

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

O USO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE ONDAS SUPERFICIAIS EMPREGANDO FONTES PASSIVAS E ATIVAS

*Julio Cesar Ardito*

ESTUDO DA RESPOSTA IP DE SOLOS ARGILOSOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS E CHORUME

*Andréa Teixeira Ustra*

CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA POR MAIO DE INVERSÃO CONJUNTA 1D DE SEV/TDEM  
NA REGIÃO DE URUPÊS – SP, BACIA DO PARANÁ: APLICAÇÕES EM HIDROGEOLOGIA

*David Nakamura Leite*

ESTRUTURA CRUSTAL DA BACIA DO CHACO-PARANÁ A PARTIR DE DADOS GRAVIMÉTRICOS

*Gabriel Negrucci Dragone*

VARIAÇÕES GEOMAGNÉTICAS, HELIOMAGNÉTICAS E DO FLUXO DE RAIOS CÓSMICOS GALÁCTICOS:  
POSSÍVEIS CONSEQUÊNCIAS CLIMÁTICAS NA REGIÃO DA AMÉRICA DO SUL

*Éverton Frigo*

INTERPRETAÇÃO CONJUNTA SEMI-QUANTITATIVA UTILIZANDO VÍNCULOS COM DADOS GEOFÍSICOS NA BACIA DE SANTOS

*Vinicius Ramos Pinto*

MAGNETOESTRATIGRAFIA E RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL DE SUCESSÕES MARINHAS DO OCEANO NEO-TÉTIS:  
NOVAS PERSPECTIVAS ACERCA DOS PRINCIPAIS EVENTOS PALEOCLIMÁTICOS DO PALEÓGENO

*Jairo Francisco Savian*

PALEOMAGNETISMO E ANISOTROPIA MAGNÉTICA DE DERRAMES E SILLS DA REGIÃO NORTE DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA  
DO PARANÁ

*Luiz Alberto Zaffani*

CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA DE ARENITOS ASFÁLTICOS DA FORMAÇÃO PIRAMBÓIA, BACIA DO PARANÁ

*Camilla Factori Camargo*

PETROLOGIA E MAGNETISMO DE ESTRUTURAS DE IMPACTO DA BACIA DO PARANÁ: REFLEXÕES SOBRE  
O PROCESSO DE CRATERAMENTO

*Elder Yokoyama*

## O USO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE ONDAS SUPERFICIAIS EMPREGANDO FONTES PASSIVAS E ATIVAS

**Julio Cesar Ardito**

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

98 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 25.06.2013

**RESUMO.** O método da análise multicanal de ondas superficiais foi empregado em um estudo de caso no sítio controlado do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo - IAG-USP, localizado no campus Butantã, São Paulo, em terrenos da bacia sedimentar de São Paulo. O estudo visou à investigação geológica rasa, ou seja, ao mapeamento dos estratos sedimentares presentes e do contato sedimentos-embasamento. Além disso, procurou-se, através de testes de diversos parâmetros de aquisição, chegar-se a uma rotina para a aquisição e tratamento dos dados provenientes de fontes ativas (marreta e queda de peso) e passivas (tráfego de veículos) que possa ser indicada para ensaios em outras áreas da cidade de São Paulo que apresentem condições semelhantes às da área estudada. Na aquisição com fontes ativas foram registrados dados com diversos *offsets* mínimos e na passiva foi aplicada a técnica *Passive Roadside* com o arranjo de geofones disposto próximo e paralelamente à via de tráfego. Foram realizadas as etapas de pré processamento dos dados, geração das imagens de dispersão, extração das curvas de dispersão e inversão dos dados. A combinação de imagens geradas a partir de dados adquiridos com diferentes fontes resultou numa imagem com melhor razão sinal-ruído, e consequentemente na produção de melhores curvas que foram invertidas para a geração dos perfis 1D das velocidades da onda S. De modo geral, os perfis de velocidades resultantes dos dados obtidos com o emprego de uma marreta para geração da onda mapearam as interfaces geológicas mais superficiais. Já os perfis resultantes dos dados adquiridos com o uso de uma fonte tipo “queda de peso” alcançaram profundidades maiores, por vezes amostrando o embasamento. No caso das fontes passivas, as principais interfaces de contato foram imageadas, conseguindo-se com sucesso o mapeamento do embasamento, que na área está a mais de 50 metros de profundidade. Correlações com o perfil litológico e de dados de ensaios SPT de um furo de sondagem localizado no centro do arranjo revelaram que as diferenças na determinação da profundidade das interfaces foram menores do que 10%. Desta forma, o método mostrou ser uma ferramenta prática e eficiente nas aplicações geotécnicas, principalmente em áreas urbanas onde o ruído é elevado, o que muitas vezes inviabiliza o uso da investigação sísmica convencional (refração ou reflexão).

**ABSTRACT.** The multichannel analysis of surface waves (MASW) method was employed in a case study on the controlled site in the Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences (IAG), University of São Paulo (USP), located on the campus Butantã, São Paulo, in the grounds of the sedimentary basin São Paulo. The study aimed to shallow geological investigation, in other words, mapping of sedimentary strata present and the sediment-basement contact. In addition, it is sought to, by testing with different acquisition parameters, to get a routine for the acquisition and processing of data from active sources (sledgehammer and drop weight) and passive (vehicle traffic) that can be suitable for testing in other areas of the city of São Paulo who have similar conditions of the study area. In the acquisition with active sources were registered data with many different offsets and passive acquisition has been applied to the *Passive Roadside* MASW technique with the conventional linear receiver array disposed near and parallel to the traffic lane. Were performed, pre-processing of the data, generation of images of dispersion, extraction of dispersion curves and inversion. The combination of images generated based on data acquired from various sources resulted in image with improved signal to noise ratio and consequently in the production of finest curves that have been inverted to generate the 1D shear-wave velocities profiles. In general, the velocity profiles obtained from the data were acquired with the use of a sledgehammer to the wave generation mapped shallowest geological interfaces, but the resulting profiles of the acquired data using a font type “drop weight” reached greater depths, sometimes sampling the basement. In the case of passive sources, the main contact interfaces were imaged, achieving successful mapping of the basement, which in this area is over 50 meters deep. Correlations with the lithological profile and SPT data from a borehole located in the center of the array revealed that the differences in the depth determination of the interfaces was less than 10%. Thus, the method showed to be an efficient and practical tool in geotechnical applications, especially in urban areas where the noise is high, which often prevents the use of conventional seismic survey (reflection or refraction).

