

# INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ESTUDOS TECTÔNICOS

## RESUMO

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Estudos Geotectônicos (INCTET), com sede na Universidade de Brasília e participação de diversas instituições do Nordeste e Sudeste do Brasil visa reunir equipes de pesquisadores que no Brasil investigam a estrutura mais profunda da crosta e do manto superior. A organização é multidisciplinar, congregando geofísicos e geólogos especializados em técnicas diversas, permitindo estudar o interior da terra com base em diferentes propriedades das rochas que a constituem. O propósito inicial do Instituto é o estudo da crosta continental e do manto superior do Nordeste do Brasil. O projeto visa à realização de estudos geofísicos e geológicos no Nordeste, objetivando o entendimento da estruturação tectônica da região e sua dinâmica atual. O foco do projeto é a Província Borborema e o adjacente Cráton do São Francisco. A província consiste em complexo conjunto de blocos crustais de diferentes idades, origem e evolução, amalgamados no último evento orogênico que afetou o território brasileiro, a Orogenia Brasileira, desenvolvida no final do Neoproterozóico e início do Fanerozóico, no contexto da construção do supercontinente Gondwana. O cráton é também complexo amálgama de blocos crustais arqueanos que colidiram durante evento orogênico paleoproterozóico, quando se formou cinturão móvel de alto grau. A complexidade tectônica do Nordeste, superimposta pela ruptura continental que separou América do Sul e África e levou à formação do Oceano Atlântico sul, tem desafiado os geólogos brasileiros ao longo dos anos na tentativa de compreender a estruturação regional e entender o significado da compartimentação regional em termos de origem e evolução da crosta continental. Mesmo os subsídios adicionais propiciados por levantamentos gravimétricos e aerogeofísicos têm sido insuficientes para estabelecer e compreender a estrutura crustal do Nordeste. No presente projeto é preconizada a realização de experimentos de refração sísmica profunda ao longo de duas transectas de cerca de 800 km cada, transversalmente às estruturas regionais, consistindo em 400 sismógrafos portáteis espaçados de 2 km para registro de ondas sísmicas geradas por fonte controlada. Processamento e interpretação dos registros permitirão o reconhecimento das estruturas presentes na crosta e no manto superior em três dimensões. Sismógrafos de banda larga e registro digital serão utilizados para estudos da crosta e da litosfera com dados de telessismos, aplicando técnicas sismológicas modernas, como função de receptor, dispersão de ondas superficiais, tomografia sísmica e inversão conjunta desses métodos. Estações de período curto serão usadas para registro de sismos locais e regionais, visando monitoramento da atividade sísmica que ocorre em várias áreas do Nordeste e determinar o regime de esforços existente na região. Os experimentos de refração serão acompanhados por sondagens geoelétricas e complementados por dados gravimétricos, visando aperfeiçoar os modelos estruturais da crosta e manto superior. Os dados geofísicos serão integrados com dados geológicos disponíveis, complementados por novos estudos estruturais, tectônicos, geoquímicos e geocronológicos, contribuindo para estabelecer idade e origem das rochas expostas. Paralelamente, serão realizados estudos de neotectônica nas áreas sismogênicas do Nordeste, visando entender a evolução crustal, tendo como foco a reativação de grandes estruturas crustais no Cenozóico. O projeto será desenvolvida por equipes das universidades de Brasília, Rio Grande do Norte, São Paulo, Estadual de Campinas, Ceará, Pampa, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Observatório Nacional, que já atuaram em parceria em projetos anteriores. O enfoque é multidisciplinar, reunindo geofísicos e geólogos, especialistas em vários campos do conhecimento compreendidos na Geofísica e na Geologia.

## ABSTRACT

The National Institute of Science and Technology of Tectonic Studies, located at the University of Brasília, and encompassing several Brazilian research institutions, aims to congregate Brazilian research groups studying the deep crust and upper mantle structures. The Institute is multidisciplinary in its approach, joining geophysicists and geologists specialized in different techniques and methodologies, allowing to studying Earth's interior based on different properties of its constituting rocks. The initial focus of the Institutes research is the study of northeastern Brazil crust and upper mantle. This proposal aims to carry out geophysical and geological investigations in northeast Brazil, in order to understand the tectonic structure and present dynamics of the region, particularly the Borborema Province and adjoining São Francisco Craton. Borborema is a complex association of crustal blocks with differing ages, origin and evolution, which were put together during the last orogenic event that took place in what is now the Brazilian territory, the late Neoproterozoic-early Phanerozoic Brasileiro orogeny, in the context of Gondwana supercontinent amalgamation. The São Francisco Craton is also a complex amalgamation of Archean blocks during Paleoproterozoic orogenic collision, which resulted in a high-grade mobile belt. The geological and tectonic complexity of northeast Brazil, superimposed by continental breakup and South Atlantic opening has been difficult to tackle. Therefore, we propose a multidisciplinary approach to understand the regional crustal structure and the meaning of the different regional domains in terms of continental crust origin and evolution. We propose to perform 800 km long deep seismic refraction experiments across regional structures. Operation of the experiment comprises 400 portable seismographs placed 2 km apart from each other, in

order to record seismic waves from controlled sources. Data processing and interpretation will allow to picture regional crust and upper mantle structures. Broad band seismographic stations will be used to studying crust and upper mantle with teleseismic data, using modern seismological techniques, like receiver function and seismic tomography. Short period stations will be used to record local and regional seismic events. Geoelectric sounding and complimentary gravimetric, and geological surveys will be carried out in the same areas of seismic refraction experiments, aiming to improve crust and upper mantle models. Neotectonic studies of seismogenic areas will contribute to the understanding of late Cenozoic crustal evolution. The project will be carried out by research teams from the universities of Brasília, Rio Grande do Norte, São Paulo, Campinas, Ceará, Pampa, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais and Observatório Nacional, which have worked together before in other research projects.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a exploração sistemática da litosfera continental utilizando métodos de refração e reflexão sísmica profunda e métodos sismológicos modernos revolucionou a visão da crosta e do manto superior. Em decorrência desses estudos, feições geológicas maiores puderam ser traçadas até as profundidades da crosta inferior e certas feições da crosta profunda puderam ser projetadas para o manto subjacente, a exemplo de zonas de subdução fósseis. Limites geotectônicos, considerados por gerações de geólogos como suturas crustais, foram identificadas como *splays* de limites litosféricos subjacentes. Limites antes insuspeitos de blocos crustais foram reconhecidos e, em alguns casos, foi verificado que cadeias de montanhas tidas como enraizadas no manto são na realidade tratos alóctones dispostos sobre extensões intactas da crosta inferior de blocos continentais.

Não obstante os resultados espetaculares obtidos, levantamentos desse tipo são restritos a países da Europa, América do Norte, Japão e Austrália. A maior parte da Ásia, África, América do Sul e Antártica permanecem como terra incógnita em termos de imageamento sísmico moderno, de alta resolução. No Brasil esses estudos são escassos. Parte do grupo proponente realizou experiência recente de refração sísmica profunda e aplicação de métodos sismológicos no Brasil central, produzindo resultados de excelente qualidade em transectas na Província Tocantins, que contribuíram para compreender a estrutura crustal mais profunda e suas implicações na formação e evolução da Faixa Brasília e terrenos adjacentes da Faixa Araguaia e do Cráton do São Francisco (Berrocal *et al.* 2004, Assumpção *et al.* 2004, Soares *et al.* 2006). O mesmo grupo de pesquisadores da USP e UnB, ampliado com pesquisadores de universidades do Nordeste (UFRN, UFC, UFPE) e de outras instituições (INPE, UFOP, UNESP, UNICAMP) vem desenvolvendo investigação semelhante na Província Borborema, Nordeste do Brasil, com suporte do Programa Institutos do Milênio (MCT/CNPq, proj. 42.0222/2005-7).

A presente proposta tem por objetivo a criação do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Estudos Tectônicos (INCTET), com sede na Universidade de Brasília (UnB, Brasília, DF) e com a participação de diversas instituições do Nordeste e Sudeste do Brasil. A área geográfica que se propõe a estudar compreende, inicialmente, as regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste, utilizando diversas técnicas geofísicas, geodésicas e geológicas.

O Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Estudos Tectônicos visa reunir as equipes de pesquisadores que no Brasil investigam a estrutura mais profunda da crosta e do manto litosférico. Na verdade são poucos grupos de poucos pesquisadores que se dedicam a estudos geotectônicos no Brasil. Reunindo-os em um corpo multidisciplinar, tem-se a oportunidade de integrar pesquisadores e linhas de pesquisa e metodologias com vistas a explorar de forma sistemática a estrutura profunda da litosfera continental, contribuindo para conhecer e compreender origem e evolução do território brasileiro. Serão realizadas sondagens magneto-telúricas, estudos de refração e reflexão sísmica profunda, análise de telessismos e sismos regionais e locais, função de receptor, tomografia sísmica, levantamento e análise de dados gravimétricos, resultados de modelos do geóide e estudos geológicos (geologia estrutural, geologia isotópica, tectônica, neotectônica). A combinação de todas essas metodologias e linhas de pesquisa tem o potencial de fornecer os vínculos necessários para elaborar modelos geotectônicos mais adequados de formação e evolução da crosta e da litosfera, permitindo a avaliação mais aprofundada e precisa dos efeitos causados por processos tectônicos e magmáticos na litosfera. A experiência inovadora iniciada com os estudos geotectônicos realizados na Província Tocantins e aprofundada na execução do Projeto Borborema abriu caminho para a consolidação de uma rede de pesquisadores que têm como objetivo comum o estudo da estrutura crustal e litosférica de regiões brasileiras de interesse, visando compreender natureza e origem dos vários domínios crustais brasileiros e os processos geológicos que os formaram.

O momento para a constituição do Instituto é favorável também pela disponibilidade de equipamentos modernos de geofísica no *Pool* de Equipamentos Geofísicos (PEGBr) instituído pela Rede Temática de Estudos Geotectônicos (RGEOTEC) da Petrobras, com sede no Observatório Nacional, Rio de Janeiro. Com a disponibilidade do equipamento necessário para realizar os experimentos geotectônicos preconizados, não estaremos dependendo de empréstimo de equipamentos do exterior, principalmente de equipamentos sismográficos para os experimentos de refração e reflexão sísmica profunda e os estudos sismológicos modernos, de modo que os prazos poderão ser cumpridos com maior facilidade.

#### a) PROGRAMA DO INSTITUTO

As atividades de pesquisa do Instituto estarão inicialmente focadas na estrutura crustal e do manto superior litosférico da Província Borborema e do Cráton do São Francisco, no Nordeste do Brasil. Posteriormente, serão pesquisadas outras regiões de interesse, tais como as bacias do Parnaíba e Paraná, o Cráton Amazônico, assim como regiões de menor tamanho mas que apresentam feições tectônicas de interesse, tais como o Lineamento Transbrasiliiano, entre outros.

Do ponto de vista geológico, as divisões maiores do Nordeste do Brasil são a Província Borborema, O Cráton do São Francisco e a Bacia do Parnaíba. A Província Borborema, limitada a noroeste pelo Cráton São Luiz, a oeste pela Bacia do Parnaíba e a sul pelo Cráton do São Francisco, é um complexo mosaico de blocos crustais, aparentemente amalgamados em consequência de processos geológicos que se realizaram em várias etapas ao longo de amplo intervalo de tempo, mas que devem sua configuração final à Orogenia Brasileira, ocorrida no final do Neoproterozóico e início do Fanerozóico. De modo informal, são reconhecidos três amplos domínios geológicos na Província Borborema, os domínios setentrional e meridional, separados pelo domínio da zona transversal (Brito Neves *et al.* 2000). Na superfície a separação dos domínios é atribuída a duas importantes descontinuidades tectônicas, os lineamentos Patos e Pernambuco. Embora estudados em grande detalhe, os lineamentos são objeto de controvérsia, havendo a sugestão de que podem representar importantes suturas crustais, a que se contrapõe a idéia de que seriam zonas de cisalhamento de menor importância. No domínio setentrional, além do Cráton São Luiz, no extremo noroeste, são reconhecidos vários subdomínios (Médio Coreaú ou Noroeste do Ceará, Ceará Central, Orós-Jaguaribe, Rio Grande do Norte) com características próprias, que os diferenciam dos vizinhos, tendo a separá-los importantes zonas de cisalhamento, algumas de dimensões continentais, como é o caso do Lineamento Transbrasiliiano (localmente denominado zona de cisalhamento Sobral-Pedro II), que é tido como continuação do lineamento Kandi na África, onde é reconhecido como sutura neoproterozóica (ver Arthaud *et al.* 2008, Santos *et al.* 2008 e referências ali citadas). O domínio meridional é constituído pelo Maciço Pernambuco-Alagoas e as faixas Sergipana e Riacho do Pontal. A zona transversal mostra também complexo arranjo de terrenos paleoproterozóicos, eventualmente com núcleos arqueanos, mesoproterozóicos e neoproterozóicos, cuja estruturação é pouco compreendida. Superimposto ao arcabouço pré-cambriano, há um conjunto de feições, maiormente resultantes da ruptura continental que resultou na implantação do Oceano Atlântico e na separação da América do Sul da África a partir do Cretáceo. Entre elas destacam-se as bacias da margem continental (Ceará, Potiguar, Pernambuco-Paraíba, Alagoas, Sergipe) e as bacias do interior (Araripe, Rio do Peixe, Iguatu, Icó, etc.), cuja estruturação valeu-se da retomada de antigas linhas de fraqueza pré-cambrianas ou da implantação de novas, meso-cenozóicas (Cordani *et al.* 1984, Brito Neves *et al.* 1984).

Com um arcabouço geológico e estrutural razoavelmente bem conhecido, mercê dos levantamentos geológicos das últimas décadas, dos levantamentos gravimétricos e aerogeofísicos mais recentes e do considerável avanço propiciado por estudos geoquímicos e isotópicos, que provêm base sólida para abordar questões geotectônicas maiores, a presente proposta representa a continuação de levantamentos geofísicos profundos, com base em experimentos de refração sísmica profunda, estudos sismológicos com dados telessísmicos, próximos e locais e sondagens magneto-telúricas, complementados por auscultação da atividade sísmica atual, novos levantamentos gravimétricos para fechar lacunas, e investigações geológicas, isotópicas e tectônicas para obter dados que permitam estabelecer a estrutura crustal da Província Borborema e compreender a articulação dos blocos crustais que a constituem, bem como os processos geológicos que lhes deram origem.

Uma característica importante da Região Nordeste, principalmente de sua porção setentrional, é a existência de nível relativamente elevado de atividade sísmica, com freqüentes sismos de magnitude até 5,2  $m_b$  (que pode ter chegado até 7,0  $m_b$  segundo estudos recentes de neotectônica, Bezerra *et al.* 2005) e intensidade VII MM, causando, nesses casos, sérios danos em edificações. Geralmente essa atividade sísmica ocorre na forma de enxames, que podem durar mais de dez anos, causando muitas vezes pânico e fuga das populações atingidas. Os estudos propostos incluem a auscultação detalhada do nível de atividade sísmica que ocorre no Nordeste brasileiro e a identificação das principais fontes sismogênicas, que, juntamente com estudos de neotectônica e levantamentos regionais para determinar a estrutura profunda da crosta continental, permitirão explicar a origem desses fenômenos sismológicos e a determinar o risco sísmico da região. Os estudos de sismicidade e perigo sísmico permitirão avaliar o risco sísmico para a implantação de obras de engenharia de grande porte na região, como é o caso de usinas nucleares e barragens hidroelétricas.

A pesquisa terá caráter multidisciplinar, empregando métodos geofísicos variados (refração sísmica profunda, métodos sismológicos com dados telessísmicos, regionais e locais, sondagem magneto-telúrica, gravimetria), complementados por estudos geodésicos (GPS) e geológicos (neotectônica, geoquímica, geologia isotópica, geologia estrutural e tectônica), e será conduzida por equipe multi-institucional, reunindo especialistas nos vários campos do conhecimento das ciências geológicas e geofísicas. Além dos pesquisadores da várias instituições nacionais, haverá a participação de especialistas do United States

#### Estado da arte

A Província Borborema (cerca de 450.000 km<sup>2</sup>) foi originalmente definida como região dobrada com aspecto de mosaico, na qual se manifestaram importantes eventos tectônicos, termais e magmáticos de idade neoproterozóica, atribuídos à Orogenia Brasileira (Almeida *et al.* 1977, 1981). Desde o século passado, essa província estrutural foi objeto de muitos trabalhos de cartografia geológica, levantamentos aerogeofísicos e gravimétricos, programas de exploração mineral (principalmente scheelita, minerais de pegmatitos, ouro) e de materiais energéticos (principalmente petróleo e gás, bem como urânio), além de numerosos projetos de pesquisa científica que, em conjunto, levaram a vasta bibliografia geológica (ver sínteses recentes de Brito Neves *et al.* 2000, Bizzi *et al.* 2003).

As estruturas da província se estendem além de seus limites formais, encobertas a oeste pelos depósitos fanerozóicos da Bacia do Parnaíba e a norte e leste pelas bacias meso-cenozóicas costeiras e da margem continental. No contexto da tectônica global, essas estruturas encontram sua contraparte no Continente Africano, onde, entre Togo e Gabão, é registrada a continuação de domínios lito-estruturais e tectônicos da Província Borborema, a exemplo das faixas móveis Trans-Saara, Nigéria e Oubanguides-África Central, hoje separadas por consequência da ruptura continental de Gondwana/Pangea e implantação do Oceano Atlântico a partir do Cretáceo (Trompette 1994, Arthaud *et al.* 2008, Van Schmus *et al.* 2008, Santos *et al.* 2008, Dada 2008). Vista dessa forma, a Província Borborema se estende entre o Cráton do São Francisco a sul e o Cráton São Luiz-Oeste África a norte. Dentro desses limites são encontrados registros de unidades lito-estruturais do Arqueano (*basement inliers*) e, principalmente, do Paleoproterozóico e Neoproterozóico. Apesar da grande complexidade estrutural, a Província Borborema pode ser vista como formada predominantemente durante a Orogenia Brasileira, conforme é indicado pelo volumoso magmatismo associado a zonas de cisalhamento de escala continental dispostas em leque, ambos datados do Neoproterozóico.

Cada uma das três grandes regiões individualizadas na Província Borborema (setentrional, transversal e meridional, separadas pelos lineamentos Patos e Pernambuco, Van Schmus *et al.* 1995, Brito Neves *et al.* 2000) admite subdivisões em diferentes domínios, caracterizados por feições e propriedades geológicas peculiares, que permitem distingui-los dos domínios adjacentes. Na região mais setentrional da província são reconhecidos os domínios Médio Coreaú (ou NW Ceará), Ceará Central, Orós-Jaguaribe e Rio Grande do Norte, separados uns dos outros por importantes zonas de cisalhamento (ver Arthaud *et al.* 2008, Van Schmus *et al.* 2008). Algumas dessas zonas exibem dimensões continentais e se continuam em África, como é o caso do Lineamento Transbrasiliano, localmente denominado Sobral-Pedro II, tido como continuação do Lineamento Kandi, que é reconhecido como sutura neoproterozóica no Continente Africano (Castaing *et al.* 1993, 1994, Caby *et al.* 1995).

O Domínio Médio Coreaú (ou Noroeste do Ceará) se situa entre a margem retrabalhada do Cráton São Luiz e o Lineamento Transbrasiliano/Kandi (Sobral-Pedro II). Consiste em embasamento gnáissico de alto grau metamórfico, juvenil, paleoproterozóico, com cerca de 2,35 Ga e segmentos esparsos de faixas dobradas neoproterozóicas de associações vulcano-sedimentares (Grupo Martinópole) e pelito-carbonáticas (Grupo Ubajara), que podem ser fragmentos do cinturão móvel Trans-Saara (Jardim de Sá 1994, Brito Neves *et al.* 2000, Santos *et al.* 2008). Ao longo do Lineamento Sobral-Pedro II ocorrem bacias transtensionais (Parente *et al.* 2004b) e granitos pós-orogênicos, em parte recobertos pelas rochas sedimentares fanerozóicas da Bacia do Parnaíba (Zalan *et al.* 2004).

O Domínio Ceará Central se situa entre os lineamentos Transbrasiliano e Senador Pompeu (que seria continuação do Lineamento Ile Ife em África, Arthaud *et al.* 2008), o último estabelecendo o limite com o Domínio Rio Grande do Norte (Brito Neves *et al.* 2000). Outros autores consideram os lineamentos Aiuaba e Orós como limite entre os domínios Ceará Central e Orós-Jaguaribe (Arthaud *et al.* 1998, 2008). O Ceará Central compreende embasamento ortognáissico paleoproterozóico (2,1-2,2 Ga), com importante núcleo arqueano (Tróia-Tauá, 2,7-2,8 Ga). O embasamento é recoberto tectonicamente por escamas de rochas supracrustais, principalmente rochas pelíticas, carbonáticas e psamíticas, metamorfizadas em fácies anfibolito, comumente migmatizadas, incluídas no Grupo Ceará, que é de idade neoproterozóica, com base em dados geocronológicos obtidos em rochas metavulcânicas e metassedimentares do pacote (Fetter 1999, Castro 2004, Arthaud 2005). A porção noroeste do domínio é caracterizada por complexa associação de migmatitos, granitos anatéticos e restitos de anfibolitos e rochas cálcio-silicáticas, o Complexo Tamboril-Santa Quitéria, considerado representativo de arco magmático continental neoproterozóico, com idade entre ca. 649 e 615 Ma, estabelecido acima de zona de subducção tida como localizada a oeste (Fetter *et al.* 2003). O domínio se caracteriza também pelo grande número de intrusões de granitos, alguns de caráter sin- a tardi-colisional, a maioria pós-colisional, alojada entre 590 e 480 Ma.

