

ABSTRACTS OF THESES AND DISSERTATIONS
RESUMOS DE TESES E DISSERTAÇÕES

EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO CRATON AMAZONAS NA REGIÃO SUDESTE DO ESTADO DO AMAZONAS: UM ESTUDO EM MÚLTIPLAS ESCALAS COM BASE NA INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICO-ESTRUTURAIS E GEOFÍSICOS

Antonio Charles da Silva Oliveira

PROSPECÇÃO GEOLÓGICA E GEOFÍSICA DAS OCORRÊNCIAS DE Cu-Fe-P DO TIPO IOCG, BORDA OESTE DO ARCO MAGMÁTICO DE SANTA QUITÉRIA, IPAPORANGA/CE

Cristian Dikson Araujo da Silva

MÉTODOS DE GAUSS-NEWTON PARA PROBLEMAS DE QUALIDADE MÍNIMOS NÃO LINEARES: TEORIA, VALIDAÇÃO NUMÉRICA E APLICAÇÃO EM GEOFÍSICA

Monique Bonfim de Souza

EXPRESSÃO ESTRUTURAL DO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO NA PORÇÃO SUL DA BACIA DO PARNAÍBA

Carla Hemillay de Oliveira Santos

ELECTROMAGNETIC CHARACTERIZATION OF CRUSTAL CONDUCTORS IN PARNAÍBA BASIN, NE BRAZIL

Flora Ferreira Solon

EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO CRATON AMAZONAS NA REGIÃO SUDESTE DO ESTADO DO AMAZONAS: UM ESTUDO EM MÚLTIPLAS ESCALAS COM BASE NA INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICO-ESTRUTURAIS E GEOFÍSICOS

Antonio Charles da Silva Oliveira

Advisor: Dr. Marcelo Esteves Almeida (UFAM)

81 p. – Master Dissertation – April 7, 2016

ABSTRACT. In the SW Amazonas State the plutonic-volcanic and sedimentary rocks were grouped in different petrotectonic associations: Juruena Basement (JBA), Juruena Supracrustal Sequence (JSSA), Post-Juruena Volcano-plutonism (PJVPA) and Post-Juruena Sedimentary Sequence (PJSSA). The JBA and JSSA (1.81–1.74 Ga), are arc magmatic-related, whereas the PJVPA (1.64–1.53 Ga) and PJSSA (1.74–1.08 Ga) define the main post-orogenic events in this region. Magnetic data analysis show at least three patterns, named in relative chronologic, as deep linear anomalies with ENE-WSW trend (L0); linear shallow anomalies with NW-SE (L1) and NE-SW (L2) trends. The relationship of superposition suggests that L1 cross-cut L0, and both are transposed by L2 pattern. Geological-structural studies point out three structural styles, two them belongs to a NW-SE deformational belt: 1) D1 – banding folded structures from gneisses (upper amphibolite, 1.52 Ga); and 2) D2 – mylonitic foliation and schistosity structures in temperature of ~350°C (greenschist, 1.48-1.46 Ga). The third structural style (D3) has ENE-WSW and NE-SW trends, well-defined cataclastic zones generated under temperature <350°C (lower greenschist, 1.32 Ga). These structural styles have a correlation with main crustal reworking events of Rondônia-Juruena Province: a) L0 magnetic anomalies and S1 polydeformational lineaments - generated in the collisional event (1.64 Ga) responsible by Juruena magmatic arc and Tapajós-Parima continent amalgamation; b) L1 magnetic anomalies and S2 lineaments - related to the another collisional event (1.52 Ga), responsible by Tapajós-Parima and Juruena-Jamari terranes collage; c) L2 magnetic anomalies and S3 lineaments - related to Sunsás Orogenic Cycle, represented by Candeias Orogeny (1.37–1.32 Ga).