## ESTUDO DA RESPOSTA IP DE SOLOS ARGILOSOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS E CHORUME

**Andréa Teixeira Ustra**

Orientador: Dr. Vagner Roberto Elis (IAG-USP)

136 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 28.06.2013

**RESUMO.** A tese de doutoramento apresenta uma pesquisa que teve como objetivo principal estudar a resposta IP gerada pela contaminação de solos argilosos por compostos orgânicos e inorgânicos. Ensaios de campo e laboratório foram realizados para investigar a sensibilidade do método IP a mudanças nas propriedades petrofísicas provocadas pela contaminação. Um experimento controlado investigou o efeito IP gerado em amostras coletadas em torno de um aterro de resíduos urbanos, saturadas por diferentes concentrações de chorume, coletado no próprio local. Os resultados mostram um aumento do efeito IP em amostras ricas em  $\text{CaCO}_3$ , observado mesmo para altas concentrações de chorume. Um segundo experimento controlado investigou o efeito do teor e tipo de argila e da salinidade na resposta IP. Misturas de esferas de vidro e diferentes teores de caulinita e montmorilonita foram saturadas por soluções de diferentes concentrações de NaCl. Os resultados obtidos mostram que o efeito da concentração de sais na resposta IP depende do teor de tipo de argila, sendo esse último dominante em relação ao efeito da salinidade. A concentração de sais e o teor de argila atuam de forma acoplada, intensificando o efeito IP. Em um terceiro experimento, a sensibilidade da resposta IP a presença de tolueno foi investigada. Misturas de areia e montmorilonita foram artificialmente contaminadas por diferentes concentrações de tolueno. Os resultados desse experimento mostram que o efeito desse contaminante na resposta IP é pequeno. Ainda assim, foi possível observar uma dependência da resposta IP com a concentração de tolueno que muda com o tempo, provavelmente devido a mudanças interficiais químicas após a adição de tolueno. Com o objetivo de estudar o efeito da biodegradação do tolueno em solos argilosos na resposta IP gerada, duas colunas compostas de uma mistura de areia e caulinita, artificialmente contaminadas por tolueno, foram preparadas. Um fluxo de água subterrânea coletada em uma área contaminada foi estabelecido em uma das colunas (ativa), enquanto que uma solução de água deionizada e NaCl foi estabelecida na outra (controle). A resposta IP das duas colunas foi monitorada por um período de quatro meses e nenhuma mudança na resposta elétrica das colunas que indicasse a ocorrência de biodegradação do tolueno foi observada. Os dados geoquímicos comprovam que não houve mudanças significativas durante o período do monitoramento, mesmo embora a presença de bactérias anaeróbicas vivas tenha sido verificada tanto na solução de entrada como na solução de saída da coluna ativa. Uma possível explicação para o tolueno não ter sido biodegradado de forma eficiente é a sua alta concentração nas colunas. O último estudo realizado consiste na utilização do método IP para a investigação de uma área contaminada por BTEX (benzeno, tolueno, etil-benzeno e xileno). A contaminação ocorreu devido a derrames acidentais de quantidade não estimada de solventes no solo não impermeabilizado. O ensaio de campo revela uma zona de anomalia, caracterizada por baixas resistividade e cargabilidade e aumento da cargabilidade normalizada. Amostras de solo foram coletadas na área e tiveram suas propriedades elétricas medidas em laboratório. O contraste elétrico observado em campo não foi observado em laboratório, sugerindo que variações do teor de umidade podem estar contribuindo para a anomalia geofísica observada em campo. O teor de argila, bactérias totais e propriedades magnéticas foram medidas em diversas amostras coletadas na área. Os resultados dessas análises mostram que a distribuição do teor de argila não explica a anomalia observada. Entretanto, a população microbiana encontrada foi cinco ordens de magnitude maior na zona de anomalia. As propriedades magnéticas mostram que as amostras coletadas na zona da anomalia são mais ricas em magnetita. Os estudos realizados nessa pesquisa mostram que a resposta IP observada em estudos ambientais é afetada por propriedades petrofísicas como o teor de argila, teor de umidade, mineralogia e propriedades químicas do fluido dos poros. Entretanto a variação natural dessas propriedades também é esperada em ambientes dinâmicos. Consequentemente, isolar a contribuição de mudanças dessas propriedades devido à contaminação é uma tarefa complexa.

