 21 | 61 | 2.0 | 0.14 | 0.4 | 0.6 | A1 |
| 080808 | 2012 14.80 | 3-37.38 | 40-30.22 | 5.01 | 24 | 59 | 2.6 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080808 | 2115 21.36 | 3-37.38 | 40-30.19 | 5.33 | 20 | 59 | 2.6 | 0.08 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080809 | 0042 53.88 | 3-37.65 | 40-30.77 | 5.49 | 18 | 69 | 1.7 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080809 | 0149 27.89 | 3-37.46 | 40-30.00 | 4.74 | 18 | 57 | 2.6 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080809 | 0640 04.08 | 3-36.96 | 40-28.81 | 6.97 | 20 | 66 | 2.3 | 0.08 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080809 | 1159 36.89 | 3-37.61 | 40-30.63 | 5.35 | 20 | 67 | 1.9 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080809 | 2234 18.47 | 3-37.84 | 40-29.95 | 6.25 | 20 | 60 | 2.2 | 0.09 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080809 | 2247 42.58 | 3-38.02 | 40-30.09 | 8.33 | 17 | 65 | 2.4 | 0.08 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080809 | 2357 43.69 | 3-37.54 | 40-30.75 | 5.85 | 20 | 67 | 1.7 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080810 | 0453 43.90 | 3-37.48 | 40-30.15 | 4.36 | 18 | 59 | 2.7 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080810 | 0520 15.35 | 3-37.78 | 40-31.78 | 2.48 | 20 | 112 | 0.9 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080810 | 1030 47.28 | 3-37.77 | 40-29.95 | 4.80 | 18 | 88 | 2.3 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080810 | 1924 10.71 | 3-36.24 | 40-30.90 | 5.40 | 18 | 94 | 2.4 | 0.09 | 0.3 | 0.4 | B1 |
| 080810 | 2050 25.87 | 3-38.55 | 40-32.52 | 5.55 | 20 | 126 | 2.8 | 0.10 | 0.3 | 0.5 | B1 |
| 080811 | 0101 49.32 | 3-37.50 | 40-29.71 | 4.73 | 20 | 57 | 2.1 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080812 | 0137 48.29 | 3-36.07 | 40-28.43 | 7.41 | 20 | 66 | 4.0 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080812 | 0138 21.34 | 3-36.97 | 40-30.26 | 7.45 | 20 | 60 | 2.6 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080812 | 0139 18.99 | 3-39.67 | 40-29.01 | 5.65 | 20 | 94 | 1.4 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080812 | 0242 25.13 | 3-37.46 | 40-30.07 | 4.73 | 18 | 58 | 2.7 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080812 | 0435 15.68 | 3-37.49 | 40-30.14 | 4.65 | 16 | 91 | 2.8 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080812 | 0550 36.08 | 3-37.43 | 40-29.85 | 4.31 | 20 | 55 | 2.4 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080812 | 0736 04.26 | 3-36.06 | 40-28.57 | 7.51 | 20 | 65 | 4.0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080812 | 1512 17.99 | 3-37.65 | 40-31.54 | 2.18 | 24 | 108 | 0.6 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080812 | 1935 39.45 | 3-36.20 | 40-30.76 | 5.78 | 21 | 88 | 2.6 | 0.23 | 0.6 | 1.0 | B1 |
| 080812 | 2013 52.90 | 3-36.45 | 40-30.96 | 6.03 | 22 | 92 | 2.0 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080812 | 2122 13.24 | 3-36.56 | 40-30.04 | 7.34 | 15 | 71 | 3.2 | 0.07 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080813 | 0035 33.41 | 3-37.67 | 40-31.62 | 2.09 | 22 | 109 | 0.7 | 0.06 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080813 | 0048 30.73 | 3-37.20 | 40-29.78 | 5.69 | 22 | 61 | 2.6 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0326 33.18 | 3-37.68 | 40-29.42 | 8.23 | 21 | 61 | 1.5 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0327 53.19 | 3-37.71 | 40-29.32 | 8.23 | 22 | 64 | 1.3 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0328 23.30 | 3-37.67 | 40-29.27 | 8.36 | 22 | 65 | 1.