

ABSTRACTS OF THESES AND DISSERTATIONS

CARACTERIZAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO RIO GRANDE A PARTIR DE ELEMENTOS DO CAMPO DE GRAVIDADE TERRESTRE

Marília Takaguti Dicezare

ESTUDO COMPARATIVO DA RESPOSTA DAS ONDAS CONVERTIDAS NA INVESTIGAÇÃO RASA: AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO

Oksana Shevchenko

INVERSÃO CONJUNTA 2D DE DADOS DE CAMINHAMENTO ELÉTRICO E CAMINHAMENTO TDEM APLICADOS A ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS EM TAUBATÉ/SP

Rodrigo Corrêa Rangel

ANISOTROPIA DO MANTO E FLUXO ASTENOSFÉRICO AO REDOR DE CRÁTONS NO SE DA AMÉRICA DO SUL

Bruna Chagas de Melo

MAPEAMENTO GEOELÉTRICO TDEM POR MEIO DA TÉCNICA TX-FIXO E RX-MÓVEL APLICADO EM ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS NA REGIÃO CENTRAL DA BACIA DE TAUBATÉ-SP

Luiz Rodrigo Hamada

PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS AEROMAGNÉTICOS DO MACIÇO ALCALINO PONTE NOVA (SP-MG)

Diego Prado Barroso

INVERSÃO DA FORMA DE ONDA COMPLETA DE DADOS DE SÍSMICA DE REFLEXÃO RASA

Allan Segovia Spadini

A LITOSFERA DAS BACIAS DO CHACO-PARANÁ E PARANÁ INTEGRANDO GRAVIMETRIA E SONDAJENS MAGNETOTELÚRICAS: NOVOS VÍNCULOS À TECTÔNICA DO GONDWANA SUL-OCIDENTAL

Gabriel Negrucci Dragone

EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE DO CAMPO ARQUEOMAGNÉTICO DURANTE OS ÚLTIMOS DOIS MILÊNIOS

Wilbor Poletti Silva

CARACTERIZAÇÃO DE ARENITOS COM POROSIDADE ANÔMALA POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

Marta Henriques Jácomo

ANÁLISE MULTICANAL DE ONDAS DE SUPERFÍCIE (MASW): UM ESTUDO COMPARATIVO COM FONTES ATIVAS E PASSIVAS, ONDAS RAYLEIGH E LOVE E DIFERENTES MODOS DE PROPAGAÇÃO

Claus Naves Eikmeier

CARACTERIZAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO RIO GRANDE A PARTIR DE ELEMENTOS DO CAMPO DE GRAVIDADE TERRESTRE

Marília Takaguti Dicezare

Advisor: Dr. Eder Cassola Molina (USP)

77 p. – Master Dissertation – February 5, 2018

ABSTRACT. Satellite altimetry data contain important information for mapping tectonic structures in oceanic regions, such as faults, fracture zones and seamounts. The great availability and spatial density of these data allow one to identify ocean floor features with good accuracy. This work aims to investigate structural characteristics of the Rio Grande Rise, in South Atlantic, through elements of the terrestrial gravity field. We used sea surface height (SSH) data from satellite missions ERS1-GM, Geosat-GM and Seasat to calculate sea surface gradients (SSG), which are the SSH directional derivative along the ascending and descending satellite tracks. SSG emphasize the short wavelengths associated with the important oceanic features studied. Geoid gradients (deflection of the vertical) were also calculated to assist in the interpretation of the SSG signal. By analyzing sea surface heights, it is possible to identify larger structures, such as the rift of the rise, some fractures and large seamounts. In contrast, sea surface gradients provide greater details of the features characterized by the SSH and the entire area, also revealing several smaller seamounts. The positioning of the structures identified by both SSH and SSG is fairly accurate. However, factors such as direction and orientation of the satellite tracks and the presence of adjacent structures may influence the SSG response to a given tectonic feature. For this reason, the ascending and descending tracks of the three satellites may have different responses. Therefore, it is recommended that one analyzes the two sets of tracks from the several altimetric missions to obtain more information on the structural characteristics of the features. The study also allowed us to identify possible structures with a characteristic response of seamounts on SSH descending tracks, which were not previously characterized in the literature and do not have a similar correspondent in topographic/bathymetric models. Keywords: Sea surface height (SSH). Sea surface gradient (SSG). Rio Grande Rise. Satellite altimetry.

RESUMO. Dados de altimetria por satélite contêm informações importantes para o mapeamento de estruturas tectônicas em regiões oceânicas, como falhas, zonas de fratura e montes submarinos. A grande disponibilidade e densidade desses dados permitem a identificação de feições do assoalho oceânico com boa precisão. Este trabalho tem como objetivo investigar as características estruturais da Elevação do Rio Grande, no Atlântico Sul, através de elementos do campo de gravidade terrestre. Para isso, são utilizados dados de altura da superfície do mar (SSH) provenientes dos satélites das missões ERS1-GM, Geosat-GM e Seasat. Com o cálculo da derivada direcional da SSH ao longo das trilhas ascendentes e descendentes dos satélites, foram obtidos os gradientes de superfície do mar (SSG), que ressaltam os curtos comprimentos de ondas associados às importantes feições oceânicas estudadas. Também foram calculados os gradientes da altura geoidal (desvio da vertical) para auxiliar na interpretação do sinal da SSG. Através da SSH foi possível identificar estruturas de maior porte, como o *rift* da elevação, e algumas fraturas e montes submarinos maiores. Por outro lado, a SSG forneceu maiores detalhes sobre as feições já caracterizadas pela SSH e de toda a região, revelando também diversas outras estruturas de menor dimensão. O posicionamento das feições identificadas por ambas as grandezas, SSH e SSG, é bastante preciso. Entretanto, fatores como a direção e a orientação das trilhas dos satélites e a presença de estruturas adjacentes podem influenciar a resposta da SSG para uma determinada feição tectônica, por isso, as trilhas ascendentes e descendentes dos três satélites podem apresentar respostas diferenciadas. Sendo assim, recomenda-se analisar os dois conjuntos de trilhas de várias missões altimétricas para obter maiores informações das características estruturais das feições investigadas. O estudo também permitiu identificar possíveis estruturas com uma resposta característica de montes submarinos, nas trilhas descendentes de SSH, que não foram caracterizados anteriormente na literatura e não possuem correspondente nos modelos topográficos/batimétricos.