RESUMO. No sudeste do estado do Amazonas afloram rochas plutono-vulcânicas e sedimentares (Província Rondônia-Juruena, 1,81–1,51 Ga), agrupadas em associações petrotectônicas: Embasamento Juruena (APEJ), Sequência Supracrustais Juruena (APSSJ), Vulcano- Plutonismo Pós-Juruena (APVPJ) e Sequência Sedimentar Pós-Juruena (APSPJ). As APEJ e APSSJ marcam a geração de arcos magmáticos (1,81–1,74 Ga), enquanto as APVPJ (1,64– 1,53 Ga) e APSPJ (1,74–1,08 Ga) definem eventos pós-orogênicos. Dados aeromagnéticos identificaram o arcabouço estrutural regional definido por três padrões: L0 – anomalias profundas lineares (ENE-WSW), L1 e L2 – anomalias rasas lineares respectivamente com direções NW-SE e NE-SW. As relações de superposição mostram L1 truncando L0 e ambos são interceptados por L2. Estudo geológico-estrutural definiu três estilos estruturais, sendo dois deles com direção NW-SE: 1) D1 - bandamento gnáissico dobrado (anfíbolito superior, 1,52 Ga) e 2) D2 - foliação milonítica e xistosidade geradas sob temperaturas de aproximadamente 350°C (xisto verde, 1,48-1,46 Ga). O terceiro estilo estrutural D3 (ENEWSW a NE-SW) apresenta zonas cataclásticas geradas em temperaturas inferiores a 350°C (baixo xisto verde, 1,32 Ga). Esses estilos deformacionais apresentam relação com os eventos de retrabalhamento da crosta Rondônia-Juruena: a) anomalias magnéticas L0 e estruturação D1 - geradas em evento colisional (1,64 Ga) relacionado à colagem do arco Juruena com a crosta Tapajós-Parima; b) anomalias magnéticas L1 e estruturação D2 - associadas a evento deformacional (1,52 Ga) atribuído a colisão entre os terrenos Tapajós- Parima e Juruena-Jamari; c) anomalias magnéticas L2 e evento deformacional D3 - correlacionadas ao Ciclo Orogênico Sunsás, representado na região pela Orogenia Candeias (1,37–1,32 Ga).

PROSPECÇÃO GEOLÓGICA E GEOFÍSICA DAS OCORRÊNCIAS DE Cu-Fe-P DO TIPO IOCG, BORDA OESTE DO ARCO MAGMÁTICO DE SANTA QUITÉRIA, IPAPORANGA/CE

Cristian Dikson Araujo da Silva

Advisor: Dr. Clovis Vaz Parente (UFC)

106 p. – Master Dissertation – July 29, 2016

ABSTRACT. IOCG deposits attracts much attention from academia and mining companies, because in addition to an interesting mineral association, form high tonnage deposits of Fe-Cu-Au. On the western border of the Santa Quitéria Magmatic Arca there are some ore occurrences of Fe-Cu-P which show similar characteristics to this type of deposit. This dissertation aims to describe the geological characteristics of the ore, and classify the deposit, as IOCG or not, in addition to an assessment of the prospective potential using geological and geophysical data of the magnetometry and induced polarization. Host rocks consist of metarhyolites, metabasalte-andesites, albitized metadiorites and gabros, belonging to the Estreito Unit, which are interspersed with gneisses with garnet and calcissilicates of Canindé unit, both units are cut by biotite granite, diorite porphyritic, whose age remains to be seen. Depending on the host rock and ore type, can be classified occurrences in five distinct types, which can have different genesis: 1) apatite-magnetite ore stratabound; 2) fine-grained isotropic magnetic-apatite ore; 3) disseminated ore and veins in quartz dioritic intrusion hydrothermalized; 4) massive hematite ore; 5) massive magnetite skarn type ore. The geophysical data were of great use to perform the analysis of the prospective potential, since most of the rocks and minerals are covered by unconsolidated sediments of Ibiapaba Sierra. Considering ore types the integrated geophysical methods allowed to select possible areas of concentration of three types of mineralization, according to the following parameters: anomalous high values of chargeability and magnetometry may be related to rocks composed of sulfides disseminated copper and iron with associated magnetite; Anomalous high values of chargeability can only be related to disseminated sulphides bodies of copper and iron nonmagnetic; anomalous high values of magnetometry must be associated only with the presence of polarizable weakly magnetic minerals. The geological characteristics of the five types of mineralization enriched in iron suggest that mineralization are owned there is a magmatic/hydrothermal system IOCG type and skarn. The geophysical 3D environment showed that the induced polarization anomalies have lateral continuity following the preferred direction N-S. There are also massive hematite bodies that are not detectable by geophysical methods because hematite not polarize and is not magnetic, making the area even more interesting there be prospected. To confirm the potential of the study area, an initial drilling campaign is necessary to intercept the main geophysical anomalies, thus identifying anomalous sources

