

**André Fornari**

**Orientador: Dr. Alfonso Schrank**

**Data: 27/11/1998**

**Geologia e metalogênese da porção meridional do Cráton Luís Alves**

**Resumo:** No Cráton Luís Alves, forma identificados dois conjuntos litológicos. Um primeiro, composto pelas Associações Máfico-ultramáfica, Enderbítica e Metassedimentar que sofreu metamorfismo em fácies granulito. O segundo, composto pela Suíte Alcalina Braço do Gavião, Suíte Granítica Pomerode e por diques de hornblenditos, posterior ao evento metamórfico granulítico. A porção ígnea que sofreu metamorfismo de alto grau possui uma bimodalidade composicional: a Associação Máfico-Ultramáfica representa parte de um Complexo Máfico-Ultramáfico estratificado e teve sua evolução por cristalização fracionada de um magma toleítico, enquanto que a Associação Enderbítica, provavelmente, teve sua evolução a partir da fusão parcial de rochas máficas. No Cráton Luís Alves foram identificados três eventos deformacionais bem marcantes: o primeiro, cisalhante dúctil, é definido por uma deformação progressiva desde condições de fácies granulito até anfibolito, com direções de foliação variando de N30°E a N40°W. Os mergulhos são variáveis com predomínio para NW. As lineações de estiramento mineral possuem caimentos de 30° até subverticais, com um azimute preferencial para 310°. O segundo evento deformacional ocorre, em faixas de dois metros de largura, no máximo. Sua direção varia de E-W até N30°W com mergulhos de 40°NW até subverticais. O terceiro evento deformacional possui caráter rúptil, sendo representado por zonas de falhamentos e fraturamentos com direções preferenciais NNE e N-S. A temperatura do metamorfismo granulítico ficou balizada em torno de 800 °C utilizando-se o geotermômetro de Berman (1988) e as estimativas de pressão, utilizando-se métodos gráficos, com curvas experimentais, situaram-se em torno de 5 e 6 kbar. A partir das características observadas na região, tais como: bimodalidade composicional, encurtamento crustal e intercalações tectônicas, sedimentos transportados para

a crosta média/inferior e amplo predomínio de enclaves de natureza máfica, sugerimos a junção dos modelos de hot spot e de subducção intra-continental para explicar esta diversidade de características.

No Complexo Granulítico de Santa Catarina, á semelhança com outros complexos máfico-ultramáficos do mundo, como Bushveld, por exemplo, os magnetitos estão mineralizados em titânio e vanádio ou representam minérios de vanádio.

**Abstract:** in the Luis Alves Cráton, there are two litological groups. The first is composed of mafic-ultramafic associations, enderbites, and metasedimentary units that have undergone granulite facies metamorphism. The second group is made up of the Braço do Gavião Alkaline Suite, Pomerode Granitic Suite, and hornblendites dikes, postdating the granulite metamorphic event. The igneous sequences, that suffered high grade metamorphism, possess a bimodal composition: the maficultramafic association represents part of a layered complex which evolved by fractional crystallization of a tholeiitic magma, while the enderbite association probably formed by partial melting of mafic rocks. In the study area three deformational events could be identified. The first event developed ductile shear zones, and is characterized by a progressive deformation from granulite facies to amphibolite facies conditions, with a strike varying from N30°E to N40°W. The dip of foliation is variable with predominance to NW. The stretching mineral lineations dips 30° to subvertical, with a preferential azimuth of 310°. The second deformational event has left its mark in strips of two meters width, at the most. Its direction varies of E-W to N30°W with a plunge of 40°NW to subvertical. The third event is brittle in character, being represented by fault zones and fractures with preferential directions NNE and N-S.

The temperature of the granulite metamorphism was estimated around 800 °C after the method of Berman (1988), and the pressure was estimated graphically at 5 to 6 kb, based on experimental curves from the literature. From the characteristics observed in the area, such as bimodal

composition, crustal shortening and tectonic mixing, sediments transported to middle and lower crust, and wide prevalence of mafic enclaves, we suggest a combination of the hot spot and intra-continental subduction models to explain this diversity of characteristics. As in mafic-ultramafic complexes of the world, e.g. Bushveld, the magnetitites in the Santa Catarina Granulite Complex are mineralized in titanium and vanadium and are potential vanadium ores.

**Antonio Carlos Pinheiro**  
**Orientador: Dr. Archimedes Perez Filho**  
**Data: 09/12/2003**

**Trajatória Da Pesquisa Acadêmica Sobre O Ensino De Geografia No Brasil 1972 – 2000.**

**Resumo:** Esta tese desenvolve um estudo analítico-interpretativo da trajetória da pesquisa sobre o ensino de Geografia no Brasil por meio das pesquisas acadêmicas realizadas sob a forma de dissertações e teses, apresentando o levantamento, a sistematização, a análise e a interpretação da produção acadêmica no contexto dos cursos de pós-graduação instituído com a reforma universitária de 1968 pelo Ministério de Educação. Para o estudo, foram levantadas 197 pesquisas, sendo 171 dissertações de mestrado e 26 teses de doutorado, defendidas em 37 universidades brasileiras no período de 1972 a 2000. Apresenta quadro das tendências em relação: a distribuição geográfica dos trabalhos, aos níveis escolares, as linhas de pesquisas, as diversas orientações teórico-metodológicas existentes nas investigações, aos gêneros de trabalhos acadêmicos e aos focos temáticos principais. Caracteriza-se como uma Pesquisa Bibliográfica e Documental, compreendida como gênero de trabalho acadêmico resultante da combinação de propostas metodológicas conhecidas como, “estado da arte”, do “estado atual do conhecimento”; além da “Pesquisa de Análise de Conteúdo” e da “Pesquisa Documental”. A Pesquisa Bibliográfica e Documental busca inventariar, sistematizar e avaliar a produção em determinada área do conhecimento, implica na identificação de trabalhos produzidos na área, na seleção e classificação dos documentos

