

**RESUMOS DE TESES E DISSERTAÇÕES  
ABSTRACTS OF THESES AND DISSERTATIONS**

MODELAGEM NUMÉRICA DA DINÂMICA DO MANTO NA BORDA DA LITOSFERA CONTINENTAL EM MARGENS DIVERGENTES

*Edgard Bueno dos Santos*

ANÁLISE DA TOMOGRAFIA DE MICRO-ONDAS EM DADOS GPR SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS: APLICAÇÕES EM ARQUEOLOGIA E ESTUDOS FORENSES

*Emerson Rodrigo Almeida*

MECANISMOS FOCAIS E O PADRÃO DE TENSÕES INTRAPLACA NO BRASIL

*Fábio Luiz Dias*

RESPOSTA MAGNÉTICA DE SEDIMENTOS MARINHOS DA MARGEM ADJACENTE AO NE DO BRASIL ÀS MUDANÇAS PALEOCLIMÁTICAS E PALEOCEANOGRÁFICAS NOS ÚLTIMOS 85.000 ANOS BP

*Grasiane Luz Mathias*

ENSAIOS SÍSMICOS NA REGIÃO DE TERMAS DE IBIRÁ/SP COM EMPREGO DOS MÉTODOS DE TOMOGRAFIA SÍSMICA DE ONDAS P E DE ANÁLISE MULTICANAL DE ONDAS RAYLEIGH

*Thiago Fonseca Fraga*

## MODELAGEM NUMÉRICA DA DINÂMICA DO MANTO NA BORDA DA LITOSFERA CONTINENTAL EM MARGENS DIVERGENTES

**Edgard Bueno dos Santos**

Orientador: Dr. Victor Sacek (IAG-USP)

107 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 19.09.2016

**RESUMO.** O presente trabalho tem como objetivo estudar a dinâmica do manto superior em margens continentais através do uso de modelos numéricos que simulam processos convectivos e condutivos no tempo geológico, avaliando-se como a incorporação da convecção no estudo da história de subsidência de margens continentais difere do resultado obtido através de modelos puramente condutivos. Como primeiros testes, foram realizadas comparações dos resultados numéricos com soluções analíticas para diferentes valores do número de Rayleigh, verificando-se a validade das soluções computacionais. Também foi feita uma análise da estabilidade da litosfera no tempo geológico para diferentes perfis de viscosidade, servindo como base para a escolha dos parâmetros reológicos do manto para os modelos no contexto de margens divergentes. A partir dos cenários numéricos que melhor reproduziram a estrutura da litosfera terrestre, novos cenários foram criados para simular a evolução térmica e isostática de margens continentais. Como exemplo, utilizou-se dados geofísicos e geológicos extraídos da literatura para a bacia sedimentar do Golfo do Leão, no sudeste da França, com o objetivo de comparar a evolução geodinâmica do presente modelo numérico com outros modelos publicados na literatura. Observou-se que o efeito convectivo astenosférico preserva a estrutura térmica aquecida da margem estirada por mais tempo em comparação com o modelo puramente condutivo. Isso implica que, possivelmente, outros fatores também devem ser levados em consideração como o efeito da geometria tridimensional da margem do Golfo do Leão que pode contribuir para um aumento da subsidência da margem em relação ao modelo obtido no presente trabalho. Adicionalmente, constatou-se que a convecção mantélica pode induzir tensões na base da litosfera que a deslocam dinamicamente ao longo do tempo geológico, podendo influenciar a evolução estratigráfica das bacias sedimentares marginais. São apresentados cerca de 60 cenários geodinâmicos mostrando como a variação da estrutura reológica do manto influencia a evolução térmica da litosfera e conseqüentemente, a história de subsidência da margem.