O Domínio Orós-Jaguaribe se expõe entre os lineamentos Aiuaba e Orós a oeste e Portalegre a leste, que o separa do Domínio Rio Grande do Norte (no qual, no entanto é freqüentemente incluído, ver Brito Neves *et al.* 2000). Compreende embasamento ortognáissico paleoproterozóico e importantes faixas de

associações supracrustais (Orós, Jaguaribe, Peixe Gordo, Encanto, ver Cavalcante 1999), incluindo quartzitos, pelitos, rochas carbonáticas, seqüência evaporítica (Parente *et al.* 2004a) e rochas vulcânicas bimodais, datadas em ca. 1750 Ma (Sá *et al.* 1995, 1997). Deformação e metamorfismo são relacionados à Orogenia Brasileira, bem como os numerosos granitos tardi- e pós-orogênicos.

O Domínio Rio Grande do Norte se estende até o Atlântico a norte e leste, sendo delimitado pelo Lineamento Portalegre a oeste (ou pelo Lineamento Senador Pompeu, Brito Neves *et al.* 2000) e pelo Lineamento Patos a sul. Compreende vários subdomínios, entre os quais se destacam os maciços Rio Piranhas e São José do Campestre, cujo limite é encoberto pela Faixa Seridó. O embasamento desses subdomínios representa o arcabouço de ampla colagem paleoproterozóica (riaciana), incluindo núcleos arqueanos. Os ortognaisses do domínio mostram idades modelo Sm-Nd  $T_{DM}$  neoarqueanas (2,5-2,6 Ga, Van Schmus *et al.* 1995, Fetter *et al.* 2000, Dantas *et al.* 1998), em contraste com as idades  $T_{DM}$  paleoproterozóicas determinadas no Domínio Ceará Central (Fetter *et al.* 2000). Os principais núcleos arqueanos são Grangeiro, sul do Ceará (Silva *et al.* 2002) e Bom Jesus, Rio Grande do Norte, onde foram reconhecidas rochas paleoarqueanas, as mais antigas da Plataforma Sul-Americana (Dantas *et al.* 1998, 2004). Sobre o embasamento ocorrem restos de faixas de rochas metassedimentares neoproterozóicas (Caipu, Lavras, Mangabeira, Iara), a principal, Faixa Seridó (Van Schmus *et al.* 2003), expondo-se na parte central do domínio. Dados geológicos e geofísicos indicam que o Domínio Rio Grande do Norte comportou-se como unidade rígida desde o final da colagem riaciana, ainda que com retrabalhamento importante na orogenia brasileira. Não há registro de suturas internas e em reconstruções pré-deriva o domínio parece ter continuidade no sul da Nigéria (Brito Neves *et al.* 2000, Dada 2008).

A região central, ou Domínio da Zona Transversal, é delimitada pelos lineamentos Patos e Pernambuco. Contém vários segmentos internos de direção NE-SW (Brito Neves *et al.* 1995), deformados e rotacionados no sentido horário, em conseqüência do par cisalhante destro. Do litoral para o interior, são discriminados os terrenos Rio Capibaribe, constituído por associações supracrustais neoproterozóicas e mais antigas (Santos *et al.* 2004), intrudidas por granitos brasileiros; Alto Moxotó, com predominância de embasamento paleoproterozóico re-trabalhado e poucas intrusões brasileiras; Alto Pajeú, compreendendo principalmente rochas supracrustais e ortognaisses formados na Orogenia Cariris Velhos entre ca. 1,0 e 0,95 Ga (Brito Neves *et al.* 1995); e Piancó-Alto Brígida, faixa neoproterozóica de ritmitos pelito-psamíticos de baixo grau, com intercalações de rochas vulcânicas máficas e félsicas, intrudida por abundantes corpos graníticos (Brito Neves *et al.* 2000; Bizzi *et al.* 2003). Para oeste, ocorrem exposições de embasamento ortognaissico paleoproterozóico, em grande parte encoberto por rochas sedimentares mesozóicas da Bacia Araripe.

A região mais meridional da província, situada ao sul do lineamento Pernambuco, estende-se até o limite do Cráton do São Francisco. Ali se expõem o Maciço Pernambuco-Alagoas e as porções externas e internas das faixas Rio Preto, Riacho do Pontal e Sergipana (Jardim de Sá *et al.* 1992, Brito Neves *et al.* 2000). Incluem-se aí partes do antepaís e do pós-país das faixas dobradas, constituídas por rochas metamórficas de alto grau, que definem a extensão pretérita do embasamento cratônico. O domínio meridional da província inclui um anel de faixas móveis (Sergipano, Riacho do Pontal, Rio Preto) que tiveram sua origem em margens continentais passivas da península do São Francisco e que foram invertidas para margens ativas no decorrer do Neoproterozóico. Apenas no caso de Riacho do Pontal, o registro da margem continental ficou sobre o cráton. Nas demais, há registros da margem continental, de ambientes litorâneos a mar profundo, incluindo desenvolvimento de arcos magmáticos.

Vários subdomínios litoestratigráficos constituem a Faixa Sergipana, separados por importantes zonas de cisalhamento. Os dois mais próximos do Cráton do São Francisco (Estância, Vaza Barris) compreendem principalmente rochas de origem sedimentar pouco ou não metamórficas, com metamorfismo crescente em direção ao norte. Dados isotópicos e geocronológicos recentes obtidos na Faixa Sergipana (Oliveira *et al.* 2006, ver Van Schmus *et al.* 2008 para revisão) mostram a presença de cristais detríticos de zircão neoproterozóicos, indicando que a fonte sedimentar não se localizava no cráton adjacente, mas para o norte, em outras partes da Província Borborema. Os subdomínios Macururé, Marancó, Poço Redondo e Canindé se localizam ao norte da Zona de Cisalhamento São Miguel do Aleixo. Essa porção da faixa é caracterizada por metamorfismo mais elevado e abundantes intrusões de granitos neoproterozóicos. No subdomínio Macururé a idade da sedimentação se situa entre ca. 900 Ma, idade de grãos detríticos de zircão, e 625 Ma, idade de granitos intrusivos (Oliveira *et al.* 2006). O subdomínio Marancó contém seqüência metavulcano-sedimentar datada em ca. 600 Ma, enquanto Poço Redondo consiste em migmatitos, gnaisses e intrusões graníticas, cujas idades e assinaturas isotópicas Sm-Nd são similares às do orógeno Cariris Velhos na Zona Transversal (ver Van Schmus *et al.* 2008). O subdomínio Canindé compreende materiais interpretados como raiz de rift continental invertido, incluindo seqüência metavulcano-sedimentar, granitos intrusivos, inclusive com textura rapakivi, microgabro subvulcânico, e complexo máfico-ultramáfico acamadado, formados entre Ca. 715 e 600 Ma (ver Van Schmus *et al.* 2008).

O subdomínio Pernambuco-Alagoas, limitado a sul e a norte por falhas de empurrão, consiste em embasamento gnaiss-migmatítico e numerosas intrusões de granitos brasileiros, vários com dimensões batolíticas. Trata-se de colagem de muitas unidades de diferentes idades; idades modelo Sm-Nd entre 1,0 e 1,5 Ga requerem que amplas porções do subdomínio devem ser de idade mesoproterozóica ou mais jovens

(Silva Filho *et al.* 2002, Van Schmus *et al.* 2008). As porções leste e norte do embasamento incluem restos de crosta paleoproterozóica e relíquias arqueanas. Em contraste, a porção sudoeste apresenta idades modelo Sm-Nd mesoproterozóicas (Silva Filho *et al.* 1999, 2002, Van Schmus *et al.* 2008). A margem sul do maciço constitui parte do pós-país da Faixa Sergipana e inclui intrusões graníticas que podem ter sido geradas por subducção neoproterozóica voltada para norte. A compreensão da estrutura e composição do maciço e de seu papel na evolução tectônica da Província Borborema requer estudos geológicos, isotópicos e, sobretudo, geofísicos.

Dados geoquímicos obtidos em centenas de intrusões de granitos, amplamente distribuídos em toda Província Borborema, corroboram a compartimentação acima resumida, balizada pelos extensos lineamentos, ao revelar contrastes entre domínios adjacentes. Ênfase especial é dada ao uso dos isótopos de Nd e terras raras leves como indicadores das fontes envolvidas nos processos de fusão geradores dos magmas graníticos. Embora os processos de contaminação crustal tenham afetado a assinatura isotópica dessas rochas, parte delas ainda guarda indicações de suas fontes litosféricas e/ou mantélicas. Um dos exemplos é o magmatismo neoproterozóico alcalino característico dos domínios ao norte do Lineamento Patos, o qual apresenta sua origem possivelmente ligada a fusão de crosta paleoproterozóica ( $\epsilon_{Nd} = 0,6$  e idade modelo Sm-Nd = 2,0 Ga, Ferreira *et al.*, 1998). A sul do Lineamento Patos as rochas graníticas são predominantemente cálcio-alcálicas potássicas, mostram evidência de provável derivação mantélica ( $\epsilon_{Nd}$  entre -1 e -4) e foram possivelmente extraídas de fontes mesoproterozóicas (1.1-1.4 Ga). Essa compartimentação é corroborada pela presença restrita de rochas sieníticas ultrapotássicas no Domínio da Zona Transversal. Tais rochas marcam possível paleosutura formada durante a acreção neoproterozóica do terreno Alto Pajeú aos demais integrantes da Zona Transversal.

No final da Orogenia Brasileira, os diferentes blocos crustais parecem ter sido soerguidos variavelmente ao longo dos lineamentos principais (Monié *et al.*, 1997, Corsini *et al.*, 1998), seja como resultado de reativações das extensas zonas de cisalhamento em caráter dúctil-rúptil (Araújo *et al.*, 2001), seja associado a reajustes isostáticos pós-tectonismo (Corsini *et al.*, 1998). Esta fase coincide com a formação de boa parte dos depósitos de Au e W, e também com a colocação dos corpos pegmatíticos de interesse econômico (Araújo *et al.* 2001, 2002). A extrusão cambriana foi de dezenas, talvez centenas, de quilômetros, deixando como registro notável acervo de movimentos direcionais que deram forma final à província, como hoje a conhecemos. Houve transtração com alojamento de granitos e pegmatitos, formação de bacias, soerguimentos (e resfriamentos), seguida de volumosa erosão, de que resultaram os sedimentos gondwânicos.

O Cráton do São Francisco é subjacente ao limite sul da Província Borborema. Representa o anteparo estrutural ao qual foram acrescidos os terrenos do norte. De maneira geral o cráton consiste em terrenos de alto grau (gnaisses, migmatitos, granulitos) e terrenos granito-*greenstone* arqueanos a paleoproterozóicos, recobertos por depósitos proterozóicos de rift e plataformais (Teixeira *et al.* 2000). Na Bahia, na parte norte do cráton, são individualizados os blocos Gavião, Serrinha e Jequié, separados pelo cinturão móvel Salvador-Itabuna-Curaçá (Barbosa e Sabaté 2002, 2004). Rochas de alto grau metamórfico estão presentes no Bloco Jequié, de idade arqueana, e no orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá, onde a colisão de placas e o auge do metamorfismo ocorreram em 2,05-2,08 Ga (Barbosa e Sabaté 2002, 2004). O segmento norte do orógeno foi originado pela colisão entre os blocos arqueanos Gavião a oeste e Serrinha a leste (Barbosa e Sabaté 2002, 2004). O embasamento do Bloco Serrinha consiste em ortognaisses com idades entre 3,12 e 2,98 Ga, cobertos por *greenstone belts* paleoproterozóicos e intrudidos por granitos e outras rochas entre 2,16 e 2,08 Ga (Oliveira *et al.* 2004, Rios *et al.* 2000, 2007). O Bloco Gavião inclui o embasamento ortognáissico mais antigo do cráton, com idades dominantes entre 3,1 e 3,42 Ga (Nutman e Cordani 1993, Martin *et al.* 1997, Santos-Pinto *et al.* 1998, Leal *et al.* 2000), ao qual se associam *greenstone belts* paleo-mesoarqueanos (Peucat *et al.* 2002, Leal *et al.* 2003), cortados por grande número de granitos paleoproterozóicos.

A inteira compreensão da Província Borborema e do Cráton do São Francisco, particularmente de sua forma, extensão e feições geográficas, vai além do estudo de seu arcabouço pré-cambriano, demandando também consideração dos registros fanerozóicos. A cratonização da província passou por estágio de transição no Cambriano-Ordoviciano (ver revisões recentes em Parente *et al.* 2004b, Zalán 2004), com tectônica de escape e importantes deslocamentos transcorrentes, acompanhados por sedimentação e vulcanismo, frequentemente bimodal, cujos produtos são acumulados em bacias do tipo *pull-apart* (Jaguarapi, Jaibaras, Cococi, São Julião, Juá, etc.), além de marcante plutonismo granítico pós-orogênico, bem como diversos enxames de diques máficos e félsicos (Independência, Tauá, etc). Condições plenamente cratônicas são alcançadas na fase de estabilização, do Ordoviciano até o Jurássico médio, quando se desenvolve a importante sinéclise do Parnaíba, além de depósitos paleozóicos preservados em outros sítios deposicionais, como na Bacia de Sergipe e nos riftes Recôncavo, Tucano e Jatobá. Sobrevém a seguir a fase de ativação (Jurássico superior a Cretáceo inferior), quando se formaram os riftes e bacias interiores (Recôncavo, Tucano, Jatobá, Araripe, Rio do Peixe, Iguatu, etc.) e as bacias costeiras da margem Atlântica (Ceará, Potiguar, Pernambuco-Paraíba, Alagoas, Sergipe) sob condições de extensão (Araripe e

Feijó, 1994; Milani e Thomaz Filho, 2000, Zalán 2004). Esses eventos levaram à fragmentação de Pangea, à formação do Oceano Atlântico e à individualização da Placa Sul-Americana. Paralela e subseqüentemente à formação do Atlântico e à deriva dos continentes, o interior continental foi submetido a soerguimento e erosão (fase de re-estabilização pós-cretácea). Muitos dos depósitos sedimentares resultantes dos sucessivos eventos foram fortemente influenciados pelas estruturas do embasamento subjacente, particularmente pelas estruturas desenvolvidas durante o tectonismo fini-brasiliano (Matos, 1992). Em tempos geológicos mais recentes, tectonismo e magmatismo foram atenuados, embora não deixem de se manifestar em vários episódios, como o magmatismo registrado na Formação Cuó (Cretáceo, ca. 83 Ma), em Macau e Messejana (Eoceno-Oligoceno) e no Pico do Cabugi (Oligoceno, ca. 30 Ma), valendo também mencionar o vulcanismo registrado no arquipélago de Fernando de Noronha, entre 12 e 1,5 Ma. Os eventos de formação do Atlântico sul e o persistente magmatismo na porção central da Província podem ter afetado fortemente sua estruturação em sub-superfície. Sob a Bacia Potiguar, um importante adelgaçamento da crosta, identificado a partir de dados de sísmica de reflexão, é acompanhado por importante anomalia térmica. No centro da Província, os *plugs* vulcânicos do Oligoceno são circunscritos por anomalia positiva do geóide, revelando heterogeneidades (anomalia térmica) em escala litosférica.

Atividades tectônicas perduram até nossos dias, sendo o Nordeste uma das principais regiões de atividade sísmica no Brasil. Registrada desde 1724, nos últimos trinta anos essa atividade tem sido caracterizada por enxames de sismos, que podem durar até dez anos, e por eventos que atingiram magnitudes pouco acima de 5,2  $m_b$  na escala Richter. Estudos de neotectônica vêm demonstrando que rupturas em superfície e liquefação induzidas por tremores em sedimentos quaternários são evidência de paleossismos com magnitude igual ou superior a 7  $m_b$  (Bezerra *et al.* 2005). A atividade concentra-se principalmente na borda da Bacia Potiguar, no noroeste do Ceará, no Lineamento Pernambuco e no Recôncavo Bahiano (Ferreira e Assumpção 1983, Takeya *et al.* 1989, Ferreira *et al.* 1998, 2008). Atingindo a parte superior da crosta, com profundidades de até 12 km, as falhas sísmogênicas ativas revestem-se de características importantes para estudos da estrutura crustal.

A breve síntese acima demonstra que a crosta da Província Borborema e do Cráton do São Francisco consiste em número apreciável de segmentos geológicos com características próprias, reunidos em subdomínios e domínios, que parecem continuar por milhares de quilômetros desde o Brasil até a África. Apesar de razoavelmente bem conhecidos e delimitados em superfície, o conhecimento sobre a articulação dos distintos segmentos e domínios com seus vizinhos deixa a desejar, na maior parte das vezes não tendo sido estabelecida a verdadeira natureza dos seus limites, especialmente quando representados por importantes e extensas zonas de cisalhamento. Dado o estágio do conhecimento geológico sobre a Província Borborema e o Cráton do São Francisco, e considerando a complexidade e longevidade de sua história tectônica, eles oferecem oportunidade ímpar para investigar sua estrutura crustal em três dimensões.

Os métodos geofísicos que estudam o interior da Terra fornecem informações confiáveis sobre a estrutura tectônica da crosta e manto superior, o estado térmico da Terra e outras características físicas do interior do nosso planeta. Dentre os métodos geofísicos destacam-se os métodos sismológicos porque as ondas sísmicas atravessam todas as regiões internas da Terra, trazendo informações valiosas quando registradas na superfície. Até recentemente a sismologia sofria com a falta de precisão nas suas determinações devido à precariedade relativa na medição do tempo, na qualidade e número dos equipamentos sísmográficos, nas limitações do meio de registro das ondas sísmicas e do processamento dos dados. Presentemente o avanço tecnológico, principalmente da informática, revolucionou as técnicas utilizadas na sismologia, permitindo melhorar enormemente a qualidade na aquisição e no processamento dos dados. Este avanço está evidenciado no aprimoramento do conhecimento da estrutura da crosta e do manto superior até a base da litosfera, por meio dos métodos de prospecção sísmica profunda, principalmente o método de refração, amplamente utilizado nos países de primeiro mundo. Neste sentido é notória a falta desse tipo de levantamentos na África, em parte da Ásia, América do Sul e Antártica.

No Brasil, apesar da sismologia ser relativamente avançada, a utilização de métodos sísmicos de prospecção profunda para o conhecimento da estrutura da litosfera é ainda escassa. Neste sentido, merece destaque o experimento pioneiro de refração sísmica profunda efetuado na Província de Tocantins, Brasil central, realizado por pesquisadores do IAG/USP e IG/UnB, em que foram utilizados mais de uma centena de sismógrafos de registro digital, em linhas de aproximadamente 300 km de extensão, com explosões a cada 50 km e com hora de origem controlada. A maioria dos sismógrafos foi emprestada do projeto PASSCAL e as caixas de tiro e técnicos para operação dos equipamentos foram supridos pelo grupo de Sismologia do USGS de Menlo Park, CA, USA. Esse levantamento teve ademais, caráter multidisciplinar com a realização de estudos geológicos e sismológicos, com destaque ao método de função de receptor e tomografia sísmica, além de método gravimétrico e de medidas de deformação crustal com GPS de precisão.

Os resultados excelentes obtidos nesse experimento motivaram a equipe de geólogos e geofísicos que participou desse projeto a continuar realizando projetos similares em outras áreas tectônicas de interesse no Brasil. Com a experiência adquirida e a participação de pesquisadores de outras instituições brasileiras,

encontra-se em finalização o projeto de investigação geofísica e tectônica na Província Borborema, Nordeste do Brasil, que foi apoiado desde 2005 pelo Programa Institutos do Milênio do MCT/CNPq. A programação prevista para esse projeto, baseada em empréstimo principalmente do equipamento sismográfico do exterior, não pode ser completada porque o empréstimo não se concretizou. Em face dessa inesperada dificuldade, foram buscadas alternativas para dar andamento ao projeto. A oportunidade surgiu com a implantação das redes temáticas de pesquisa por parte da PETROBRAS. Em particular, a Rede de Estudos Geotectônicos, tendo reconhecido a importância de aprofundar as pesquisas de cunho geotectônico no Brasil, em especial no que diz respeito ao conhecimento da estrutura da crosta e da litosfera, empregou parte substancial de seus recursos para instituir *pool* de equipamentos PEGBr, com sede no Observatório Nacional, Rio de Janeiro, e adquiriu modernos equipamentos de sismologia, gravimetria, sondagem magnetotelúrica, etc., colocados à disposição da comunidade científica brasileira. Assim, não mais será necessário recorrer a empréstimos de equipamentos do exterior, uma vez que o Brasil agora dispõe de equipamento próprio, capaz de dar suporte a boa parte das pesquisas geofísicas necessárias para melhor conhecer a estrutura do interior da Terra sob o nosso país. O projeto em finalização, congregando geofísicos e geólogos de todo o país, significa um passo adiante no sentido da constituição de uma instituição permanente para estudos geotectônicos no Brasil.