segundo critérios e categorias estabelecidas em conformidade com os interesses e objetivos do pesquisador, na descrição e análise das características e tendências do material e na avaliação dos seus principais resultados.

**Abstract:** This thesis presents an analytical and interpretative study on the academic research about the teaching of geography in Brazil through the inventory, systematization, analysis and interpretation of the academic production within the post-graduate courses instituted along with the reform of universities set by the Brazilian Ministry of Education in 1968. The thesis is focused on 197 studies – 171 master dissertations and 26 doctoral theses – carried out in 37 Brazilian universities from 1972 to 2000. This thesis presents a picture of tendencies related to: geographical distribution of the studies, the lines of research, the variety of theoretical and methodological approach, the genres and the main themes. The present research may be characterized as a bibliographical and documental research and understood as belonging to the scope of the academic genre which has been combining methodological propositions generally known as “state of art”, “present state of knowledge”, “analyses of contents research” and “documental research”. This kind of study aims to systematize and to evaluate the academic production within a specific field of knowledge through the identification, selection and classification of those production according to some criteria and objectives which have been established by the researcher, in the description and analyses of the characteristics and tendencies of the material and in the assessment of the considered most important results.

**Antônio Cezar Leal**  
**Orientador: Dr. Hildebrando Herrmann**  
**Data: 26/06/2000**

**Gestão das águas no pontal do Paranapanema – São Paulo**

**Resumo:** A nova forma de gestão das águas constituiu a motivação para a realização desta pesquisa, desenvolvida com o objetivo principal de melhor

compreender a política e o sistema de gerenciamento de recursos hídricos que vêm sendo implantados no Brasil e no estado de São Paulo, particularmente no Pontal do Paranapanema. Buscou-se compreender como a gestão das águas em bacias hidrográficas pode constituir uma oportunidade de intervenção e resolução da degradação ambiental e como o Comitê das Bacias Hidrográficas do Pontal do Paranapanema (CBH-PP) pode vir a se constituir em um fórum ambiental. Abordam-se pressupostos básicos sobre a gestão dos recursos hídricos, incluindo conceitos, princípios, modelos, instrumentos de gestão e a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento. Analisam-se as Políticas e os Sistemas Nacional e do Estado de São Paulo de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema é estudada destacando-se suas características naturais e sociais e a questão hídrico-ambiental. Apresenta-se a estrutura e o funcionamento do Comitê das Bacias Hidrográficas do Pontal do Paranapanema e uma análise de suas principais ações voltadas ao planejamento, à recuperação das águas e Educação ambiental. Apresenta-se propostas para a gestão das águas no Pontal do Paranapanema. Como resultado da pesquisa, o presente trabalho objetiva ser um instrumento didático e sinalizador de caminhos para os que pretendem compreender e vivenciar o novo sistema de gestão de recursos hídricos e confluir suas lutas em defesa das águas.

**Abstract:** The new form of water management constitutes the motivation for this research, which was developed in order to study the Police and water resources management system that are being implemented in Brazil and in São Paulo State, specially in one of its regions named Pontal do Paranapanema. There was an attempt to understand how the water management in river basins may become an opportunity to modify and solve the environmental degradation problem and how the Pontal do Paranapanema River Basins Committee (CBH-PP) may become an environmental forum. In this work, the basic framework about water

resource management was discussed, including the concepts, principles, models, management instruments and the river basin as a unit of planning and managing. The unit of management of water resources of the Pontal do Paranapanema area was studied with emphasis on its natural and social characteristics as well as the hydro-environmental issue. It was studied the structure and functioning of the CBH-PP and its main actions aimed at planning, water recovering and environmental education. Some proposals are also offered for the water management of Pontal do Paranapanema. As a result of the research, this present work aims at being a teaching instrument and a direction of ways for those who intend to understand and live the new management system of water resources and help fight for water defense.