**ABSTRACT.** This work aims to study the dynamics of the upper mantle in continental margins by using numerical models that simulate convective and conductive processes in geological time scale. It was evaluated the contribution of convection and conduction for subsidence history of sedimentary basins. As first tests, simple numerical scenarios with different Rayleigh number were compared with analytic solutions, verifying the validate of the computational solutions. These numerical experiments were followed by the analysis of the lithospheric stability in the geological time scale for different values of viscosity. These experiments were used as a base for the choice of the rheological parameters of the mantle for the models in the context of divergent margins. From the numerical scenarios that better reproduced the lithospheric structure of the Earth, new scenarios were created to simulate the thermal and isostatic evolution of continental margins. As an example, geophysical and geological data extracted from the literature for the sedimentary basin of the Gulf of Lion, Southeastern France, were compared with the results of different geodynamic models published in the literature and with the numerical scenarios obtained in the present work. We observed that the effect of the astenospheric convection preserves the thermal structure of the stretched margin for a long time in comparison with purely conductive models. This implies that, possibly, other processes must be taken into account, such as the effect of the three-dimensional geometry of the Gulf of Lion margin that may contribute to a higher subsidence of the margin than the one obtained in the present work. Additionally, it was observed that mantle convection may induce stress at the base of the lithosphere that dynamically moves it in the geological time, and may influence the stratigraphic evolution of sedimentary basins. It is presented about 60 scenarios showing how the variation of the rheological structure of the mantle is taken into account in the thermal evolution of the lithosphere and consequently in the subsidence history of the margin.

## ANÁLISE DA TOMOGRAFIA DE MICRO-ONDAS EM DADOS GPR SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS: APLICAÇÕES EM ARQUEOLOGIA E ESTUDOS FORENSES

**Emerson Rodrigo Almeida**

Orientador: Dr. Jorge Luís Porsani (IAG-USP)

162 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 18.02.2016

**RESUMO.** Nesta pesquisa de doutorado foi desenvolvida uma metodologia de análise e interpretação de dados GPR (*Ground Penetrating Radar*) empregando a tomografia de micro-ondas. Esta ferramenta foi empregada com o objetivo de detectar e estimar a geometria de alvos que simulam artefatos comumente encontrados em sítios arqueológicos brasileiros e de um alvo orgânico que simula um corpo humano em decomposição visando estudos forenses sob condições controladas. Os dados de interesse arqueológico foram adquiridos sobre o Sítio Controlado de Geofísica Rasa (SCGR) do IAG/USP. Os dados de interesse forense foram adquiridos sobre um experimento controlado conduzido no campus da USP em Pirassununga (SP), onde um porco de aproximadamente 80 kg foi enterrado e a sua decomposição foi monitorada com o método GPR ao longo de 18 meses. Os cálculos necessários para a execução da inversão dos dados GPR através da tomografia foram implementados em linguagem Matlab, juntamente com ferramentas de remoção de *background* que se mostraram úteis para auxiliar a interpretação dos resultados. O programa de imageamento tomográfico foi validado a partir de dados sintéticos gerados no *software* GprMax a partir de modelos que simulam os alvos de interesse arqueológico instalados no SCGR. A geometria dos alvos do SCGR pôde ser bem estimada, exceto pelo alvo representado pelo muro de tijolos. Feições no solo associadas às escavações para instalação dos alvos puderam ser observadas com clareza nas imagens tomográficas. A geometria do porco, bem como o processo de decomposição foram mapeados através da tomografia mesmo em condições de baixo contraste entre as suas propriedades elétricas e as do solo. Em ambos os casos estudados as imagens tomográficas de dados GPR de 270 MHz, 400 MHz e 900 MHz permitiram extrair mais informações acerca dos alvos do que pelo uso do processamento convencional. Os resultados mostram que a tomografia de micro-ondas possui um grande potencial para aplicação em sítios arqueológicos brasileiros, bem como para aplicações forenses.

**ABSTRACT.** In this research a methodology for analysis and interpretation of GPR (Ground Penetrating Radar) data using microwave tomography was developed. This tool was used for detection and geometry evaluation of targets which simulate artifacts usually found at Brazilian archaeological sites and also of one organic target which simulates a decomposing human body for forensic studies under controlled conditions. The data of archaeological interest were acquired on the Geophysical Test Site (SCGR) at IAG/USP. The data of forensic interest were acquired on an experiment developed at the USP campus in Pirassununga (SP) city. In this experiment a pig with about 80 kg was buried and its decomposition was monitored through GPR profiles during 18 months. The calculations required for the GPR data inversion through microwave tomography were implemented in Matlab language, with background removal tools which were helpful for the interpretation of resulting images. The tomographic imaging program was validated using synthetic data generated by the software GprMax. The models simulate targets of archaeological interest buried at the SCGR. The geometry was well estimated for all the targets, except for the brick wall. Ground features associated to excavations done for the installation of the targets were clearly observed in the tomographic images. The pig geometry and its decomposition process were mapped through microwave tomography even under conditions of low contrast between its electric properties and those from the soil. In both studied cases the tomographic images from GPR data of 270 MHz, 400 MHz and 900 MHz allowed to extract more information about the targets than just using the conventional processing. The results show that microwave tomography has a great potential to be applied at Brazilian archaeological sites, as well as for forensic applications.