No projeto da Província Borborema foram realizadas até o momento: a) duas transectas de sondagens magnetotelúricas com cerca de 800 km cada; b) construção de 20 sistemas instrumentais para sondagens magnetotelúricas; c) levantamentos sismológicos da atividade sísmica local ocorrida em Caruaru e São Caetano, Pernambuco, Luís Gomes e Tabuleiro Grande, Rio Grande do Norte e Açude do Castanhão e Sobral, Ceará, principalmente com equipamentos de período curto adquiridos pelo projeto, onde foram dados esclarecimentos às autoridades e à população e feito assessoramento para ações de defesa civil, notadamente em Sobral; d) estudos de função de receptor para imageamento da crosta terrestre com base em dados de 6 estações sismográficas de banda larga adquiridas pelo projeto, instaladas em Sobral e Ocara, Ceará, Pau dos Ferros e Parelhas, Rio Grande do Norte, Solânea, Paraíba, Agrestina, Pernambuco; e) investigações geológicas (neotectônica, geoquímica, geologia isotópica, geologia estrutural e tectônica) foram desenvolvidas em várias áreas nos domínios NW Ceará, Ceará Central, Orós-Jaguaribe, Rio Grande do Norte e Faixa Sergipana; f) está sendo executada uma transecta de refração sísmica profunda de aproximadamente 800 km, entre Granja, Ceará e Serinhaém, Pernambuco, por meio de estudos de refração sísmica profunda, juntamente com adensamento de estações gravimétricas e de sondagem magnetotelúrica, além de estudos geológicos, que permitirão obter informações valiosas sobre a estrutura interna da crosta sob a Província Borborema.

Na presente proposta é prevista a continuação dos experimentos geofísicos que não puderam ser realizados e que têm sua execução garantida pela chegada dos equipamentos de sismologia ativa e pela previsão de entrega pelo fabricante, em prazo de cerca de um ano, dos equipamentos sismológicos de banda larga adquiridos para o *pool* de equipamentos científicos PEGBr da Rede de Estudos Geotectônicos. Assim, a rede de 6 estações sismográficas de banda larga atualmente em operação na Província Borborema será ampliada e adensada com 40 estações adicionais, visando aprofundar os estudos da estrutura tridimensional da crosta e manto superior sob a Província Borborema, utilizando os métodos de função do receptor e anisotropia do manto, bem como desenvolver os estudos de tomografia sísmica. Será realizada transecta de refração sísmica profunda norte-sul através da província, aproximadamente entre Macau, Rio Grande do Norte e Tobias Barreto, Sergipe, seguindo a transecta de sondagens magnetotelúricas já realizadas. Além disso, será realizada transecta de refração sísmica profunda, de direção aproximadamente leste-oeste, na porção norte do Cráton do São Francisco, cortando os blocos Gavião (e suas coberturas proterozóicas), o cinturão Salvador-Curaçá, o Bloco Serrinha, o rift Tucano e a porção leste do cráton, ao norte de Salvador. Outra transecta está prevista para a Bacia do Parnaíba, cortando-a de norte a sul, visando investigar o embasamento da bacia e suas relações com a Província Borborema. Ambas as transectas serão acompanhadas de sondagens magnetotelúricas. Serão continuados os estudos relacionados com a atividade sísmica que ocorre no Nordeste, ampliando a rede de monitoramento com os novos equipamentos que estarão disponíveis no PEGBr. A investigação da origem e natureza da sismicidade será completada com estudos de neotectônica e de deformação crustal, utilizando-se uma rede de estações GPS já em operação na região.

Associados a investigações geológicas (neotectônica, geoquímica, geologia isotópica, geologia estrutural e tectônica), os novos dados geofísicos a serem obtidos permitirão abordar muitos problemas fundamentais que caracterizam a estruturação crustal do Nordeste brasileiro, dentre os quais são destacados:

- Quais os processos fundamentais que levam à cratonização e descronização (ou regeneração)? O que leva uma área tectonicamente estável (litosfera fria e espessa) voltar a ser afetada por ampla deformação dúctil e granitogênese?

- Há diferenças significativas na estrutura crustal de terrenos proterozóicos comparados a terrenos arqueanos?

- São confirmadas as indicações de afinamento litosférico nas áreas mais sísmicas da porção setentrional da Província Borborema e nas proximidades das intrusões terciárias, como o Pico do Cabugi?
- Qual o papel dos lineamentos continentais, tanto na amalgamação de diferentes blocos crustais, quanto na geração de bacias sedimentares mais jovens (herança tectônica)?
- Qual a natureza das falhas sismogênicas e o período de recorrência de sua atividade em uma zona intra-placa? Quais as paleotensões e tensões tectônicas atuais associadas a essas falhas e sua origem? Qual a taxa atual de deformação da região?

Além disso, espera-se evolução importante no conhecimento da geologia da região, com forte impacto para as atividades de exploração mineral e também para o entendimento da sua sismicidade, que se constitui em tema com importante impacto social. Dentre os problemas que se espera solucionados com os dados geofísicos estão:

- Qual a natureza do limite entre o Domínio Médio Coreaú/ Noroeste do Ceará e o Cráton São Luiz?
- Como é a estruturação do embasamento da Bacia do Parnaíba e como se relaciona com a crosta exposta na Província Borborema?
- O lineamento Transbrasiliano (Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II) é uma sutura neoproterozóica, tal como o Lineamento Kandi em África, considerado como a sua continuação?
- É o Complexo Tamboril-Santa Quitéria um arco magmático continental enraizado no Domínio Ceará Central, ou trata-se de escama tectônica alóctone?
- Qual a natureza do Lineamento Senador Pompeu? É limite de terreno ou traço de extrusão do final da Orogenia Brasileira?
- Qual o significado do Domínio Orós-Jaguaribe e qual a natureza das zonas de cisalhamento que o delimitam?
- É o embasamento paleoproterozóico do Domínio Rio Grande do Norte homogêneo ou trata-se de amálgama de segmentos distintos, como os já propostos complexos Caicó e Angicos?
- O Lineamento Patos é uma transformante continental, sucessora de antiga zona de subducção, e, portanto, importante divisor crustal?
- A Zona Transversal representa colagem de elementos distintos, faixas móveis e *basement inliers*, ocorrida no final do Neoproterozóico? Há ligação subcrustal entre fragmentos de embasamento paleoproterozóico e mesoproterozóico? Qual a natureza dos importantes lineamentos que seccionam internamente a Zona Transversal?
- Qual o significado do Lineamento Pernambuco ao norte do Maciço Pernambuco-Alagoas? Por que a crosta se espessa tanto para o norte, conforme se infere de dados gravimétricos?
- Como são os limites do Maciço Pernambuco-Alagoas com o embasamento da porção Sul-Alagoana da Faixa Sergipana? São parte de um mesmo contexto geológico ou há sutura entre eles? Existem evidências sísmicas de arco magmático na porção centro-ocidental do maciço?
- O limite da península cratônica São Francisco com a Faixa Sergipana é uma falha profunda ou é um limite gradacional como sugerem as estruturas de Bendegó-Euclides da Cunha?
- A bacia de Tobias Barreto-Lagarto é antefossa, tipo sinéclise marginal, ou é um rifte?
- Quais as relações em profundidade dos blocos Gavião e Serrinha com o orógeno Salvador-Curaçá?

## b) OBJETIVOS E METAS

O objetivo central da proposta é o estudo geotectônico da estrutura profunda da litosfera continental do Nordeste brasileiro, incluindo a crosta e o manto litosférico. Desse objetivo maior fazem parte:

- . mapear a distribuição de condutividade elétrica e direções de anisotropia em diferentes profundidades litosféricas ao longo de perfis posicionados ortogonalmente às direções estruturais predominantes
- . identificar as zonas de concentração de correntes elétricas anômalas na crosta e manto superior e avaliar o relacionamento espacial de camadas condutoras, descontinuidades e anisotropias geoelétricas, com o estado térmico, mecânico, reológico e químico da litosfera inferido a partir de outros dados geológicos e geofísicos.
- . imagear a estrutura crustal e litosférica por refração sísmica profunda e métodos sismológicos e contribuir para o entendimento da natureza dos blocos crustais identificados na Província Borborema e no Cráton do São Francisco e dos processos que levaram ao seu amálgama.
- . contribuir para o entendimento da evolução crustal em áreas sismogênicas do Nordeste, principalmente a reativação de grandes estruturas crustais no Cenozóico e o papel de planos de fraqueza prévios na geração de falhas sismogênicas e neotectônicas.
- . complementar os estudos geotectônicos que estão sendo desenvolvidos na Província Borborema, efetuando uma transecta leste oeste na Bacia do Parnaíba.

As principais metas a serem alcançadas com o desenvolvimento do projeto são:

- Realizar 2 transectas de sondagem geoelétrica no Nordeste do Brasil
- Executar 2 transectas de refração sísmica profunda no Nordeste do Brasil

- iii. Complementar dados gravimétricos ao longo das linhas de refração sísmica e sondagens geolétricas
- iv. Estabelecer rede regional de 48 estações sismográficas de banda larga no Nordeste do Brasil
- v. Instalar 20 estações sismográficas de período curto para monitorar áreas de ocorrência de sismos no Nordeste do Brasil
- vi. Complementar estudos geológicos nas áreas das linhas de refração sísmica e sondagens geolétricas
- vii. Realizar estudos de neotectônica em falhas sismogênicas
- viii. Formar mestres e doutores nas temáticas abordadas no projeto
- ix. Divulgar resultados das pesquisas em periódicos internacionais de grande circulação e em eventos científicos nacionais e internacionais.

### c) LINHAS DE PESQUISA E MÉTODOS

#### 1. Imageamento da litosfera por métodos de indução eletromagnética

Os estudos de Indução Eletromagnética contemplados nesta proposta envolvem a continuação de medidas de sondagens magnetotelúricas (MT) em transectas geolétricas e sondagens geomagnéticas de profundidade (GDS) com o propósito de aprofundar o conhecimento sobre os processos dinâmicos predominantes na litosfera sob a Província Borborema e o Cráton do São Francisco. Particularmente, serão enfatizadas as regiões com marcantes e extensas feições estruturais que constituem importantes heterogeneidades geolétricas, tanto na parte crustal próximo à superfície, onde as feições estruturais são visíveis, como na parte encoberta da litosfera mais profunda, onde se originam as atividades sísmicas, fluxo de calor alto, esforços com soerguimentos e subsidências relacionados a uma topografia dinâmica, reativação de falhas em zonas de cisalhamento e vulcanismo cenozóico. Estes fenômenos comprovam a instabilidade tectônica que ainda persiste na região. Nessa situação, a aplicação de métodos magnetotelúricos, com baixas taxas custo/efetividade e impacto ambiental nulo, permitirá a integração do conhecimento geofísico profundo, complementando os levantamentos sísmicos e gravimétricos.

A abordagem com o método MT almeja coletar dados por meio de sondagens ao longo de perfis transversais às estruturas tectônicas da província e, assim, fornecer imagens 2D e eventualmente 3D das variações de condutividade elétrica em diferentes profundidades da litosfera, desde os primeiros quilômetros até a sua base. A Figura abaixo, mostrando o arcabouço geológico da região de estudo, indica a localização das sondagens MT executadas nos últimos dois anos em círculos com distintas cores para distinguir as diferentes campanhas. Os perfis propostos para serem executados são mostrados em linhas cinzas contínuas, enumeradas em azul, perfazendo um total de mais de 100 sondagens ao longo de aproximadamente 2.000 km. Adicionalmente, serão coletados dados de magnetômetros *fluxgate* distribuídos em grade geográfica com espaçamento de 50-100 km entre eles, para coletar dados simultâneos por um longo período de tempo. Estes dados serão utilizados para análises de sondagens geomagnéticas de profundidade (método GDS) e correções dos efeitos de correntes elétricas no mar. Com esta complementação, será obtida distribuição regional homogênea de levantamentos, possibilitando a identificação das bordas e espessuras de blocos litosféricos e direções de anisotropia geolétrica relacionadas a evolução tectônica e magmática da região. A análise dos dados MT, em conjunto com aqueles provenientes da sísmica e gravimetria, poderá fornecer os vínculos necessários para a elaboração de modelos da formação e evolução geodinâmica da província em geral, e em particular sobre sua influência sobre as bacias costeiras.

Devido às características do fenômeno de indução eletromagnética em que se baseia o método MT, que permitem sondar diferentes profundidades em função do período do sinal natural amostrado e da condutividade elétrica do meio, o levantamento MT deve permitir o reconhecimento tanto das principais feições geolétricas da crosta (períodos mais curtos) como das principais descontinuidades em grandes profundidades da crosta inferior e manto superior (períodos mais longos). A importância dos dados MT advém da sua complementaridade em relação aos outros dados geofísicos porque mede um parâmetro físico diferente (condutividade elétrica), cuja variação não necessariamente está relacionada aos mesmos fatores que causam alterações de densidade, das características magnéticas e/ou velocidade sísmica das rochas. Portanto, os estudos de indução, quando interpretados conjuntamente com os outros dados geofísicos a serem adquiridos, irão fornecer vínculos cruciais, tanto para a definição da continuidade das estruturas superficiais para o interior da Terra como para o entendimento dos processos geodinâmicos que deram origem a essas estruturas.

#### **Método magnetotelúrico**

O método MT fundamenta-se nas leis básicas que descrevem a propagação eletromagnética de um campo magnético variante no tempo em um meio condutor e que induz um campo elétrico, o qual vai

conduzir uma corrente elétrica nesse meio. Essa corrente tem um campo magnético associado, que é a parte secundária do campo que pode ser medido na superfície. O MT envolve medidas simultâneas das variações dos campos geoeletricos e geomagnéticos na superfície da Terra. A razão entre os componentes horizontais dos campos elétrico e magnético medidos na superfície, chamada de impedância, é dependente primariamente da distribuição de condutividade elétrica em sub superfície. A profundidade de penetração desses sinais no interior da Terra é governada pela profundidade pelicular (*skin depth*), calculada a partir da profundidade na qual o sinal natural é reduzido em  $1/e$  (aproximadamente 37%) de seu valor na superfície. Muito embora a penetração do sinal eletromagnético varia, diretamente, em função da raiz quadrada do período, ela depende, inversamente, também da distribuição da condutividade elétrica dos materiais do meio. Assim, as ondas eletromagnéticas penetram maiores profundidades para períodos mais longos e/ou rochas com menor condutividade (mais resistivas). Para valores típicos de condutividade observados na Terra, campos induzidos em períodos da ordem de 1000 segundos penetram e conseqüentemente trazem informações sobre a distribuição de condutividade na crosta, e períodos mais longos (superiores à 10.000 segundos) podem penetrar o manto superior. Com os equipamentos atualmente disponíveis, sondagens MT efetuadas durante um período de 15 dias abrangem um amplo intervalo de freqüências, entre 0.001 e 12.000 s. A impedância é geralmente representada por variações de sua amplitude (resistividade aparente) e fase. Gráficos da variação da resistividade aparente e fase em função da freqüência são os principais resultados de uma sondagem MT em um determinado local. As estruturas geológicas que dão origem às curvas MT são determinadas mediante a comparação dos dados experimentais com dados sintéticos calculados através de modelos (método inverso) e a partir do conhecimento da condutividade elétrica das rochas, obtida através de medidas em laboratório. Na interpretação dos resultados deve-se ter em vista que os silicatos, minerais predominantes na crosta, são bastante resistivos e, portanto, o método é bastante sensível à presença de anomalias condutoras na crosta, geralmente associadas à concentração de fluidos mineralizados (condução eletrolítica) ou de minerais altamente condutores (especialmente grafita, condução eletrônica). Por outro lado, em profundidades típicas do manto, a condução elétrica deve-se à existência de condições apropriadas de interconexão entre minúsculos componentes das rochas do manto que contenham minerais condutores (grafita, sulfetos), fluidos salinos, fusões parciais, e material volátil. A condução tende a aumentar gradualmente com a profundidade em função do aumento da temperatura, sendo especialmente sensível às condições encontradas no topo da astenosfera pelo favorecimento da interconexão entre material parcialmente fundido.

### **Método de Sondagem Geomagnética de Profundidade (GDS)**

Os dados geomagnéticos das sondagens MT, como também dados coletados por magnetômetros *fluxgate* distribuídos na região de estudo, podem também ser usados na determinação dos chamados vetores de indução (*induction arrows*), que representam um relacionamento linear ("função de transferência") entre a componente Z e as duas componentes horizontais (H e D). Os vetores de indução constituem abordagem usual para definir a posição e geometria de áreas com concentrações de correntes elétricas e estimar contrastes laterais de condutividade, pois uma possível presença de correntes fluindo ao longo de estruturas lineares anormalmente condutivas, próximas às sondagens, causa grandes alterações na componente Z (Arora et al., 1999; Subba-Rao et al., 2003). Suas amplitudes variam em função da distância e/ou da intensidade da anomalia elétrica que afeta a sondagem. A interpretação inferida é que os vetores de indução apontam em direção às correntes que produzem os campos anômalos verticais e que a magnitude do vetor vai ser tanto maior quanto mais próximo a sondagem estiver do local onde fluem as correntes. A ausência da componente vertical implica que a sub-superfície é estratificada horizontalmente. Por outro lado, a presença dessa componente vertical indica o efeito de uma estrutura mais complexa do que 1-D.

### **Distorções nas Medidas de Indução Eletromagnética na Região Nordeste:**

A aplicação dos métodos de indução eletromagnética no Nordeste do Brasil é afetada por diversas características peculiares, tanto do campo geomagnético primário, como das estruturas geológicas encontradas na região. As principais fontes de distorção são discutidas a seguir e as alternativas propostas para sua correção são apresentadas no âmbito de atividades a serem executadas no âmbito deste projeto.

#### Efeitos de Distorções Galvânicas Superficiais:

A principal limitação para o uso do método MT, e que se observa em diversas localidades do Brasil, relaciona-se à presença de estruturas superficiais localizadas 3D que podem obscurecer o ambiente geoeletrico regional 1D ou 2D. Pode-se mostrar nesse caso que, quando um campo elétrico atravessa um gradiente de condutividade, há um acúmulo de cargas elétricas nas bordas dessa descontinuidade superficial. Como conseqüência, em períodos longos, para os quais as dimensões da heterogeneidade são muito menores que a penetração do sinal, o efeito das cargas acumuladas pode distorcer significativamente o campo elétrico medido ("distorção galvânica"). Na situação especial em que os dados sejam medidos no mesmo sistema de coordenadas do azimute geoeletrico regional, o efeito dessa distorção pode afetar as

duas componentes ortogonais do campo elétrico medido de forma independente. Devido a isso, ao campo elétrico devido à indução regional (1D ou 2D) soma-se um componente eletrostático devido ao acúmulo de cargas nas bordas da estrutura local, causando escalonamento da amplitude das impedâncias e, em decorrência, das resistividades aparentes obtidas. Esse efeito é conhecido como deslocamento estático (static shift).

Como as fases são preservadas dessas distorções, elas retêm as formas corretas das respostas e podem ser empregadas para se obter a estrutura geral de resistividade, porém apenas com valores relativos de resistividade. Para se obter modelos com resistividades absolutas tem-se que corrigir o deslocamento estático nas curvas de resistividade aparente. Para tanto, diversas técnicas foram propostas nas últimas duas décadas, mas ainda não existe proposição que possa resolver inteiramente o problema. Uma técnica bem difundida consiste na utilização de dados provenientes de medidas eletromagnéticas no domínio do tempo (sondagens TEM, Pellerin & Hohmann 1990). As medidas TEM trabalham em períodos mais curtos que as medidas MT e não são afetadas por deslocamento estático por utilizarem apenas medidas das componentes magnéticas. Para essa correção é necessária uma sondagem TEM no mesmo sítio da sondagem MT, permitindo que suas respostas possam ser comparadas para se obter o fator de deslocamento das resistividades aparentes MT. Neste projeto, sondagens TEM serão realizadas nas mesmas localidades das sondagens MT, usando equipamento já disponível para o projeto.

#### Efeitos de distorções causadas pela indução oceânica (Coast effect).

Sondagens MT realizadas muito próximas da costa (algumas dezenas de quilômetros) podem ser afetadas, principalmente em períodos mais longos, pelas correntes elétricas no mar, nas bacias costeiras e no manto sublitosférico (Padilha et al., 2001). Como resultado, as curvas de resistividade nos modos TE e TM se apresentam com significativa separação entre si. Neste projeto, modelos serão investigados, usando uma camada de resistividade constante para a massa oceânica, e espessura dependente da profundidade da lâmina do mar. A condutância derivada das camadas sedimentares será estimada a partir de dados de furos e linhas sísmicas da plataforma oceânica

#### 2. Refração sísmica profunda

Entre as técnicas geofísicas utilizadas para estudo da crosta continental, aquelas baseadas na propagação de ondas elásticas contribuem de forma significativa ao conhecimento crustal. Os levantamentos sísmicos/sismológicos permitem caracterizar a crosta a partir da distribuição de velocidades das ondas sísmicas ( $V_p$  e  $V_s$ ), da geometria das descontinuidades crustais, da profundidade da Moho e da razão  $V_p/V_s$  da crosta. Estas propriedades estão relacionadas ao ambiente tectônico estudado. Dentre os métodos sísmicos com fonte controlada utilizados no estudo da crosta continental se destaca a refração sísmica profunda. Historicamente, os levantamentos de refração sísmica são utilizados no estudo da estrutura crustal por ser método relativamente simples e propiciar bom controle da distribuição de velocidade das ondas sísmicas no meio e, conseqüentemente, do posicionamento das descontinuidades em profundidade. É utilizado, também, no estudo da petrologia/composição da crosta profunda, por meio da comparação das velocidades obtidas em experimentos de campo com aquelas obtidas em laboratório. A composição crustal é inferida pela determinação da razão de velocidade das ondas sísmicas  $V_p/V_s$  (razão de Poisson), que é particularmente sensível ao conteúdo de sílica das rochas (Fountain e Christensen, 1989; Holbrook et al., 1992; Zandt e Ammon, 1995; Christensen, 1996; Mussachio et al., 1997).