**Antonio Cruz Vasques**

**Orientador: Dr. Hildebrando Herrmann**

**Data : 21/11/2002**

**Modelagem organizacional de um instituto de preparação para estiagem no Estado do Ceará, com ênfase na dessalinização de água subterrânea**

**Resumo:** Como ofertar água de boa qualidade para as pequenas comunidades da zona rural do estado do Ceará? No período de estiagens, com a redução drástica do estoque de águas superficiais, as pequenas comunidades da zona rural dispõem de apenas duas fontes de suprimentos: o carro-pipa ou a água subterrânea disponível em milhares de poços existentes. Com a salinização da maioria dos poços e água do carro-pipa sem certificação de qualidade, essa parcela substancial da população cearense é abastecida com água sem as mínimas condições de potabilidade. A pesquisa empreendida busca responder a pergunta central através da dessalinização por osmose reversa. É estudada detalhadamente a infra-estrutura de capacitação de água subterrânea, demonstrada a alta salinidade dos aquíferos, definida a população-alvo da pesquisa e ações mitigadoras para os

rejeitos da dessalinização. É relatada a pioneira experiência cearense de implantação de dessalinizadores moveis durante a grande seca de 1998, em substituição ao carro-pipa, demonstrando-se a sua visibilidade. É minuciosamente pesquisada a legislação internacional e brasileira sobre água subterrânea, elaborando-se a minuta da lei de recursos hídricos subterrâneos do Ceará. Define-se o modelo gerencial de um programa de dessalinização, objetivo desta pesquisa, com ênfase na sua re-formatação contínua, para consolidar-se, a médio e longo prazo, em uma instituição formalmente constituída sob um enfoque moderno e inovador do modelo de preparação para estígio, já adotado por países desenvolvidos.

**Abstract:** How to endow with high quality drinkable water the small countryside villages placed innermost the Semi-Arid Brazilian States, located in the North-eastern part of the Country? The drought period is noticeable by a drastic reduction in the amount of surface water and the phenomenon can last for some years. This being the case water supply can only be accomplished either by means of lorry containers or by pumping out from the existing thousand of underground water wells. So, what is the problem relating to water supply to the Brazilian rural areas? The answer is very simple: far more than 50% of the water well drilled in the Semi-Arid region springs up water unsuitable either for human or animal consumption - the rate of dissolved salt exceed 500 mg/l. The World Health Organization recommended rate is lesser than this measure. To alleviate the social problems resulting from this fact which cause a serious people migration from rural to urban areas, the public sector has been developing a programme of water desalination by means of osmosis technology. The present work makes an attempt to analyze a desalination programme to the State of Ceara, a typical Brazilian Semi-Arid North-eastern State. It is worth to highlight the present work dissimilar practicality insight. Further than considering droughts as a random meteorological phenomenon, it is taken as a cyclical event, thus requiring a managerial

programme to meet the next cycle of emerging demands.

**Arno Luís Bertoldo**

**Orientador: Dr. Newton Muller Perreira**

**Data : 27/11/2000**

**Avaliação das atividades de levantamento geológico e dos servidores geológicos nacionais: uma abordagem comparativa internacional**

**Resumo:** As atividades científicas e tecnológicas de levantamento geológico, ou mapeamento geológico, provêem as informações necessárias ao aproveitamento dos recursos minerais, energéticos e hídricos, à prevenção de catástrofes naturais e à proteção do meio ambiente. Essas atividades são altamente especializadas e interpretativas, não se restringindo a uma simples coleta de dados. A sua execução, em todo o mundo, está a cargo de órgãos públicos normalmente denominados "serviços geológicos" (*geological surveys*). Este trabalho discute, e analisa comparativamente, os mecanismos de avaliação das atividades de levantamento geológico utilizados nos serviços geológicos (SGs) nacionais da Inglaterra, Estados Unidos, Canadá, França, Finlândia, África do Sul, Austrália e Brasil, bem como os programas de avaliação a que foram submetidas essas organizações. Do mesmo modo que outras atividades científicas e tecnológicas, as atividades de levantamento geológico são complexas e difíceis de serem avaliadas. Enquanto os institutos de pesquisa europeus começaram a ser submetidos a programas de avaliação no final dos anos 70, os SGs começaram a ser avaliados no final da década de 80, embora a maioria tenha efetivamente se realizado na década de 90. A iniciativa para a avaliação dos SGs tem procedido do governo federal, ministérios e/ou agências de políticas públicas de mais alto nível hierárquico, isto é, de fora pra dentro e de cima pra baixo da corporação. Na esteira dos processos avaliativos tem-se observado a constante reestruturação dos SGs, adequando-se à nova realidade e demandas sociais. Uma recomendação comum desses programas de avaliação tem sido o estabelecimento ou o revigoramento e a ampliação dos

Conselhos de Administração ou Conselhos de Assessoramento, e de Comitês de Assessoramento, com a participação de representantes do setor privado, das universidades e das outras agências governamentais. A avaliação específica das atividades de levantamento geológico também é uma prática recente que os SGs de países desenvolvidos iniciaram no final da década de 80, e ainda está em plano de desenvolvimento. Os mecanismos e processos utilizados, como o sistema de revisão por pares e o estabelecimento de conselhos e comitês de assessoramento são essencialmente qualitativos. O estabelecimento de conselhos e comitês de assessoramento, incluindo a participação de clientes, parceiros e usuários, no planejamento, monitoramento e avaliação dos programas e projetos, constitui uma tendência atual e futura do gerenciamento dos SGs que se aproxima do princípio básico do Gerenciamento da Qualidade Total – o cliente é quem determina a qualidade. A existência de SGs regionais, conselhos e comitês de assessoramento, bem como de associações de produtores minerais e de petróleo, ou de entidades como a Associação americana de Geólogos Estaduais, interagindo com os SGs nacionais, caracteriza uma densa trama de relações sociais. Essa teia de relações sociais é bem evidente com os SGs de países desenvolvidos, como o *United States Geological Survey*, o *Geological Survey of Canada* e o *Australian Geological Survey Organisation*, enquanto que em SGs de países em desenvolvimento, como o *Council for Geoscience* (África do Sul) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), ela se mostra incipiente.