## MECANISMOS FOCAIS E O PADRÃO DE TENSÕES INTRAPLACA NO BRASIL

Fábio Luiz Dias

Orientador: Dr. Marcelo Sousa de Assumpção (IAG-USP)

158 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 01.03.2016

**RESUMO.** A determinação de mecanismos focais em regiões intraplacas pode ser bem desafiadora, pois, frequentemente, os sismos são registrados em poucas e/ou distantes estações sismográficas. Neste trabalho, são mostradas duas metodologias para situações como essa. A primeira baseia-se na inversão de forma de onda completa, onde cada percurso fonte-estação tem seu próprio modelo de velocidade específico, modelo esse derivado da análise de dispersão de velocidade de grupo das ondas de superfície Rayleigh e Love. A inversão foi posteriormente checada com as polaridades de onda P conhecidas. Uma importante inovação foi o chamado teste de banda de frequência, que, basicamente, consiste em realizar a inversão em diversas faixas de frequência para checar a incerteza e estabilidade da solução. Essa metodologia foi testada com dois sismos do Brasil e um da Grécia, todos com mecanismo focal publicados. Mostrou-se que os modelos de velocidade específicos melhoram a resolvabilidade das soluções focais. Normalmente, a inversão só pode ser realizada até 10 comprimentos mínimos da onda S (MSW, *minimum shear wavelength*) para modelos de velocidade globais ou regionais. Com os novos modelos específicos, foi possível chegar a 65 MSW. Inversão de forma de onda para apenas uma estação foi testada exaustivamente, mas a inversão conjunta de várias estações mostrou-se mais estável e confiável, obviamente. Concluiu-se que para ser confiável, uma solução deve ter: boa ajuste de forma de onda e polaridade de onda P e, também, estabilidade no teste de banda de frequência. A segunda consiste em usar o registro de estações telessísmicas e, por meio da inversão de forma de onda P, recuperar o mecanismo focal e profundidade. Foram feitos dois testes sintéticos e dois testes com eventos reais de solução focal conhecida. Esses testes mostraram que, em alguns casos, a onda P telessísmica não é suficiente para obter o mecanismo e que informações adicionais, vindas da polaridade da onda P, são necessárias para confirmar o mecanismo focal. As metodologias desenvolvidas aqui permitiram que a determinação de mecanismo focal para um conjunto de dados tão limitados fosse realizada, podendo ser aplicada em diversas regiões que se encontram na mesma situação. Com essas novas metodologias, foram determinados 12 novos mecanismos focais no Brasil, aumentando para 76 o número com tremores com soluções conhecidas. Foi realizada uma compilação de soluções focais para a região intraplaca da América do Sul, usando dados publicados na literatura e catálogos de agências internacionais bem como dados de *breakout* e medidas *in-situ*. Os mecanismos foram agrupados por proximidade e invertidos para momento tensor usando-se a técnica de *bootstrap* para analisar a estabilidade dos tensores. Os resultados mostraram que a orientação do esforço varia de natureza e direção. Na região sudeste e na Bacia do Chaco-Pantanal a orientação da máxima compressão horizontal ( $S_{Hmax}$ ) é predominantemente leste-oeste. No Craton do São Francisco  $S_{Hmax}$  é aproximadamente leste-oeste, mas a solução tem grande incerteza. Uma rotação de leste-oeste para noroeste-sudeste pode ser encontrada na região central e Amazônica no Brasil. O efeito da costa (tendência de  $S_{Hmax}$  ser paralelo à costa) foi confirmado. Os novos dados de mecanismo focal e as orientações de  $S_{Hmax}$  servirão para testar, no futuro, modelos numéricos de tensões intraplaca na América do Sul.