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0329 35.31 | 3-37.70 | 40-29.52 | 8.01 | 21 | 56 | 1.6 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080813 | 0331 22.11 | 3-37.71 | 40-29.41 | 8.14 | 22 | 60 | 1.5 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0333 31.80 | 3-37.65 | 40-29.39 | 7.65 | 22 | 64 | 1.5 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0335 18.08 | 3-37.61 | 40-29.36 | 8.42 | 22 | 64 | 1.5 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0343 43.63 | 3-37.76 | 40-29.41 | 7.73 | 21 | 58 | 1.4 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0344 20.80 | 3-37.81 | 40-29.26 | 8.04 | 20 | 99 | 1.1 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080813 | 0348 16.14 | 3-37.70 | 40-29.50 | 7.78 | 20 | 98 | 1.6 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080813 | 0353 45.36 | 3-37.80 | 40-29.37 | 7.92 | 21 | 57 | 1.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0400 54.42 | 3-37.71 | 40-29.29 | 8.31 | 21 | 65 | 1.3 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0404 44.22 | 3-37.80 | 40-29.26 | 7.92 | 22 | 63 | 1.1 | 0.06 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0411 05.53 | 3-37.81 | 40-29.28 | 7.97 | 18 | 62 | 1.2 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080813 | 0428 33.27 | 3-37.80 | 40-29.19 | 8.06 | 21 | 65 | 1.0 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080813 | 0448 41.41 | 3-37.77 | 40-29.45 | 7.92 | 22 | 55 | 1.5 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0453 53.79 | 3-37.75 | 40-29.46 | 8.06 | 21 | 56 | 1.5 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0502 44.19 | 3-37.75 | 40-29.40 | 8.00 | 22 | 58 | 1.4 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0527 29.92 | 3-37.84 | 40-29.35 | 8.06 | 20 | 58 | 1.2 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080813 | 0533 30.08 | 3-37.72 | 40-29.26 | 8.43 | 20 | 68 | 1.2 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0549 07.75 | 3-37.72 | 40-29.29 | 8.03 | 22 | 65 | 1.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0554 10.61 | 3-38.35 | 40-29.42 | 5.56 | 20 | 104 | 1.2 | 0.13 | 0.4 | 0.5 | B1 |
| 080813 | 0557 10.61 | 3-37.81 | 40-29.41 | 8.19 | 22 | 55 | 1.3 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0740 34.16 | 3-37.38 | 40-30.34 | 5.44 | 21 | 60 | 2.4 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0809 26.01 | 3-37.61 | 40-29.27 | 8.30 | 23 | 65 | 1.4 | 0.10 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080813 | 0810 13.21 | 3-37.68 | 40-29.30 | 8.44 | 22 | 64 | 1.3 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0812 10.45 | 3-37.65 | 40-29.31 | 8.34 | 22 | 64 | 1.4 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0840 22.27 | 3-37.59 | 40-29.43 | 5.98 | 21 | 64 | 1.6 | 0.06 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 0847 42.04 | 3-37.92 | 40-29.34 | 7.82 | 22 | 51 | 1.1 | 0.10 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080813 | 1139 10.29 | 3-39.27 | 40-29.50 | 8.03 | 24 | 69 | 1.8 | 0.11 | 0.4 | 0.4 | A1 |
| 080813 | 1215 41.49 | 3-38.07 | 40-29.50 | 7.32 | 17 | 56 | 1.3 | 0.09 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080813 | 1343 47.98 | 3-37.10 | 40-29.34 | 4.83 | 20 | 67 | 2.3 | 0.10 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080813 | 1408 52.53 | 3-37.39 | 40-30.00 | 4.68 | 22 | 56 | 2.7 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080813 | 1638 54.58 | 3-37.15 | 40-29.43 | 5.97 | 20 | 85 | 2.3 | 0.13 | 0.4 | 0.6 | A1 |