**ABSTRACT.** This PhD Thesis presents a research that aimed to study the IP response from soils contaminated by organic and inorganic compounds. Field surveys and laboratory experiments were conducted to investigate the sensibility of the IP method to changes in petrophysical properties due to contamination. A controlled experiment investigated the IP effect generated in soil samples collected around an urban waste disposal site, saturated by the leachate generated at the site. The results show an IP effect increase on samples rich in  $\text{CaCO}_3$ , observed even for high contaminant concentrations in the saturation solution. A second experiment investigated the effect of clay type and content and salinity on the IP response. Glass beads with varying concentration of kaolin and bentonite mixtures were synthesized and saturated by solutions with varying salt concentration. The results of this experiment show that the effect of salinity on the IP response depends upon clay type and content, being the clay effect dominant over the salinity effect. The effects of ionic concentration and clay content on the IP effect are coupled, enhancing the IP response. In a third experiment, the IP sensibility to toluene contamination is investigated. Sand and montmorillonite mixtures were artificially contaminated with varying toluene concentrations. The results show that the toluene effect on the IP response is small. Even though, there is an IP response dependency on toluene concentration that changes with time, probably due to interfacial chemical properties changes after the addition of toluene. With the purpose of studying the effect of toluene biodegradation on the IP response, two columns were packed with a sand and kaolin mixture, artificially contaminated with toluene. A contaminated groundwater solution flux was established in one column (active), and a NaCl and deionized water solution flux was established on the other column (control). The IP response from both columns was monitored for a period of four months. No significant changes in the electrical properties of these columns that could indicate toluene biodegradation was observed. Geochemical data confirmed that no significant changes occurred during the monitoring period, even though live anaerobic microorganisms were verified in the active column inflow and outflow. One possible explanation for the inefficiency in degrading toluene is its high concentration in the columns. The last study presented is a BTEX (benzene, toluene, ethyl benzene and xylene) contaminated area investigated with the IP method. The contamination events took place due to accidental spills directly into the soil, where the exact amount of contaminant disposed is unknown. The geophysical survey revealed an IP response anomaly, characterized by low resistivities and chargeabilities and normalized chargeability enhancement. Soil samples were collected at the site and its electrical properties were measured in the laboratory. The electrical contrast observed in the field was not observed in the laboratory, suggesting that moisture content could be contributing to the geophysical anomaly observed at the field. Clay content, total bacteria and magnetic properties were measured for some of the collected samples. The results show that the clay content distribution in the area does not explain the geophysical response observed. However, the microbial population was found to be over five orders of magnitude higher in the anomaly zone. Magnetic properties of the samples show that the anomaly zone is richer in magnetite. These studies show that the IP response observed in environmental studies is affected by petrophysical properties such as clay content, moisture content, mineralogy and pore fluid chemical properties. However, natural changes of these properties are also expected in dynamic environments. The isolation of the contribution of soil contamination to changes of these properties is a complex task.

## **CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA POR MAIO DE INVERSÃO CONJUNTA 1D DE SEV/TDEM NA REGIÃO DE URUPÊS – SP, BACIA DO PARANÁ: APLICAÇÕES EM HIDROGEOLOGIA**

**David Nakamura Leite**

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

107 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 02.08.2013

**RESUMO.** Este trabalho apresenta os resultados de sondagens Eletromagnéticas no Domínio do Tempo (TDEM) e de Sondagens Elétricas Verticais (SEV) para a caracterização geoeletrica no entorno do município de Urupês, Estado de São Paulo, com ênfase na exploração de água subterrânea do aquífero sedimentar Bauru e do aquífero fraturado Serra Geral (Bacia do Paraná). Para tanto, foram adquiridas 23 sondagens TDEM e 15 SEVs em três trabalhos de campo realizados em 2009, 2011 e 2012, onde 15 sondagens TDEM e 12 SEVs foram tratadas e invertidas de maneira separada e conjunta. A técnica de inversão conjunta é uma promissora ferramenta que explora o melhor de ambos os métodos, onde a SEV contribui com as informações rasas e o TDEM com as informações mais profundas. Os resultados foram interpretados com base nas informações de dados de poços disponibilizados pelo DAEE de Araraquara-SP e CPRM, o que permitiu estimar locais mais favoráveis à exploração de água nos aquíferos Bauru e Serra Geral. Para o aquífero Bauru são sugeridas áreas nas quais a espessura do aquífero pode ultrapassar os 100 m de profundidade. Nestas áreas, a resistividade calculada é de  $\sim 20 \Omega.m$  e por isso, os sedimentos foram interpretados como areno-argilosos saturados. Já, no pacote basáltico da Formação Serra Geral são sugeridos locais nas quais os valores de resistividade são  $< 100 \Omega.m$  e ocorrem  $\sim 200$  m de profundidade. As áreas indicadas no aquífero sedimentar e no aquífero fraturado poderão servir como fontes alternativas para a exploração de água subterrânea, visando o abastecimento local no município de Urupês-SP.

**ABSTRACT.** This work presents the results of applying the time domain electromagnetic method (TDEM) and vertical electrical sounding (VES) for the geoelectrical characterization of Urupês city, São Paulo State, with emphasis on the groundwater exploitation of sedimentary Bauru aquifer and fractured Serra Geral aquifer (Paraná Basin). In this regard, were acquired 23 TDEM soundings and 15 VES soundings in three fieldworks conducted in 2009, 2011 and 2012, where 15 TDEM and 12 VES soundings were treated and inverted separately and jointly. The joint inversion technique is a promising tool that profits the best of both methods, where the SEV add to shallow information and TDEM with deeper information. After treatment and data inversion, the results were interpreted based in geological well information provided by DAEE, Araraquara-SP, and CPRM that allowed estimating favorable places to exploitation of water in Bauru and Serra Geral aquifers. For the Bauru aquifer are suggested areas in which the thickness of the aquifer can exceed 100 m. In these areas, the resistivity calculated was  $\sim 20 \Omega.m$ , therefore, the sediments have been interpreted as saturated sandy clay. In the basalt package of Serra Geral formation are suggested locations where resistivity values are  $< 100 \Omega.m$  that occurring  $\sim 200$  m depth. The indicated places in sedimentary aquifer as the locations in the fractured aquifer will may serve as alternative sources for groundwater exploitation to supply the Urupês city.

## ESTRUTURA CRUSTAL DA BACIA DO CHACO-PARANÁ A PARTIR DE DADOS GRAVIMÉTRICOS

**Gabriel Negrucci Dragone**

Orientador: Dra. Naomi Ussami (IAG-USP)