**ABSTRACT.** Focal mechanisms determination in intraplate regions can be quite challenging because often the earthquakes are recorded in few and/or distant seismographic stations. In this work, we show two methodologies for situations like this. The first one is based on the full waveform inversion, with each source-station path has its own specific velocity model. This path-specific model is derived from Rayleigh- and Love-waves group velocity analysis. The result was systematically checked with known P-wave first motion polarities. An important innovation is the so-called frequency-range test, which basically consists of performing inversion in various frequency bands to check uncertainty and stability of the solution. This methodology was tested with two earthquakes in Brazil and one in Greece, all with well-constrained published focal mechanism. We show that the path-specific velocity models significantly improve the resolvability of the focal mechanism solutions. Normally, the inversion can only be performed up to 10 minimum shear wavelength (MSW) for global or regional velocity models. With the new specific models, it was possible to reach up to 65 MSW for the test events. Waveform inversion for only one station was tested thoroughly, but the joint inversion of multiple stations was more stable and trustworthy, obviously. We conclude that a reliable solution must have: good waveform fit and consistency with P-wave polarity, in addition to stability in the frequency range test. The second methodology is to use short-period teleseismic records to recover the focal mechanism and depth by inversion of the P waveform. Two synthetic tests and two tests with real events with well-constrained published focal solution were made. These tests showed that in, some cases, the teleseismic P-wave is not sufficient to constrain the solution and additional information from the polarity of the P wave is required to confirm focal mechanism. The methodologies developed here enabled the determination of focal mechanism for several earthquakes with limited data. They can be applied in other regions which are in the same situation. With these new methods, we determined 12 new focal mechanisms in Brazil, increasing to 76 the number of events with known solutions. We compiled focal mechanism solutions for intraplate South America using published results from the literature and catalogs of international agencies. Stress orientations from breakouts and *in-situ* measurements were also compiled. The mechanisms were grouped by proximity to be inverted for the stress tensor. We use the bootstrap technique to analyze the stability of the tensor. The results showed that the intraplate stresses vary nature and orientation. In Southeast Brazil and in the Chaco-Pantanal Basin orientation of maximum horizontal compression ( $S_{Hmax}$ ) is predominantly E-W. In the São Francisco craton,  $S_{Hmax}$  is roughly E-W, but the solution has large uncertainty. We found a rotation from E-W to NW-SE in the central part and Amazon region of Brazil. The effect of the coast ( $S_{Hmax}$  trend is parallel to the coast) was confirmed. The new focal mechanism data and  $S_{Hmax}$  orientation will be useful to test future numerical models of intraplate stresses in South America.

## RESPOSTA MAGNÉTICA DE SEDIMENTOS MARINHOS DA MARGEM ADJACENTE AO NE DO BRASIL ÀS MUDANÇAS PALEOCLIMÁTICAS E PALEOCEANOGRÁFICAS NOS ÚLTIMOS 85.000 ANOS BP

Grasiane Luz Mathias

Orientador: Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (IAG-USP)  
211 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 10.03.2016

**RESUMO.** O NE do Brasil é uma região semi-árida influenciada pela migração para sul da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ), que é a principal sistema atmosférico que controla o aumento sazonal da precipitação nessa região. É bem estabelecido que esses períodos úmidos se correlacionam temporalmente com os Eventos Heinrich (EH) – períodos em que ocorre um aumento da deposição de *ice-rafted debris* no Atlântico Norte. Entretanto, a resposta oceanográfica local a essa descarga de água doce no Atlântico Norte e como isso influencia o transporte de sedimentos ao longo da margem adjacente ao NE do Brasil são ainda motivo de debate na literatura. Este trabalho apresenta dados magnéticos e geoquímicos para quatro testemunhos coletados na parte sul do Oceano Atlântico equatorial, para os últimos 85 ka BP. Os testemunhos estão distribuídos entre as longitudes 38°W e 36°W. Além disso, nós fizemos um estudo de *end-members* baseado nas curvas de aquisição de IRM, a partir do qual elucidamos as possíveis fontes dos sedimentos. Os parâmetros magnéticos revelam um aumento significativo na concentração de minerais magnéticos durante os *stadials*, que é acompanhado por uma mudança na proporção relativadas fases magnéticas. Os picos de concentração de minerais magnéticos coincidem com picos nos indicadores geoquímicos utilizados para traçar a intensidade de intemperismo no continente. Portanto, os aumentos no aporte de material magnético para a plataforma coincidem com um aumento na precipitação no continente no NE do Brasil durante os EH. Além da variação da quantidade de material magnético observada, a contribuição relativa de cada fase magnética muda de oeste para leste. Durante os *stadials*, fases de alta coercividade (como hematita e goetita) são dominantes na porção oeste da região estudada e as fases de baixa coercividade são dominantes a leste. Essa diferença é devida, principalmente, à oxidação diferencial no continente, mas secundariamente nós sugerimos um transporte W-E de material coercivo, causado pelo enfraquecimento da Corrente Norte do Brasil (NBC) durante os *stadials* logo a leste da desembocadura do Rio Parnaíba, como previsto em alguns modelos paleoclimáticos.