| 080813 | 1901 52.53 | 3-37.65 | 40-29.41 | 6.45 | 22 | 63 | 1.5 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080813 | 2213 27.40 | 3-37.43 | 40-31.16 | 1.37 | 20 | 69 | 0.9 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080814 | 0145 24.20 | 3-37.74 | 40-29.30 | 8.13 | 22 | 64 | 1.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080814 | 0257 46.13 | 3-36.41 | 40-31.01 | 5.92 | 18 | 96 | 2.0 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080814 | 0541 38.34 | 3-36.42 | 40-28.67 | 6.87 | 22 | 64 | 3.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080814 | 0640 09.13 | 3-36.45 | 40-28.69 | 6.60 | 22 | 64 | 3.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080814 | 0643 13.42 | 3-37.35 | 40-30.42 | 5.98 | 22 | 61 | 2.2 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080814 | 0649 43.16 | 3-37.38 | 40-30.40 | 6.17 | 22 | 61 | 2.3 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080814 | 0827 10.68 | 3-36.25 | 40-27.92 | 6.34 | 22 | 68 | 4.0 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080814 | 0840 53.11 | 3-36.27 | 40-27.88 | 6.21 | 21 | 69 | 4.0 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080814 | 1100 45.06 | 3-37.64 | 40-29.44 | 6.37 | 22 | 62 | 1.6 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080814 | 1307 11.41 | 3-37.63 | 40-29.40 | 6.37 | 22 | 64 | 1.5 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080814 | 1501 12.28 | 3-37.56 | 40-31.44 | 1.33 | 22 | 106 | 0.6 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080814 | 2013 24.33 | 3-37.78 | 40-29.30 | 7.92 | 22 | 62 | 1.2 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080814 | 2146 26.12 | 3-37.83 | 40-29.39 | 7.94 | 22 | 54 | 1.3 | 0.14 | 0.4 | 0.6 | A1 |
| 080815 | 0003 07.02 | 3-37.70 | 40-29.51 | 7.78 | 20 | 56 | 1.6 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080815 | 0138 46.23 | 3-37.25 | 40-29.33 | 5.29 | 20 | 63 | 2.0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080815 | 0501 35.48 | 3-37.51 | 40-31.31 | 1.43 | 18 | 85 | 0.7 | 0.08 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080815 | 0701 04.76 | 3-37.64 | 40-29.46 | 8.04 | 20 | 61 | 1.6 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080815 | 1207 53.73 | 3-37.20 | 40-30.83 | 5.42 | 16 | 95 | 1.5 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080815 | 1506 16.86 | 3-37.94 | 40-29.16 | 7.85 | 20 | 60 | 0.8 | 0.10 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080815 | 2324 20.00 | 3-37.59 | 40-29.44 | 7.84 | 20 | 63 | 1.6 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080815 | 2330 41.56 | 3-37.60 | 40-29.38 | 8.05 | 20 | 64 | 1.6 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080816 | 0053 36.24 | 3-37.00 | 40-30.43 | 5.67 | 16 | 94 | 2.3 | 0.23 | 0.8 | 1.1 | B1 |
| 080816 | 0153 39.59 | 3-38.06 | 40-31.06 | 2.08 | 18 | 99 | 1.7 | 0.17 | 0.5 | 0.9 | B1 |
| 080816 | 0214 37.15 | 3-37.72 | 40-29.40 | 7.84 | 20 | 60 | 1.4 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080816 | 0350 08.32 | 3-37.88 | 40-29.37 | 8.10 | 19 | 52 | 1.2 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080816 | 0501 39.60 | 3-37.83 | 40-29.30 | 8.19 | 18 | 59 | 1.2 | 0.12 | 0.4 | 0.5 | A1 |