**Abstract:** The scientific and technical activities of geological survey, or geologic mapping, provides the necessary information to exploitation of mineral, energetic and water resources, to prevention of natural hazards and to protection of the environment. These activities are not a simple data collection task but a highly specialized and interpretative work. All over the world, its execution has been done by public agencies normally called "geologic survey".

This work discussed and comparatively analyzes the evaluation mechanisms of the geologic mapping activities currently adopted by the national geological surveys (GSs) of England, United States, Canada, France, Finland, South Africa, Australia and Brazil, and also the evaluation programs which these organizations have been submitted. In the same way as other scientific and technological activities, the geological surveys activities are complex and very hard to be evaluated. While European research institutions began to be evaluated in late 70's, the GSs started to be evaluated in 80's, however most of the evaluation programs were established in the 90-decade. The initiative for the evaluation/review of the GSs has been arisen from government or agencies of public policies at high level hierarchy, i.e., from top to bottom, and from outside to inside the corporation. On the trail of the evaluation programs the GSs organizations have been restructured to be adapted to new reality and social demands. One common recommendation of these evaluation programs has been to establish or to strengthen a Board, Advisory Councils or Advisory Committees with representatives from the private sector, universities and other governmental agencies.

The specific evaluation of the geologic mapping activities is also a recent practice that the GSs of developed countries started in the late 80's in which steel is under way. The mechanisms and processes utilized, such as peer review process, and the establishment of advisory councils or advisory committees, are essentially qualitative.

The establishment of advisory council and/or advisory committees including representatives from the clients, users and stakeholders, in the planning, monitoring and evaluation of the geologic surveys projects and programs, constitutes a current and future trend in the management of the GSs organizations that approaches to the first primary tenet of the Total Quality Management – the customer is the ultimate determiner of quality. The presence of regional GSs, advisory councils/committees, universities, as well as associations of mineral and oil producers, or entities, as the American Association of States Geologists, in interaction with national GSs, characterize

the existence of a heavy net of social relationship. This “social network” is clear in GSs of developed countries, while in GSs of developing countries like Council for Geoscience (South Africa) and Geological Survey of Brazil (CPRM) this social network may be considered incipient.

**Carla Maria Mendes Lacerda**

**Orientador: Dr. Elson Paiva de Oliveira**

**Data: 21/11/2000**

**Evolução Estrutural E Petrogenética Do Domo Granodiorítico De Ambrosio, Bahia: Implicações Para O Mecanismo De Colocação**

**Resumo:** O Domo de Ambrósio corresponde a um corpo elíptico com 40 Km de comprimento na direção N-S e largura variável que pode atingir até 8 Km. Este pluton encontra-se encaixado na seqüência vulcano-sedimentar paleoproterozóica do Greenstone Belt do Rio Itapicuru. Trabalhos de mapeamento litoestrutural no domo permitiu a identificação de três suites ígneas. i) ortognaisses com composição granodiorítica a tonalítica; ii) granodioritos equigranulares médio a fino e porfíricos e monzogranito e iii) diques graníticos, pegmatíticos e aplíticos e veios de quartzo. Além destes litotipos o domo é caracterizado pela presença de afloramentos contínuos de gnaiss migmatítico e de granitóides indiferenciados que são representados por granitos, granodioritos e migmatitos. Esses litotipos mostram relações de campo complexas que podem ser demonstradas por contatos gradacionais a bruscos. Além disso foram identificados dois eventos de deformação resultantes de um esforço compressivo NWSE. O primeiro evento (En) caracterizado como de empurrão, gerou lineações do tipo down-dip, principalmente identificadas na margem ocidental do pluton e em suas rochas encaixantes. O segundo evento (En +1), caracterizado por uma tectônica transcorrente sinistral mascara quase inteiramente o evento anterior. Neste evento foram identificadas três fases de deformação progressivas: i) a primeira foi responsável pela nucleação de elementos

planares gerados em estado sólido e magmático que possuem orientação Norte-Sul e mergulhos fortes a moderados, além de lineações subhorizontais; ii) a segunda foi responsável pela colocação de diques graníticos e pegmatíticos e iii) a última nucleou dobras com superfícies axiais verticais e eixos subhorizontais paralelos à direção da lineação mineral e ou de estiramento. O caráter sin-tectônico do pluton ao evento de deformação En +1 é marcado por: i) desenvolvimento de tramas miloníticas (Sm +1) nas bordas concordantes com o acamamento magmático na porção central (Smg +1); ii) paralelismo entre as lineações de estiramento de quartzo, com as lineações minerais ígneas nas porções centrais; iii) concordância entre estruturas do tipo SC nas bordas do domo definidas por ribbons de quartzo e palhetas de biotita paralelas às definidas por biotitas primárias em regiões centrais; iv) tramas oblíquas em acamamento schlieren concordantes com as tramas em estados sólido em diques pegmatíticos; v) idade de cristalização do pluton (2080 Ma U/Pb em zircão e xenotímio) concordante com a idade de metamorfismo regional (2080 Ar-Ar em hornblenda) vi) desenvolvimento de microtexturas em estado magmático que gradam para submagmático e para deformação em estado sólido em alta temperatura; a microtextura em estado magmático é caracterizada pelo acamamento de minerais primários, com forma euédrica e que exibem pouca evidência de deformação plástica vii) segregação magmática representada por leucossomas (ou acamamento schlieren) paralelo à trama planar em estado sólido de alta temperatura; viii) refração da foliação em estado sólido de gnaiss hospedeiro em relação à do dique (estado magmático) e ix) apófises de diques que apresentam trama magmática concordante com a de estado sólido no gnaiss hospedeiro.