ESTUDO COMPARATIVO DA RESPOSTA DAS ONDAS CONVERTIDAS NA INVESTIGAÇÃO RASA: AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO

Oksana Shevchenko

Advisor: Dr. Renato Luiz Prado (USP)

131 p. – Master Dissertation – March 9, 2018

ABSTRACT. In order to study the multicomponent seismic method (3C) to shallow investigation, two data sets were acquired in urban areas of São Paulo city, Brazil, with different geological characteristics. The area of the Campus of São Paulo University (USP) is located in the western part of the city and the area of the structure of Colônia is located in the region of Parelheiros, a peripheral zone of São Paulo. For the data acquisition, it were employed 3C-geophones of 10 Hz and, as seismic sources, hand-operated surface compactor and sledge hammer. For processing were used the Seismic Unix package (CWP / SU). It was observed a marked difference in the subsoil responses between the two sites. In the data acquired in the Campus of USP, both PP waves and converted waves (PSv) was observed; however, in the data obtained in the Colônia area, it was not possible to visualize the converted waves. For the USP area, the V_p / V_s ratio and Poisson ratio were estimated.

RESUMO. Visando estudo do método de sísmica multicomponente (3C) na investigação rasa, foram adquiridos dados em duas áreas urbanas da cidade de São Paulo, Brasil, com características geológicas diferentes: Campus da Universidade de São Paulo (USP), situado na zona oeste do município e área da estrutura de Colônia, situada na região de Parelheiros, na zona periférica do município. Na aquisição foram empregados geofones de 3 componentes com frequência natural de 10 Hz e, como fontes sísmicas, o compactador e o impacto de uma marreta. Para realizar o processamento dos dados foi utilizado o pacote Seismic Unix (CWP/SU). Foi observada uma marcada diferença nas respostas dos subsolos entre os dois sítios. Nos dados adquiridos no Campus da USP foram observadas tanto as ondas PP como as ondas convertidas (PSv), no entanto, nos dados obtidos em área de Colônia, não foi possível visualizar as ondas convertidas. A partir das secções da onda PP e da onda PS foi estimada a razão V_p/V_s assim como o coeficiente de Poisson para a área da USP.

INVERSÃO CONJUNTA 2D DE DADOS DE CAMINHAMENTO ELÉTRICO E CAMINHAMENTO TDEM APLICADOS A ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS EM TAUBATÉ/SP

Rodrigo Corrêa Rangel

Advisor: Dr. Jorge Luís Porsani (USP)

125 p. – Master Dissertation – March 23, 2018

ABSTRACT. In this research, a 2D Joint Inversion of electrical resistivity tomography (ERT) and time domain electromagnetic (TDEM) data was applied to a hydrogeological study of the Taubaté basin. The study area is in Taubaté city, São Paulo State, Brazil, where the Taubaté aquifer is an important alternative water source due to the recent water crisis. The Taubaté Group is the main sedimentary package of the basin, which is formed mainly by shales, that form aquicludes, and sandstones that form the aquifer. 40 groundwater exploration wells were identified in the city, registered in SIAGAS-CPRM database, which provided important information for the results interpretation. The main objective of this research is to characterize the geoelectrical stratigraphy of the subsurface to locate the contact between the Quaternary and Tertiary sediments and to map the aquifer. The ERT is used for shallow investigations (tens of meters) and the TDEM can reach a great investigation depth (hundreds of meters), therefore, they provide complementary information. The 2D ERT/TDEM joint inversion results permitted to map the shallower resistive layers down to 30 m depth, an intermediate conductive layer between 30 m and 50 m depth, and the Taubaté Group between 50 m and 300 m depth, which is very conductive. The top of the basement was inferred at ~300 m depth based on the well information and the basin geology, on the other hand, it is also possible that this interface represents a faciological variation of the Taubaté Group, therefore, more studies are needed.

RESUMO. Nesta pesquisa foi empregada a metodologia de Inversão Conjunta 2D de dados de caminhamento elétrico (CE) e caminhamento eletromagnético no domínio do tempo (CTDEM) num estudo hidrogeológico da Bacia de Taubaté. A área de estudo localiza-se na cidade de Taubaté/SP, onde o Aquífero Taubaté é uma importante fonte alternativa de água frente à recente crise hídrica. O Grupo Taubaté é o principal pacote sedimentar da bacia, sendo formado principalmente por folhelhos, que formam aquícludes, e arenitos, que formam o aquífero. Foram identificados 40 poços de exploração de água subterrânea na cidade, cadastrados no banco de dados do SIAGAS-CPRM, os quais forneceram informações importantes para a interpretação dos resultados. O objetivo principal da pesquisa é caracterizar a estratigrafia geoeletrica da subsuperfície para localizar o contato entre os sedimentos Quaternários e Terciários e mapear o aquífero. Os dados de CE permitem o reconhecimento das camadas mais rasas, da ordem de dezenas de metros, e os dados de CTDEM investigam as camadas mais profundas, numa ordem de centenas de metros, portanto, fornecem informações complementares. Os resultados das inversões conjuntas de CE/CTDEM permitiram mapear as camadas sedimentares mais rasas resistivas até aproximadamente 30 m de profundidade, uma camada sedimentar condutiva intermediária entre 30 m e 50 m de profundidade, e uma camada condutiva referente ao Grupo Taubaté entre 50 m e 300 m de profundidade. O topo do embasamento da bacia foi inferido em ~300 m de profundidade com base nas informações de poços e de geologia da bacia, por outro lado, também é possível que essa interface represente uma variação faciológica do Grupo Taubaté, portanto, mais estudos são necessários.