| 080816 | 1102 17.38 | 3-37.59 | 40-30.20 | 4.94 | 18 | 61 | 2.7 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080816 | 1629 42.91 | 3-36.47 | 40-30.94 | 6.08 | 19 | 91 | 2.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080816 | 2213 18.89 | 3-36.05 | 40-28.41 | 7.29 | 20 | 66 | 4.1 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080817 | 0322 29.02 | 3-37.61 | 40-30.67 | 5.56 | 20 | 67 | 1.8 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080817 | 0336 25.77 | 3-36.42 | 40-30.92 | 6.05 | 19 | 91 | 2.1 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080817 | 0340 03.15 | 3-36.36 | 40-30.90 | 5.18 | 20 | 91 | 2.2 | 0.11 | 0.3 | 0.5 | B1 |
| 080817 | 0359 41.07 | 3-37.89 | 40-29.14 | 8.18 | 20 | 66 | 0.9 | 0.21 | 0.7 | 0.9 | B1 |
| 080817 | 0839 46.55 | 3-37.84 | 40-32.20 | 5.40 | 20 | 121 | 1.5 | 0.03 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080817 | 1251 37.89 | 3-36.43 | 40-31.00 | 5.94 | 20 | 95 | 2.0 | 0.08 | 0.2 | 0.3 | B1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080817 | 1932 36.14 | 3-37.33 | 40-30.84 | 1.92 | 16 | 117 | 1.4 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080817 | 2252 24.34 | 3-37.75 | 40-29.30 | 7.95 | 20 | 64 | 1.3 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080817 | 2303 18.16 | 3-38.29 | 40-29.58 | 9.79 | 19 | 60 | 1.4 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080817 | 2357 52.64 | 3-36.41 | 40-30.96 | 5.93 | 22 | 93 | 2.1 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080818 | 0011 56.54 | 3-36.45 | 40-30.91 | 6.14 | 11 | 107 | 2.1 | 0.05 | 0.3 | 0.3 | B1 |
| 080818 | 0037 10.26 | 3-36.44 | 40-30.98 | 6.26 | 20 | 93 | 2.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080818 | 0058 29.60 | 3-36.47 | 40-30.93 | 6.12 | 18 | 91 | 2.0 | 0.08 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080818 | 0131 23.21 | 3-36.40 | 40-30.98 | 5.78 | 20 | 94 | 2.1 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080818 | 0133 50.26 | 3-36.40 | 40-30.95 | 5.73 | 20 | 93 | 2.1 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080818 | 0234 26.96 | 3-36.39 | 40-30.97 | 5.65 | 20 | 94 | 2.1 | 0.09 | 0.3 | 0.4 | B1 |
| 080818 | 0246 39.28 | 3-36.44 | 40-30.88 | 6.41 | 19 | 89 | 2.1 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080818 | 0318 35.64 | 3-36.38 | 40-31.06 | 6.37 | 18 | 166 | 2.0 | 0.03 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080818 | 0342 33.10 | 3-37.58 | 40-30.68 | 5.31 | 20 | 67 | 1.8 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080818 | 0417 15.56 | 3-36.40 | 40-30.91 | 6.04 | 19 | 91 | 2.1 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080818 | 0550 42.73 | 3-36.38 | 40-30.89 | 5.96 | 20 | 90 | 2.2 | 0.08 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080818 | 0551 05.50 | 3-36.44 | 40-30.93 | 6.12 | 20 | 91 | 2.1 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080818 | 0555 03.41 | 3-37.47 | 40-30.07 | 4.85 | 20 | 59 | 2.7 | 0.08 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080818 | 0556 31.61 | 3-37.51 | 40-30.03 | 5.12 | 20 | 58 | 2.6 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080818 | 0625 42.67 | 3-36.38 | 40-30.99 | 5.43 | 18 | 95 | 2.1 | 0.09 | 0.3 | 0.5 | B1 |