Refração sísmica profunda trabalha com o alinhamento de fases das ondas direta, refratadas e refletidas no ângulo crítico e acima deste. Em seção sísmica de refração as fases analisadas são as primeiras chegadas dos sismogramas e a reflexão crítica na descontinuidade de Moho. As primeiras chegadas representam fases da onda direta, refrações da crosta média e superior e a refração na descontinuidade de Moho. Para crosta continental de aproximadamente 40 km de espessura as fases refratadas na Moho chegam como primeiras quebras de chegada em distâncias próximas a 200 km do tiro, dependendo da velocidade média da crosta e do manto superior. As reflexões críticas na descontinuidade de Moho ocorrem próximas a 80-100 km de distância do tiro (Berrocal et al., 2004; Soares et al., 2006). Aparecem como fases de destaque nos sismogramas e são usadas para determinação da velocidade média da crosta.

Reflexões críticas são utilizadas, também, para mapear a crosta inferior e determinar os gradientes positivos de velocidade do meio. A refração da crosta inferior não é registrada como primeira chegada e, neste caso, as reflexões críticas são mais facilmente identificadas, pois possuem amplitudes maiores que as da refração. Refrações são normalmente identificadas quando primeiras quebras, sendo difícil sua determinação nas partes internas dos sismogramas. O gradiente de velocidade das camadas é determinado pela posição do ponto de reflexão crítica. Quanto maior o gradiente de velocidade, mais distante da fonte se situa o ponto crítico da reflexão e vice-versa. Na literatura é comum os levantamentos de refração serem denominados de refração/reflexão de grande ângulo (*refraction/wide angle reflection*).

O processamento dos dados de refração profunda consiste basicamente em: i) preparar as seções sísmicas; ii) identificar as fases primárias e secundárias e classificá-las em onda direta, refratada e refletida; iii) gerar modelo preliminar para cada seção; iv) compor os modelos individuais para a obtenção de um modelo único, e v) realizar a modelagem direta ou inversa para obtenção do modelo final, que deve acomodar o tempo de trânsito de todas as seções simultaneamente. O modelo final deve satisfazer os dados de refração sísmica e os demais dados, acomodando de forma geral as informações geofísicas e geológicas existentes.

Os experimentos de refração sísmica profunda deste trabalho serão realizados com 400 pontos de registro equi-espaciaados ao longo de uma linha de aproximadamente 800 km de extensão e tiros a cada 50 km ao longo da linha.

Os equipamentos sísmicos serão emprestados do *pool* de equipamentos geofísicos PEGBr dos quais 340 estações de registro são formadas por registrador Texans e sensor L4A-vertical ( $T_0=0,5s$ ) e outras 60 estações formadas por registrador DAS-130 e sensor L4A-3 componentes. Os registros de três componentes vão permitir bom controle das fases S ao longo do perfil, uma vez que as ondas S são mais bem identificadas nos componentes horizontais de registro.

Os tiros serão realizados com cargas explosivas de aproximadamente 1,4 toneladas acomodadas em poços de 9" de diâmetro com aproximadamente 50 m de profundidade. Nos extremos das linhas os tiros serão de 4 toneladas com os explosivos acomodados em três poços próximos. Os dois terços inferiores de cada poço serão preenchidos com emulsão explosiva de alta velocidade de detonação e o terço superior tamponado com brita zero. Com essas cargas pretende-se obter registros de qualidade até aproximadamente 400 km de distância dos tiros. Para os tiros extremos o sinal sísmico deve alcançar até 600 km de distância, o que vai permitir obter informações importantes do manto superior.

Grandes arranjos de sensores são necessários para registrar a refração da Moho como primeira chegada e, também, para mapear porções significativas das curvas de refração e reflexão da Moho, aprimorando a estimativa de velocidade da crosta e do manto litosférico. Os tiros regulares possibilitam o controle das variações laterais do meio ao longo da linha.

Na Província Borborema o perfil terá direção N-S, cortando o domínio Rio Grande do Norte, representado pelas rochas metassedimentos e embasamento da Faixa Seridó, e os blocos crustais delimitados pelos lineamentos Patos e Pernambuco. No Cráton do São Francisco a linha de refração possui direção aproximada E-W, cruzando os blocos Gavião e Serrinha e o Orógeno Salvador-Itabuna-Curaçá.

Os perfis de refração sísmica serão acompanhados de demais levantamentos geofísicos e geológicos que permitirão detalhar a estrutura da Província Borborema e norte do Cráton do São Francisco ao longo de grandes transectas.

### 3. Sismologia com dados telessísmicos

Os métodos sismológicos utilizam sinais de ondas de sismos distantes (telessismos) registradas simultaneamente por dezenas de sismógrafos triaxiais de banda larga, com registro no formato digital para estudos tridimensionais da estrutura da crosta e da litosfera, aplicando técnicas sismológicas modernas, tais como função do receptor, dispersão de ondas superficiais, tomografia sísmica, e a inversão conjunta desses métodos.

Os dados utilizados nestes métodos são originados em sismos que ocorrem em diversas regiões da Terra e que são registrados pelas estações instaladas na região de estudo com características próprias para cada método, de modo que as estações devem operar com uma determinada configuração por um intervalo de tempo conveniente, que normalmente é por volta de 1,5 ano.

#### *Função do Receptor*

O aspecto básico do método de função do receptor (FR) é que a incidência de uma onda P telessísmica em uma descontinuidade (como Moho) produzirá uma fase P refratada (ou transmitida) e uma fase S convertida ( $P_s$ ) durante a refração. Devido à menor velocidade da fase  $P_s$ , a diferença entre os tempos de chegada dessas fases refratadas, medirá a profundidade da descontinuidade, ao mesmo tempo em que a razão entre as amplitudes delas dependerá do contraste dos parâmetros elásticos na descontinuidade.

Além disso, a análise das fases múltiplas, originadas por sucessivas reflexões na superfície e na Moho, poderá ser utilizada para determinar a razão  $V_p/V_s$ , entre as velocidades dessas ondas. Para tanto, o método FR utiliza o processo de deconvolução para isolar os efeitos locais da onda P dos telessismos, resultando em uma função que depende somente da estrutura abaixo da estação. Para considerar que as incidências das fases P e  $P_s$  estejam amostrando pontos muito próximos na descontinuidade, é necessário observar o ângulo de incidência dos raios da onda P do telessismo. Quanto maior o ângulo de incidência (entre o raio e a vertical), o que ocorre em sismos relativamente próximos, maior será a distância entre os pontos de refração das fases P e  $P_s$ , amostrando-se, neste caso, pontos relativamente afastados da descontinuidade e introduzindo mais uma incerteza nos cálculos. Por esse motivo, o ideal é aplicar o

método em telessismos com distâncias epicentrais entre 30° e 90°, isto é, que incidam próximos da vertical, e que sejam de grande magnitude (maior que  $m_b$  5,0 de preferência) para trabalhar com sinais claros.

No caso de camadas horizontais, espera-se obter a mesma função do receptor numa mesma estação, para eventos vindos de diferentes azimutes. De esse modo, para se identificar problemas decorrentes de camadas não horizontais ou problemas de lateralidade, ou mesmo estimar a incerteza do método, é necessário efetuar a comparação da resposta obtida da função do receptor para sismos provenientes de diferentes azimutes. A diferença entre os tempos de percurso das fases P e Ps refratadas na Moho será proporcional à espessura da crosta, sendo esta quantificada através de:

$$h = \frac{t_{Ps} - t_P}{\left(V_S^{-2} - p^2\right)^{\frac{1}{2}} - \left(V_P^{-2} - p^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

onde  $t_{Ps}$  é o tempo de leitura da fase Ps na resposta FR obtida,  $t_P$  é o tempo da fase P,  $p$  é o parâmetro de raio da onda P incidente,  $V_P$  é a velocidade da onda P e  $V_S$  a velocidade da onda S, na camada estudada.

Para que os tempos das fases possam ser identificados e suas leituras possam ser realizadas, utiliza-se o processo de deconvolução do sinal. A onda telessísmica registrada contém informações da fonte, da trajetória, da estrutura sob a estação e da resposta do instrumento. Como o objetivo da FR é isolar as informações da crosta presentes nos primeiros pulsos dos sinais telessísmicos, utiliza-se o processo de deconvolução para remover os efeitos da fonte, da trajetória e do instrumento e obter um sinal somente com a resposta da estrutura sob a estação.

No método da FR podem ser utilizados dois tipos diferentes de rotação. VRT (Vertical, Radial, Tangencial) ou LQT (L está na direção da onda P, Q na direção da onda Sv e T na direção da Sh). No processo da deconvolução existem diversos métodos. Alguns métodos são baseados no domínio do tempo, como a deconvolução iterativa (Ligorria & Ammon, 1999) ou a deconvolução impulsiva (*spiking deconvolution* – Leinbach, 1995), outros baseados no domínio da frequência, que se utilizam do teorema da convolução (Bracewell, 1999; Weisstein, 2008) para transformar a deconvolução em uma divisão espectral equalizada por um nível d'água (Ammon, 1991; Clayton & Wiggins, 1976). Na prática, a escolha da deconvolução não afeta o resultado obtido.

#### *Tomografia de Velocidade de Grupo para Ondas de Superfície*

Devido à característica de dispersão das ondas de superfície, é possível estimar variações de velocidade das ondas S em diferentes profundidades. Isso é possível, pois cada período possui um tempo de chegada diferente (dispersão), o que é reflexo da variação da velocidade da onda S com a profundidade. As ondas de período curto chegam mais tarde no registro comparadas com as de período longo, pois são sensíveis às menores velocidades da onda S nas camadas mais superficiais da Terra, ocorrendo o oposto com as ondas de período longo. Os dados utilizados na tomografia com ondas de superfície são curvas de dispersão das ondas Rayleigh e Love, obtidas a partir de medidas da velocidade de fase e velocidade de grupo.

Nos trabalhos realizados na América do Sul (Van der Lee *et al.*, 2001, 2002; Feng *et al.*, 2004; Feng, 2004), os métodos de medidas das velocidades de fase possuem restrições devido à necessidade de um bom conhecimento da solução dos mecanismos focais dos eventos (método de estação única), e da irregularidade na distribuição das estações (método inter-estações e de arranjo de estações), por isso apenas as medidas de velocidade de grupo têm sido utilizadas.

A velocidade de grupo representa a velocidade de propagação dos pacotes de interferência construtiva de perturbações das ondas geradas pelas fontes sísmicas, e pode ser expressa por,

$$U(\omega) = \frac{d\omega}{dk} \quad (16)$$

onde  $\omega$  é a frequência e  $k$  é o número de onda. A relação entre a velocidade de grupo e a velocidade de fase ( $c = \omega/k$ ) pode ser expressa por,

$$U = \frac{d\omega}{dk} = \frac{d(kc)}{dk} = c + k \frac{dc}{dk} \quad (17)$$

Da Equação 17 pode-se observar que pequenas perturbações na velocidade de fase causam grandes variações na velocidade de grupo, ou seja, esta última é mais sensível, mesmo que as duas carreguem as mesmas informações sobre a estrutura da Terra.

As velocidades de grupo são obtidas processando os sismogramas de cada par estação/evento. A técnica MFT (*Multiple Filtering Techniques*) (Dziewonski *et al.*, 1969; Herrin & Goforth, 1977), implementada

no pacote de processamento de Herrmann & Ammon (2002), foi utilizada por Feng (2004) para fazer o processamento dos sismogramas e obter as velocidades de grupo, conseqüentemente obtendo as curvas de dispersão utilizadas na inversão.

A inversão para a tomografia de velocidade de grupo é feita em duas etapas; Obtenção das velocidades de grupo regionalizadas e em seguida inversão das curvas de dispersão regionalizadas para obter perfis de velocidade da onda S em profundidade.

As velocidades de grupo regionalizadas são aquelas relacionadas à variação das estruturas tectônicas no percurso da onda. Apenas utilizando análises das curvas médias de dispersão dos percursos não é possível saber as variações das estruturas nestes percursos. A tomografia de velocidade de grupo usada por Feng (2004) baseia-se na aproximação do raio de círculo-máximo (ou teoria do raio geométrico), que supõe que somente as estruturas logo abaixo do caminho do raio influenciam os tempos de percurso das ondas.

#### 4. Parâmetros Sismotectônicos com Sismos Locais e Regionais

A região Nordeste do Brasil, onde está inserida a Província Borborema, é uma das regiões com mais alto índice de atividade sísmica do Brasil, como se mostra no mapa abaixo. Durante o desenvolvimento do projeto será necessário instalar alguns sismógrafos de banda larga e registro digital, que funcionem durante a maior parte de duração do projeto. Atualmente se encontra em operação na região uma rede sismográfica com 7 estações do tipo banda larga, seis adquiridas e instaladas pelo Projeto do Milênio mais a estação RCBR, que pertence à rede sismográfica mundial. Novas estações de banda larga, pertencentes ao *pool* de equipamentos geofísicos, deverão ser instaladas durante a execução do projeto o que permitirá um monitoramento eficaz da atividade sísmica na região. Uma vez identificadas as áreas sísmicas, serão instaladas redes sismográficas portáteis, com pelo menos dez estações do tipo período curto, que possibilitarão determinar, com precisão adequada, hipocentros e mecanismos focais, parâmetros essenciais para orientar estudos neotectônicos e verificar possíveis correlações entre atividade sísmica e feições geológicas locais. Alguns resultados recentes desse tipo de trabalho encontram-se descritos na parte de neotectônica.

#### 5. Métodos gravimétricos

A modelagem gravimétrica direta baseia-se no ajuste de corpos que geologicamente sejam condizentes com a situação da região e compatíveis com a informação proveniente dos outros métodos geofísicos, e que ajustem adequadamente a anomalia gravimétrica observada. Para uma modelagem adequada de estruturas crustais, é necessária uma boa cobertura gravimétrica ao longo dos perfis investigados, de preferência expandindo-se um pouco as suas dimensões nas bordas. Ao menos ao longo das linhas investigadas é necessário ter uma boa cobertura gravimétrica, que reflita o sinal gerado pelas diversas estruturas envolvidas.

No caso da modelagem inversa, ajusta-se a partir dos dados observados a distribuição de densidade que melhor os justifique, utilizando vínculos oferecidos por outros métodos e pela geologia para limitar o espaço de soluções, e necessita-se da mesma cobertura gravimétrica para se efetuar a modelagem.

#### 6. Evolução de crátons e faixas dobradas

Faixas dobradas representam as raízes de cadeias de montanhas do passado. As rochas que as constituem contêm testemunhos da abertura de bacias oceânicas e de sua subsequente destruição, culminando com colisão de placas continentais, a estabilização de continentes e a formação de novos crátons. O Nordeste inclui algumas das mais bem estudadas faixas dobradas formadas no último grande evento orogênico registrado na Plataforma Sul-Americana, a Orogenia Brasileira ocorrida no Neoproterozóico, como é o caso das faixas Médio Coreauá, Seridó e Sergipana. Além disso, estão presentes porções de crosta continental geradas em eventos orogênicos anteriores, no Mesoproterozóico, no Paleoproterozóico e mesmo no Arqueano. Terrenos arqueanos estão expostos na Província Borborema e principalmente no Cráton do São Francisco, onde foram amalgamados pelo Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá, no Paleoproterozóico. O estudo da região, portanto, propiciará contribuir para o conhecimento dos processos geológicos levaram à construção da crosta continental.

A geologia das áreas a serem atravessadas pelas linhas de refração sísmica profunda e sondagens magnetotelúricas é razoavelmente bem conhecida, tendo sido coberta por levantamentos em escala 1:1.000.000 e 1:250.000 e, em vários casos, por levantamentos 1:100.000 realizados pela antiga SUDENE e pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, além de, eventualmente, em escalas maiores em trabalhos desenvolvidos por pesquisadores e estudantes de pós-graduação e graduação das universidades da região e de outras regiões (Brito Neves et al. 2000, Bizzi et al. 2003). As eventuais lacunas serão cobertas por levantamentos a serem realizados pela equipe, empregando métodos comuns de mapeamento geológico, incluindo a determinação de relações geológicas entre rochas e unidades de rochas aflorantes, tomada de parâmetros estruturais (acamamento, foliação, lineação, falhas, fraturas, indicadores cinemáticos), coleta de amostras para estudos petrográficos convencionais em laboratório e, quando necessário, para estudos

litogeoquímicos e isotópicos. Todas as instituições envolvidas dispõem de laboratórios equipados com microscópios petrográficos para as análises petrográficas. Eventuais análises químicas de rochas, visando melhor caracterizar sua natureza e contribuir para elucidar origem e evolução, serão realizadas no Laboratório de Geoquímica da UnB, no qual os procedimentos de ataque e análise por ICP-AES, absorção atômica e perda ao fogo para determinar concentrações de elementos maiores, menores e em traços estão em rotina há muitos anos.

Análises isotópicas Sm-Nd e U-Pb em rochas e minerais serão realizadas sempre que for necessário estabelecer idades absolutas e buscar parâmetros quanto à origem e evolução. As análises serão realizadas no Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília, seguindo as rotinas de preparação de amostras e procedimentos de análises isotópicas utilizadas no laboratório. No caso de análises Sm-Nd a dissolução é realizada em cápsulas Savillex, com duas digestões iniciais com HF-HNO<sub>3</sub>, seguida de digestão por HCl 6N. Elementos terras raras são separados em colunas de troca catiônica e Sm e Nd são separados por cromatografia reversa, usando colunas com HDEHP (ácido di-2-etil-hexil fosfórico), suportado por pó de Teflon PTFE, bem como resina Ln-Spec. Solução traçadora mista de <sup>149</sup>Sm-<sup>150</sup>Nd é usada. Sm e Nd são depositados em filamentos duplos de Re e análises isotópicas são realizadas em modo estático, usando espectrômetro de massa Finnigan MAT 262. Incertezas nas razões Sm/Nd e <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd são consideradas melhores que ±0,3% (2σ) e ±0,005% (2σ), respectivamente, com base em análises repetidas dos padrões internacionais BCR-1 e BHVO-1. Razões <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd são normalizadas para o valor 0,7219 da razão <sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd. Brancos totais de Nd do laboratório para todos procedimentos são inferiores a 100pg (Gioia e Pimentel, 2000).

Concentrados de zircão são extraídos de amostras de rochas (10-20 kg), usando técnicas gravimétricas (DENSITEST®) e magnéticas (separador isodinâmico Franz) convencionais. Purificação final é obtida por separação manual, usando lupa binocular. Grãos individuais ou frações de zircão são dissolvidos em HF e HNO<sub>3</sub> concentrados (HF:HNO<sub>3</sub>=4:1), usando microcápsulas em bombas tipo Parr. Traçador misto <sup>205</sup>Pb-<sup>235</sup>U é usado. Extração química segue técnica padrão de troca aniônica em microcolunas de Teflon, seguindo procedimentos modificados de Krogh (1973). Pb e U são carregados em conjunto em filamentos simples de Re com H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> e gel de sílica e as análises isotópicas são realizadas em espectrômetro de massa Finnigan MAT 262 multicoletor, equipado com multiplicador de elétrons – contador de íons secundários. Procedimentos de brancos de chumbo no laboratório são melhores do que 10pg (Pimentel *et al.* 2003). No caso de análises no novo equipamento ICPMS-LA (Bühn *et al.* 2008), os grãos de zircão são colocados um a um sob o binocular em *wafer* de vidro coberto com fita dupla para evitar perda. Anel de plastic é colocado sobre a fita ao redor dos grãos e preenchido com epox. Após dois dias de secagem as montagens são removidas da fita e polidas com pasta de diamante. As montagens são levadas a banho ultra-sônico com 3 % HNO<sub>3</sub>, lavadas em água destilada e colocadas em porta-amostra de *nylon* junto com padrão. A câmara de amostra do laser é passada por fluxo de He de qualidade analítica, que amostra material ablastado e vaporizado a ser transportado via tubos Tygon para o ICP. Antes de entrar na câmara de amostras, o He passa por tubo de vidro preenchido com cristais de quartzo cobertos de ouro para remover a maior parte do mercúrio (Hg), cujo isótopo <sup>204</sup>Hg interfere com <sup>204</sup>Pb analisado para aplicar a correção de Pb comum. Antes de entrar no plasma, o He vindo do laser é combinado com Ar de qualidade analítica que sustém o plasma. O arranjo detector consiste em Faraday central e 4 Faraday colocados em cada lado do central para análise de alta sensibilidade de isótopos de Pb e U no espectrômetro equipado com 6 contadores de íons. Cinco isótopos são analisados simultaneamente. Solução de <sup>206</sup>Pb é usada para calibração.

Em adição, haverá datação das falhas através de Ar/Ar (idades superiores a 1 Ma) e luminescência (idades inferiores a 1 Ma) para os estudos neotectônicos. O método Ar-Ar é uma ferramenta de geocronologia que também apresenta temperaturas críticas onde o sistema isotópico é aberto, provocando um *resetting* do cronômetro geológico. No caso do alvo e dos objetivos desta pesquisa, poderá fornecer resultados interessantes, devido a ser possível se obter idades de até 400 Ma com um grau de certeza razoável. Pretende-se para este método efetuar análises Ar-Ar no material de preenchimento dos diversos sistemas de falhas e fraturas existentes.