RESUMO. Depósitos do tipo IOCG atraem muita atenção do meio acadêmico e das empresas de mineração, pois além de uma associação mineral interessante, formam depósitos de Fe-Cu-Au de alta tonelagem. Na borda oeste do Arco Magmático de Santa Quitéria existem algumas ocorrências de minério de Fe-Cu-P que se mostram com características semelhantes a esse tipo de depósito. Esta dissertação objetivou descrever as características geológicas desse minério para classifica-lo, ou não, como IOCG, além de fazer uma avaliação do potencial prospectivo utilizando os dados geológicos e geofísicos de polarização induzida e magnetometria. As rochas hospedeiras do minério consistem em metarriolitos, metabasalto-andesíticos, metadioritos albitizados, gabros, pertencentes à Unidade Estreito, que se encontram intercalados com paragneisses com granada e calcissiláticas da Unidade Canindé, recortadas por biotita granito, dioritos porfiríticos, cuja idade resta saber. Em função das rochas hospedeiras e do tipo de minério, pode-se classificar as ocorrências em cinco tipos distintos, que podem ter gêneses distintas: 1) minério magnético-apatítico de aspecto tabular ou stratabound; 2) minério magnético-apatítico, isotrópico, de granulação finas; 3) minério disseminado e em filões em intrusão quartzo diorítica hidrotermalizada; 4) minério hematítico maciço; 5) minério magnético maciço tipo skarn. Os dados geofísicos foram bastante úteis pra realizar a análise do potencial prospectivo, visto que grande parte das rochas e minérios encontram-se recobertos por sedimentos inconsolidados da Serra da Ibiapaba. Considerando os tipos de minério os métodos geofísicos integrados permitiram selecionar possíveis áreas de concentração de três tipos de mineralização, segundo os seguintes parâmetros: 1) valores altos anômalos de cargabilidade e suscetibilidade magnética podem estar relacionados com rochas compostas por sulfetos disseminados de cobre e ferro com magnetita associada; 2) valores altos anômalos só de cargabilidade podem estar relacionados com corpos de sulfetos disseminados de cobre e ferro não magnéticos; 3) valores altos anômalos de suscetibilidade magnética devem estar associados somente com a presença de minerais magnéticos fracamente polarizáveis. As características geológicas dos cinco tipos de mineralizações enriquecidas em ferro levam a crer que são mineralizações pertencentes há um sistema magmático/hidrotermal do tipo IOCG e skarn. A geofísica em ambiente 3D mostrou que as anomalias de IP possuem continuidade lateral seguindo a direção preferencial N-S. Existem ainda, corpos de hematita maciça que não são detectáveis pelos métodos geofísicos, pois a hemaita não polariza e não é magnética, tornando a área ainda mais interessante há ser prospectada. Para confirmar o potencial da área em estudo, é necessário uma campanha de sondagem inicial que intercepte as principais anomalias geofísicas, identificando assim as fontes anômalas

MÉTODOS DE GAUSS-NEWTON PARA PROBLEMAS DE QUALIDADE MÍNIMOS NÃO LINEARES: TEORIA, VALIDAÇÃO NUMÉRICA E APLICAÇÃO EM GEOFÍSICA

Monique Bonfim de Souza

Advisor: Dr. Saulo Pomponet Oliveira (UFPR)

66 p. – Master Dissertation – September 19, 2016

ABSTRACT. Nonlinear programming algorithms are important in solving least squares problems. We have presented a theoretical and computational study of Newton and Gauss-Newton methods by analyzing their characteristics (such as the step size and main assumptions) and convergence. We considered pseudo random search methods, namely the Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo methods, showing examples of construction of one of the low discrepancy sequences (Sobol sequence) used on samples generation of Quasi-Monte Carlo method. We analyzed numerical results of experiments using classical versions of each method and hybrid versions (i.e., combining Quasi-Monte Carlo with the Gauss-Newton methods). The numerical experiments were carried out with a library of objective functions in Fortran programming language proposed by Moré, Garbow, and Hillstom. We compared the results obtained looking at the residual error, number of iterations used, efficiency and robustness in solving classic literature problems, and applied the methods to a seismic inverse problem considering an elastic model for layered media.