Ressalta-se que estudos microtexturais no domo associados com os de petrotrama em eixo-c em quartzo permitiram estabelecer um limite de temperatura para nucleação das estruturas entre 650 e 750°C. Geocronologia U/Pb (em zircões e xenotímio) permitiram definir uma idade mínima de cristalização de 2080Ma para o domo. Além disto a presença de zircões

herdados indicam a participação do embasamento na gênese do pluton. Por outro lado, os dados isotópicos de Nd mostram idades modelos entre 3059 e 2586Ma e valores de ENd(20so) negativos entre -10,67 e -4,35 indicando contribuição da crosta mais antiga na gênese das rochas ígneas do domo. A presença de gnaisses migmatíticos no domo com idades TDM de 3059 Ma corroboram esta suposição. O envolvimento de fontes juvenis e crustais na geração do Domo de Ambrósio pode ser deduzido de diagramas de classificação geotectônica baseado na distribuição de elementos traços. Nestes, as amostras do domo distribuem-se no campo de granitóides sin-colisionais (Syn-COLG) e de arcos (VAG) herdando a assinatura geoquímica de seus protólitos. Os dados geoquímicos permitem também classificar o domo como granitóide do tipo I, cálcio-alcálico com tendência peraluminosas a metaluminosas. Outras características do pluton são: i) a falta de xenólitos das rochas supracrustais encaixantes, ii) ausência de lineação de alto ângulo associada com ascensão diapírica e iii) presença de diques, leucossomas em migmatitos e acamamento schlieren que mostram que parte da fusão pode ter migrado em direção paralela ao acamamento. Estas características reforçam que a propagação do magma na forma de diques pode ter sido um mecanismo eficiente no transporte de material.

Além disso, considerando: i) que as lineações do tipo down-dip, associadas com o evento En, encontram-se impressas em fácies mais antiga do pluton; ii) que existe um paralelismo entre os elementos planares e lineares no domo e rochas encaixantes, gerados no evento En+1; iii) o desenvolvimento de zonas de cisalhamento nas bordas oeste e leste do domo e iv) a propagação lateral do magma, representada por leucossomas estromatíticos e acamamento schlieren; foi proposto um modelo de colocação para o Domo de Ambrósio envolvendo um escape tectônico lateral de direção norte sul, gerado durante a mudança da tectônica do tipo oblíqua para transcorrente. Ressalta-se que a tectônica oblíqua poderia ter promovido o espessamento crustal e o início de refusão por parte do embasamento envolvido e que a

transcorrência geraria o espaço e controlaria a movimentação para a instalação do pluton.

**Abstract:** The Ambrosio Dome is a 40 km long, up to 8 km thick elliptical body emplaced into volcanic-sedimentary rocks of the Palaeoproterozoic Rio Itapicuru greenstone belt. Geologic mapping of the dome allowed us to distinguish three main igneous suites, namely (i) granodioritic to tonalitic orthogneisses, (ii) monzogranite and porphyritic to equigranular granodiorites, and (iii) granitic-, pegmatitic and aplitic dykes, and quartz veins. In addition to these rock units, the dome comprises large domains of migmatitic gneisses, migmatites and undifferentiated granites to granodiorites, with complex field relationships. The region underwent two events of deformation of NW-SE direction. The first (En) is a low-angle thrust which is marked by down-dip stretching lineations on the western border of the dome and its country-rocks. The second one (En+1) is a left-sense transcurrent tectonics that wipe out most of the early structure. This event comprises three progressive deformation phases with the following characteristics: (i) the first was responsible for the development of N-S oriented, high- to moderate dipping, solid-state and magmatic planar structures, as well as subhorizontal mineral lineations; (ii) the second is marked by the intrusion of granitic and pegmatitic dykes, (iii) whereas the third is illustrated by folds with subhorizontal axis paralleling the stretching and (or) mineral lineations. The Ambrosio dome was emplaced syn-tectonically during the second deformation event (En+1) as evidenced by (i) widespread mylonitic foliation and stretching mineral lineations at the dome edges parallel both magmatic layering and mineral lineations on the dome centre, (ii) s-c relationships of biotite and quartz ribbons observed on the dome margin are identical to those in magmatic biotite of the dome central portion, (iii) oblique fabric of schlieren layering are concordant with solid-state fabrics of pegmatitic dykes, (iv) the emplacement age (2,080 Ma, U-Pb on xenotime) of granitic rocks of the dome is consistent with the metamorphic age (2,080 Ma, ArAr on hornblende) of host-rock amphibolite, (v) changes of magmatic textures into