80 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 09.08.2013

**RESUMO.** Um estudo gravimétrico comparativo das Bacias do Chaco-Paraná (BCP) e Paraná (BP) foi efetuado utilizando o modelo global EGM08 e os dados da missão GOCE. A feição gravimétrica mais notável é um gradiente gravimétrico de 0,25 mGal/km, de direção norte-sul e que contorna a borda oeste da Bacia do Paraná e inflexiona para leste na latitude 30°S. Esse gradiente separa as duas bacias em províncias gravimétricas com característica distintas. A BCP é caracterizada por anomalias gravimétricas positivas entre 10 e 20 mGal e de direção norte-sul, enquanto que na BP as anomalias variam entre -50 a -90 mGal na direção NE-SW. A análise gravimétrica foi efetuada de duas formas. Inicialmente removeu-se o efeito gravitacional devido aos sedimentos e basaltos e a anomalia devido às fontes mais profundas foi invertida para determinar o relevo da interface crosta-manto. Posteriormente efetuou-se uma análise isostática estimando a profundidade de compensação para a topografia observada nos modelos de Airy e flexural de placa contínua. Esses modelos, considerando a topografia observada como a única carga, não preveem a profundidade da Moho qualquer que seja o valor da espessura elástica. Dados de profundidade da Moho por métodos sismológicos, onde existentes, foram confrontados com os fornecidos pela inversão gravimétrica, estimando assim o valor do contraste de densidade ( $300 \text{ kg/m}^3$ ) para o qual as profundidades da Moho e da interface crosta-manto obtida pela gravimetria melhor se ajustam. A inversão gravimétrica indica que a crosta da BCP é em média 7 km menos espessa do que a crosta da BP. Os resultados deste estudo sugerem a existência de uma descontinuidade crustal, e possivelmente uma sutura litosférica ao longo do gradiente gravimétrico entre as Bacias do Chaco-Paraná e do Paraná.

**ABSTRACT.** A comparative gravity study of the Chaco-Paraná (CPB) and the Paraná (PB) Basins was carried out using the EGM08 and GOCE global geopotential models. The most prominent gravity feature in the study area is a gradient of 0.25 mGal/km, extending from north to south alongside the western border of the Paraná basin and continuing eastward towards the Atlantic coast at the latitude 30°S. This gradient separates both basins into two gravity provinces with distinct characteristics. The CPB is marked by positive Bouguer anomalies of about 10 to 20 mGal in amplitude with north-south trending, whereas in the PB the Bouguer anomalies range from -50 to -90 mGal and trend along the NE-SW direction. The gravity analysis was carried out in two ways. Firstly, the gravity effect from basalts and sediments was calculated and removed and the gravity anomaly due to deeper sources was inverted in order to determine the crust-mantle interface relief. Secondly, an isostatic analysis was carried out in order to estimate the compensation depth due to the observed topography using both Airy and continuous plate flexural models. These isostatic models, considering the observed topography as the only load, cannot account for the observed Moho regardless of the effective elastic thickness value. Moho depth provided by seismological studies, where available, were compared with the results of the gravity inversion, thus estimating the density contrast ( $300 \text{ kg/m}^3$ ) for which the Moho and crust-mantle interface depths are in agreement. The gravity inversion indicates that, in average, the CPB crust is 7 km thinner than the PB crust. This study suggests the existence of a crustal discontinuity, and perhaps even a lithospheric suture along the gravity gradient between the Chaco-Paraná and the Paraná Basins.

## VARIAÇÕES GEOMAGNÉTICAS, HELIOMAGNÉTICAS E DO FLUXO DE RAIOS CÓSMICOS GALÁCTICOS: POSSÍVEIS CONSEQUÊNCIAS CLIMÁTICAS NA REGIÃO DA AMÉRICA DO SUL

Éverton Frigo

Orientador: Dr. Igor Ivory Gil Pacca (IAG-USP)  
130 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 16.08.2013

**RESUMO.** Neste trabalho é investigada a presença de sinais associados à variabilidade do fluxo de raios cósmicos galácticos (*galactic cosmic rays* – GCR) em dados climáticos e paleoclimáticos provenientes da região da América do Sul. Esta região vem sendo afetada pela presença da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (South Atlantic Magnetic Anomaly – SAMA) nos últimos séculos, que funciona como uma janela facilitadora para a entrada de GCR até a atmosfera terrestre. Os dados climáticos consistem de séries temporais de temperatura média anual e do total anual de precipitação registradas em 20 estações meteorológicas entre 1933 e 2009. Os dados paleoclimáticos consistem de séries temporais de alta resolução do indicador  $\delta^{18}\text{O}$  que foram obtidas a partir de duas amostras de espeleotemas, uma do nordeste e outra do sudeste do Brasil cobrindo o intervalo entre 1000 BC e 2004 AD. A análise espectral clássica indica sinais característicos da atividade solar, e por consequência dos GCR, tanto nos dados climáticos quanto nos dados paleoclimáticos. Porém, as análises de coerência espectral e fase mostram que estes sinais são intermitentes na maior parte dos registros. Foram identificados picos de máxima temperatura coincidentes ou quase coincidentes com os últimos quatro mínimos do ciclo magnético solar de 22 anos, sendo esta relação mais forte na região onde a intensidade do campo geomagnético foi menor. A comparação entre a variabilidade de  $\delta^{18}\text{O}$  e da intensidade do campo geomagnético em escala secular indicou que os GCR podem ter modulado a precipitação do Nordeste do Brasil nos intervalos 620 BC-300 BC e 1100 AD-1470 AD e, do Sudeste do Brasil entre 300 AD e 900 AD. Os espeleotemas registraram dois eventos climáticos bastante interessantes. O período de alta precipitação registrado em aproximadamente 700 BC no Nordeste do Brasil é atribuído principalmente à baixa irradiância solar no período. Sugere-se que as fortes oscilações climáticas ocorridas no Sudeste do Brasil entre 1600 e 1800 AD podem ser atribuídas a um somatório do efeito da baixa irradiância solar e do alto fluxo de GCR. Um forte sinal de aproximadamente 700 anos, característico da variabilidade solar, foi registrado nos espeleotemas do Nordeste e do Sudeste do Brasil, porém as reconstruções das séries temporais dos indicadores paleoclimáticos e da atividade solar para esta faixa de periodicidades mostrou que as mesmas não estão em fase durante todo o período estudado.