ANISOTROPIA DO MANTO E FLUXO ASTENOSFÉRICO AO REDOR DE CRÁTONS NO SE DA AMÉRICA DO SUL

Bruna Chagas de Melo

Advisor: Dr. Marcelo Sousa de Assumpção (USP)

89 p. – Master Dissertation – April 3, 2018

ABSTRACT. Seismic anisotropy at continental regions, mainly at stable areas, gives important information about past and present tectonic events, and helps us in understanding patterns of upper mantle flow in a way not achieved by other methods. The measurement of shear wave splitting (SWS), at individual stations, from core refracted phases (such as SKS phases), indicates the amount and orientation of the seismic anisotropy in the upper mantle. Previous studies of SWS in South America concentrated mainly along the Andes and in southeast Brazil. Now we add extra measurements extending to all Brazilian territory, especially in the Pantanal and Paraná-Chaco basins, as part of the FAPESP 3-Basins Thematic Project. The results from both temporary deployments and from the Brazilian permanent network provide a more complete and robust anisotropy map of the South America stable platform. In general the fast polarization orientations have an average E-W orientation. Significant deviations to ESE-WNW or ENE-WSW are observed in many regions. We compare our results with different anisotropy proxies: absolute plate motion given by the hotspot reference frame HS3-NUVEL-1A, a recent model of time dependent upper mantle flow induced by the Nazca plate subduction, global anisotropy from surface wave tomography, and geologic trends. We observe a poor correlation of the anisotropy directions with geological trends, with the exception of a few stations in northern Brazil and a better correlation with the mantle flow model. Therefore, our observed anisotropy is mainly due to upper-mantle flow, with little contribution from frozen lithospheric anisotropy. Also, deviations from the mantle flow model, which includes a thicker lithosphere at the Amazon craton, are mainly due to flow surrounding cratonic nuclei not used in the model: the keel of the São Francisco craton and a possible cratonic nucleus beneath the northern part of the Paraná Basin (called Paranapanema block). Large delay times at the Pantanal Basin may indicate a stronger asthenospheric channel, a more coherent flow, or a thicker asthenosphere. Small delays beneath the northern Paraná Basin and central Amazon craton may indicate thinner anisotropic asthenosphere.

RESUMO. Anisotropia sísmica em regiões continentais, principalmente em áreas estáveis, nos dá informações importantes sobre eventos tectônicos do passado e do presente, e nos ajuda a entender padrões de fluxo do manto superior de forma não alcançada por outros métodos geofísicos. A medida de separação de ondas cisalhantes (SWS), em estações individuais, de fases refratadas no núcleo (fases SKS, por exemplo), indica a intensidade e orientação da anisotropia sísmica no manto superior. Estudos prévios de SWS na América do Sul se concentraram principalmente ao longo dos Andes e no sudeste do Brasil. Agora adicionamos medidas extras que se estendem por todo território Brasileiro e alguns países vizinhos, especialmente nas bacias do Pantanal e do Chaco-Paraná, como parte do "Projeto Temático 3-Bacias" da FAPESP. Os resultados tanto das estações temporárias quanto da rede permanente Brasileira mostram um mapa de anisotropia mais robusto e completo da plataforma estável da América do Sul. Em geral, as direções de polarização rápida tem em média direção L-O. Desvios significantes nas direções LSL-ONO ou LNL-OSO são observadas em muitas regiões. Comparamos nossos resultados com diferentes representantes da anisotropia: movimento absoluto de placa dado pelo sistema de referência de hotspot HS3-NUVEL-1A, um modelo recente dependente do tempo de fluxo do manto superior induzido pela subducção da placa de Nazca, anisotropia global de tomografia de ondas de superfície, e tendências geológicas. Observamos pouca correlação das direções de anisotropia com tendências geológicas, com exceção de algumas estações no norte do Brasil e uma melhor correlação com o modelo de fluxo do manto. Portanto, nossa anisotropia observada é devida principalmente a fluxo do manto superior, com pouca contribuição de anisotropia "congelada" litosférica. Também, desvios do modelo de fluxo do manto, o qual inclui uma litosfera mais espessa no cráton da Amazônia, são devido ao fluxo ao redor de núcleos cratônicos não usados no modelo: a quilha do cráton do São Francisco e um possível núcleo cratônico abaixo da região norte da bacia do Paraná (chamado bloco do Paranapanema). Atrasos de tempo grandes na bacia do Pantanal podem indicar um canal astenosférico mais forte, um fluxo mais coerente ou uma astenosfera mais espessa. Pequenos atrasos abaixo da parte norte da bacia do Paraná e no centro do cráton da Amazônia podem indicar uma astenosfera mais fina.

MAPEAMENTO GEOELÉTRICO TDEM POR MEIO DA TÉCNICA TX-FIXO E RX-MÓVEL APLICADO EM ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS NA REGIÃO CENTRAL DA BACIA DE TAUBATÉ-SP**Luiz Rodrigo Hamada**

Advisor: Dr. Jorge Luís Porsani (USP)

129 p. – Master Dissertation – April 13, 2018

ABSTRACT. In this research the geophysics data were analyzed through the Time Domain Electromagnetic Method (TDEM) and Electrical Method (DC), which one were acquired in central region of sedimentary Taubaté basin, SP, for the purpose to contribute to hydrogeological studies and perform a geoelectrical characterization of this area. TDEM data were obtained by 3D mobile receiver coil (Rx) and transmitter fixed-loop techniques. The DC data were collected using Vertical Electric Sounding (VES) and Electrical Resistivity Tomography (ERT) techniques. The geoelectrical layers interpretation of subsurface were performed by TDEM individual inversions and 1D joint inversions VES/TDEM and the TDEM profiles were generated through interpolation of TDEM individual inversions, allowing to generate a geoelectrical model to the specific region inside the loop transmitter. The study area is located around Taubaté city, SP, in a rural area, so that TDEM profile results associated with joint inversions VES/TDEM and wells lithological informations allows mapping the contact between Quaternary and Tertiary (Taubaté Group and Pindamonhangaba Formation) sediments. The top of the basement in the studies area was inferred through of wells informations available in Groundwater Information System and Brazilian Geological Service (SIAGAS-CPRM). The results are consistent with geological informations, contributing with hydrogeophysical studies at São Paulo state.