subsolidus ones ate hightemperature, (vi) magmatic segregation (leucosome or schlieren layering) parallel to solid-state foliations, (vii) foliation refraction from host-gneiss into granite dyke, and (viii) and dyke off shoots with magmatic fabric paralleling solid-state structures of the host gneiss. Furthermore, petrofabric studies of quartz c-axis on several rocks of the Ambrosio dome yielded a temperature range of 650-750 °C for planar structures nucleation. The crystalization age of rocks from the Ambrosio dome (2,080 Ma) coupled with inherited zircons (up to 3,160 Ma), Nd model ages between 3,059-2,586 Ma and negative epsilon Nd values (-10.67-4.35) indicate a significant contribution of older, basement rocks in the genesis of the dome. Whole-rock major and trace element geochemistry reflects a syn-collisional to volcanic arc signature, which is interpreted as inherited mostly from the basement protoliths. The presence of dykes, migmatite leucosomes and schlieren layering paralleling the major N-S axis of the dome, as well as the existence of left-lateral shear zones on both eastern and western margins of it, and the lack of high-angle lineations usually associated with diapiric ascent of magmas, strongly support a model of dome formation during the escape tectonics that followed a regional shortening from NW to SE.

**Carlos Humberto Tapia Calle**  
**Orientador: Dr. Álvaro Penteadó Crósta**  
**Data: 19/11/2002**

**Estudo de mineralizações de tipo Cuprífero do sul do Peru por meio de sensoriamento remoto e aeromagnetometria.**

**Resumo:** Os Andes são conhecidos por hospedarem um grande número de depósitos minerais, dentre os quais se destacam os do tipo cobre pórfiro. Este é o caso da porção sul do Peru, onde se localizam três dos mais importantes depósitos deste tipo: Cuajone, Quellaveco e Toquepala. Estes depósitos estão localizados dentro do Oróclino da Bolívia, inseridos nos domínios da zona de cisalhamento de Incapuquio, feição estrutural que controla esse conjunto de mineralizações, que possuem idades em

torno de 60 Ma. Este trabalho fez uso de dados aerogeofísicos (magnetometria) regionais, imagens multiespectrais orbitais de sensoriamento remoto e dados de espectrometria de refletância para caracterizar, regional e localmente, as mineralizações de cobre pórfiro do Sul do Peru. O objetivo do trabalho foi o de contribuir para o entendimento das características geológicas destes depósitos e o de avaliar a extração de informações a partir de dados de sensoriamento remoto e aerogeofísica, que possam auxiliar nos trabalhos de exploração regional. A análise dos dados geofísicos (aeromagnéticos) indica o posicionamento das áreas mineralizadas em zonas controladas por estruturas distensionais de direção E-W, associadas à tectônica transpressiva regional, de direção NW-SE. As mineralizações posicionam-se numa crosta continental de 60 km de espessura, estando associadas a valores de intensidade magnética entre 0-70nT, aqui interpretados como sendo ocasionados pela perda de magnetização dos minerais constituintes das rochas devido a processos de aquecimento por intrusões ígneas e por esforços tectônicos. O emprego de imagens multiespectrais de sensores remotos propiciou a caracterização espectral dos halos de alteração hidrotermal associados aos depósitos de cobre pórfiro, revelando um zoneamento dos minerais que os compõem. Possibilitou ainda a identificação uma área com assinatura espectral muito semelhante às zonas mineralizadas, denominada de Alvo Sul. Para tal, foram utilizadas técnicas de processamento que permitiram a extração da informação espectral relacionada às assembléias minerais típicas de alteração hidrotermal dos tipos filica e argílica, apesar da reduzida resolução espectral do Landsat-TM. A espectrometria de refletância na porção do espectro infravermelho de ondas curtas possibilitou a identificação detalhada dos minerais produzidos pelos processos de alteração hidrotermal. Este é o caso da ilita tipo 2M, cuja resposta espectral serviu como indicador do zoneamento da alteração do depósito de Quellaveco. Os resultados obtidos atestam a importância e a viabilidade do uso integrado de dados de sensoriamento remoto multiespectral e



aerogeofísicos de baixa resolução na definição de áreas potenciais para mineralizações do tipo cobre pórfiro na região Andina.

**Abstract:** A large number of mineral deposits are known in the Andes, including Cu-porphyry deposits. Among these, Cuajone, Quellaveco and Toquepala are some of the most important in the southern portion of Peru. They are located in the domain of the Bolivian Orocline, within the Incapuquio shear zone, a structure that controls the mineralization, of about 60 Ma. Airborne magnetic data, multispectral remote sensing images and reflectance spectroscopy were employed in order to characterize the Cu-porphyry deposits of southern Peru. The objective was to contribute toward the understanding of the geological characteristics of these deposits and to assess the use of remote sensing and low resolution geophysical data for regional exploration in the Andes. Airborne geophysics indicated that distensional structures of E-W direction control the occurrence of ore bodies, in association with the regional transpressive tectonics in the NW-SE direction. The mineralization occur on a continental crust 60 km deep, associated with magnetic intensities in the range 0-70 nT, which are interpreted as being caused by the loss of magnetization by ferromagnetic minerals due to heating processes linked to the emplacement of igneous intrusions and tectonic movements. The use of multispectral remote sensing data led to the spectral characterization of hydrothermal alteration haloes associated with the Cu-porphyry deposits, revealing their mineral zoning. It also enabled the identification of a spectrally anomalous area, very similar to the mineralized ones, hereby named Alvo Sul. To achieve these results, image processing techniques were employed in order to extract the spectral information related to the mineral assemblages typical of hydrothermal alteration processes, such as phyllic and argillic, despite the low spectral resolution of Landsat-TM. Reflectance spectroscopy in the SWIR allowed the detailed identification of minerals produced by hydrothermal alteration, such as illite 2-M, that was useful as an indicator of alteration zoning in the Quellaveco deposit. The results

obtained testify the importance and viability of the integrated use of airborne geophysical data and remote sensing in order to define potential areas for Cu porphyry in the Andes.