**ABSTRACT.** In this work the presence of signals related to the variability of galactic cosmic ray (GCR) flux on climatic and paleoclimatic data from the South American region is investigated. This region has been affected by the presence of the South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA) in the past centuries and it works like a window that facilitates the entrance of GCR into the Earth's atmosphere. Climatic data are time series of the annual mean temperatures and the annual rainfall level recorded in twenty weather stations between 1933 and 2009. Paleoclimatic data are high resolution time series of the precipitation proxy  $\delta^{18}\text{O}$  that were obtained from two speleothems samples, one from Northeast and another from Southeast Brazil covering the period between 1000 BC and 2004 AD. Classical spectral analysis revealed solar activity characteristic signals, and consequently GCR signals, in both the climatic and paleoclimatic data. However, spectral coherence and phase analysis show that solar signals were intermittent in most records. Four maxima temperature peaks were found and these are coincident or almost coincident with the last four minima of 22-year solar magnetic cycle, and this relationship is stronger where the geomagnetic field was weaker. The comparison between  $\delta^{18}\text{O}$  variability and geomagnetic field intensity in secular timescale indicated that GCR may have modulated precipitation in Northeast Brazil in the intervals 620 BC-300 BC and 1100 AD-1470 AD and, in Southeast Brazil between 300 AD and 900 AD. Speleothems recorded two remarkable climatic events. High precipitation period recorded around 700 BC in Northeast Brazil is mainly attributed to low solar irradiance in the period. It is suggested that intense climatic oscillations occurred in Southeast Brazil between 1600 and 1800 AD and they may be attributed to a sum of low solar irradiance and high GCR flux effects. A strong signal of around 700 years periodicity which is characteristic of solar variability was detected in speleothems from Northeast and Southeast Brazil, but time series reconstructions of paleoclimatic and solar activity proxies for this periodicity shown that they are not in phase during the whole studied period.

## INTERPRETAÇÃO CONJUNTA SEMI-QUANTITATIVA UTILIZANDO VÍNCULOS COM DADOS GEOFÍSICOS NA BACIA DE SANTOS

**Vinicius Ramos Pinto**

Orientador: Dr. Sérgio Luiz Fontes (ON)  
77 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 16.08.2013

**RESUMO.** Neste trabalho foram estudadas metodologias de integração de dados geofísicos com o objetivo de obter modelos integrados com base em resultados provenientes de diferentes métodos. Os dados adquiridos são de 92 estações ao longo de três perfis magnetotéluricos, perfis geofísicos de três poços e uma linha sísmica ao longo do perfil central magnetotélurico. As abordagens realizadas compreenderam o processamento, inversão e interpretação dos dados magnetotéluricos, a predição de perfis sônicos a partir de perfis de resistividade e a modelagem sísmica de velocidades. O modelo para a predição de perfis sônicos a partir dos perfis de resistividade obteve resultados com um excelente nível de ajuste. A teoria levou em consideração um modelo de três fases minerais com areia, argila e água, e os resultados mostraram que a consideração do conteúdo de argila é imprescindível para a obtenção de resultados mais acurados. Adicionalmente, o modelo 2D magnetotélurico forneceu a variação de resistividade em profundidade para dois pseudo-poços criados na região de estudo. Os dados de resistividade foram introduzidos no modelo preditivo e foram convertidos para dados de vagariedade acústica. Esses dados sônicos estimados foram utilizados em amarrações sísmicas para a obtenção de um modelo de velocidades para a área de interesse. Os modelos de velocidade e magnetotélurico apresentaram coerência elevada entre si, dentro de suas respectivas resoluções e níveis de ruído, corroborando com a metodologia adotada. A aplicação da interpretação conjunta auxiliou na identificação de camadas geológicas presentes nas seções sísmica e magnetotélurica, os dados de perfilagem possibilitaram um realce na resolução dos modelos. O embasamento cristalino foi mapeado com excelente precisão em posição e profundidade, enquanto as corpos de sal foram identificados pelo modelo magnetotélurico e modelados detalhadamente pelo modelo de velocidade. As metodologias apresentadas neste trabalho propiciam a aplicação conjunta dos métodos geofísicos de exploração assim como a integração dos resultados possibilita a obtenção de modelos mais realísticos que contribuem para ampliar o conhecimento geológico da Bacia de Santos.

**ABSTRACT.** In this work, we studied methodologies for integrating geophysical data in order to obtain integrated models based on results from different methods. The acquired data are 92 stations along three magnetotelluric profiles, geophysical logs from three wells and a seismic line along the magnetotelluric central profile. The approaches carried out include the processing, inversion and interpretation of magnetotelluric data, the prediction of sonic logs from resistivity logs and seismic velocity modeling. The sonic logs prediction model from resistivity logs obtained results with excellent fit. The theory took into account a three-phase mineral model with sand, clay and water, and the results showed that the consideration of the clay content is essential to obtain more accurate results. Additionally, the model provided the 2D magnetotelluric resistivity variation in depth for two pseudo-wells created in the study region. The resistivity data were introduced into the predictive model and the data were converted to acoustic slowness. These estimated sonic data were used in seismic well ties for obtaining a velocity model for the area of interest. The velocity and magnetotelluric models presented high coherence between them, within their respective resolutions and noise levels, supporting the methodology. The application of the joint interpretation helped to identify some geological layers present in the seismic and magnetotelluric sections, the well logging data provided an enhancement in the resolution of the models. The crystalline basement was mapped with excellent accuracy in position and depth, while the salt bodies were identified by magnetotelluric model and modeled in detail by the velocity model. The methodologies presented in this work favor the joint application of geophysical methods of exploration as well as the integration of the results allows obtaining more realistic models that contribute to increase the geological knowledge of the Santos Basin.