Os sedimentos quaternários derivados de movimentos tectônicos serão datados por luminescência (Luminescência ópticamente estimulada, LOE e *Single Aliquot Regeneration Protocol*, SAR; Técnica de dose regenerativa de alíquota simples). Serão datadas amostras de zonas de falha, mais especialmente *gouge* e outros materiais friáveis em zonas de falhas, coletadas tanto no embasamento cristalino, quanto nas bacias sedimentares. Igualmente, serão coletadas amostras de depósitos siliciclásticos quaternários. As amostras serão coletas com tubos de PVC, na ausência de luz. As amostras serão datadas no Laboratório de vidros e datação da FATEC-SP.

## 7. Estudos neotectônicos

O estudo de estruturas tectônicas rasas de idade recente vem se tornando comum como ferramenta de análise de falhas sísmicas em áreas intraplacas. A atividade sísmica registrada instrumentalmente nos últimos trinta anos, por exemplo, assinala sismos de, no máximo,  $m_b=5.2$ . Por outro lado, estudos neotectônicos recentes têm mostrado que rupturas em superfície e liquefação induzidas por tremores em

sedimentos quaternários (Bezerra et al., 2005, 2007, 2008) indicam evidências de paleossismos com magnitude igual ou superior a 7,0. Nota-se, portanto, uma importante lacuna no conhecimento científico.

Estudos recentes mostram que há forte correlação entre elevada pressão de fluidos e falhas sismogênicas na Província Borborema. Estudos detalhados de sismologia mostram que a geometria e a cinemática destas falhas podem ser estudadas em detalhe. No caso da Falha de Samambaia, por exemplo, a distribuição de hipocentros revela um falhamento dextral co-sísmico *em echelon* com forte megulho para NW (Bezerra et al., 2007). Em adição, estudos de grandes estruturas crustais, como a zona de cisalhamento Pernambuco, mostram forte correlação entre a foliação milonítica e sismicidade (Ferreira et al., 2008). Tais avanços apontam para um trabalho conjunto de geologia/neotectônica e sismicidade.

O objetivo principal do presente projeto é o estudo neotectônico em áreas sismogênicas do Nordeste próximas às linhas de refração sísmica profunda. Pretende-se contribuir para o entendimento da evolução crustal, principalmente sobre a reativação de grandes estruturas crustais no Cenozóico e o papel de planos de fraqueza prévios na geração de falhas sismogênicas e neotectônicas.

#### d) Formação de recursos humanos

A equipe do Instituto proposto apresenta larga experiência na formação de recursos humanos de qualidade - mestres e doutores de alto nível, muitos dos quais lideram grupos de pesquisa nas mesmas ou em outras instituições – e na orientação de alunos de graduação e de iniciação científica. Espera-se criar condições apropriadas, de qualificação de pessoal e de infra-estrutura, para reforçar e ampliar as atividades acadêmicas e o desenvolvimento futuro de inúmeros trabalhos de pós-graduação que a disponibilidade dos dados adquiridos deverá permitir. A meta é alcançar um patamar elevado de competência a ser traduzida por maior envolvimento de profissionais e alunos e de importante contribuição científica a ser aferida pelo aumento no número de publicações em revistas arbitradas e indexadas, resultando na criação de ambiente científico produtivo para atrair bons alunos e aglutinar novos docentes ao atual quadro das universidades envolvidas, em particular do Nordeste e Centro-Oeste.

A execução do projeto contará de imediato com a participação de vários estudantes de pós-graduação, listados na equipe, que desenvolverão suas pesquisas, teses e dissertações nas instituições participantes a que estão vinculados. Abaixo são apontados os programas de pós-graduação envolvidos no propósito de formação de mestres e doutores nas linhas de pesquisa que compõem o projeto, para o que serão procurados novos candidatos:

. Programa de Pós-Graduação em Geofísica e Geodinâmica, UFRN, conceito CAPES 4: programa relativamente novo, mas já com número grande de dissertações e teses defendidas em várias especialidades de geofísica, particularmente sismologia e gravimetria, e em geodinâmica, incluindo tópicos importantes de evolução de faixas dobradas e crátons, formação de crosta continental, eventos magmáticos e tectônicos, todos de grande importância para os objetivos do projeto.

. Programa de Pós-Graduação em Geologia, UFC, conceito CAPES 4: inclui área de concentração em Geologia do Pré-Cambriano, que já formou número significativo de mestres em linhas de pesquisa relacionadas com o projeto. Mantém interação há seis anos com a UnB, por meio de Projeto Procad/CAPES, com apoio a estudantes para utilizarem laboratórios de pesquisa em Brasília. Recentemente a CAPES aprovou proposta de criação de curso de doutorado em Geologia com conceito 4.

. Programa de Pós-Graduação em Geociências, UNICAMP, conceito CAPES 5: apresenta tradição na formação de estudantes de mestrado e doutorado em tópicos relacionados com evolução de faixas dobradas e crátons e formação da crosta continental.

. Programa de Pós-Graduação em Geofísica, USP, conceito CAPES 5: é o melhor curso de Geofísica da terra sólida do Brasil, com larga tradição e ampla experiência na formação de mestres e doutores nas áreas de sismologia, gravimetria, paleomagnetismo.

. Programa de Pós-Graduação em Geologia, UnB, conceito CAPES 6: programa amplamente reconhecido pela qualidade dos mestres e doutores formados, particularmente nas especialidades de petrologia, geoquímica, geologia regional e do Pré-Cambriano, tectônica e geotectônica, geologia isotópica e geocronologia. Recentemente, o programa foi desdobrado, com a criação de novo Programa de Pós-Graduação em Geofísica Aplicada e Sensoriamento Remoto, com conceito CAPES 4, que inclui linhas de pesquisa em sismologia e gravimetria.

. Programa de Pós-Graduação em Geofísica Espacial, conceito CAPES 6: inclui linhas de pesquisa em geofísica da terra sólida, particularmente em imageamento da litosfera por indução eletromagnética.

Os estudantes a seguir estarão envolvidos com pesquisas em temas do projeto:

Doutorandos Elissandra Nascimento de Lima, Rubson Pinheiro Maia, Silvana Praxedes Gurgel e mestrandos Rafael Duarte Santos e Severino Fernandes Neto, temas em neotectônica, orientador Francisco Hilário Bezerra, UFRN

Mestrandos Francisco Eduardo Silva, Heleno Carlos de Lima Neto e Paulo Henrique de Oliveira, temas em sismologia, orientador Joaquim Mendes Ferreira, UFRN

Doutorandos Marcus Vinicius Lima e Sergio Bezerra Lima Jr., temas em refração sísmica profunda, orientador Jesus Berrocal, USP

Doutorando Marcelo Furlan, processamento de dados magnetotélúricos no Cráton do São Francisco, orientadores Elson Paiva Oliveira, UNICAMP e Ícaro Vitorello, INPE

Mestranda Maria Fernanda Grisolia, Patrícia Piaia e Stéfano Albino Zincone, temas em crátons e faixas dobradas do Nordeste, orientador Elson Paiva Oliveira, UNICAMP

Doutorando Cristiano Naibert Chimpliganond, tema em sismicidade, orientadores George Sand França, UnB e Marcelo Assumpção, USP

Doutorando Lucas Paes Moreira, tema em sismologia, orientador George Sand França

Mestrando Bruno Alves de Jesus, tema em rochas máficas e ultramáficas arqueanas (RN), orientador Reinhardt Fuck, UnB

e) Transferência de conhecimento

Ações de transferência de conhecimentos para a sociedade são mais obviamente relacionadas com a ocorrência de tremores de terra em várias áreas do Nordeste. Desde a década de 1980 o Laboratório Sismológico da UFRN vem estudando, em campo, a atividade sísmica que ocorre na região Nordeste do Brasil, utilizando métodos macrossísmicos e instrumentais. Nessa atividade o contato e envolvimento com a população são extremamente necessários para o bom êxito do trabalho científico. Na ocasião de ocorrência de abalos sísmicos são passadas informações sobre o fenômeno, suas causas, área epicentral, medidas de proteção, etc. Outras formas de difusão de informações sobre o fenômeno são feitas através dos meios de comunicação (TV, rádio e jornais), de palestras para a população em geral e para os professores de ciências, e áreas correlatas, em particular. Problemas relativos a risco e formas de procedimento frente a tais eventos são discutidos com as autoridades locais, estaduais e nacionais (Prefeituras, Governo do Estado, organizações de Defesa Civil), visando ações eficazes de defesa civil, de forma a mitigar efeitos do fenômeno como risco pessoal, pânico e fuga da população.

De outra parte, espera-se estimular a incorporação do conhecimento em tecnologias que possam afetar positivamente as condições sócio-ambientais da região, como por exemplo, com relevante contribuição para o avanço do conhecimento sobre exploração mineral e de hidrocarbonetos, com concomitante incremento de pesquisas geofísicas pelas empresas que operam na região Nordeste em geral.

f) Grupo proponente

O grupo proponente, reunindo pesquisadores experientes e jovens talentos, é competente nas atividades propostas, conforme pode ser verificado nos *curricula vitae*.

O coordenador, Prof. Reinhardt Fuck, professor titular UnB, pesquisador 1A CNPq, membro da Academia Brasileira de Ciências, responsável pelo Grupo de Pesquisa em Evolução Crustal da UnB, coordenou e participou de grande número de projetos de pesquisa relativos a estudos de tectônica, geocronologia e evolução crustal. Além da coordenação geral do projeto, participará dos trabalhos de geologia, integração e interpretação de dados.

O vice-coordenador, Dr. Ícaro Vitorello, pesquisador sênior INPE, pesquisador 1A CNPq, com relevante contribuição ao estudo da litosfera da Placa Sul Americana, usando métodos geoeletricos, será o responsável pelo planejamento e execução das transectas de sondagens magnetotélúricas, análise e interpretação dos dados.

O Dr. Jesus Berrocal, Professor aposentado da USP, é sismólogo de renome, com relevante contribuição ao estudo da Cadeia Andina e da sismicidade no Brasil, incluindo a Região Nordeste; coordenou o Projeto Temático de Grupo da FAPESP que viabilizou a execução dos experimentos de sísmica profunda na Província Tocantins; será o responsável pelo planejamento e execução das linhas de refração sísmica profunda e interpretação de seus resultados e participará dos estudos sismológicos com estações de banda larga e de sismicidade do Nordeste do Brasil.

O Prof. Benjamim Bley Brito Neves, professor titular USP, pesquisador 1A CNPq, membro da Academia Brasileira de Ciências, profundo conhecedor da geologia da Província Borborema, a cujo estudo dedicou a maior parte de sua vida acadêmica, com relevante contribuição ao conhecimento de sua organização tectônica; coordenará os estudos geológicos a serem realizados como parte do projeto.

O Prof. Marcelo Assumpção, professor titular USP, pesquisador 1B CNPq, membro da Academia Brasileira de Ciências, com relevante contribuição aos estudos da litosfera da Placa Sul Americana, será responsável pelos estudos de tomografia sísmica e função do receptor.

O Dr. Elson Paiva Oliveira, professor associado UNICAMP, pesquisador CNPq 1C, com contribuição relevante ao conhecimento do Cráton do São Francisco e faixas orogênicas que o limitam ao norte, desenvolverá estudos geológicos, integração de dados e interpretação tectônica na Faixa Sergipana e Cráton do São Francisco.

O Dr. Sergio Luiz Fontes, pesquisador sênior ON/RJ, pesquisador 1C CNPq, com relevantes contribuições na área de métodos potenciais no território nacional, atuando na área de sondagens magnetotélúricas, participará em todas as etapas do método magnetotélúrico.

O Dr. Francisco Hilário Rego Bezerra, Professor Associado UFRN, pesquisador 2 CNPq, com relevante contribuição à neotectônica e paleossismicidade, coordenará as investigações relativas à evolução neotectônica de falhas sismicamente ativas.

O Dr. Joaquim Ferreira, professor Adjunto UFRN, sismólogo de larga experiência, terá a responsabilidade de estabelecer o monitoramento da atividade sísmica do Nordeste e seu estudo, utilizando estações sismográficas portáteis.

O Dr. David Castro, Professor Adjunto UFC, pesquisador 2 CNPq, com significativa experiência em estudos de gravimetria, desenvolverá os levantamentos gravimétricos necessários para fechar as lacunas existentes nas áreas das transectas de refração sísmica profunda, participando da integração e interpretação dos resultados obtidos.

O Dr. José Eduardo Soares, Professor Adjunto UnB, com a experiência adquirida nas transectas de sísmica de refração profunda na Província Tocantins, conduzirá as atividades de execução das linhas, incluindo planejamento e aquisição, processamento e interpretação de dados.

O Dr. George Sand França, Professor Adjunto e Chefe do Observatório Sismológico UnB, pesquisador 2 CNPq, de conduzirá estudos sismológicos com dados telessísmicos, incluindo função de receptor e dispersão de ondas superficiais.

O Dr. Marcelo Banik de Pádua, pesquisador do INPE, com experiência em processamento e análise de dados geoeletrônicos, participará da organização da coleta, processamento e interpretação de dados obtidos nas transectas de sondagens magnetotélúricas.

O Dr. Maurício de Souza Bologna, professor doutor do IAG/USP, com relevante experiência em análise de dados magnetotélúricos, participará do processamento e interpretação de dados obtidos nas transectas de sondagens magnetotélúricas.

Os Drs. Wanderli Kabata e Maria J. Barbosa, tecnologistas com experiência em construção e calibração de equipamentos de coleta de dados de indução eletromagnética, participarão da organização instrumental e processamento de dados obtidos nas transectas de sondagens magnetotélúricas.

O Dr. Bernhard Manfred Bühn, Professor Adjunto UnB, com larga experiência em geoquímica e geoquímica isotópica, conduzirá investigações geoquímicas e geocronológicas de amostras da área de estudo.

Os Drs. Clovis Vaz Parente (Professor Adjunto UFC), Michel Henri Arthaud (Professor Adjunto UFC), Afonso Rodrigues Almeida (Professor Adjunto UFC) e Ticiano José Santos (Professor Doutor UNICAMP), com experiência significativa em estudos geológicos e tectônicos, particularmente na Província Borborema, conduzirão os estudos geológicos, estruturais e tectônicos, participando da integração e interpretação de dados.

O Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho, Professor Adjunto UFC conduzirá as investigações de sedimentação associada à evolução neotectônica.

O Dr. Fabio André Perosi, Professor Adjunto UNIPAMPA, especialista em refração sísmica profunda, participará da implementação das linhas sísmicas, processamento e interpretação dos dados.

As Dras. Roberta Vidotti e Monica Von Huelsen, Professoras visitantes UnB, com significativa experiência em trabalhos de gravimetria, participarão dos levantamentos gravimétricos nas áreas das linhas de refração sísmica profunda, bem como do processamento, interpretação e integração de resultados.

Os Drs. Maria Osvalneide Lucena Sousa e Francisco César Costa Nogueira, pesquisadores bolsistas UFRN, especializados em estudos de neotectônica, conduzirão investigações relativas à evolução neotectônica de falhas sismicamente ativas.

O Dr. Carlos da Silva Vilar, pesquisador bolsista UFRN, participará dos estudos sismológicos com dados telessísmicos, principalmente nos métodos função do receptor e dispersão de ondas superficiais.

#### g) Interação de pesquisadores

A geologia do Nordeste brasileiro tem sido tema relevante a unir geocientistas de vários estados do Brasil e de diferentes países. As sínteses geológicas e as relações colegiais nacionais e internacionais que emergiram dessas atividades constituem recursos importantes para a iniciativa consubstanciada na presente proposta. Na mesma linha de raciocínio, o interesse comum na estrutura mais profunda da crosta e da litosfera e as necessidades logísticas partilhadas em levantamentos e investigações futuros provêm base inovadora para colaboração científica nacional e internacional. O planejamento de estudos como os aqui considerados tem o potencial de estimular novos enfoques para identificar e clarificar tópicos geológicos relevantes, chaves na compreensão do contexto geológico mais amplo. Os estudos propostos vão permitir certamente acesso extensivo a equipamento moderno e treinamento associado para pesquisadores e estudantes na região a ser estudada e nas instituições participantes envolvidas. Organizar participantes e instituições na presente proposta será preocupação constante e tarefa a ser construída passo a passo, a partir da complementaridade de experiências, de interesses, de recursos materiais e humanos e de infra-estrutura. O projeto será desenvolvido em rede, lançando mão dos recursos da rede mundial, como, aliás, vem ocorrendo já nesta fase de elaboração da proposta.

As instituições e pesquisadores envolvidos na proposta têm interagido com frequência há vários anos. O núcleo da proposta reside na colaboração de sucesso exercitada por pesquisadores do IAG/USP e IG/UnB, que, em estreita parceria, realizaram os experimentos de refração sísmica profunda na Província Tocantins, com a participação de pesquisadores do USGS. A parceria foi consolidada com a execução do Projeto Borborema, que conta com a valiosa participação de pesquisadores da UFC, UFRN e UFPE, bem como de pesquisadores da UNICAMP e UNESP. A inclusão de pesquisadores do USGS e das universidades Stanford, e Helsinki reforçará a equipe no planejamento e execução dos experimentos de refração sísmica profunda programados, bem como no processamento e interpretação dos registros obtidos. A participação de pesquisador da University of South Carolina incrementará o potencial existente no IAG/USP, UnB e UFRN para estudos sismotectônicos, utilizando métodos sismológicos modernos, com base em dados telessísmicos e registros em sismógrafos digitais de banda larga.

A agregação de pesquisadores do INPE, ON e University of Flinders trará para a equipe a relevante experiência em sondagens magnetotélúricas. A investigação das heterogeneidades geoeletricas da litosfera complementarará os estudos de refração sísmica profunda, sismológicos e outros métodos geofísicos na determinação das estruturas presentes na crosta e no manto litosférico. Os pesquisadores do INPE estão no momento envolvidos com sondagens magnetotélúricas em áreas do Nordeste, em associação com grupo de geofísicos da UFRN, que também integram a equipe da presente proposta. As pesquisas em andamento abrangem áreas a serem atravessadas pelas linhas de refração sísmica profunda, em antecipação e sintonia com as investigações programadas na presente proposta.

Pesquisadores da UFRN serão os responsáveis pelos estudos da atividade sísmica local e regional registrada em várias áreas do Nordeste, em associação com pesquisadores do IAG /USP e UnB, revitalizando parceria de longos anos, que nasceu durante a passagem de vários professores da UFRN no curso de Pós Graduação em Geofísica do IAG. Outros pesquisadores da mesma instituição terão a seu cargo os estudos de neotectônica, campo em que apresentam relevante contribuição.

Os estudos de gravimetria estarão a cargo de pesquisadores da UFC e da UnB. Estudos geológicos, estruturais, tectônicos e isotópicos serão realizados por pesquisadores da UFC e UnB, que há algum tempo vem empreendendo pesquisas conjuntas nos domínios Médio Coreau e Ceará Central. Nos trabalhos programados atuarão em estreita associação com pesquisadores da UFRN, contando com o suporte e a larga experiência de pesquisador do IGc/USP e a importante participação dos pesquisadores da UNICAMP. A tectônica fanerozóica será de responsabilidade de pesquisadores da UFRN.

Planejamento, execução, acompanhamento e avaliação dos trabalhos e análise dos resultados serão objeto de *workshops* anuais. O primeiro será realizado no segundo semestre de 2008, tendo por objetivo o planejamento detalhado da implantação das linhas sísmicas e sua execução, incluindo a localização pormenorizada de fontes e registradores, bem como a realização das atividades relacionadas com a utilização dos demais métodos geofísicos e geológicos. *Workshops* serão realizados também nos anos subseqüentes, visando estreitar a interação, avaliar o andamento das atividades de pesquisa e discutir os resultados, com vistas à sua divulgação. A realização de eventos científicos (congressos, simpósios) nas áreas temáticas da proposta (Geofísica, Geologia) será aproveitada para reunir os membros da equipe presentes nesses eventos para análise e discussão do andamento do projeto e de ações a serem desenvolvidas e a realização de sessões específicas para discutir os resultados científicos do projeto.

#### h) Interação internacional

O projeto contará com a participação de pesquisadores do exterior:

Dr. Rachel Abercrombie, University of Boston, professor visitante UFRN, participará de estudos sismológicos.

Dr. Rui Manoel da Silva Fernandes, Universidade da Beira Interior, professor visitante UFRN, participará dos estudos de deformação crustal.

Dr. Jordi Juliá, University of South Carolina, participará da análise e interpretação de resultados de registros telessísmicos.

Dr. Larry Brown e Dr. Kodjo Atttoh, University of Cornell, participarão da análise e interpretação de dados sísmicos.

#### i) Tarefas das instituições

- i. UnB, USP, UFC, UFRN, UNIPAMPA – Implantação das linhas de refração sísmica profunda, processamento e interpretação dos dados
- ii. INPE, ON - Sondagens geoeletricas, processamento e interpretação dos dados
- iii. UFRN, UnB, USP - Estudo de atividade sísmica com redes locais
- iv. USP, UFRN, UnB - Rede sismográfica regional com estações de banda larga
- v. UFC, UnB – Levantamentos gravimétricos
- vi. UFC, UNICAMP, UnB Levantamentos geológicos, estudos geoquímicos e geocronológicos
- vii. UFRN, UFC – Estudos de neotectônica
- viii. Todas instituições participantes – integração e interpretação dos resultados obtidos.