**Catarina Labouré Benfica Toledo**

**Orientador: Dr. Asit Choudhuri**

**Data : 20/11/2002**

**Evolução geológica das rochas máficas e ultramáficas no *Greenstone Belt* Barbacena, Região De Nazareno, MG**

**Resumo:** A região de Nazareno está localizada na borda meridional do Cráton do São Francisco e inclui rochas de origem plutônica, vulcânica e sedimentar, arqueanas a mesoproterozóicas, retrabalhadas por eventos termo-tectônicos subseqüentes. Dois conjuntos distintos de rochas máficas e ultramáficas ocorrem nesta região. O primeiro representado por metavulcânicas de filiação komatiítica e toleítica, pertencentes ao *Greenstone Belt* Barbacena, e o segundo caracterizado por corpos máfico-ultramáficos diferenciados encaixados nessa sucessão vulcano-sedimentar. O presente estudo pretende caracterizar e reconstruir a história evolutiva desses conjuntos de rochas máficas e ultramáficas. As rochas pertencentes à sucessão vulcano-sedimentar estão distribuídas em duas faixas irregulares com direção NE-SW, Faixa Nazareno e Faixa Rio das Mortes, delimitadas por granitóides paleoproterozóicos intrusivos. As rochas de filiação komatiítica são depletadas em alumínio e apresentam características químicas semelhantes às ocorrências clássicas de komatiitos do tipo ADK, com valores de  $Al_2O_3/TiO_2 < 20$ , razões entre Ti, Zr, Sc distintas das razões condriticas e depleção de ETR pesados, sugerindo uma origem a partir de plumas mantélicas profundas, geradas entre 450 e 650 km. As rochas de filiação toleítica apresentam características transicionais entre E-MORB e N-MORB e são semelhantes aos basaltos de *plateaus* oceânicos, formados por plumas mantélicas em ambiente intraplaca. Associados às faixas vulcano-sedimentares ocorrem quatro corpos máfico-ultramáficos diferenciados, lenticulares e isolados, que apresentam

proporções variáveis de termos máficos (metagabros e anfibolitos) e ultramáficos (metaperidotito e metapiroxenito). Apesar do metamorfismo e deformação, as feições texturais originais indicativas de protólitos magmáticos plutônicos diferenciados, tais como texturas cumuláticas e acamamento ígneo, encontram-se ainda preservadas. Os padrões de ETR destes corpos são semelhantes aos dos complexos estratiformes clássicos, sugerindo cristalização em ambiente anorogênico. A região foi afetada por pelo menos três eventos termo-tectônicos,  $D_{n-1}$ ,  $D_n$  e  $D_{n+1}$ . O mais antigo, possivelmente arqueano, desenvolveu-se em condições de fácies anfibolito inferior ( $M_1$ ) e seus registros estão impressos nas rochas da sucessão vulcano-sedimentar. O evento de deformação principal ( $D_n$ ) gerou as feições tectônicas penetrativas da área, registradas tanto na sucessão vulcânica quanto nos corpos máfico-ultramáficos diferenciados. Este evento se processou em condições de fácies anfibolito inferior a médio ( $M_2$ ) e representa a primeira manifestação do Evento Transamazônico na região. A fase  $D_{n+1}$  afetou todas as rochas da região e se desenvolveu em condições de fácies xisto verde superior ( $M_3$ ). Ela pode representar a segunda manifestação do Evento Transamazônico ou estar relacionada à Orogênese Brasileira. A evolução geológica proposta para essas rochas envolve a deposição da sucessão vulcano-sedimentar em ambiente de *plateau* oceânico; colagem e acreção desse *plateau* em uma margem continental; intrusão de corpos máfico-ultramáficos em ambiente anorogênico; deformação e metamorfismo dessas seqüências durante o Evento Transamazônico, acompanhado pela intrusão de vários corpos granitóides e dioritos associados ao magmatismo do Cinturão Mineiro; e reativação de estruturas mais antigas durante o Evento Brasileiro. A idade do ponto de partida desta evolução ainda não está definida, visto que não existem dados geocronológicos acerca da sucessão vulcano-sedimentar. A idade mínima é balizada pela idade do Trondhjemito Cassiterita ( $2.162 \pm 10$  Ma), intrusivo nos corpos máfico-ultramáficos e em suas encaixantes.