RESUMO. Nesta pesquisa foram analisados dados utilizando os métodos geofísicos Eletromagnético no Domínio do Tempo (TDEM) e Eletrorresistividade (ER) adquiridos na região central da Bacia sedimentar de Taubaté-SP com a finalidade de contribuir com estudos hidrogeológicos e realizar uma caracterização geométrica da área. Os dados TDEM foram obtidos por meio da técnica de caminamento TDEM (CTDEM) usando um loop transmissor (Tx) fixo e uma bobina receptora (Rx) - 3D móvel, também conhecida como técnica fixed-loop. Os dados de ER foram coletados utilizando a técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e perfis de Caminhamento Elétrico (CE). A interpretação das camadas geométricas da subsuperfície foram realizadas por meio de inversões individuais TDEM, inversões conjunta 1D de SEV/TDEM coincidentes e de pseudoseções CTDEM geradas através da interpolação dos resultados das inversões individuais TDEM, permitindo, desta forma, gerar um modelo geométrico para a região específica dentro do loop transmissor. A área de estudos localiza-se numa área rural da cidade de Taubaté, SP, de maneira que os resultados dos perfis de CTDEM integrados com as inversões conjuntas SEV/TDEM e informações litológicas de poços permitiram mapear o contato entre os sedimentos Quaternários e Terciários (Grupo Taubaté e Formação Pindamonhangaba). O topo do embasamento da bacia na área de estudos foi inferido com base nas informações litológicas de poços catalogados e disponibilizados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas e pelo Serviço Geológico Brasileiro (SIAGAS-CPRM). Os resultados apresentam-se de acordo com as informações geológicas e contribuem com as pesquisas hidrogeofísicas no Estado de São Paulo.

PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS AEROMAGNÉTICOS DO MACIÇO ALCALINO PONTE NOVA (SP-MG)

Diego Prado Barroso

Advisor: Dr. Yara Regina Marangoni (USP)

77 p. – Master Dissertation – September 4, 2018

ABSTRACT. The Ponte Nova mafic-ultramafic alkaline massif is located in the northern sector of the Serra do Mar Province, near the eastern portion of the Serra da Mantiqueira, on the border of the states of São Paulo and Minas Gerais. It is characterized by two outcrops measuring 5 km² and 1 km² of area. Magnetic data obtained from the airborne surveys carried out for the CPRM by Microsurvey Aerogeofísica and Consultoria Científica Ltda. evidenced the presence of an extensive magnetic anomaly with great amplitude on the outcrops. This work presents the results of geophysical interpretation and direct modeling integrating the aeromagnetic data with geological and gravimetric data of the massif, aiming a characterization of the massif in the subsurface. To determine a better location and shape values of the magnetic anomaly's source, we use pole reduction techniques, amplitude of the analytical signal of the total field magnetic anomaly and directional derivative applications. Magnetic susceptibilities and natural remanent magnetization intensity of 14 samples from the region were measured in laboratory. The results confirm the presence of remanent magnetization in some samples, and the average magnetic susceptibility about 10-2 SI. From the conjunction of the aeromagnetic data and the geological data, two direct 3-D model were developed with the magnetic properties parameterized by the laboratory measurements. These models considered different petrographic facies, with magnetic susceptibilities ranging from 0.1 to 0.9 SI. The modeled bodies reached depths of the base of at least 3 km and their volumes were about 25 km³. Based on the dimensions obtained from direct magnetic models, a direct gravimetric model was performed, with density values ranging from 2.77 g/cm³ and 3.30 g/cm³. The results obtained by the direct models were discussed and compared with the geological model and with other existing gravimetric models. Although the direct models yielded results compatible with those observed in the surveys, the results do not allow for discrimination of the following working hypotheses on the configuration of the subsurface massif: a single body outcropping in two regions or two bodies disconnected in the subsurface.

RESUMO. O Maciço Alcalino máfico-ultramáfico Ponte Nova localiza-se no setor norte da Província Serra do Mar, junto à porção oriental da Serra da Mantiqueira, na fronteira dos Estados de São Paulo e Minas Gerais. Caracteriza-se por dois afloramentos de áreas 5 km² e 1 km². Dados magnéticos obtidos dos aerolevantamentos realizados para a CPRM pela Microsurvey Aerogeofísica e Consultoria Científica Ltda evidenciaram a presença de uma anomalia magnética extensa e de grande amplitude sobre os afloramentos. Este trabalho apresenta os resultados da interpretação geofísica e de modelagem direta integrando os dados aeromagnéticos com dados geológicos e gravimétricos do maciço visando uma caracterização do maciço em subsuperfície. Para uma determinação mais eficaz da localização e das dimensões da fonte da anomalia magnética, foram utilizadas técnicas de redução ao polo, amplitude do sinal analítico da anomalia magnética de campo total e aplicação de derivadas direcionais. Em laboratório, foram medidas as susceptibilidades magnéticas e intensidade da magnetização remanescente natural de 14 amostras retiradas da região. Os resultados confirmaram a presença de magnetização remanescente em algumas das amostras, e susceptibilidade magnética média da ordem de 10-2 SI. A partir da conjunção dos dados do aerolevantamento e de dados geológicos, foi feita a modelagem direta 3-D com as propriedades magnéticas parametrizadas pelas medidas em laboratório. Os modelos consideraram a discriminação das fácies petrográficas do maciço, com susceptibilidades magnéticas variando de 0,1 a 0,9 SI. Os corpos modelados atingiram profundidades da base de pelo menos 3 km e seus volumes foram da ordem de 25 km³. Com base nas dimensões obtidas nos modelos magnéticos diretos, foi realizado um modelo gravimétrico direto com valores de densidade variando entre 2,77 g/cm³ e 3,30 g/cm³. Os resultados obtidos pelos modelos diretos foram discutidos e comparados com o modelo geológico e com outros modelos gravimétricos desenvolvidos. Apesar dos resultados alcançados pelos modelos apresentarem valores compatíveis com os observados nos levantamentos, os modelos não permitiram discriminar entre as duas hipóteses de trabalho sobre a configuração do maciço em subsuperfície: um corpo único que aflora em duas regiões ou dois corpos desconectados em subsuperfície.