#### h) Análise comparativa

##### Rede sismográfica regional com estações de banda larga

No momento atual estão em operação 7 estações do tipo banda larga no Nordeste do Brasil, sendo 6 adquiridas e instaladas pelo Projeto Borborema (Instituto do Milênio) e a estação de Riachuelo (RCBR) que pertence à rede sismográfica mundial. Dados dessas estações foram e estão sendo usados para estudos crustais (função do receptor) e para o monitoramento da atividade sísmica em escala regional, com cobertura ainda deficitária. O presente projeto possibilitará a instalação de mais 48 estações do tipo banda larga, do *pool* de equipamentos geofísicos brasileiros (PEGBr), permitindo a determinação da espessura crustal pelo método da função do receptor, e aplicação de outras técnicas para estudar crosta e manto superior em extensa área da região. Além disso, ampliará em muito o conhecimento da atividade sísmica regional, permitindo avaliação mais precisa do risco sísmico, parâmetro fundamental a ser usado em projetos de grandes obras edificações na região.

##### ii. Estudo de atividade sísmica com redes locais

O Nordeste do Brasil, principalmente a Província Borborema, é a região do país mais afetada pela ocorrência de sismos, geralmente na forma de enxames que podem durar mais de 10 anos de atividade contínua. No momento ocorre atividade sísmica em Sobral, Cascavel e no Castanhão, Ceará, Taboleiro Grande, no Rio Grande do Norte, e Caruaru e São Caetano, Pernambuco. Instrumentalmente só existe uma pequena rede de seis estações portáteis do tipo período curto, adquirida pelo Projeto Borborema (Instituto do Milênio), incapaz de atender adequadamente a grande demanda gerada pela atividade sísmica. Com o presente projeto espera-se ter à disposição, de forma permanente, pelo menos 20 estações do *pool* o que permitirá estudar, de forma adequada, com redes de no mínimo 10 estações, a sempre presente atividade sísmica na região.

##### iii. Sondagens geoeletricas

A análise dos dados MT, em conjunto com aqueles provenientes dos levantamentos sísmicos e dos métodos potenciais e resultados de modelos do geóide e tomografia sísmica, tem o potencial de fornecer os vínculos necessários para elaborar modelos mais adequados de formação e evolução da Província Borborema, além de permitir a avaliação dos efeitos causados por processos tectônicos e magmáticos na litosfera. Espera-se criar condições apropriadas, de qualificação de pessoal e de infra-estrutura, para reforçar e ampliar as atividades acadêmicas e o desenvolvimento futuro de inúmeros trabalhos de pós-graduação que a disponibilidade dos dados adquiridos deverá permitir. A meta é alcançar um patamar elevado de competência a ser traduzida por maior envolvimento de profissionais e alunos e de importante contribuição científica a ser aferida pelo aumento no número de publicações em revistas arbitradas e indexadas, resultando na criação de ambiente científico produtivo para atrair bons alunos e aglutinar novos docentes ao atual quadro das universidades envolvidas, em particular do Nordeste e Centro-Oeste.

##### iv. Experimentos de refração sísmica profunda

Os resultados a serem obtidos com as transectas de refração permitirão determinar a estrutura da crosta e do manto superior do Nordeste, estabelecendo a continuidade e articulação dos blocos e domínios identificados na superfície da Província Borborema e do Cráton do São Francisco. As interpretações, articuladas com os resultados obtidos pelas demais técnicas empregadas, levarão a modelos mais bem elaborados da origem e evolução da crosta continental na região.

##### v. Estudos gravimétricos

Os levantamentos gravimétricos a serem realizados visam a complementação de dados existentes, de modo a cobrir vazios e permitir interpretação mais precisa da estrutura da litosfera, dando suporte às interpretações dos dados de sondagens geoeletricas e experimentos de refração.

##### vi. Estudos geológicos

Os estudos geológicos, incluindo obtenção de dados estruturais, petrográficos, geoquímicos e geocronológicos, servirão para aprofundar o conhecimento geológico das principais feições geológicas expostas ao longo das transectas de refração e sondagens geoeletricas.

##### vii. Estudos de neotectônica

Os trabalhos de neotectônica deverão contribuir para o entendimento da evolução crustal, principalmente no que diz respeito à reativação de grandes estruturas crustais no Cenozóico e o papel de planos de fraqueza prévios na geração de falhas sismogênicas e neotectônicas.

#### j) Orçamento

Orçamento refração sísmica profunda (UnB e USP)

##### **Diárias**

- Determinação dos pontos de registro (15 viagens x 12 dias x 2 pessoas x R\$ 187,83)

R\$ 67.618,00

- Autorização para os tiros (2 viagem x 20 dias x 2 pessoas x R\$ 187,83)

R\$ 15.026,40

- Instalação dos sensores (11 equipes x 10 dias x 3 pessoas x R\$ 187,83)	R\$ 61.983,90
- Equipes de tiro (4 equipes x 10 dias x 2 pessoas x R\$ 187,83)	R\$ 15.026,40
Sub-total	R\$ 159.654,70
<b>Sub-total x 2 linhas de refração profunda</b>	<b>R\$ 319.309,40</b>
<b>Diesel</b> (R\$ 10000,00 por viagem de 12 dias)	R\$ 27.000,00
<b>Explosivos</b> (23 furos x 1400 kg x R\$12,00/Kg)	R\$ 386.400,00
<b>Furos</b> (23 furos x 50 metros x R\$ 315,00/metro)	R\$ 362.250,00
<b>Equipamentos sísmicos</b> (transporte + seguro)	R\$ 30.000,00
<b>Passagens aéreas nacionais</b> (60 x R\$ 1500,00)	R\$ 90.000,00
Sub-total	R\$ 895.650,00
<b>Sub-total x 2 linhas de refração profunda</b>	<b>R\$ 1.791.300,00</b>
<b>Veículos</b>	
- 3 pickups Mitsubishi L200	R\$ 360.000,00
- Manutenção dos carros	R\$ 100.000,00
Sub-total	R\$ 460.000,00
<b>Equipamento campo</b> (10 GPSs x R\$ 1500,00 + 10 bússolas x R\$ 2000,00)	<b>R\$ 35.000,00</b>
<b>Escritório</b>	
- discos externos para armazenar dados (4 x R\$ 2.000,00)	R\$ 8.000,00
- material geral	R\$ 30.000,00
Sub-total	R\$ 38.000,00
<b>Exterior</b>	
- diárias (30 dias x 2 pessoas x R\$ 400,00)	R\$ 24.000,00
- passagens aéreas (5 viagens ida e volta x 2 pessoas x R\$ 4.000,00)	R\$ 40.000,00
Sub-total	R\$ 64.000,00
Consumo	R\$ 655.309,40
Serviço	R\$ 1.657.300,00
Material permanente	R\$ 395.000,00
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 2.707.609,40</b>

#### **Orçamento Neotectônica (UFRN)**

<b>Diárias</b>		
160 diárias (nacionais) x 187,83	.	R\$ 30.052,80
42 diárias (internacionais)xUSD 200x2,00	.	R\$ 16.800,00
<b>Passagens</b>		
10 passagens nacionais x 1500		R\$ 15.000,00
06 passagens internacionais x 4000		R\$ 24.000,00
<b>Material de consumo</b>		
Combustível		R\$ 4.500,00
<b>Serviço de terceiros (pessoa jurídica)</b>		
Seguro e manutenção de veículos		R\$ 30.000,00
Despesas com importação (25%)		R\$ 2.250,00
50 datações SAR x 1.000		R\$ 50.000,00
10 datações Ar/Ar x 3.000		R\$ 30.000,00
<b>Equipamento e material permanente nacional</b>		
01 GPS veicular		R\$ 3.000,00
01 veículo tração 4x4 x 120.000	.	R\$ 120.000,00
<b>Equipamento e material permanente importado</b>		
03 bússolas Clar x 3000	.	R\$ 9.000,00
<b>TOTAL (Neotectônica)</b>		<b>R\$ 334.602,80</b>

## Orçamento Sismologia (UFRN e USP)

### Diárias

1000 diárias (nacionais)x 187,83	R\$ 187.830,00
72 diárias (internacionais)xUSD 200x2,00	R\$ 28.800,00

### Passagens

10 passagens nacionais x 1500	R\$ 15.000,00
08 passagens internacionais x 4000	R\$ 32.000,00

### Material de consumo

Baterias (50x350)	R\$ 17.500,00
Combustível	R\$ 20.000,00
Mat. instalação estações	R\$ 17.500,00
Mat. computação e/ou escritório	R\$ 16.000,00

### Serviço de terceiros (pessoa jurídica)

Seguro e manutenção de veículos	R\$ 40.000,00
Manutenção de equipamentos	R\$ 30.000,00

### Equipamento e Material permanente

01 computador portátil	R\$ 6.000,00
02 GPS veiculares	R\$ 6.000,00
03 discos externos USB 120 Gb	R\$ 1.500,00
20 abrigos para registradores (estações SP)	R\$ 20.000,00

### TOTAL (Sismologia)

**R\$ 438.130,00**

## ORÇAMENTO Magneto-telúrico (INPE)

### Atividades de laboratório

preparatórias para cada etapa	
Manutenção de equipamentos e reparos (componentes eletrônicos)	R\$ 4.000,00

### Subtotal de 3 etapas

**R\$ 12.000,00**

### Trabalho de campo para cada etapa

diárias x 120 dias x R\$ 120,00 x 6 pessoas	R\$ 86.400,00
Passagens aéreas: 5 X R\$ 1.600,00	R\$ 8.000,00
Baterias 10 x R\$ 400,00	R\$ 4.000,00
Outras despesas (reparos de veículos, cargas de baterias)	R\$ 4.000,00
Combustível 8000 km (R\$2,50 por litro)	R\$ 20.000,00
<b>Subtotal</b>	<b>R\$ 122.400,00</b>
<b>3 etapas</b>	<b>R\$ 367.200,00</b>

### Processamento de dados

Serviços de Terceiros para processamento de dados	R\$ 100.000,00
produtos relacionados com impressora (tinta, toner, papel)	R\$ 1.500,00
Salvaguarda de dados (CD-ROM,...)	R\$ 500,00
<b>Subtotal</b>	<b>R\$ 102.000,00</b>

### Resumo

Despesas laboratório	R\$ 12.000,00
Despesas de campo	R\$ 367.200,00
Despesas de processamento de dados	R\$ 102.000,00
<b>Total Geral</b>	<b>R\$ 481.200,00</b>

## Orçamento Geologia (UNICAMP, UFC, UnB)

Análises geocronológicas	R\$ 150.000,00
Análises químicas	R\$ 100.000,00
Diárias (200 diárias x 3 pessoas x R\$ 187,83)	R\$ 112.698,00
Diesel (200 dias x 500 km/dia x R\$ 2,20 : 7 km/l)	R\$ 31.428,58

**Total Geral** **R\$ 394.126,58**

### **Orçamento da gravimetria (UFC)**

Diárias coleta dados (10 dias x 15 viagens x 4 pessoas x R\$ 187, 83)	R\$ 112.698,00
Diesel (10 dias x 15 viagens x 200 km/dia x R\$ 2,20 : 7 km/l)	R\$ 9.428,00
Despesas de processamento	R\$ 30.000,00

**Total Geral** **R\$ 152.126,00**

### **Considerações sobre o orçamento**

O orçamento acima indica os gastos detalhados por atividade e as Universidades envolvidas em cada uma delas.

As atividades geológicas e geofísicas propostas envolvem essencialmente trabalhos de campo que, em quase sua totalidade, requerem veículos 4x4, preferencialmente com caçamba. Esses veículos não são facilmente alugáveis e quando encontrados são alugados por preços exorbitantes, o que justifica a compra de veículos.

As diárias solicitadas são para atender essencialmente os trabalhos de campo.

Os demais gastos são com equipamentos para suporte aos trabalhos de campo (GPS, bússola, etc) e com o processamento dos dados.

Gastos com passagens são para levar os grupos aos locais de trabalho, que na maioria das vezes está distante do lugar de origem, e para realização de reuniões ordinárias para andamento do projeto.

#### **k) Relação de projetos financiados com participação de membros da equipe**

- Evolução tectônica do Arco Magmático de Santa Quitéria – NW da Província Borborema, FAPESP, R\$49.881,25, vigência 30/03/2004-30/03/2006, coordenação Ticiano José Saraiva dos Santos, participação Elton Dantas, Michel Arthaud, Clovis Parente, Reinhardt Fuck. Investigação do Arco Santa Quitéria e determinação de sua situação tectônica no contexto do Domínio Ceará Central e da Província Borborema. Os dados geológicos, estruturais, geoquímicos e isotópicos em obtenção são fundamentais para subsidiar a interpretação das informações de refração sísmica profunda e de outros métodos geofísicos a serem obtidos na proposta submetida ao Edital dos Institutos do Milênio.

- Caracterização geofísica da crosta e manto e evolução geodinâmica do SW do Cráton Amazonas: contribuição à exploração mineral, Fundo Setorial Mineral/FINEP, R\$ 929.600,00, vigência 12/2001-06/2005, coordenadores Ícaro Vitorello e Marcelo Sousa de Assumpção, participação de Antonio Lopes Padilha, Suzan van der Lee (ETH, Suíça), Sérgio Luiz Fontes, Luiz Rijo, Augustinho Rigoti. Estudos de tomografia de ondas sísmicas superficiais, sondagens geomagnéticas profundas e perfis magnetotéluricos para obtenção de parâmetros geofísicos profundos na região amazônica em suporte à exploração mineral da região. Duas estações sismográficas foram instaladas na Província Borborema e os resultados indicam possível afinamento da litosfera ao longo do Lineamento Transbrasiliano, bem como próximo ao litoral norte (CE,RN), com possível implicação na sismicidade intensa registrada na região.

- Cinemática e cronologia da deformação em limites de terrenos da Faixa Sergipana e do Bloco Serrinha, Nordeste do Brasil, FAPESP, R\$71.340,00, vigência 01/10/2002-30/05/2005, coordenador Élon Paiva de Oliveira. Investigação da Faixa Sergipana, sua compartimentação e suas relações com o Cráton do São Francisco.

- Geocronologia U-Pb SHRIMP e isótopos de Nd na Faixa Sergipana, Nordeste do Brasil: implicações para a evolução tectônica e proveniência de sedimentos, FAPESP, R\$105.347,50, vigência 01/11/2002-30/06/2005, coordenador Élon Paiva de Oliveira. Investigação da proveniência dos sedimentos que preencheram a bacia precursora da Faixa Sergipana e sua evolução tectônica. Os resultados em obtenção deste projeto e do anterior são de grande importância para subsidiar a interpretação dos dados a serem obtidos por refração sísmica profunda e por outros métodos geofísicos no âmbito da presente proposta.

- Caracterização regional da Bacia do Paraná através de sondagens geomagnéticas profundas, FAPESP, R\$ 43.180,00, vigência 02/2004-01/2006, coordenador Antonio Lopes Padilha. Realização de

levantamentos GDS cobrindo toda a Bacia do Paraná na busca de inomogeneidades regionais; trabalhos de campo terminam antes do início deste projeto (jul/2005).

- Estruturas geoeletricas no manto superior sob o escudo no centro-sul do Brasil, por métodos de indução eletromagnética, FAPESP, R\$ 308.830,00 + US\$ 64.590,00, vigência 03/2001-02/2006, coordenador Ícaro Vitorello, participação de Antonio Lopes Padilha, Naomi Ussami, Eder Cassola Molina, Augustinho Rigoti e François Henri Chamalaun (Flinders University, Austrália). Obtenção e comparação de parâmetros geofísicos na região do Pantanal e no craton do São Francisco, em parceria com o grupo de métodos potenciais do IAG/USP, Universidade de Flinders, da Austrália, e Univ. Federal do Paraná.

- Estudos geofísicos da Província Borborema: estrutura litosférica e implicações para a evolução termomecânica das bacias sedimentares, CTPETRO/CNPq, R\$ 300.000,00, vigência 01/2004-12/2005, coordenador Walter Eugênio de Medeiros, participação de Emanuel Ferraz Jardim de Sá, Roberto Gusmão de Oliveira, Ícaro Vitorello, Antonio Lopes Padilha. Integração de dados gravimétricos e magnetométricos na Província Borborema com realização de perfil magnetotelúrico, próximo de uma das linhas programadas na presente proposta, buscando identificar limites crustais relacionados com fluxo térmico, presença de fluidos e estruturas tectônicas.

- Métodos eletromagnéticos aplicados à Região Amazônica: consolidação do Programa de Pós-Graduação em Geofísica da UFPA, CTINFRA/CNPq, R\$ 292.750,00, vigência 06/2004-06/2006, coordenador Om Prakash Verma, participação de João Batista Corrêa da Silva, Luiz Rijo, Ícaro Vitorello, Antonio Lopes Padilha. Programa de apoio a grupos de pesquisa localizados das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, associados a Programas de Pós-Graduação não consolidados (notas 3 ou 4 da CAPES), através de projeto conjunto com grupos de pesquisa vinculados a Programas de Pós-Graduação consolidados (notas 6 e 7); projeto conjunto entre o grupo de Geomagnetismo do INPE e o de Geofísica Aplicada da UFPA, com levantamentos MT a serem realizados em Rondônia durante o ano de 2005, antes do início das atividades no projeto proposto.

- Paleogeografia de unidades cratônicas da América do Sul durante o Proterozóico: do Rodínia ao Gondwana, FAPESP, R\$178.601,25+US\$14.224,86, vigência 01/05/2004-30/04/2006, coordenador Manoel Souza d'Agrella Filho, participantes Ricardo Trindade.FALTA

- Caracterização geodinâmica dos domínios Médio Coreau e Ceará Central – Estado do Ceará, CAPES, R\$168.483,28, vigência 01/07/2001-30/06/2009, coordenador Reinhardt A. Fuck, participantes Clóvis Parente, David Castro, Michel Arthaud, Elton Dantas, Ticiano Santos. Estudos geológicos, tectônicos e isotópicos da porção noroeste da Província Borborema, cujos resultados são importantes para dar suporte à interpretação dos dados geofísicos a serem obtidos na presente proposta.

- Evolução tectônica e potencial metalogenético da Faixa Brasília, com ênfase no Arco Magmático de Goiás, CNPq/FAPDF/PRONEX, R\$367.629,43, vigência 18/11/2004-18/10/2008, coordenador Reinhardt A. Fuck, participantes Márcio Pimentel, Elton Dantas, José Eduardo Soares.

- Estudos geofísicos e tectônicos na Província Borborema. MCT/CNPq/Institutos do Milênio, R\$3.600.000,00, vigência 2005-2008. Coordenador Reinhardt Fuck, participantes J. Berrocal, I. Vitorello, M. Assumpção, J. Ferreira, F. H. Bezerra, D. Castro, C. Parente, M. Arthaud, A. Almeida, E. Oliveira, T. Santos.

- Estudos Geofísicos e Modelo Tectônico dos Setores Central e Sudeste da Província Tocantins, Brasil Central, Projeto Temático de Pesquisa financiado pela FAPESP, entre 1998 e 2004, Coordenador J. Berrocal, Valor total 600.000,00. Primeiro grande projeto de refração sísmica profunda no Brasil com participação multidisciplinar e multi-institucional, no qual esta baseado o projeto atual, no qual foram formados especialistas que participarão no presente projeto.

- Processamento e modelagem de dados eletromagnéticos marinhos com fonte controlada Projeto financiado CNPq/CTPETRO, encerrado julho 2008. Coordenador Sergio Fontes, valor R\$159.751,20.

- Pool de equipamentos geofísicos – PEGBr. Projeto financiado PETROBRAS, 2006-2009. Coordenador Sergio Fontes, valor R\$14.139.320,00.

- Rede Sismográfica do Sul-Sudeste do Brasil – RSIS. Projeto financiado PETROBRAS, 2007-2009. Coordenador Sergio Fontes, valor R\$6.071.445,51.

- Imageamento geofísico sub-sal da Bacia de Campos – SUBSAL. Projeto financiado PETROBRAS, 2007-2009. Coordenador Sergio Fontes, valor R\$4.151.764,60.