RESUMO. Algoritmos de programação não-linear são importantes na resolução de problemas de quadrados mínimos. Neste trabalho apresentamos um estudo teórico e computacional dos métodos de Newton e Gauss-Newton, analisando algumas de suas características, tais como o passo do método, principais pré-requisitos para funcionamento, e a convergência. Abordamos os métodos de busca pseudo-aleatória de Monte Carlo e Quasi-Monte Carlo, e mostramos exemplos de construção de uma das sequências de baixa discrepância (a sequência de Sobol) utilizadas na geração das amostras do método de Quasi-Monte Carlo. Analisamos os resultados numéricos de experimentos com versões clássicas de cada método e versões híbridas (ou seja, métodos que combinam o método de (Quasi-)Monte Carlo com o método de Gauss-Newton). Os experimentos foram realizados com uma biblioteca de funções-objetivo em linguagem Fortran proposta por Moré, Garbow e Hillstom. Comparamos os resultados observando o erro residual, quantidade de iterações utilizadas, eficiência e robustez na resolução de problemas clássicos da literatura, e aplicamos os métodos a um problema de inversão de dados sísmicos considerando um modelo elástico para meios estratificados.

EXPRESSÃO ESTRUTURAL DO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO NA PORÇÃO SUL DA BACIA DO PARNAÍBA

Carla Hemillay de Oliveira Santos

Advisor: Dr. Emanuel Ferraz Jardim de Sá (UFRN)

93 p. – Master Dissertation – March 20, 2017

ABSTRACT. The Transbrasiliiano lineament (LTB) is a NE-SW trending shear zone, with length of over 2,700 km in the Brazilian territory. About 900 km of the LTB occur in the precambrian basement of the Parnaíba Basin (BPar), inferred as a plastic shear zone with dextral strike-slip kinematics, on the basis of geological and geophysical data, as well as field observations in NW of Ceará and eastern Tocantins states. In the basin itself, reactivation of the LTB is expressed at the surface by NE-trending lineaments which correspond to faults or fractures intercepting paleozoic to triassic units of BPar. This dissertation addresses the structural signature and age of reactivations of the LTB in the southern region of the basin, east of Palmas (border region among Tocantins, Maranhão and Piauí states). In the crystalline basement, the dextral kinematics of LTB also displays a late, low temperature stage, probably of Ediacaran-Cambrian age, like observed at Northwest Ceará state. In the BPar lithostratigraphic units, reactivation events under brittle or hydroplastic conditions are recognized. In the studied region, an older event displays a sinistral transcurrent kinematics expressed as NE-trending deformation bands and faults of meso to macroscale, combined with oblique slip structures, either dilatational (including joints and normal faults) or conjugate/antithetic strike-slip or oblique slip-structures. Their orientations range from NNE to NNW, being observed in the Sambaíba, Pedra de Fogo and older formations. SE of Alto Parnaíba (Maranhão State), remarkable flower structures controlling strata-thickening in Pedra de Fogo Formation attest syndepositional tectonic activity during the Neopermian. A second set of structures are extensional joints or oblique slip and normal faults associated with a N/NNE extension, overprinted in the eoJurassic basic rocks of the Mosquito Suite and older units. Volcanogenic sandstones correlated to the Corda Formation overly basic sills south of Lizarda. A third set of structures, characterized by NE-trending normal or normal-oblique slip faults reflect a NW extension also observed along the eastern border of BPar, being correlated to the rifting event in the Brazilian Eastern Margin during the Eocretaceous. Finally, a fourth event, with more restrict occurrence, involves NE extension, being also observed in the Uruçuia Group sandstones, suggesting a Neocretaceous age for both.