## MAGNETOESTRATIGRAFIA E RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL DE SUCESSÕES MARINHAS DO OCEANO NEO-TÉTIS: NOVAS PERSPECTIVAS ACERCA DOS PRINCIPAIS EVENTOS PALEOCLIMÁTICOS DO PALEÓGENO

Jairo Francisco Savian

Orientador: Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (IAG-USP)

145 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 12.09.2013

**RESUMO.** O intervalo que compreende o Paleoceno, Eoceno e Oligoceno (65,5-23,03 Ma) testemunhou importantes mudanças paleoclimáticas e paleogeográficas. Dados de isótopos estáveis ( $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ ) em foraminíferos pelágicos mostram uma tendência de resfriamento de longo período, que termina com o evento abrupto Oi-1 (~34 Ma), próximo à transição Eoceno/Oligoceno, coincidente com a principal fase de glaciação da Antártida. Sobreposta a essa tendência de resfriamento lenta, observa-se curtos intervalos de aquecimento global extremos. Estes eventos hipertermais tem duração inferior a 300 kyrs e correspondem a variações de temperatura de 5° a 6°C. Na metade do Eoceno (~49-34 Ma), os registros isotópicos também indicam um forte evento de aquecimento transiente há ~40,0 Ma, o Ótimo Climático do Eoceno Médio (MECO, na sigla em inglês). Nesta tese apresentamos a magnetoestratigrafia, bioestratigrafia (nanofósseis e foraminíferos), litoestratigrafia, magnetismo ambiental, geoquímica e dados de isótopos de carbono e oxigênio em carbonato e em foraminíferos bentônicos ao longo do intervalo Eoceno-Oligoceno de sucessões do Oceano Índico (testemunho ODP 711A) e Neo-Tétis Oriental (seções de Monte Cagnero e Contessa). Os principais eventos climáticos globais do Paleoceno foram reconhecidos nestas seções. Este estudo mostra que as seções ODP 711A, Monte Cagnero (MCA), e Contessa (CHW-CR) oferecem um registro completo e integrado desde o Paleoceno até o Oligoceno da magnitude dos eventos hipertermais e do MECO, bem como as variações biogeoquímicas que os acompanharam. A seção de Monte Cagnero registra os mais importantes eventos climáticos do Eoceno-Oligoceno Inferior, incluindo a transição E-O em ~34 Ma e o MECO em ~40 Ma. Uma análise integrada e de alta resolução de isótopos estáveis, geoquímica, micropaleontologia e magnetismo ambiental neste seção ao longo do MECO revelou um intervalo de alta produtividade marcado por uma grande abundância de magnetofósseis, compreendendo o pico de temperatura do MECO e o período imediatamente posterior. O mesmo sinal foi observado em Contessa e no testemunho ODP 711A. Nós especulamos que durante o MECO, um período mais quente, ocorreu um aumento na quantidade de hematita levada aos oceanos por meio de transporte eólico gerando fertilização e um consequente aumento de produtividade nos oceanos. A ocorrência ubíqua de magnetofósseis em períodos quentes ao longo de todo o Eoceno sugere que mecanismos similares tenham sido responsáveis pelos picos de produção e preservação de magnetossomas.

**ABSTRACT.** The interval comprising the Paleocene, Eocene and Oligocene (65.5 to 23.03 Ma) has witnessed major changes in paleoclimate and paleogeography. Stable isotope records ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ) from pelagic foraminiferal show a long-term cooling trend starting at ~55 Ma, which ends abruptly at the Oi-1 event (~34 Ma), near the Eocene/Oligocene transition, which is interpreted as the main episode of glaciation of Antarctica. Superimposed on this cooling trend, brief intervals of extreme warmth occur globally. These hyperthermal events last for less than 300 kyrs and may correspond to a global temperature increase of 5° to 6°C. In the middle to late Eocene, a strong transient warming event has been recognized in the oceanic record at ~40.0 Ma, the Middle Eocene Climate Optimum (MECO). The amplitude of the MECO warming is similar to that of hyperthermals, but its durations is two times longer; its origin and global nature being still debated. In this thesis we present a magnetostratigraphic analysis, integrated with biostratigraphy (calcareous nannofossils and foraminifera), lithostratigraphy, environmental magnetism, wt.%  $\text{CaCO}_3$  and isotope records on bulk carbonate and on benthic foraminifera through the Paleogene interval from sedimentary successions from the Indian Ocean (ODP Hole 711A) and Eastern Neo-Tethys (Monte Cagnero and Contessa sections). The main global climatic events in the Paleogene were recognized in these sections. This study shows that the ODP 711A, Monte Cagnero (MCA), and Contessa (CHW-CR) sections are a complete and integrated record of hyperthermals, the MECO and the biogeochemical changes that occurred during the Paleocene to Oligocene interval. The Monte Cagnero section likely records the most important middle Eocene-early Oligocene climate events, such as the E-O climate transition at ~34 Ma and the MECO event at ~40 Ma. An integrated and high-resolution analysis of stable isotopes, geochemistry, micropaleontology and environmental magnetism of this section through the MECO interval shows an interval of very high productivity comprising the MECO peak and its aftermath marked by a higher abundance of fossil magnetotactic bacteria. The same signal has also been found in Contessa and ODP 711A. We speculate that eolian hematite during the MECO event may have promoted iron fertilization of the oceans during the warming event increasing significantly the primary productivity in the ocean. The widespread occurrence of magnetofossils in other warming periods suggest a common mechanism linking climate warming and the enhancement of magnetosome production and preservation.

## PALEOMAGNETISMO E ANISOTROPIA MAGNÉTICA DE DERRAMES E SILLS DA REGIÃO NORTE DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ

Luiz Alberto Zaffani

Orientador: Dra. Marcia Ernesto (IAG-USP)