- Rede sismográfica para estudos tectônicos no Brasil central. Projeto financiado FAP/DF, 2007-2009. Coordenador Reinhardt Fuck, valor R\$50.000,00. Participantes José Eduardo Soares, George Sand França, Jesus Berrocal.

i) Cronograma

Atividade	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Semestre 4
Sondagens magnetotelúricas	Preparação equipamentos	sondagens	Preparação equipamentos, Processamento de dados, Interpretação/integração	Sondagens, Processamento de dados, Interpretação/integração
Refração sísmica	Preparação equipamentos, determinação pontos de registro e de tiro	Execução experimento linha 1, processamento e interpretação	Preparação equipamentos, determinação pontos de registro e de tiro	Execução experimento linha 2, processamento e interpretação
Sismicidade	Instalação estações	Análise dados, interpretação	Instalação estações, Análise dados, interpretação	Análise dados, interpretação
Telessismos	Instalação estações	Instalação estações	Análise dados, interpretação	Análise dados, interpretação
Gravimetria	levantamento	Análise dados, interpretação	Levantamento, Análise dados, interpretação	Análise dados, interpretação, integração
geologia	Trabalhos de campo	Trabalhos de campo, Análise dados, interpretação	Trabalhos de campo, Análise dados, interpretação	Análise dados, interpretação, integração
neotectônica	Trabalhos de campo	Trabalhos de campo Análise dados, interpretação	Trabalhos de campo Análise dados, interpretação	Análise dados, interpretação, integração

Nos anos subseqüentes, a divisão de trabalhos será similar, para execução de experimentos adicionais de geofísica e geologia na Bacia do Parnaíba.

j) Comitê gestor  
Elson Paiva Oliveira, UNICAMP, Ícaro Vitorello, INPE, vice-coordenador, Joaquim Mendes Ferreira, UFRN, Marcelo Assumpção, USP, Reinhardt Fuck, UnB, coordenador.

k) Acompanhamento  
Walter D. Mooney, USGS, Menlo Park  
Vlastislav Cervený, Prague University  
Stephen Marshak, University of Illinois, Urbana-Champaign  
Umberto G. Cordani, USP  
João Batista Silva, UPA  
Olivar Lima de Lima, UFBA

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., NEVES, B. B. B., FUCK, R. A. - 1977 - Províncias Estruturais Brasileiras - Atas VIII Simp. Geol. Nordeste, Campina Grande, 363-391.
- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., NEVES, B. B. B., FUCK, R. A. - 1981 - Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sciences Reviews*, 17: 1-29.
- ARARIPE, P.T., FEIJÓ, F.J. - 1994 - Bacia Potiguar. *Boletim Geociências PETROBRAS* 8(1): 127-142,
- ARAÚJO, M.N., SILVA, F.C.A., JARDIM DE SÁ, E.F. - 2001 - Pegmatite emplacement in the Seridó Belt, northeast Brazil: late stage kinematics of the Brasileiro Orogen. *Gondwana Research*, 4(1): 75-85.
- ARAÚJO, M.N., SILVA, F.C.A., JARDIM DE SÁ, E.F., ROLCOMBE, R.J. - 2002 - Geometry and structural control of gold vein mineralizations in the Seridó Belt, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(3): 337-348.
- ARCHANJO, C. J. & BOUCHEZ, J. L. -1991- Le Seridó, une chaîne transpressive au Proterozoïque supérieur du Nord-Est Brésil. *Bull. Soc. Géol. France*, 162: 637-647.
- ARCHANJO, C. J.-1993- Fabriques de plutons granitiques et deformation crustale du Nord-Est du Brésil. Thèse de Doctoral. Univ. de Toulouse III. 167p.
- ARCHANJO, C. J.; OLIVIER, P. & BOUCHEZ, J.L. -1992- Plutons granitiques du Seridó (NE du Brésil) : écoulement magmatique parallèle à la chaîne révélée par leur anisotropie magnétique. *Bull. Soc. géol.France*, vol. 4, 509-520.
- ARTHAUD, M.H., CABY, R., FUCK, R.A., DANTAS, E.L., PARENTE, C.V. -2008- Geology of the northern Borborema Province, and its correlations with Nigeria, NW Africa. In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J. *West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, 294, pp.49-67.
- ARTHAUD, M.H., VASCONCELOS, A.M., NOGUEIRA NETO, J.A., OLIVEIRA, F.C.V., PARENTE, C.V., MONIÉ, P., LIÉGEOIS, J.P., CABY, R., FETTER, A.H. - 1998 - Main structural features of Precambrian domains from Ceará (NE Brazil). In *International Conference of Basement Tectonics, Ouro Preto, 1998*. Ouro Preto...Abstracts, UFOP/Basement Tectonics Association, p. 84-85.
- ASSUMPÇÃO, M. - 1992 - The regional intraplate stress field in South America. *Journal of Geophysical Research*, 97: 11889-11903.
- ASSUMPÇÃO, M., AN, M., BIANCHI, M., FRANÇA, G.S.L., ROCHA, M., BARBOSA, J.R., BERROCAL, J. - 2004 - Seismic studies of the Brasília Fold Belt at western border of the São Francisco Craton, central Brazil. *Tectonophysics*, 388: 173-185.
- BERROCAL, J., MARANGONI, Y, SÁ, N.C., FUCK, R.A., SOARES, J.E.P., DANTAS, E.L., PEROSI, F., FERNANDES, C. - 2004 - Deep seismic refraction and gravity crustal model and tectonic deformation in Tocantins Province, central Brazil. *Tectonophysics*, 388: 187-199.
- BERTRAND, J. M. & JARDIM DE SA, E. F., -1990- Where are the Eburnean-Transamazonian collisional belts? *Can. J. Earth Sci.*, 27:1382-1393.
- BEZERRA, F.H., FONSECA, V.P., VITA-FINZI, C., LIMA FILHO, F.P., SAADI, A. - 2005 - Liquefaction-induced structures in Quaternary alluvial gravels and gravelly sediments, NE Brazil. *Engineering Geology*, 75: 191-208.
- BEZERRA, F.H.R., NEVES, B.B.B., CORRÊA, A.C.B., BARRETO, A.M.F., SUGUIO, K. - 2008 - Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - The Cariatá trough, northeastern Brazil. *Geomorphology*, 97, 555-582.
- BEZERRA, F.H.R., TAKEYA, M.K.; SOUZA, M.O.L., NASCIMENTO, A.F. - 2007 - Coseismic reactivation of the Samambaia fault, Brazil. *Tectonophysics*, 430: 27-39.
- BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M., GONÇALVES, J.H. (Org.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil - Texto, Mapas e SIG.*, 2003.
- BOAVENTURA, G.R. - 1991 - Performance do espectro de emissão com plasma (ICP), SPECTROFLAME FVM 03, para determinação de 20 elementos químicos nas amostras de referência geoquímica DN-1, W-2, UnB-B1 e UnB-B2. In *Congresso Brasileiro de Geoquímica, São Paulo, 1991*. Anais...São Paulo, SBGq, V. 2, p.423-426.
- BOAVENTURA, G.R., OLIVEIRA, R.C., SANTELLI, R.E. - 2002 - Off-line and on-line determination of eleven rare earth elements in silicate rocks by ICP-AES using bowex mini-columns for pre-concentration and interference separation in flow systems. *Geostandards Newsletter* 26 (1:0302): 63-73.
- BOHER, M., ABOUCHAMI, W., MICHARD, A., ALBAREDE, F., ARNDT, N.T. - 1992 - Crustal Growth in West Africa at 2.1 Ga. *Journal Geophysics Research*, vol 97, B1, 345-351.
- BRASSE, H., RATH, V., 1997. Audiomagnetotelluric investigations of shallow sedimentary basins in northern Sudan. *Geophys. J. Int.*, 128, 301-314.
- BRITO NEVES, B. B., CAMPOS NETO, M. C., VAN SCHMUS, W. R., FERNANDES, T. M. G., SOUZA, S. L., 2001 - O terreno Alto Moxotó no leste da Paraíba ("Maciço Caldas Brandão"). *Revista Brasileira de Geociências*, 31: 185-194.
- BRITO NEVES, B. B. & CORDANI, U. -1991- Tectonic evolution of South America during Late Proterozoic. *Precambrian Research*, 53: 23-40.

- BRITO NEVES, B. B., FUCK, R. A., CORDANI, U. G., THOMAZ FILHO, A.- 1984 - Influence of basement structures in the evolution of the major sedimentary basins of Brazil. *Journal of Geodynamics*, 1 (3-5), 495-510,
- BRITO NEVES, B. B., PASSARELLI, C. R., BASEI, M. A. S., SANTOS, E. J., 2003 – Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos da Província Borborema. *Geologia USP, Série Científica* 3: 25-38.
- BRITO NEVES, B. B., SANTOS, E. J., VAN SCHMUS, W. R. – 2000 - Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31 International Geological Congress, p.151-182.
- BRITO NEVES, B. B., VAN SCHMUS, W. R., SANTOS, E. J., CAMPOS NETO, M. C., KOZUCH, M. - 1995- O evento Cariris Velhos na Província Borborema : Integração de dados, implicações e perspectivas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 279-296.
- BÜHN, B.M., PIMENTEL, M.M., MATTEINI, M., DANTAS, E.L. 2008 High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by *laser ablation* multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-ICP-MS). *Anais Academia Brasileira de Ciências (aceito p/ publicação)*.
- CABY, R. -1989 - Precambrian terrane of Benin-Nigeria and northeast Brazil and late Proterozoic Atlantic fit. - *Geol. Soc. Am. Sp. Paper*, 230, 145-158.
- CAGNIARD, L., 1953. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. *Geophysics*, 18, 605-635.
- CAMPOS NETO, M.C.; BITTAR, S. M. B.; BRITO NEVES, B. B.-1994- Domínio tectônico Rio Pajeú- Província Borborema: Orogêneses superpostas no Ciclo Brasileiro/PanAfricano. XXXVIII Congres. Brasil. *Geol.*, v.1; 221-222.
- CASTAING, C., TRIBOULET, C., FEYBESSE, J. L. & CHEVREMONT, P. -1993-Tectonometamorphic evolution of Ghana, Togo and Benin in the light of the Pan-Africano/Brasiliano Orogeny. *Tectonophysics*, 218, 323-342p.
- CASTAING, C.; FEYBESSE, J. L.; THIEBLEMONT, D., TRIBOULET, C. & CHEVREMONT, P. - 1994 - Paleogeographical reconstructions of the Pan-African/Brasiliano orogen: closure of an oceanic domain or intracontinental convergence between major blocks ?. *Precambrian Research*, 69, 327-344p.
- CAVALCANTE, J.C. - 1999 – Limites e evolução geodinâmica do Sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil. Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, unpublished MSc thesis, 169p.
- CHRISTENSEN, N.I. 1996. Poisson's ratio and crustal seismology. *Journal of Geophysical Research*, **101**:3139-3156
- CONDIE, K. 1989. *Plate Tectonics and Crustal Evolution*. New York, Pergamon Press, Third Edition, 476p.
- CORSINI, M., FIGUEIREDO, L.L., CABY, R., FÉRAUD, G., RUFFET, G., VAUCHEZ, A. – 1998 – Thermal history of the Pan-African/Brasiliano Borborema province of Northeast Brazil deduced from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analysis. *Tectonophysics*, 285: 103-117.
- CORSINI, M; VAUCHEZ, A; ARCANJO; C.J. JARDIM DE SÁ, E. F. -1991- Strain transfer at continental scale from a transcurrent shear zone to a transpressional fold belt; The Patos-Seridó system, northeastern Brazil. *Geology*, 19: 586-589.
- D'AGRELLA-FILHO, M. S. & PACCA, I. G. - 1993 - Paleomagnetism of Lower Proterozoic mafic dyke swarms and basement rocks from the São Francisco Cráton: tectonic implications. *Anais do II simpósio do CSF*. Salvador, 143-145p.
- D'AGRELLA-FILHO, M.S.; FEYBESSE, J. L.; PRIAN, J. P. , DUPUIS, D., & N'DONG, J. E. -1996 - Paleomagnetism of Precambrian rocks from Gabon, Congo craton, Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 22,1,65-80p.
- DADA, S.S. -2008- Proterozoic evolution of the Nigeria-Borborema Province. In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J. *West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, 294, pp.121-136.
- DANTAS, E. L.; HACKSPACHER, P. C., VAN SCHMUS, W. R., BRITO NEVES, B. B. –1998 – Archean accretion in the São José do Campestre Massif, northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(2): 221-228.
- DANTAS, E.L., VAN SCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C., FETTER, A.H., BRITO NEVES, B. B., CORDANI, U.G., NUTMAN, A.P., WILLIAMS, I.S. – 2004 – The 3.4-3.5 Ga São José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research*, 130(1-4): 113-137.
- DEPAOLO, D. J., 1981, A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California. *Journal of Geophysical Research*, v.86,p.10470-10488.
- DEPAOLO, D. J. - 1988 - *Neodymium Isotope Geochemistry - An introduction*. New York, Springer Verlag, 187p.

- DEPAOLO, D. J.; PERRY, FRANK V. & BALDRIDGE, S. - 1992 - Crustal versus mantle sources of granitic magmas: a two-parameter model based on Nd isotopic studies. *Transactions Of The Royal Society Of Edinburgh: Earth Sciences*, 83, p 439-446.
- DICKIN, A. P. -1995- Radiogenic Isotope Geology. Cambridge, Cambridge University Press, 666p.
- DMITRIEV, V.I., BERDICHEVSKY, M.N., 1979. Fundamental model of magnetotelluric sounding. *Proc. IEEE*, 67, 1034-1044
- DZIEWONSKI, A., BLOCH, S. & LANDISMAN, M., 1969. A technique for analysis of transient seismic signals. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59(1), 427-444.
- EBERT, H. - 1969 - Geologia do alto Seridó: nota explicativa à folha geológica Currais Novos, 1:250.000 - Recife, SUDENE, 43 p. il., 4 map. color.
- EBERT, H. - 1970 - The precambrian geology of the "Borborema" belt, States of Paraíba and Rio Grande do Norte, northeastern Brazil. *Geologische Rundschau*, 59: 1299-1326.
- EGBERT, G. D., 1997. Robust multiple-station magnetotelluric data processing. *Geophys. J. Int.*, 130, 475-496.
- FAURE, G-1986- *Principes of Isotope Geology*. 2nd Ed. John Wiley, 587p.
- FENG, M., 2004. Tomografia de ondas de superfície na América do Sul: Inversão conjunta de velocidade de grupo e forma de onda. Tese (Doutorado). IAG/USP, São Paulo, SP.
- FENG, M., ASSUMPÇÃO, M. S. & VAN DER LEE, S., 2004. Group-velocity tomography and lithospheric S-velocity structure of South American continent. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 147, 315-331.
- FENG, M., VAN DER LEE, S., ASSUMPÇÃO, M. S. - 2007 -Upper mantle structure of South America from joint inversion of waveforms and fundamental-mode group velocities of Rayleigh waves. *Journal of Geophysical Research*, 11, B04312.
- FERREIRA, J., ASSUMPÇÃO, M. - 1983 - Sismicidade do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 1: 67-88.
- FERREIRA, J.M., BEZERRA, F.H.R., SOUSA, M.O.L., DO NASCIMENTO, A.F., SÁ, J.M., FRANÇA, J.S. - 2008 - The role of Precambrian mylonitic belts and present-day stress field in the coseismic reactivation of the Pernambuco lineament, Brazil. *Tectonophysics*, 456: 111-126.
- FERREIRA, J.M., OLIVEIRA, R., TAKEYA, M., ASSUMPÇÃO, M. - 1998 - Superposition of local and regional stresses in NE Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin. *Geophysical Journal International*, 134: 341-355.
- FETTER, A. - 1999 - Geochronological evolution of the Ceará State - Borborema Province - Northeast Brazil. Lawrence, University of Kansas, unpublished PhD Thesis, 150p.
- FERREIRA, V. P., SIAL, A. N., JARDIM DE SÁ, E.F. - 1998 - Geochemical and isotope signatures of Proterozoic granitoids in terrains of the Borborema structural province, northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 11(5): 439-455.
- FETTER, A.H., VAN SCHMUS, W. R., SANTOS, T.J.S., NOGUEIRA NETO, J.A., ARTHAUD, M. H., 2000 - U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution of basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent 'Atlantica'. *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 102-106.
- FETTER, A.H., SANTOS, T.J.S., VAN SCHMUS, W. R., HACKSPACHER, P.C., BRITO NEVES, B.B., ARTHAUD, M. H., NOGUEIRA NETO, J.A., WERNICK, E. - 2003 - Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research* 6(2): 265-273.
- FEYBESSE, J-L, MILÉSI, J. P.-1994- The Archean/Proterozoic contact zone in West Africa; a mountain belt of décollement thrusting and folding on a continental margin related to 2.1 Ga convergence of Archean cratons ?. *Precambrian Research*, 69, 199-227p.
- FOUNTAIN, M.D., CHRISTENSEN N.I. 1989. Composition of the continental crust and upper mantle. A review. *In: Pakiser, L.C. e Mooney, W.D., Geophysical framework of the continental United States* (Memoir 172), Geological Society of America, Inc., Boulder, Colorado, chapter 30, p. 711-742.
- GIOIA, S.M.C.L., PIMENTEL, M.M. - 2000 - The Sm-Nd isotopic method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. *Anais Academia Brasileira de Ciências* 72: 219-245.
- GOODWIN, A. M.-1991- *Precambrian Geology*. Academic Press, 666p.
- GROOM, R.W., BAILEY, R.C., 1989. Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion. *J. Geophys. Res.*, 94, 1913-1925.
- GUIMARÃES, I. P., SILVA FILHO, A. F., ALMEIDA, C. N., VAN SCHMUS, W. R., ARAÚJO, J. M. M., MELO, S. C., MELO, E. B., 2004 - Brasiliano (Pan-African) granitic magmatism in the Pajeú-Paraíba belt, Northeast Brazil: an isotopic and geochronological approach. *Precambrian Research*, 135: 23-53.
- HACKSPACHER, P. C.; VAN SCHMUS, W. R.; DANTAS, E. L. - 1990 - Um embasamento Transamazônico na Província Borborema. XXXVI CBG, 6, 2683-2696.
- HACKSPACHER, P.C.; DANTAS, E. L.; MAGINI, C. & LEGRAND, J. M.-1993- Aspectos do magmatismo cálcio-alcalino nos granitóides Transamazônicos da Província Borborema. XV Simp. Geol. Nordeste. Natal, 115-119p.

- HEAMAN, L. & PARRISH, R. - 1991 - U-Pb geochronology of accessory minerals. Mineral Association Of Canada, Applications Of Radiogenic Isotope Systems To Problems In Geology. Chapter 3, p 61-102.
- HERRIN, E. & GOFORTH, T., 1977. Phase-matched filters: application to the study of Rayleigh waves. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 67, 1259-1275.
- HERRMANN, R. B. & AMMON, C. J., 2002. Computer programs in seismology – surface waves, receiver functions and crustal structure. St. Louis University, St. Louis, MO. URL <http://www.eas.slu.edu/People/RGHerrman/ComputerPrograms.html>
- HOFFMAN, P. F. 1991- Did the Breakout of Laurentia Turn Gondwanaland Inside-Out?, *Science*, vol.252; 1409-1412p.
- HOLBROOK, W.S., MOONEY, W.D., NICOLAS, I.C., The seismic velocity structure of the deep continental crust, *In: Fountain, D.M., Arculus, R. and Kay, R.W., Continental Lower Crust (Developments in Geotectonics 23)*, Elsevier, Amsterdam, cap. 1, pp. 1-34, 1992.
- HOWELL, D.G.-1995- Tectonics of Suspect Terranes Mountain Building and Crustal Growth. Chapman & Hall., London, 232p.
- HURLEY, P. M. & RAND, J. R. -1969- Pre-drift continental nuclei. *J. Geophys. Res.*, 164, 1229-1242pp.
- HUTTON, D. H. W. -1988- Granite emplacement mechanisms and tectonic controls: inferences from deformation studies. *Trans. R. Soc. Edinb.; Earth Scie.*, 79: 245-255.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. -1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8: 523-548.
- JACKSON, S.L.; CRUDEN, A. R.; WHITE, D. & MILKEREIT, B.-1995- A seismic reflection based regional cross section of SW alibiti greenstone belt- *Canadian Journal Earth Sciences*, 32, 2, 135-148p.
- JAHN, B. M.; AUVRAY, B., YE, X. J; ZHANG, Q. Z., CORCINET, J., MACE, J., SHEN, Q. H., LIU, Z. Q., ZHANG, Z. Q.; & DONG, Y. J.-1988- Archean crustal evolution in China : The Tailshan Complex, and evidence for juvenile crustal addition from long-term depleted mantle. *Precambrian Research*, 38, 4, 381-404p.
- JANASI, V.A.; VACH, S.R.F. & ULBRICH, H.H.G.J.-1993- Enriched-mantle contributions to the Itu Granitoid Belt, Southeastern Brazil; Evidence from K-rich diorites and Syenites. *Anais da Acad. Bras. Ciências*, vol. 65; 107-118.
- JARDIM DE SÁ, E. F., 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana, Brasília, Universidade de Brasília, unpublished Ph.D. Thesis, 803p.
- JARDIM DE SÁ, E. F., MACEDO, M.H.F., FUCH, R.A., KAWASHITA, K., 1992. Terrenos neoproterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(4): 472-480.
- JONES, A.G., FERGUSON, I.J., CHAVE, A.D., EVANS, R.L., MCNEICE, G.W., 2001. Electric lithosphere of the Slave craton. *Geology*, 29, 423-426.
- KENNETH, B. L. N. & ENGDahl, E. R., 1991. Travel times for global earthquake location and phases identification. *Geophys. J. Int.*, 105, 429-465.
- KLEIN, E. L. & MOURA, C. A. V., 2001. Age constraints on granitoids and metavolcanic rocks of the São Luiz craton and Gurupi belt, northern Brazil: implications for lithostratigraphy and geological evolution. *International Geology Review*, 43: 237-253.
- KROGH, T.E. -1973 - A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 37: 485-494.
- KROGH, T. E - 1982 - Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, Vol 46, p 637-649.
- KROGH, T. E. - 1995 - Dating polymetamorphic rocks. *Geotimes*, p 20-22.
- LANCELOT, J.; VITRAC, A. & ALLERGE, C. J. - 1976 - Uranium and lead isotopic dating with grain-by-grain zircon analysis: a study of complex geological history with a single rock. *Earth And Planetary Science Letters*, 29, p 357-366.
- LANZIROTTI, A. & HANSON G. N. - 1995 - U-Pb dating of major and accessory minerals formed during metamorphism and deformation of metapelites. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*. Vol. 59, N° 12, pp 2513-2526.
- LASKE G., MASTERS, G. REIF, E. R., 2000. CRUST 2.0: A new global crustal model at 2°x2°. URL <http://mahi.uscd.edu/Gabi/rem.html>
- LE MAITRE, R. W. -1989- A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Sci. Publ.193p.
- LEDRU, P. JOHAN, V., MILESI, J.P. & TEGYEY, M, 1994, Markers of the last stages of the Paleoproterozoic collision : evidence for a 2 Ga continent involving circum-South Atlantic provinces. *Precambrian Research*, vol 69, 169-191p.
- LEDRU, P.; COCHERIE, A.; BARBOSA, J.; JOHAN, V. & ONSTOTT, T.-1994- Ages du métamorphisme granulitique dans le craton du São Francisco (Brésil). Implications sur la nature de l'orogène transamazonien. *C.R. Acad. Sci. Paris*.318, 251-257p.