INVERSÃO DA FORMA DE ONDA COMPLETA DE DADOS DE SÍSMICA DE REFLEXÃO RASA

Allan Segovia Spadini

Advisor: Dr. Liliana Alcazar Diogo (USP)

120 p. – Doctorate Thesis – February 15, 2018

ABSTRACT. This work carried out a study on the application of full waveform inversion algorithms (FWI) on reflection seismic data on a shallow scale (0 - 100 m depth). FWI has been studied in order to improve estimated velocities through conventional PP and PS reflection processing. For a better understanding of the response obtained by this type of problem the inversion was evaluated by global and local search methods. In the global search the algorithm employed was the Differential Evolution which is a variant of a genetic algorithm. The aim of the global search was to evaluate the sensitivity of the objective function for each parameter of the model in different windows of distance from the source. In the local search a conjugate gradient algorithm was used for a 2D estimate of the medium parameters. Among the main results is the fact that in a suitable window, for a reflection data acquisition the sensitivity is reduced in relation to a window with geophones closer to the source. However, even in more distant windows the velocity of the S wave is the parameter of the model that stands out in relation to the others. The concomitant search for all parameters at the same time is still difficult and implies the need for more iterations of the inversion algorithm. The method was also applied in a data acquired in the field of the Institute of Physics of USP. The results of the application of the 2D algorithm for this data showed modifications of the provided initial model for a velocity of the S wave coherent with the observed velocities in downhole and lithological informations from this area. In conclusion, the results found that FWI is applicable to improve the S-wave velocity model obtained by processing PP and PS reflection events.

RESUMO. Este trabalho realizou um estudo sobre a aplicação de algoritmos de inversão da forma de onda completa (FWI) sobre dados de sísmica de reflexão em uma escala rasa (0 – 100 m de profundidade). A FWI foi estudada com o fim de melhorar as velocidades estimadas através do processamento de reflexão PP e PS convencional. Para um melhor entendimento da resposta obtida por este tipo de problema, a inversão foi avaliada sobre dados sintéticos por métodos de busca global e local. Na busca global foi utilizado o algoritmo de Evolução Diferencial que é uma variante de um algoritmo genético. O intuito da busca global foi avaliar a sensibilidade da função objetivo para cada parâmetro do modelo em diferentes janelas de afastamentos em relação à fonte. Na busca local foi utilizado um algoritmo de gradiente conjugado para a estimativa 2D dos parâmetros do meio. Dentre os principais resultados têm-se que a função objetivo é mais sensível aos parâmetros em janelas de afastamentos próximas da fonte. Em tais janelas, dominadas por ondas superficiais, a velocidade da onda S é facilmente estimada. Entretanto, mesmo em janelas mais afastadas a velocidade da onda S é o parâmetro do modelo que se destaca em relação aos demais. Já a busca por todos os parâmetros concomitantemente mostrou-se difícil e implicaria na necessidade de mais iterações do algoritmo de inversão. O método também foi aplicado em dados reais adquiridos no terreno do Instituto de Física da USP. A FWI foi aplicada nestes dados buscando apenas pelos valores de V_s , mantendo os valores de V_p e densidade fixos. A aplicação do algoritmo 2D nestes dados resultaram em valores de V_s coerentes com as velocidades observadas em um ensaio downhole na área. Concluindo, os resultados apresentados na tese mostram que a FWI é aplicável para a melhoria do modelo de velocidade da onda S obtido através do processamento de eventos de reflexão PP e PS.

A LITOSFERA DAS BACIAS DO CHACO-PARANÁ E PARANÁ INTEGRANDO GRAVIMETRIA E SONDAGENS MAGNETOTELÚRICAS: NOVOS VÍNCULOS À TECTÔNICA DO GONDWANA SUL-OCIDENTAL

Gabriel Negrucci Dragone

Advisor: Dr. Maurício de Souza Bologna (USP)

215 p. – Doctorate Thesis – July 11, 2018

ABSTRACT. In this thesis, terrestrial and satellite gravity data were integrated revealing a steep gravity gradient at the western and southern borders of the Paraná Basin. This gradient extends for 2,000 km from the Rio Apa craton to the Brazilian Atlantic margin at Torres Syncline latitude. Negative Bouguer anomalies (~-80 mGal) occur over the Paraná Basin, whereas positive anomalies are observed at Rio de la Plata, Rio Tebicuary and Rio Apa cratons, as well as Chaco-Paraná Basin. Seismological data and isostasy correlate the gravity gradient with crustal thickness variation, being thicker in the Paraná Basin (~40 km) and shallower in the cratons (~35 km). These geophysical observations and the presence of Neoproterozoic calcalkaline granites along the gravity gradient suggest a collisional and subduction tectonic setting. This lithospheric discontinuity is hereafter referred to as Western Paraná Suture/shear zone (WPS). Two magnetotelluric (MT) profiles perpendicular to WPS were set up to study the electrical structure and nature of the crust and lithospheric mantle across the suture zone. The first profile, 830 km long, extends northward from Rio de la Plata craton, in Uruguay, to Paraná Basin southern border. 2-D inversion of this MT profile shows that the Rio de la Plata craton upper mantle is highly resistive (~2000 Ω m) down to 250 km depth, whereas the Paraná Basin lithosphere is conductive and heterogeneous. Based on a lithospheric-scale lateral discontinuity in the resistivity model, the Rio de la Plata craton northern limit is redefined to the Valentines block northern limit. The second profile is 450 km long and extends from Rio Tebicuary craton to the Paraná Basin, and all stations are in Argentina. The MT model shows that Rio Tebicuary craton is characterized by a resistive lithosphere (2000 Ω m) down to 150 km depth. The Paraná Basin lithosphere is less resistive (~500 Ω m) and probably thinner (~80 km). Previous MT study between the Rio Apa craton and the Paraná basin, to the north, shows a similar electrical structure. These electrical characteristics, integrated with geochronological, geochemical, seismological and density data, suggest that Paraná Basin lithosphere underwent refertilization episodes. In the geoelectrical models, a series of resistive blocks and juvenile terrains and conductive anomalies in suture zone relics, integrated with geological data, suggest a horizontal accretionary process by means of progressive oceanic lithospheres subductions, the youngest one occurring below the Paraná Basin continental lithosphere. Altogether, these results show that the WPS is a first order lithosphere discontinuity, a site of an ocean closure during the South-Western Gondwana late stages of amalgamation in Neoproterozoic/Cambrian times.