| 080818 | 0720 47.59 | 3-36.47 | 40-30.97 | 6.17 | 19 | 92 | 2.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080818 | 0914 28.54 | 3-36.56 | 40-30.93 | 6.05 | 15 | 88 | 1.9 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080818 | 0922 15.79 | 3-36.49 | 40-30.96 | 6.24 | 19 | 91 | 2.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080818 | 0935 06.63 | 3-36.55 | 40-31.04 | 5.88 | 14 | 94 | 1.8 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080818 | 0953 45.60 | 3-36.45 | 40-30.92 | 6.24 | 19 | 91 | 2.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080818 | 1324 33.94 | 3-36.90 | 40-30.60 | 5.63 | 16 | 64 | 2.0 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080818 | 1623 21.54 | 3-37.58 | 40-31.76 | 2.88 | 19 | 112 | 0.6 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080818 | 2236 31.42 | 3-37.37 | 40-30.18 | 4.75 | 20 | 59 | 2.7 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080818 | 2357 09.48 | 3-37.69 | 40-30.64 | 5.79 | 16 | 68 | 1.9 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080819 | 0400 32.37 | 3-37.08 | 40-30.38 | 5.60 | 20 | 61 | 2.3 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080819 | 0459 05.93 | 3-37.90 | 40-29.31 | 7.71 | 20 | 55 | 1.1 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080819 | 1319 33.97 | 3-37.46 | 40-30.29 | 4.75 | 16 | 61 | 2.5 | 0.09 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080819 | 1836 06.65 | 3-37.79 | 40-30.84 | 5.02 | 16 | 78 | 1.7 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080819 | 1841 10.17 | 3-37.23 | 40-29.46 | 5.78 | 20 | 63 | 2.2 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080819 | 1853 29.29 | 3-37.36 | 40-29.47 | 5.98 | 18 | 70 | 2.0 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080819 | 1908 46.69 | 3-37.93 | 40-29.31 | 5.90 | 20 | 54 | 1.1 | 0.74 | 2.3 | 3.2 | C1 |
| 080819 | 2305 25.36 | 3-37.27 | 40-29.76 | 4.92 | 20 | 61 | 2.5 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080820 | 0100 28.37 | 3-37.06 | 40-29.50 | 6.72 | 18 | 74 | 2.5 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080820 | 0116 27.34 | 3-37.36 | 40-30.16 | 5.44 | 20 | 63 | 2.7 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080820 | 0127 11.40 | 3-37.04 | 40-30.55 | 5.54 | 14 | 62 | 2.0 | 0.07 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080820 | 0210 50.16 | 3-36.45 | 40-31.00 | 5.69 | 16 | 94 | 2.0 | 0.08 | 0.3 | 0.4 | B1 |
| 080820 | 0846 34.15 | 3-37.41 | 40-31.20 | 0.94 | 18 | 69 | 0.8 | 0.06 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080820 | 0916 18.70 | 3-37.29 | 40-29.73 | 4.91 | 18 | 69 | 2.4 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080820 | 0956 46.94 | 3-37.80 | 40-30.72 | 6.21 | 13 | 110 | 1.9 | 0.13 | 0.6 | 0.7 | B1 |
| 080820 | 1124 24.41 | 3-37.31 | 40-29.72 | 4.97 | 18 | 68 | 2.4 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080820 | 1742 23.79 | 3-37.50 | 40-31.20 | 0.90 | 18 | 76 | 0.9 | 0.05 | 0.1 | 0.3 | A1 |
| 080820 | 1845 57.83 | 3-37.66 | 40-31.88 | 2.11 | 9 | 114 | 0.8 | 0.05 | 0.3 | 0.3 | B1 |
| 080820 | 2038 16.07 | 3-37.12 | 40-29.76 | 4.56 | 18 | 70 | 2.7 | 0.09 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080820 | 2227 27.97 | 3-37.58 | 40-30.89 | 5.59 | 18 | 69 | 1.4 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080820 | 2245 17.17 | 3-37.27 | 40-30.81 | 2.01 | 16 | 64 | 1.5 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080821 | 0028 39.43 | 3-37.56 | 40-29.92 | 4.81 | 18 | 64 | 2.4 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080821 | 0801 53.79 | 3-37.13 | 40-29.95 | 7.11 | 16 | 68 | 2.9 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080821 | 0802 46.88 | 3-37.34 | 40-29.94 | 4.81 | 18 | 66 | 2.6 | 0.05 | 0.2 | 0.3 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|-----|----|
| 080821 | 0855 54.57 | 3-37.04 | 40-30.79 | 5.28 | 12 | 103 | 1.6 | 0.08 | 0.3 | 0.5 | B1 |