RESUMO. O Lineamento Transbrasiliiano (LTB) apresenta direção NE-SW e extensão de mais de 2.700 km em território brasileiro. Cerca de 900 km do LTB ocorrem no substrato pré-cambriano da Bacia do Parnaíba (BPar), inferido a partir de dados geológicos e geofísicos como uma zona de cisalhamento plástica com cinemática transcorrente dextral, feição corroborada nas exposições do embasamento cristalino no NW do Ceará e leste do Tocantins. Na bacia propriamente dita, a reativação do LTB se expressa em superfície como feixes de lineamentos NE que correspondem a falhas ou fraturas, interceptando as unidades paleozoicas a triássicas da BPar. Este trabalho aborda a assinatura estrutural e idade de reativações do LTB na região sul da bacia, a leste de Palmas (região fronteira entre os estados do Tocantins, Maranhão e Piauí). No embasamento cristalino, a cinemática dextral do LTB envolve um estágio tardio com cinemática também dextral de baixa temperatura (dúctil-frágil), com provável idade ediacarana-cambriana, como observado no NW do Ceará. Nas unidades litoestratigráficas da BPar, são distinguidos eventos de reativação em regime frágil ou hidroplástico (fraturas e bandas de deformação). Nesta região de estudo, um evento mais antigo registra uma cinemática transcorrente sinistral expressa principalmente como bandas de deformação e falhas de escala meso a macroscópica, com direção NE, combinadas com estruturas oblíquas, dilatacionais (incluindo juntas e falhas normais) ou conjugadas/antitéticas de rejeito direcional ou oblíquo, com orientações que variam de NNE a NNW, observadas nos litotipos das formações Sambaíba, Pedra de Fogo e mais antigas. A SE de Alto Parnaíba (MA), são destacadas as estruturas em flor que envolvem feições de espessamento de camadas na Formação Pedra de Fogo, atestando atividade tectônica sindeposicional durante o Neopermiano. Um segundo conjunto de estruturas são falhas normais associadas a uma distensão N/NNE, impressas nos corpos básicos de idade eoJurássica da Suíte Mosquito, e unidades mais antigas. Essa suíte magmática é capeada, a sul de Lizarda (TO), por arenitos e conglomerados com seixos das vulcânicas, correlacionados à Formação Corda. Um terceiro conjunto de estruturas, caracterizado por falhas normais ou normais oblíquas com direção NE, registra distensão NW também observada na borda leste/SE da BPar, sendo associada ao evento de rifteamento da Margem Leste brasileira, durante o Eocretáceo. Essas reativações do LTB não afetam o Grupo Uruçuia, uma unidade da Bacia do Espigão Mestre que ocorre na região do Jalapão. Finalmente, um quarto evento, de ocorrência mais restrita, reflete distensão NE e está também registrado em arenitos correlacionados ao Grupo Uruçuia, implicando para ambos uma idade máxima neocretácea.

**ELECTROMAGNETIC CHARACTERIZATION OF CRUSTAL CONDUCTORS
IN PARNAÍBA BASIN, NE BRAZIL****CARACTERIZAÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE CONDUTORES CRUSTAIS
NA BACIA DO PARNAÍBA, NE BRASIL****Flora Ferreira Solon**

Advisor: Dr. Sergio Luiz Fontes (ON)

114 p. – Doctorate Thesis – December 8, 2017

ABSTRACT. Broadband and long period magnetotelluric (MT) data spanning from 0.001 s to 50,000 s were acquired in Parnaíba cratonic basin along one EW profile of approximately 1430 km long. The investigation depth varies from a couple of hundred meters to approximately 100 km, probing the subsurface resistivity structures of the Precambrian crust. Analysis of broadband data and 3D inversion of long period data revealed the presence of different lithospheric blocks bounded by major electrical discontinuities. These lithospheric blocks constitute: a predominantly resistive crust and upper mantle along the western part of the study area, comprising Amazonian craton and western border of Parnaíba basin; a central block characterized by broad highly conductive anomaly extending to upper mantle; and the eastern block characterized by two resistive verticalized anomalies intercalated with a conductive zone. The bulk conductivity increase in the crust beneath the central part of the Parnaíba basin is unexpected for a cratonic basement. Our results support that this is due to the impregnation of the lithosphere by conducting minerals related to tectonic events involving either the Brazilian orogenic processes or to dispersed magmatic residues associated with the continuous igneous intrusions that occurred during the Triassic and Cretaceous.

RESUMO. Dados magnetotelúricos (MT) do tipo banda larga e longo período foram adquiridos na bacia do Parnaíba ao longo de um perfil EW de aproximadamente 1430 km de extensão. A profundidade de investigação variou entre algumas centenas de metros até aproximadamente 200 km, o que compreende as estruturas da crosta Precambriana em subsuperfície. A análise dos dados de banda larga e a inversão 3D de dados de longo período revelaram a presença de diferentes blocos crustais limitados por grandes descontinuidades elétricas. Estes blocos litosféricos constituem: uma crosta inferior e manto superior basicamente resistivos ao longo da região oeste do Perfil, que compreende o craton Amazônico e a borda ocidental da bacia do Parnaíba; um bloco central caracterizado por uma ampla anomalia condutiva na crosta que se estende para o manto superior; e o bloco oriental caracterizado por duas anomalias verticalizadas resistivas, intercaladas com uma zona condutiva. O aumento da condutividade regional na crosta abaixo da parte central da bacia do Parnaíba é inesperado para um embasamento cratônico. Nossos resultados sugerem que as anomalias condutivas crustais estão relacionadas a impregnação da litosfera por minerais condutivos associados aos eventos tectônicos que envolveram os processos orogênicos Brasileiros ou às intrusões ígneas contínuas ocorridas durante o Triássico e Cretáceo.