RESUMO. Nesta tese, dados gravimétricos terrestres e de satélite foram combinados revelando que as bordas oeste e sul da Bacia do Paraná são caracterizadas por um forte gradiente que se estende por 2000 km, desde o cráton Rio Apa até a margem continental Atlântica na latitude do Sinclinal de Torres. Enquanto a Bacia do Paraná é caracterizada por anomalias Bouguer negativas (~-80 mGal), os crátons Rio de la Plata, Rio Tebicuary e Rio Apa e a Bacia do Chaco-Paraná são marcados por anomalias Bouguer positivas (~10 mGal). Dados sísmológicos e de compensação isostática permitiram correlacionar a variação regional da amplitude das anomalias Bouguer à espessura crustal, de ~40 km na Bacia do Paraná para 30-35 km nos crátons. Essas observações geofísicas e a ocorrência de granitos cálcio-alcalinos de idade Neoproterozoica-Cambriana ao longo do gradiente gravimétrico indicam um ambiente tectônico de colisão e zona de subducção. A essa descontinuidade de escala litosférica denominamos Zona de Sutura do Oeste do Paraná (WPS – Western Paraná Suture shear/zone). Dois perfis magnetotelúricos (MT) foram coletados para estudar a natureza e a estrutura elétrica da crosta e do manto litosférico através da WPS. O primeiro perfil se estende por 830 km desde o cráton Rio de la Plata, no Uruguai, até a parte sul da Bacia do Paraná. Modelagem inversa 2-D desses dados mostra que o manto superior no cráton Rio de la Plata é bastante resistivo (~2000 Ω m) até 250 km de profundidade, enquanto o manto superior na Bacia do Paraná é geralmente mais condutivo e heterogêneo. Com base numa descontinuidade lateral de escala litosférica bem definida no modelo de resistividade, o limite nordeste do cráton Rio de la Plata é redefinido no norte do bloco Valentines. O segundo perfil se estende por 450 km na Argentina, entre o cráton Rio Tebicuary e a Bacia do Paraná. No modelo MT o cráton Rio Tebicuary é caracterizado por um manto superior resistivo (2000 Ω m) até 150 km de profundidade. A litosfera na Bacia do Paraná é menos resistiva (~500 Ω m) e provavelmente menos espessa (~80 km). Um perfil MT entre o cráton Rio Apa e a Bacia do Paraná mostra estrutura geoeétrica similar. As estruturas elétricas observadas, juntamente com dados geocronológicos, geoquímicos, sísmológicos e densidade, sugerem processos de refertilização na litosfera da Bacia do Paraná. Sucessões de anomalias condutivas em antigas zonas de sutura e resistivas em blocos e terrenos juvenis nos modelos geoeétricos, integradas a dados geológicos, indicam um processo de acreção horizontal e uma progressão de subduções de placas litosféricas oceânicas, sendo a mais jovem sob a litosfera continental da Bacia do Paraná. Os resultados obtidos mostram que a WPS é uma descontinuidade litosférica de primeira ordem que marca o fechamento de um oceano durante os estágios finais da formação do Gondwana Sul-Occidental no Neoproterozoico-Cambriano.

EVOLUÇÃO DA INTENSIDADE DO CAMPO ARQUEOMAGNÉTICO DURANTE OS ÚLTIMOS DOIS MILÊNIOS

Wilbor Poletti Silva

Advisor: Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (USP)

199 p. – Doctorate Thesis – September 14, 2018

ABSTRACT. Temporal variations of Earth's magnetic field provide a great range of geophysical information about the dynamics at different layers of the Earth. Since it is a planetary field, regional and global aspects can be explored, depending on the timescale of variations. In this thesis, the geomagnetic field variations for the last two millennia were investigated. For that, some improvement on the methods to recover the ancient magnetic field intensity from archeological material were done, new data was acquired and a critical assessment of the global archaeomagnetic database was performed. Two methodological advances are reported, comprising: i) the correction for microwave method of the cooling rate effect, which is associated to the difference between the cooling times during the manufactory of the material and that of the heating steps during the archaeointensity experiment; (ii) a test for thermoremanent anisotropy correction from the arithmetic mean of six orthogonal samples. The temporal variation of the magnetic intensity for South America was investigated from nine new data, three from ruins of the Guaraní Jesuit Missions and six from archaeological sites associated with jerky beef farms, both located in Rio Grande do Sul, Brazil, with ages covering the last 400 years. These data combined with the regional archaeointensity database, demonstrates that the influence of significant non-dipole components in South America started at ~1800 CE. Finally, from a reassessment of the global archaeointensity database, a new interpretation was proposed about the geomagnetic axial dipole evolution, where this component falls constantly since ~700 CE associated to the breaking of the symmetry of the advective sources operating in the outer core.