| 080821 | 0922 52.31 | 3-38.01 | 40-29.60 | 6.86 | 18 | 61 | 1.5 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080821 | 1205 40.30 | 3-37.36 | 40-29.28 | 5.35 | 18 | 72 | 1.8 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080821 | 1919 27.67 | 3-42.57 | 40-34.44 | 0.28 | 17 | 251 | 1.5 | 0.21 | 1.3 | 5.6 | D1 |
| 080821 | 2338 08.77 | 3-37.53 | 40-30.43 | 5.24 | 16 | 63 | 2.2 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080822 | 0806 37.07 | 3-37.32 | 40-29.64 | 4.76 | 18 | 69 | 2.3 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080822 | 0903 33.34 | 3-37.26 | 40-28.14 | 5.71 | 16 | 134 | 2.2 | 0.21 | 1.0 | 1.1 | B1 |
| 080822 | 1222 17.41 | 3-37.43 | 40-29.03 | 5.63 | 18 | 73 | 1.5 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080822 | 1954 17.98 | 3-37.49 | 40-30.45 | 4.95 | 20 | 63 | 2.2 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080822 | 2322 31.04 | 3-36.95 | 40-27.79 | 5.13 | 18 | 73 | 3.0 | 0.07 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080823 | 0107 36.34 | 3-37.58 | 40-29.92 | 4.89 | 18 | 58 | 2.4 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080823 | 0206 37.66 | 3-37.13 | 40-29.70 | 4.56 | 19 | 63 | 2.6 | 0.08 | 0.2 | 0.4 | A1 |
| 080823 | 0302 50.74 | 3-36.87 | 40-30.42 | 6.47 | 19 | 63 | 2.4 | 0.09 | 0.3 | 0.4 | A1 |
| 080823 | 0447 53.37 | 3-37.40 | 40-30.22 | 3.59 | 19 | 59 | 2.6 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080823 | 0940 08.90 | 3-37.07 | 40-30.34 | 5.75 | 20 | 62 | 2.4 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080823 | 1152 36.43 | 3-36.45 | 40-30.96 | 6.18 | 20 | 92 | 2.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080824 | 1014 55.38 | 3-37.66 | 40-30.81 | 5.07 | 12 | 71 | 1.6 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | A1 |
| 080824 | 1212 48.06 | 3-36.40 | 40-30.94 | 6.08 | 17 | 92 | 2.1 | 0.06 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080824 | 1215 30.45 | 3-36.49 | 40-30.92 | 6.19 | 20 | 89 | 2.0 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080824 | 1319 20.43 | 3-37.75 | 40-29.30 | 7.97 | 20 | 64 | 1.2 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080824 | 1411 53.09 | 3-37.35 | 40-29.56 | 5.29 | 16 | 66 | 2.1 | 0.12 | 0.4 | 0.6 | A1 |
| 080824 | 1922 22.70 | 3-37.43 | 40-30.07 | 4.77 | 18 | 59 | 2.8 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080824 | 2202 05.98 | 3-37.34 | 40-30.89 | 1.90 | 16 | 65 | 1.4 | 0.05 | 0.1 | 0.3 | A1 |
| 080825 | 0229 50.41 | 3-37.11 | 40-30.49 | 5.31 | 15 | 62 | 2.1 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080825 | 0508 29.15 | 3-37.49 | 40-30.61 | 5.60 | 18 | 65 | 1.9 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080825 | 0552 15.71 | 3-37.49 | 40-30.60 | 5.48 | 18 | 65 | 1.9 | 0.04 | 0.1 | 0.2 | A1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|------|----|
| 080825 | 1948 55.35 | 3-41.93 | 40-34.17 | 3.09 | 13 | 187 | 0.8 | 0.27 | 1.6 | 1.8 | C1 |
| 080826 | 0221 47.63 | 3-37.09 | 40-29.55 | 6.73 | 14 | 80 | 2.5 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080826 | 0843 42.38 | 3-37.09 | 40-29.62 | 6.40 | 16 | 72 | 2.6 | 0.05 | 0.2 | 0.2 | A1 |
| 080828 | 1238 51.64 | 3-37.25 | 40-30.32 | 5.24 | 12 | 103 | 2.4 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080828 | 1951 18.71 | 3-37.53 | 40-31.76 | 3.36 | 12 | 247 | 0.5 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | C1 |