**ABSTRACT.** NE Brazil is a semi-arid region influenced by the southward displacement of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), which is the main atmospheric system that modulates the seasonal increasing in precipitation over this region. It is well established that these wet periods correlate temporally with Heinrich Events (HE) periods of higher input of ice-rafted debris in the North Atlantic. However, the local oceanographic response to fresh water pulses in the North Atlantic and how this process influences sediment transport along the margin off NE Brazil are still a matter of discussion. We present here rock magnetic and geochemical element data for four marine cores collected in the south equatorial Atlantic Ocean, covering the last 85 ka. The cores are distributed between longitude 38°W and 36°W. We also performed end-member analysis based on the IRM acquisition curves bringing a better understanding about sediment sources. Magnetic proxies show a marked increase in concentration of magnetic minerals during stadials, with a concomitant change in the proportion of magnetic mineral types. Peaks in magnetic concentration parameters coincide with peaks in geochemical proxies for weathering intensity on land, being thus compatible with an increase in precipitation in NE Brazil during HE. Yet, the relative contribution of magnetic phases across the NE Brazil margin changes from west to east. During stadials the high-coercive phases (like hematite and goethite) are dominant for cores located in the western part of the study area and low-coercive phases are dominant for the core located further east. This difference is due mainly to differential oxidation over land, but secondarily we suggest a transport from W-E of high-coercive material, possibly caused by the weakness of NBC during stadials just to the east of the mouth of the Parnaíba River as predicted in some paleoclimate models.

## ENSAIOS SÍSMICOS NA REGIÃO DE TERMAS DE IBIRÁ/SP COM EMPREGO DOS MÉTODOS DE TOMOGRAFIA SÍSMICA DE ONDAS P E DE ANÁLISE MULTICANAL DE ONDAS RAYLEIGH

**Thiago Fonseca Fraga**

Orientador: Dr. Renato Luiz Prado (IAG-USP)

97 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 19.09.2016

**RESUMO.** O trabalho apresenta a integração dos métodos de tomografia de refração sísmica e análise multicanal de ondas superficiais (MASW) em um levantamento realizado na região de Termas de Ibirá, estado de São Paulo, onde anteriormente foram feitos levantamentos com métodos elétricos visando à exploração de água subterrânea. Os diferentes campos de ondas elásticas analisados foram extraídos de um mesmo registro sísmico obtido em uma aquisição de sísmica de refração padrão. Também é analisado o evento de reflexão de uma das áreas investigadas. Os métodos sísmicos de refração e reflexão são bastante utilizados para o estudo do meio geológico. Ambos se baseiam na análise das ondas de corpo, porém os sismogramas obtidos usualmente contêm registros muito notáveis das ondas superficiais (*groundroll*), objeto de interpretação no método MASW. Os resultados obtidos da integração dos métodos sísmicos permitiram a obtenção de um modelo mais completo da subsuperfície mais rasa, visando estudos geotécnicos (modelos de  $V_p$ ,  $V_s$  e coeficiente de Poisson), bem como forneceu subsídios para estudos geológicos (mapeamento dos estratos representativos dos solos, arenito e basalto) que não poderiam ser alcançados se somente um desses métodos sísmicos fosse empregado. O trabalho também mostrou, que se programada adequadamente, uma única aquisição pode permitir a extração e interpretação dos campos das ondas de corpo refratadas, refletidas e das ondas superficiais visando à obtenção de modelos de subsuperfície mais detalhados e unívocos.

**ABSTRACT.** The present study shows the integration of tomography refraction method and mult-channel analyses of surface waves (MASW) in Termas de Ibirá, state of São Paulo, where previously was conducted an electrical methods survey aiming to hydrogeological studies. The different wave-fields were extracted from the same seismic records obtained on a 2D standard seismic acquisition. It was also analysed the reflection events of one of the test areas. The refraction/reflection seismic methods are quite used for geological studies, and both of them are based on analyses of body waves, however the records usually also have strong records of the surface waves, interpretation object of the MASW method. The results obtained from the integration of seismic methods allowed to obtain a more complete model of near surface, aiming at geotechnical studies ( $V_p$ ,  $V_s$  model and Poisson rate), as well as geological studies (the stratigraphic model of soil, sandstone and basalt presents in the study area) which would not been attained if just one of these seismic methods was used. The present study also shows that a single acquisition allows to extract and interpretate all wave types, such as refracted, reflected and surface wave aiming to obtain a more complete subsurface model.