RESUMO. Variações temporais do campo magnético da Terra fornecem uma grande diversidade de informações geofísicas sobre a dinâmica das diferentes camadas da Terra. Por ser um campo planetário, aspectos regionais e globais podem ser explorados, dependendo da escala de tempo das variações. Nesta tese, foram investigadas as variações do campo geomagnético para os dois últimos milênios. Para isso, aprimoramentos nos métodos de aquisição da intensidade geomagnética registrada em materiais arqueológicos foram realizados, bem como a aquisição de novos dados e uma avaliação crítica da base de dados arqueomagnética global. Dois novos avanços metodológicos são aqui propostos, sendo eles: i) correção para o método de micro-ondas do efeito da taxa de resfriamento, que está associada à diferença entre os tempos de resfriamento durante a manufatura do material e o das etapas de aquecimento durante o experimento de arqueointensidade; (ii) teste para correção da anisotropia termorremanente a partir da média aritmética de seis amostras posicionadas ortogonalmente umas às outras durante o experimento de arqueointensidade. A variação temporal da intensidade magnética para a América do Sul foi investigada a partir de nove dados inéditos, sendo três provenientes das ruínas das Missões Jesuíticas Guaraníticas e seis de sítios arqueológicos associados a fazendas de charque, ambos localizados no Rio Grande do Sul, Brasil, com idades que cobrem os últimos 400 anos. Esses dados, combinados com o banco de dados regionais de arqueointensidade, demonstram que a influência significativa de componentes não-dipolares do campo magnético na América do Sul começou em ~1800 CE. Finalmente, a partir de uma reavaliação do banco de dados globais de arqueointensidade uma nova interpretação foi proposta a respeito da evolução do dipolo axial geomagnético, sugerindo que essa componente está decrescendo constantemente desde ~700 CE devido à quebra da simetria das fontes advectivas que operam no núcleo externo.

CARACTERIZAÇÃO DE ARENITOS COM POROSIDADE ANÔMALA POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

Marta Henriques Jácomo

Advisor: Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (USP)

169 p. – Doctorate Thesis – October 25, 2018

ABSTRACT. In some geological circumstances, some sandstones are able to preserve high porosity after burial - this porosity is said to be "anomalous". The main mechanisms for the preservation of the primary porosity involves the presence of cuticles of clay or microquartz. Several studies have characterized the macroporosity in this context, but little is known about the micropore structure in these rocks, their surface properties and their relationship with the porosity preservation processes, in part due to the experimental challenge of performing submicrometric observations using the classical petrophysical and petrographic techniques. Nuclear Magnetic Resonance (NMR) is able to characterize the pore size distribution, being a fundamental technique to enable the investigation of the preservation of macroporosity and the associated micropore structure. The porosities of sandstones from Fontainebleau (Paris Basin), Água Grande (Recôncavo Basin) and Uerê (Solimões Basin) Formations were partially preserved in the presence of cuticle of microquartz, clay or both. The low magnetic field NMR distributions of these units are characterized by important displacements towards shorter T2 times, which are related to differences in S/V ratio (Fontainebleau), diffusive coupling (Água Grande), relaxivity and diffusion processes due to the presence of magnetic minerals (Uerê and Juruá). Relaxivity from Fontainebleau varies from 1 to 8 $\mu\text{m/s}$. Água Grande relaxivity is 32-43 $\mu\text{m/s}$ for macropores, 100 $\mu\text{m/s}$ for micropores in weak diffusive coupling and ~ 15 $\mu\text{m/s}$ for micropores in intermediate diffusive coupling. In Uerê sandstones relaxivity varies from 14 to 55 $\mu\text{m/s}$. If we assume the fast diffusion for high magnetic susceptibility samples from Uerê and Juruá sandstones, the relaxivity varies from 36 to 118 $\mu\text{m/s}$. Our results show that paramagnetic and ferromagnetic minerals, particularly when they occupy the pore surface, cause a strong displacement of T2 values towards shorter times, resulting in an underestimation of pore size and porosity values. To reduce the ambiguity in interpretation, it is important to perform experiments increasing the inter-echoes times during the log NMR data acquisition and better characterize the magnetic mineralogy of the rocks.

RESUMO. Alguns arenitos podem preservar alta porosidade após o soterramento em certas condições geológicas – esta porosidade é dita "anômala". Os principais mecanismos para a preservação da porosidade primária envolvem a presença de cutículas de argila e microquartz. Vários estudos caracterizam a macroporosidade de rochas neste contexto, mas pouco se sabe sobre a estrutura dos microporos destas rochas, suas propriedades de superfície e sua relação com os mecanismos de preservação de porosidade, em parte devido às dificuldades em efetuar observações sub-micrométricas usando as técnicas clássicas de petrofísica e petrografia. A Ressonância Magnética Nuclear (RMN) permite a caracterização da distribuição de poros, sendo fundamental na investigação da macroporosidade e da microporosidade em sedimentos com porosidade anômala. As porosidades dos arenitos das Formações Fontainebleau (Paris Basin), Água Grande (Recôncavo Basin) e Uerê (Solimões Basin) foram parcialmente preservadas na presença de cutículas de microquartz, argila ou ambos. A distribuição de tempo de relaxação transversal (T2 RMN) destas unidades é caracterizada por importantes deslocamentos para T2 mais curtos, que estão relacionadas a diferenças em razão S/V (Fontainebleau), acoplamento difusivo (Água Grande), relaxatividade e processos de difusão devido à presença de minerais magnéticos (Uerê e Juruá). As relaxatividades calculadas para Fontainebleau variam de 1 a 8 $\mu\text{m/s}$. Em Água Grande ela é 32-43 $\mu\text{m/s}$ para os macroporos, 100 $\mu\text{m/s}$ para os microporos em acoplamento difusivo fraco e ~ 15 $\mu\text{m/s}$ para os microporos em acoplamento difusivo intermediário. Em Uerê a relaxatividade varia de 14 a 55 $\mu\text{m/s}$. Assumindo difusão rápida para as amostras com altos valores de susceptibilidade magnética de Uerê e Juruá, a relaxatividade varia de 36 to 118 $\mu\text{m/s}$. Os resultados mostram que os minerais paramagnéticos e ferromagnético, particularmente quando ocupam as paredes dos poros, causam um forte deslocamento nos valores de T2 para tempos mais curtos resultando em tamanhos de poro e porosidade subestimados. Para reduzir a ambiguidade na interpretação dos dados de MRN, é importante efetuar experimentos de aumento do tempo inter-eco durante as rotinas de RMN de poço e também caracterizar de forma mais completa a mineralogia magnética das amostras.