- LIEGOIS, J. P.; BLACK, R; NAVEZ, J. LATOUCHE, L. -1994- Early and Late Pan-African orogenesis in the Air assembly of terranes Tuareg Shield, Niger. *Precambrian Research*, 67: 59-88.
- LIGORRÍA, J. P. & AMMON, C. J., 1999. Iterative deconvolution and receiver-function estimative. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89(5), 1395-1400.
- LIVELYBROOKS, D., MARESCAL, M., BLAIS, E., SMITH, J.T., 1996. Magnetotelluric delineation of the Trillabelle massive sulfide body in Sudbury, Ontario. *Geophysics*, 61, 971-986.
- LUDWIG, K.R., 1993, ISOPLOT- A plotting and regression program for radiogenic isotope data, Version 2.70. June 9, 1993 revision of U.S. Geological Survey Open File Report 91-445, 42p.
- MARIANO, G. & SIAL, A. N.- 1993- High K-Calc-Alkalic vs. Shoshonitic Granitic Magmatism in Northeast Brazil. *An. Acad.bras. Ci.*, 65,119-129p.
- MARTIN, H. 1994. The Archean grey gneiss and the genesis of continental crust. In *Condie, K., Archean Crustal Evolution*. Amsterdam, Elsevier, p.205-259.
- MCNEICE, G., JONES, A.G., 2001. Multisite, multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data. *Geophysics*, 66,158-173.
- McMURRY, J.; LONG, L. E. & SIAL, A. N. -1987- Evolution of a heterogeneous, continentally derived granite: Dona Inês pluton, Northeastern Brazil. *Journal of Geology*, vol . 95; 107-117p.
- MEJU, M.A., 1996. Joint inversion of TEM and distorted MT soundings: some effective practical considerations. *Geophysics*, 61, 56–65.
- MEJU, M.A., FONTES, S.L., OLIVEIRA, M.F.B., LIMA, J.P.R., ULUGERGERLI, E.U., CARRASQUILLA, A.A., 1999. Regional aquifer mapping using combined VES-TEM-AMT/EMAP methods in the semiarid eastern margin of Parnaíba Basin, Brazil. *Geophysics*, 64, 337-356.
- MEZGER, K & KROGSTAD, J. -1997- Interpretation of discordant U-Pb in zircon ages: An evaluation. *J. Metamorphic Geol.*, 15; 127-140p.
- MEZGER, K.; ESSENE, E. J. & HALLIDAY, A. N. - 1992 - Closure temperatures of the Sm-Nd system in metamorphic garnets. *Earth And Planetary Science Letters*, 113, p 397-409.
- MEZGER, K.; HANSON, G. N., & BOHLEN, S. R. - 1989 - U-Pb systematics of garnet: dating the growth of garnet in the Late Archean Pikwitonei granulite domain at Cauchon and Natawahunan Lakes, Manitoba, Canada. *Contributions Mineralogy Petrology*, 101: 136-148.
- MEZGER, K.; RAWNSLEY, C.M.; BOHLEN, S. R. & HANSON, G. N. - 1991 - U-Pb garnet, sphene, monazite, and rutile ages: implications for the duration of high-grade metamorphism and cooling histories, Adirondack MTS., New York. *Journal of Geology*, 99: 415-428.
- MITSUHATA, Y., MATSUO, K., MINEGISHI, M., 1999. Magnetotelluric survey for exploration of a volcanic-rock reservoir in the Yurihara oil and gas field, Japan. *Geophys. Prospect.*, 47, 195-218.
- MONIÉ, P., CABY, R., ARTHAUD, M.H. – 1997 – The Neoproterozoic Brasiliano orogeny in Northeast Brazil:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and petrostructural data from Ceará. *Precambrian Research* 81: 241-264.
- MOORES, E. M. -1991- Southwest U.S.-East Antarctic (SWEAT) connection: A hypothesis, *Geology*, 19: 425-428.
- MOREIRA, J.M.; MEDEIROS, W.; LINS, F.A.P.L. & ARCHANJO, C.J. -1990- Mapa gravimétrico do NE setentrional do Brasil e sua contribuição ao estudo da tectônica da área. I Cong. Brasil.Geofísica, v.3, 531-537p.
- MORRISON, H.F., SHOHAN, Y., HOVERSTEN, G.M., TORRES-VERDIN, C., 1996. Electromagnetic mapping of electrical conductivity beneath the Columbia basalts. *Geophys. Prospect.*, 44, 963-986.
- MUSACCHIO, G., MOONEY, W.D., LUETGERT, J.H., CHRISTENSEN, N.I., Composition of the crust in the Grenville and Appalachian provinces of North America inferred from Vp/Vs ratios, *Journal of Geophysical Research*, 102, B7, July 10, 15,225-15,241, 1997.
- NEVES, S. P. 2003 Proterozoic history of the Borborema Province (NE Brazil): correlations with neighboring cratons and Pan-African belts, and implications for the evolution of western Gondwana. *Tectonics*, 34: 1031.
- NEVES, S. P., MELO, S. C., MOURA, C. A. V., MARIANO, G., SILVA, J. M. R., 2004 – Zircon Pb-Pb geochronology of the Caruaru area, northeastern Brazil: temporal constraints on the Proterozoic evolution of Borborema Province. *International Geology Review*, 46: 52-63.
- NUTMAN, A. P. & CORDANI, U.G. -1993- SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Archean granitoids from the Contendas Mirante area of the São Francisco Cráton, Bahia, Brazil. *Precambrian Research*, 63, 3/4, 179-188p.
- PAIGE, C. C. & SAUNDERS, M. A., 1982a. Algorithm 583, LSQR: sparse linear equations and least squares problems. *ACM Trans. Math. Softw.*, 8(2), 195-209.
- PAIGE, C. C. & SAUNDERS, M. A., 1982b. LSQR: an algorithm for sparse linear equations and sparse least squares. *ACM Trans. Math. Softw.*, 8(2), 195-209.
- PARENTE, C.V., SILVA FILHO, W.F., ALMEIDA, A.R. – 2003 – Bacias do estágio de transição do Domínio Setentrional da Província Borborema. In MANTESSO NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO NEVES, B.B. – 2004 – Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca, p.525-536.

- PARENTE, C.V., RONCHI, L.H., SIAL, A.N., GUILLOU, J.J., ARTHAUD, M.H., FUZIKAWA, K., VERÍSSIMO, C.U.J. – 2004a – Geology and geochemistry of Paleoproterozoic magnesite deposits (1.8 Ga), State of Ceará, northeastern Brazil. *Carbonates and Evaporites*, 19(1): 28-50.
- PARENTE, C.V., SILVA FILHO, W.F., ALMEIDA, A.R. –2004b – Bacias do estágio de transição do domínio setentrional da Província Borborema. In MANTESSO NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO NEVES, B.B. (Org.), *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p.
- PARRISH, R. R. - 1990 - U-Pb of monazite and its application to geological problems. *Canada J. Earth Science*, 27, p 1431-1450.
- PARRISH, R. R.; BELLERIVE, D. & SULLIVAN, R. W. - 1992 - U-Pb chemical procedures for titanite and allanite in the Geochronology Laboratory, Geological Survey of Canada. Geological Survey Of Canada, Paper 91-2, p187-190.
- PARRISH, R. R.; RODDICK, J. C.; LOVERIDGE, W. D. & SULLIVAN R. W. - 1987 - Uranium-lead analytical techniques at the geochronology laboratory, Geological Survey of Canada. Report 1, Geological Survey Of Canada. Paper 87-2, p 3-7.
- PARRISH, R.R., 1987, An improved micro-capsule for zircon dissolution in U-Pb geochronology. *Isotope Geoscience*, v.66, p.99-102.
- PATCHETT, P. J.-1992- Isotopic studies of Proterozoic crustal growth and evolution. In Condie, K C. (ed) *Proterozoic crustal evolution*. New York, Elsevier, p.481-508.
- PATERSON, B. A.; ROGERS, G. & STEPHENS, W. E. - 1992 - Evidence for inherited Sm-Nd isotopes in granitoid zircons. *Contributions Mineralogy Petrology*, 111(3): 378-390.
- PELLERIN, L., HOHMANN, G.W. 1990. Transient electromagnetic inversion: a remedy for magnetotelluric static shifts. *Geophysics*, 55, 1242-1250.
- PLUMB., K. A. -1991- New Precambrian time-scale. *Episodes*: 14 (2) : 139-140.
- PIDGEON, R. T.; BORH, D. & BRUGUIER, O., 1996- Inherited zircon and titanite U-Pb system in an Archean syenite from SW Australia: implications for U-Pb stability of titanite. *Earth Planetary Science Letters*, 141: 187-198.
- PIDGEON, T. R. & COMPOSTON, W. - 1992 - A SHRIMP ion microprobe study of inherited and zircons from four Scottish Caledonian. *Transactions Of The Royal Society Of Edinburgh: Earth Sciences*, 83, p 473-483.
- PIMENTEL, M. M. & CHARNLEY, N. - 1991- Intracrustal REE fractionation and implications for Sm-Nd model age calculations in late-stage granitic rocks : An example from central Brazil. *Chemical Geology*, 86; 123-138.
- PIMENTEL, M.M., DANTAS, E.L., FUCK, R.A., ARMSTRONG, R.A. – 2003 – SHRIMP and conventional U-Pb age, Sm-Nd isotopic characteristics and tectonic significance of the K-rich Itapuranga suite in Goiás, central Brazil. *Anais Academia Brasileira de Ciências* 75(1): 97-108.
- POWELL, C. -1993- Assembly of Gondwanaland - Open forum. *Gondwana Eight; Unrug, Banks & Veevers (eds)*. p.219-237.
- RADAMBRASIL - 1981- Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso e potencial do solo. Rio de Janeiro, 744p.
- REYMER, A. & SCHUBERT, G. -1984- Phanerozoic addition rates of the continental crust and crustal growth. *Tectonics*, 3: 63-78.
- REYMER, A. P. S. & SCHUBERT, G. - 1987 - Phanerozoic and Precambrian growth. In: Kroner (Editor). *Proterozoic Evolution Geodynamic Ser. v.17*, Am. Geophys. Union, Washington, DC, 1-9.
- RIOS, D. C., CONCEIÇÃO, H., DAVIS, D. W., CID, J. P., ROSA, M. L. S., MACAMBIRA, M. J. B., MCREATH, I., MARINHO, M. M., DAVIS, W.J. – 2007 - Palaeoproterozoic potassic-ultrapotassic magmatism: Morro do Afonso syenite pluton, Bahia, Brazil. *Precambrian Research*, 154, 1-30, 2007.
- RIOS, D. C., DAVIS, D. W., CONCEIÇÃO, H., MACAMBIRA, M. J. B., PEIXOTO, A. A., CRUZ FILHO, B. E., OLIVEIRA, L. L. – 2000 - Ages of granites of the Serrinha Nucleus, Bahia (Brazil): an overview. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 74-77.
- RODI, W., MACKIE, R.L., 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics*, 66, 174-187.
- ROLLISON, H. – 1993 - Using geochemical data, evaluation, presentation, interpretation. Longman Press, 352p.
- ROGERS, J.J.W. -1996- A history of Continents in the Past Three Billion Years. *The Journal of Geology*, 104: 91-107.
- ROGERS, J.J.W.; UNRUG, R & SULTAN, M.-1995 Tectonic assembly of Gondwana. *J. Geodynamics*, 19: 1-34.
- SÁ, J. M., LETERRIER, J., BERTRAND, J. M., SILVA, E. R., 1997 – Augen gnaisses vs. augen gnaisses da Faixa Jaguaribana, NE do Brasil: estratigrafia, geoquímica e idades U-Pb. In *Simpósio de Geologia do Nordeste*, 17, Fortaleza, 1997. *Anais... SBG*, p.

- SÁ, J. M., McREATH, I., LETERRIER, J., 1995 – Petrology, geochemistry and geodynamic setting of Proterozoic igneous suites of the Orós fold belt (Borborema Province, northeast Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 8: 299-314.
- SÁ, N. C., USSAMI, N., MOLINA, E., 1993. Gravity map of Brazil, 1: representation of free-air and Bouguer anomalies. *J. Geophys. Res.*, 98(B2), 2187-2197.
- SANTOS, E. J., NUTMAN, A. P., BRITO NEVES, B. B., 2004 – Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: implicações sobre a evolução tectônica da zona transversal, Província Borborema. *Geologia USP, Série Científica* 4: 1-12.
- SANTOS, T.J.S., FETTER, A.H., NOGUEIRA NETO, J.A. -2008- In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J. West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society, London, Special Publications, 294, pp.101-119.
- SENGOR, A.M.C. (1990). Plate tectonics and orogenic research after 25 years: a Tethyan perspective. *Earth Science Review*, v.27, 1/2; 1-201p.
- SHIRAIWA, S., USSAMI, N., 2001. Gravity survey of the pantanal wetland: data acquisition and processing. *Rev*
- SHIREY, S. B. - 1991 - The Rb-Sr, Sm-Nd and Re-Os isotopic systems: a summary and comparison of their applications to the cosmochronology and geochronology of igneous rocks. Mineral Association Of Canada, Applications Of Radiogenic Isotope Systems To Problems In Geology. Chapter 4, p 103-166.
- SIAL, A. N.-1993- Constrasting Metaluminous Magmatic Epidote-Bearing Granitic Suites from two Precambrian Foldbelts in Northeast Brazil. *Anais Academia Brasileira Ciências*, 65: 141-162.
- SIAL, A. N.; JARDIM DE SÁ, E. F.; FERREIRA, V. P.; MEDEIROS, V.C.; AMARO, V. E. & SANTOS, E. J. -1995- A carta plutônica do Nordeste Oriental do Brasil com ênfase aos granitóides não deformados: estágio atual de desenvolvimento. In Simpósio de Geologia do Nordeste, 16. Recife... SBG, Bol.14, p.313-315.
- SILVA, J.B.C., MEDEIROS, W.E., BARBOSA, V.C.F., 2001. Potential field inversion: choosing the appropriate technique to solve a geologic problem. *Geophysics*, 66, 511-520.
- SILVA FILHO, A.F., GUIMARÃES, I.P., VAN SCHMUS, W.R. – 2000a – High-K calc-alkaline granitoids of ca. Ga T<sub>DM</sub> along the limit PE-AL massif/Sergipano fold belt, NE Brazil: a Mesoproterozoic plate. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1): 182-185.
- SILVA FILHO, A.F., NEVES, S.P., MARIANO, G., GUIMARÃES, I.P., MELO, S.C. – 2000b – Intralithospheric differentiation and crustal growth: evidence from the Borborema Province, NE Brazil. *Geology*, 28(6): 519-522.
- SILVA, L.C., ARMSTRONG, R.A., PIMENTEL, M.M., SCANDOLARA, J.E., RAMGRAB, G., WILDNER, W., ANGELIM, L.A., RIZZOTTO, G., QUADROS, M.L.E.S., SANDER, A., ROSA, A.L.Z. – 2002 – Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, Parte III: províncias Borborema, Mantiqueira meridional e Rio Negro-Juruena. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4): 529-544.
- SIRIPUNVARAPOM, W., EGBERT, G., 2000. An efficient data-subspace inversion method for 2-D magnetotelluric data. *Geophysics*, 65, 791-803.
- SMITH, J. T., BOOKER, J. R., 1991. Rapid inversion of two and three-dimensional magnetotelluric data. *J. Geophys. Res.*, 96, 3905-3922.
- SÖDERLUND, U. - 1996 - Conventional U-Pb dating versus single-grain Pb evaporation dating of complex zircons from a pegmatite in the high-grade gnaisses of southwestern Sweden. *Lithos*, 38, p 93-105.
- SOUZA; Z.S; MARTIN, H.;MACEDO, M.H.F.; PECAUT, J.J & JARDIM DE SÁ, E.F.-1993- Un segment de croute continentale juvéline d' âge proterozoïque inferieur : le complexe de Caicó (Rio Grande do Norte-Brésil). *C. R. Acad. Sci. Paris III*, 316: 201-208.
- STACEY, J.S. & KRAMERS, J.D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model: *Earth and Planetary Science Letters*, v.26, p. 207-221.
- STEIGER, R. H., & JAGER, E., 1977, Subcommission on Geochronology- convention and use of decay constants in geochronology and cosmochronology: *Earth and Planetary Science Letters*, v.36, p.359-362.
- STREKEISEN, A. L. -1976 - To each plutonic rocks its proper name. *Earth Sc. Rev.*,12, 1-33.
- TAKEYA, M., FERREIRA, J.M., PEARCE, R.G., ASSUMPÇÃO, M., COSTA, J.M., SOPHIA, C.M. – 1989 – The 1986-88 intraplate earthquake sequence near João Câmara, NE Brazil: evolution of seismicity. *Tectonophysics*, 167: 117-131.
- TAYLOR, S. R. & MACLENNAN, S. M. -1985- The Continental Crust: Its Composition and Evolution. London, Blackwell Scientific. Pub., 312pp.
- TIDJANI, M. E., AFFATON, P., LOUIS, P.; LESQUER, A., SOCOHOU, & CABY, R. -1993- Gravity characteristics of the northern part of the Dahomeydes: continental aggregation-collision orogen and gravity smoothing in the Pan-African (600+100Ma) *Journal of African Earth Sciences*, 17(2): 203-212.
- TOTEAU, S. F.; MACANDIERRE, J. BETRAND, J. M. & DAUTEL, D. -1990- Metamorphic zircons from North Cameroon : Implications for the Pan-African evolution of Central Africa, *Geologische Rundschau*, 79: 777-788.

TOTEAU, S. F.; MICHARD, A.; BERTRAND, J. M. AND ROCCI, G. -1987- U-Pb dating of Precambrian rocks from northern Cameroon, orogenic evolution and chronology of the Pan-African belt of Central Africa. *Precambrian Research*, 37: 71-87.

TOTEAU, S.F., VAN SCHMUS, W.R., PENAYE, J. & NYOBE, J.B., 1993, U-Pb and Sm-Nd evidence for Eburnian and Pan-African high-grade metamorphism in cratonic rocks of southern Cameroon. *Precambrian Research*, 67: 321-347.

TRINDADE, R. I. F.; MACEDO, J.W.P; JARDIM DE SÁ, E.F.; LINS, F.A.P.L.; MOREIRA, J.A.M. -1993- Contraste do regime estrutural de alojamento de plutons: a assinatura gravimétrica dos granitóides de Cardoso e Taipu, NE da Faixa Seridó. *Atas do XV Simp. Geol. Nordeste*. 277-280.

TROMPETTE, R, 1994, Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma) Pan African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa. AA Balkema Publishers, 350p.

UNRUG, R.; 1993- The Gondwana supercontinent : Middle Proterozoic crustal fragments, Late Proterozoic assembly, and unresolved problems. *Gondwana Eight*; Unrug, Banks & Veevers (eds). p.3-8.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C. & BABINSKI, M. - 1995- U-Pb and Sm-Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*. vol 8; 3/4; p.267-288.

VAN SCHMUS, W. R., BRITO NEVES, B. B., WILLIAMS, I. S., HACKSPACHER, P. C., FETTER, A. H., DANTAS, E. L., BABINSKI, M., 2003 – The Seridó Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pre- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence ( $T_{DM}$ ) ages. *Precambrian Research*, 127: 287-327.

VAN SCHMUS, W. R., OLIVEIRA, E.P., SILVA FILHO, A.F., TOTEAU, S.F., PENAYE, J., GUIMARÃES, I.P. – 2008- Proterozoic links between the Borborema Province , NE Brazil, and the Central African Fold Belt. In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J. *West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, 294, pp.69-99.

VAUCHEZ, A., EGYDYIO DA SILVA, M. – 1992 - Termination of a continental-scale strike slip fault in partially melted crust: the west-Pernambuco shear zone, northeast Brazil. *Geology*, 20: 1007-1010.

VAUCHEZ, A, NEVES, S.P., CABY, R., CORSINI, M., EGYDIO-SILVA, M., ARTHAUD, M.H., AMARO, V.E. – 1995 - The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 8 (3/4): 247-266.

VILLENEUVE, M. & CORNÉE, J. J. -1994- Structure, evolution and paleogeography of the West African craton and bordering belts during the Neoproterozoic. *Precambrian Research*, 69, 307-326p.

VOZOFF, K., 1991. The magnetotelluric method, in Nabighian, M.N. (ed.), *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, No.3, v.2 part B, p. 641-711.

WETHERILL, G. W. -1956- Discordant uranium-lead ages. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh : Earth Sciences*, 83: 447-458.

WILDE, S. A.; MIDDLETON, M. F. & EVANS, B.J.-1996- Terrane accretion in the southwestern Yilgarn Craton : evidence from a deep seismic crustal profile. *Precambrian Research*, 78, 1/3. 179-196p.

WILLIAMS, I. S. - 1992 - Some observations on the use of zircon U-Pb geochronology in the study of granitic rocks. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83, p 447-458.

WINDLEY, B.F.-1992- Proterozoic collisional and Accretionary orogens. In Condie, K. C.(ed.), *Proterozoic crustal evolution*. New York, Elsevier, p. 419-446.

WINDLEY, B.F. -1995 - The Envolving Continents. New York, J. Wiley & Sons, 3 ed., 526p. ZANDT, G., AMMON, C.J. -1995 - Continental crust composition constrained by measurements of crustal Poisson's ratio. *Nature*, 374:152-154.