64 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 01.10.2013

**RESUMO.** São apresentados novos resultados paleomagnéticos e de anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM) para derrames e sills da região Norte da Província Magnética do Paraná (PMP). Através de curvas termomagnéticas, curvas de histerese e de magnetização remanente induzida, verificou-se que os principais portadores magnéticos são titanomagnetitas de tamanho pseudo-domínio simples. As titanomagnetitas geralmente aparecem associadas à maghemita em pequena proporção. Os resultados de ASM mostram que as amostras possuem susceptibilidade média  $K_m$  variando entre  $4,64 \times 10^{-3}$  e  $5,65 \times 10^{-2}$  SI e apresentam baixo grau de anisotropia  $P$ , não ultrapassando o valor de 1,046. O parâmetro  $T$  indica que o conjunto apresenta tanto elipsoides oblatos quanto prolatos. A trama magnética obtida através da ASM indica que o eixo maior de susceptibilidade  $k_1$  tem inclinações baixas, horizontais para a maioria dos casos. Duas direções preferenciais de  $k_1$  foram identificadas: na área do extremo norte da região as direções estão no intervalo NW-SE a E-W, coerente com resultados existentes para a porção central da PMP; a região a nordeste, onde predominam sills, a direção preferencial é basicamente NE-SW, similar àquelas da borda sudeste da PMP. O significado dessa anisotropia foi examinada através da orientação preferencial da trama de plagioclásio. As desmagnetizações por campos magnéticos alternados revelaram uma componente de magnetização de alta coercividade, associada a uma componente viscosa de baixa coercividade, facilmente eliminada. O conjunto de amostras revelou tanto direções características com polaridade normal, como reversas e que devem ser de origem térmica. Aos novos dados foram adicionados os dados já existentes na literatura para a região Norte da PMP, para calcular um polo paleomagnético. Parte dos dados da literatura foram obtidos através de metodologias ultrapassadas e, em princípio, não merecem confiabilidade. Entretanto, testes estatísticos realizados com conjuntos de amostras da região sul da PMP e que foram reanalisados segundo os novos critérios, indicaram que aqueles dados podem fornecer informações fidedignas, respeitados os limites de confiança. O novo polo paleomagnético calculado para a região Norte ( $82,6^\circ\text{S}$  e  $83,7^\circ\text{E}$ ;  $N = 130$ ,  $\alpha_{95} = 1,7^\circ$ ) atende aos critérios de qualidade e pode ser considerado um polo de referência. Ele difere levemente do polo da região Sul da PMP, e provavelmente reflete a diferença de idade entre as duas regiões.

**ABSTRACT.** We present new results on paleomagnetism and anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) for the north region of the Parana Magmatic Province (PMP). Samples from flows and sills were analyzed; the sills are mainly located on the eastern border, and cut concordantly the Paleozoic sedimentary rocks. Results from thermomagnetic curves, histerese cycles, and induced remanent magnetization indicated that titanomagnetites in the pseudo-single domain range are the main magnetic carriers for those rocks. The presence of discrete quantities of maghemite was also noticed. The AMS studies revealed mean susceptibilities varying from  $4.64 \times 10^{-3}$  to  $5.65 \times 10^{-2}$  SI, and low degree of anisotropy  $P$ , not exceeding 1.046. The  $T$  parameter indicates that the ellipsoids are both oblate and prolate. The great majority of samples revealed magnetic fabric with horizontal or subhorizontal  $k_1$  axis, with two preferential directions. In the extreme north area  $k_1$  varies in the range NW-SE to E-W, which is in accordance to what was already observed in the Central region of the PMP; in the northeastern (mainly sills) the preferred  $k_1$  direction is to NE-SW, similar to that found for the flows in the southern border of the PMP. The significance of these orientations were investigated by means of the preferred orientation of plagioclase. The alternate field demagnetizations revealed a higher coercivity magnetization component magnetization in the samples, and a low coercivity component which was easily removed, and interpreted as a viscous component. The site characteristic magnetizations show normal and reversed polarities, probably of thermal origin. To the data produced in this work previous data from literature was added in order to calculate a paleomagnetic pole. However, part of the old data does not satisfy the modern reliability criteria. A significance test performed to data sets from the South region of the PMP, revealed that the old data sets give same results as the new and more reliable data sets obtained from the same samples. Therefore, old data from the North PMP was also used after discarding data with low confidence parameters. The new paleomagnetic pole is located at  $82.6^\circ\text{S}$  and  $83.7^\circ\text{E}$  ( $N = 130$ ,  $\alpha_{95} = 1.7^\circ$ ), and is high quality reference paleomagnetic pole. It differs slightly from the pole for the South PMP, which probably reflects the age differences between the two regions.

## CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA DE ARENITOS ASFÁLTICOS DA FORMAÇÃO PIRAMBÓIA, BACIA DO PARANÁ

**Camilla Factori Camargo**

Orientador: Dr. Vagner Roberto Elis (IAG-USP)

94 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 04.11.2013

**RESUMO.** A sociedade humana teve seu desenvolvimento atrelado à exploração de recursos naturais do planeta e atualmente dependemos significativamente de bens de consumo derivados destes recursos, principalmente dos recursos provenientes do petróleo. A diversificação da matriz energética é lenta e nossa dependência dos combustíveis fósseis permanecerá durante várias décadas. Em função deste cenário econômico, são crescentes e fundamentais as pesquisas de acumulações não convencionais de óleo e gás, o que motivou o presente projeto. A área de estudo escolhida se constitui de um afloramento de arenito asfáltico (arenito impregnado, nos poros, por betume) relativo à rocha-reservatório do sistema petrolífero Irati-Pirambóia, e se localiza na borda leste da Bacia do Paraná, nas proximidades do município de Anhembi – SP. O objetivo do projeto foi identificar e mapear a camada de arenito com presença do óleo (pesado, de baixo grau API), em meio a camadas com pouco ou nenhum óleo, verificando uma assinatura geofísica associável à mesma que pudesse ser utilizada em pesquisas em outras áreas com o mesmo tipo de acumulação. Os métodos utilizados, Eletrorresistividade, Polarização Induzida e Eletromagnético Indutivo, foram escolhidos por serem amplamente aplicados de forma integrada em estudos ambientais, em áreas contaminadas por derivados de hidrocarbonetos. Os dados, adquiridos com a técnica de caminamento elétrico e arranjo eletródico dipolo-dipolo, geraram perfis 2D de resistividade e cargabilidade que permitiram visualizar a camada alvo, e linhas de CE paralelas foram interpretadas com uma técnica 3D para inferir a geometria e os limites da mesma. Foram realizadas algumas sondagens elétricas verticais e caminhamentos eletromagnéticos, para corroborar os resultados principais e para comparação com dados de um poço perfurado no local pela Petrobras, com resultados bastante satisfatórios, o que sugere um potencial de aplicação dos métodos geoeletricos em outras áreas de interesse.