ANÁLISE MULTICANAL DE ONDAS DE SUPERFÍCIE (MASW): UM ESTUDO COMPARATIVO COM FONTES ATIVAS E PASSIVAS, ONDAS RAYLEIGH E LOVE E DIFERENTES MODOS DE PROPAGAÇÃO

Claus Naves Eikmeier

Advisor: Dr. Renato Luiz Prado (USP)

130 p. – Master Dissertation – March 19, 2018

ABSTRACT. This work aim to study the MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) method by comparing results obtained with different sources (active and passive), Rayleigh and Love waves and different modes of surface waves propagation. Two seismic tests were performed: one with two-dimensional acquisition geometry and 10Hz triaxial geophones, and the other with linear geometry and 4.5 Hz vertical component geophones. Studies were carried out with the following sources: sledgehammer, rammer compactor, ambient noise and vehicular traffic, the last through the Passive Roadside MASW technique. Inversions results with vertical component data (Rayleigh waves) were evaluated through joint inversions with the radial (Rayleigh waves) and transversal (Love waves) components. It were also analyzed the inversions results of the fundamental mode of the dispersion curve with the results of joint inversions with the first higher mode. The studies were carried out in front of the Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciência Atmosféricas (IAG) (Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Science) located inside the university campus Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO) of Universidade de São Paulo (USP) (University of São Paulo) in the neighborhood of Butantã, São Paulo. The study area has information with a geological material description and SPT (Standard Penetration Test) values that were used to validate the results. The rammer compactor showed to be a better active source in relation to sledgehammer through different aspects: generation of greater energy in vertical and transverse components; better quality of (V, f) spectrum; the data have the advantage that they can be processed using the f-k beamforming technique. The acquisition with ambient noise did not allow the dispersion curves interpretation due to the short acquisition time used. Passive Roadside MASW data contributed to the active data through the lower frequency. Besides that, due to the clear identification of the 1st higher mode in its (V, f) spectrum it was possible to identify the same mode in the (V, f) spectrum of the active data, interpretation that was, until then, doubtful. However, the joint inversion of the Passive Roadside dispersion curves with the active curves did not produce better results compared to the inversion obtained only by the active curves. The joint inversion of dispersion curves from radial (Rayleigh) and transversal (Love waves) components with the curves obtained by the vertical component (Rayleigh waves) also did not bring a better result when compared with the inversion achieved only by the vertical component curves. The use of the first higher mode with the fundamental mode, however, showed significant improvements in the joint inversions results compared to inversions only of the fundamental mode curve. Considering the uncertainties involved, the best results of this work converge with the a priori information of the study area. At the current MASW method stage of development, several steps are quite dependent on the operator. Therefore, the studies carried out in this work contribute to a better understanding of the method in its fundamentals, acquisition parameters and processing.

RESUMO. Este trabalho teve como objetivo a realização de um estudo sobre o método MASW (Análise Multicanal de Ondas de Superfície) avaliando-se comparativamente resultados obtidos por diferentes fontes (ativas e passivas), ondas Rayleigh e Love e diferentes modos de propagação das ondas de superfície. Dois ensaios sísmicos foram executados: com geometria de aquisição bidimensional e geofones triaxiais de 10Hz, e com geometria linear e geofones de componente vertical de 4,5Hz. Foram realizados estudos com as fontes marreta, compactador de solo, ruído ambiental e com o tráfego de veículos, a última através da técnica Passive Roadside MASW. Resultados de inversões com dados da componente vertical (ondas Rayleigh) das ondas de superfície foram avaliados com os de inversões conjuntas com a componente radial (ondas Rayleigh) e transversal (ondas Love). Analisou-se também os produtos de inversões da curva de dispersão do modo fundamental com os de inversões conjuntas com o primeiro modo superior. Os estudos foram realizados em frente ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciência Atmosféricas (IAG) localizado no interior do campus Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO) da Universidade de São Paulo (USP) no bairro do Butantã, São Paulo. A área de estudo possui informações de sondagem mista com descrição geológica do material e valores SPT (Standard Penetration Test) que foram utilizados para validação dos resultados. O compactador de solo demonstrou ser uma melhor fonte ativa em relação a marreta através de diferentes aspectos: geração de maior energia tanto na componente vertical quanto na transversal; espectros (V, f) de melhor qualidade; os dados apresentam a vantagem de poderem ser processados através da técnica f-k

beamforming. A aquisição com o ruído ambiental não possibilitou a interpretação de curvas de dispersão devido ao pouco tempo de aquisição utilizado. Os dados obtidos pela técnica Passive Roadside MASW contribuíram com os dados de ativa através do registro de frequências mais baixas. Além disso, devido a clara identificação do 1° modo superior em seu espectro (V, f) foi possível a identificação do mesmo modo no espectro (V, f) dos dados de ativa, interpretação até então duvidosa. No entanto, a inversão conjunta das curvas de dispersão dos dados Passive Roadside com as dos dados de ativa não resultou em uma melhor inversão comparada com a inversão obtida apenas pelas curvas de ativa. A inversão conjunta de curvas das componentes radial (ondas Rayleigh) e transversal (ondas Love) com as curvas obtidas da componente vertical (ondas Rayleigh) também não trouxe um melhor resultado quando comparada com a inversão alcançada apenas com as curvas da componente vertical. A utilização do primeiro modo superior com o modo fundamental, no entanto, mostrou trazer melhoras significativas nos resultados das inversões em comparação com inversões apenas da curva do modo fundamental. Considerando as incertezas envolvidas os melhores resultados deste trabalho são convergentes com os dados de sondagem da área de estudo. No atual estágio de desenvolvimento do método MASW diversas etapas são bastante dependentes do operador. Neste sentido os estudos realizados neste trabalho contribuem para um melhor entendimento do método nos seus fundamentos, parâmetros de aquisição e processamento.