| 080829 | 0157 30.59 | 3-37.60 | 40-30.88 | 5.61 | 12 | 138 | 1.5 | 0.04 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080830 | 0459 12.36 | 3-36.98 | 40-28.89 | 6.85 | 12 | 84 | 5.1 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | A1 |
| 080901 | 0903 23.17 | 3-37.34 | 40-30.74 | 6.45 | 12 | 115 | 1.6 | 0.03 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080901 | 1029 07.65 | 3-37.38 | 40-30.37 | 5.06 | 12 | 110 | 2.3 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080901 | 1036 13.32 | 3-37.39 | 40-30.41 | 4.74 | 12 | 112 | 2.3 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080902 | 0724 20.03 | 3-36.87 | 40-30.33 | 6.70 | 12 | 120 | 2.5 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080902 | 0929 49.17 | 3-37.12 | 40-29.67 | 5.80 | 12 | 95 | 3.6 | 0.05 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080902 | 1528 36.08 | 3-36.88 | 40-30.39 | 6.83 | 12 | 121 | 2.4 | 0.04 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080907 | 1856 21.33 | 3-36.71 | 40-31.38 | 8.01 | 12 | 186 | 1.2 | 0.21 | 1.3 | 1.5 | C1 |
| 080908 | 1526 14.74 | 3-37.23 | 40-30.04 | 4.88 | 12 | 98 | 2.9 | 0.03 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080910 | 0436 05.31 | 3-37.44 | 40-30.90 | 5.52 | 12 | 127 | 1.4 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080910 | 0855 12.35 | 3-37.37 | 40-30.31 | 5.00 | 12 | 108 | 2.4 | 0.03 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080911 | 1235 26.90 | 3-37.61 | 40-31.65 | 3.36 | 12 | 225 | 0.5 | 0.04 | 0.3 | 0.3 | C1 |
| 080911 | 1927 11.97 | 3-44.53 | 40-37.42 | 0.22 | 7 | 305 | 16.6 | 0.04 | 1.2 | 62.9 | D1 |
| 080913 | 0601 24.63 | 3-37.37 | 40-30.79 | 5.81 | 10 | 135 | 1.5 | 0.02 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080913 | 1617 43.08 | 3-36.57 | 40-30.69 | 6.10 | 10 | 182 | 2.2 | 0.02 | 0.2 | 0.2 | C1 |
| 080914 | 0117 33.82 | 3-37.17 | 40-30.05 | 4.81 | 10 | 140 | 2.9 | 0.01 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080914 | 1231 30.09 | 3-36.95 | 40-28.82 | 5.58 | 10 | 134 | 5.2 | 0.04 | 0.2 | 0.4 | B1 |
| 080915 | 0710 28.56 | 3-37.38 | 40-30.38 | 4.89 | 8 | 141 | 2.3 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | B1 |
| 080915 | 2126 41.15 | 3-37.17 | 40-29.88 | 5.06 | 8 | 139 | 3.2 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | B1 |
| 080916 | 0559 18.52 | 3-37.64 | 40-31.69 | 3.32 | 10 | 231 | 0.6 | 0.02 | 0.2 | 0.2 | C1 |

| DATE | ORIGIN | LAT S | LONG W | DEPTH | NO | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|--------|------------|---------|----------|-------|----|-----|------|------|-----|------|----|
| 080916 | 0945 21.20 | 3-36.80 | 40-29.96 | 7.52 | 10 | 154 | 3.2 | 0.03 | 0.2 | 0.3 | B1 |
| 080916 | 1554 24.01 | 3-44.55 | 40-37.08 | 0.75 | 6 | 307 | 16.1 | 0.02 | 0.7 | 8.7 | D1 |
| 080916 | 1824 39.77 | 3-37.32 | 40-30.41 | 4.99 | 10 | 136 | 2.2 | 0.01 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080918 | 1442 03.96 | 3-44.61 | 40-37.40 | 0.55 | 6 | 308 | 16.7 | 0.03 | 1.3 | 11.8 | D1 |
| 080919 | 1016 35.87 | 3-37.60 | 40-29.60 | 8.19 | 10 | 121 | 3.8 | 0.03 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080919 | 1139 49.98 | 3-37.11 | 40-29.92 | 5.23 | 10 | 142 | 3.2 | 0.01 | 0.1 | 0.1 | B1 |
| 080919 | 1333 04.99 | 3-37.59 | 40-29.64 | 8.25 | 10 | 122 | 3.7 | 0.03 | 0.2 | 0.2 | B1 |
| 080921 | 1907 44.46 | 3-37.09 | 40-29.93 | 5.24 | 10 | 142 | 3.2 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | B1 |
| 080922 | 1857 26.66 | 3-36.58 | 40-30.63 | 6.19 | 10 | 179 | 2.3 | 0.03 | 0.2 | 0.2 | B1 |

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)