**ABSTRACT.** Human society had its development linked to the exploitation of the Earth's natural resources and nowadays we depend significantly on consumer goods derived from these resources, especially the ones from oil. The diversification of the energy matrix is slow and our dependence on fossil fuels should last for several decades. Due to this economic scenario, oil and gas unconventional accumulation exploration are growing and are fundamental, which motivated this project. The area of study consists of an asphaltic sandstone outcrop (sandstone impregnated in the pores by bitumen) concerning the Irati-Pirambóia oil system's reservoir rock, and is located on the eastern edge of the Paraná Basin, near the city of Anhembi – SP. The goal for this project was to identify and map the sandstone layer with the presence of oil (heavy, with low API grade), in between layers low on oil or with no oil at all, by checking a matching geophysical signature that could be used in other research areas with the same type of accumulation. The geophysical methods, Electrical Resistivity, Induced Polarization and Inductive Electromagnetic, were chosen because of their wide integrated application on environmental studies, in areas contaminated by hydrocarbon derivatives. The data obtained through the electrical profiling and dipole-dipole electrode array technique generated 2D resistivity and chargeability profiles that allowed us to visualize the target layer, and EP parallel lines were interpreted through a 3D technique to infer its geometry and limits. Some vertical electrical surveys and electromagnetic profiling were performed to corroborate with the main results and for comparison with data from a well drilled on the site by Petrobras, with very satisfactory results, suggesting a potential of geoelectrical methods applications in other areas of interest.

## PETROLOGIA E MAGNETISMO DE ESTRUTURAS DE IMPACTO DA BACIA DO PARANÁ: REFLEXÕES SOBRE O PROCESSO DE CRATERAMENTO

Elder Yokoyama

Orientador: Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (IAG-USP)

285 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 08.11.2013

**RESUMO.** O impacto de um meteorito ou cometa em uma superfície planetária é o mais rápido processo geológico do qual se tem conhecimento, resultando na formação de uma estrutura geológica conhecida como cratera de impacto. Todos os planetas e satélites não gasosos do Sistema Solar apresentam crateras em suas superfícies, muitas das quais originadas por impacto. Nos estudos sobre o processo de formação de estruturas de impacto, sabe-se por enquanto, que as variações morfológicas no interior das mesmas são resultados das diferentes respostas das rochas-alvo à pressão e às temperaturas extremas promovidas durante o processo. Todavia, ainda pouco se sabe sobre os mecanismos que operam durante essas bruscas mudanças reológicas e composicionais. Todas essas mudanças são responsáveis pela criação de um sistema geoquímico singular, cuja evolução, ou seja, a criação de nova mineralogia e sua diferenciação pode gerar complexas assinaturas petrofísicas. Essas assinaturas observadas em estruturas terrestres são cruciais na interpretação dos estudos de superfícies planetárias, tais como as de Marte e da Lua. Com o intuito de contribuir para o melhor entendimento do processo de formação de estruturas de impacto, incluindo a evolução geoquímica dos produtos de impacto e seu comportamento petrofísico, a presente tese se focou na investigação de duas estruturas de impacto formadas na Bacia do Paraná: *Araguainha*, a maior cratera da América do Sul com cerca de 40 km de diâmetro, e *Vargeão*, com aproximadamente 12 km de diâmetro, localizada no oeste do estado de Santa Catarina, um dos raros exemplos de estrutura de impacto formada em rochas basálticas. Durante os trabalhos de campo foram amostrados 153 sítios, sendo 100 em Araguainha e 53 em Vargeão. Os dados foram obtidos através de ferramentas geofísicas (anisotropia magnética, paleomagnetismo, magnetismo de rochas e espectroscopia de reflectância), petrográficas (microscopia óptica e de varredura) e geoquímicas (microsonda e rocha total), totalizando mais de 2000 análises. Os resultados obtidos em Araguainha permitiram contribuir para o debate sobre a formação de núcleos soerguidos em estruturas de impacto complexas e sobre a fusão das rochas durante o processo de impacto. Além disso, análises paleomagnéticas em Araguainha forneceram um novo polo paleomagnético para América do Sul para o período Permo-Triássico. No caso de Vargeão, os resultados obtidos permitiram estimar uma idade para o evento de impacto e também contribuir para o conhecimento sobre o processo de hidrotermal pós-impacto. Em ambas as estruturas existem dados magnéticos, que podem futuramente contribuir com o debate sobre a magnetização de outras superfícies planetárias.

**ABSTRACT.** The impact of a meteorite or comet on a planetary surface is the fastest geological process which is known, resulting in formation of a geological structure known as impact crater. All non-gaseous planets and satellites of the Solar System have craters on their surfaces, many of originated by impact. On the studies of impact cratering process, it is known for example, that the morphological variations of the impact craters result of the different responses of the target rock under pressure and extreme temperatures promoted by the impact. However, few is known about the mechanisms that operate during these abrupt changes of rheology and composition. All these changes are responsible for creating a unique geochemical system, whose evolution, i.e. the creation of new mineralogical and differentiation, can generate complex petrophysical signatures. These signatures observed in terrestrial structures are crucial to the interpretation of studies on the other planetary surfaces, (e.g., on Mars and on the Moon). In effort to contribute to a better understanding of the impact cratering process, including the geochemical evolution of impact products and their petrophysical behavior, this thesis has focused on the investigation of two impact structures formed in the Paraná Basin: Araguainha, the largest crater in South America about 40 km in diameter, and Vargeão, approximately 12 km in diameter, located in the western state of Santa Catarina, a rare example of the impact structure formed in basaltic rocks. During the field work 153 sampling sites were investigated, 100 in Araguainha and 53 in Vargeão. The data were obtained through geophysical tools (magnetic anisotropy, paleomagnetism, rock magnetism and reflectance spectroscopy), petrographic (optical microscopy and scanning) and geochemical (microprobe and whole rock), resulting in more than 2000 analyzes. The results obtained in Araguainha allowed contributing to the debate on the formation of central uplift on complex impact structures and on the fusion of rocks during the impact process. Furthermore, paleomagnetic analyzes in Araguainha provided a new paleomagnetic pole for South America to the Permo-Triassic period. At Vargeão, the results allowed us to estimate an age for the impact event and also contribute to the knowledge about the post-impact hydrothermal process. In both structures there are magnetic data, which it may contribute to the debate on the magnetization of other planetary surfaces in the future.