**Abstract:** The study area is located at the southern border of the São Francisco Craton and shows plutonic, volcanic and sedimentary rocks, of Archean to Mesoproterozoic age, reworked by later thermo-tectonic events. Two different groups of mafic and ultramafic rocks occur in this region. The first is a komatiite-tholeiite sequence belonging to the Barbacena Greenstone Belt, and the second consists of differentiated mafic-ultramafic bodies intruded in this volcanic-sedimentary sequence. This research aims to characterize and reconstruct the evolution of these two groups of mafic and ultramafic rocks. The rocks of the volcanic-sedimentary sequence are distributed in two irregular NE-SW belts, named Nazareno and Rio das Mortes belts, surrounded by intrusive Paleoproterozoic granitoids. The Al-depleted komatiites ( $ADK, Al_2O_3/TiO_2 < 20$ ) present Ti, Zr, Sc ratios different from the chondrite patterns and are HREE depleted. They are interpreted as the result of plume related magmatism generated at depths of 450 to 600 km. The tholeiite succession presents transitional characteristic between E-MORB and N-MORB, similar to basalts of oceanic plateau, and is best interpreted as the result of a mantle plume related intra-oceanic plate. Four different mafic-ultramafic layered bodies are distributed in the volcanic sedimentary belts with different proportions of mafic (metagabbros and amphibolites) and ultramafic (metaperidotite and metapiroxenite) components. In spite of the metamorphism and deformation, the original textural features such as cumulate textures and magmatic layering, indicative of differentiated magmatic plutonic protholiths, are still preserved in some of them. The REE patterns of these bodies are similar to the classical layered complex, suggesting an anorogenic setting. The region was affected by at least three thermo-tectonic events,  $D_{n-1}$ ,  $D_n$  e  $D_{n+1}$ . The oldest, probably of Archean age, developed at lower amphibolite conditions ( $M_1$ ) is recognizable in the volcanic sedimentary rocks. Pervasive tectonic features recorded also in the volcanic succession and in the mafic-ultramafic layered bodies, characterize the main deformation event  $D_n$ . This event occurs in lower to middle amphibolite facies and

represents the first register of the Transamazonian Event in the region. The Dn+1 phase is impressed in all rocks of the study area and developed at upper greenschist facies (M<sub>3</sub>), representing either the second manifestation of the Transamazonian Event or an event related to the Brasileiro Orogenic Cycle. The geological evolution proposed for these rocks involves the deposition of volcano-sedimentary succession in an oceanic plateau setting; collage and accretion of oceanic plateau at a continental margin; intrusion of mafic-ultramafic layered bodies in an anorogenic setting; deformation and metamorphism of these sequences during the Transamazonian event, followed by the intrusion of several granitoid bodies and diorites associated to magmatism of the Mineiro Belt. Probably, the reactivation of the oldest structures in greenschist facies occurred during the Brasileiro Event. The age of the beginning of this evolution is still poorly known. However, the minimum age is marked by the Cassiterite Trondhjemite body (2.162 ± 10 Ma) intrusive in the mafic-ultramafic bodies and their host rocks

**Cláudio Scliar**

**Orientador: Dr. Hildebrando Herrmann**

**Data: 12/06/2000**

**Políticas públicas para a exposição aos minerais amiantíferos (ciclo de vida dos bens minerais e saúde)**

**Resumo:** A Tese tem como objetivo apresentar uma metodologia para o estudo e a ação pública em relação as substâncias minerais potencialmente tóxicas. Para isto, se considera a disseminação de vetores patogênicos a as Políticas Públicas em espaços denominados Unidades de Referência Natural, da Indústria a do Comércio, do Consumo e do Pós Consumo. Utilizou-se como exemplo os minerais Amiantíferos, pois existe grande quantidade de estudos a políticas internacionais a nacionais sobre os agravos provocados por estas substâncias a as formas de controlá-los a fiscalizá-los. A metodologia mostrou-se positiva no entendimento dos processos de disseminação a das políticas a serem implementadas nos espaços onde as

fibras ocorrem, contribuindo para que os estudiosos de Política Mineral participem na definição de Políticas Públicas relativas aos bens minerais tóxicos.

**Abstract:** The thesis aims to present a methodology for the study of public action relating to toxic mineral substances. To this end, the dissemination of pathogenic vectors is considered, together with the Public Policies in spaces designated as Reference Units for Natural Systems, Industry, Commerce, Consumption and Post-Consumption. Asbestos minerals were used as an example, since a large number of studies and international and national policies exist regarding the deleterious effects provoked by these substances and the forms of controlling and fiscalising their use. The methodology proved to be positive in the understanding of the process of dissemination and of the policies to be implemented in the spaces where the fibres are present, contributing such that those that study Mineral Policy may participate in the definition of Public Policies relating toxic mineral commodities.

**Doneivan Fernandes Ferreira**

**Orientador: Dr. Saul Barisnik Suslick**

**Data: 04/07/2003**

**Antecipando impactos de obrigações de garantia financeira para descomissionamento de instalações marítimas: um modelo decisório para a indústria do petróleo**

**Resumo:** Há algum tempo o setor de petróleo foi obrigado a se preocupar com aspectos ambientais e de segurança das áreas onde mantinham atividades. Para garantir que tais áreas fossem devolvidas à sociedade em condições de sustentabilidade, os órgãos reguladores começaram exigir a realização de algumas operações específicas, visando aspectos ambientais e de segurança. Este processo tem sido denominado "fase de abandono". Desde então, a preocupação passou a ser com o risco de descumprimento de tais obrigações, já que se estas não fossem cumpridas, a responsabilidade seria naturalmente transferida para o órgão regulador. O sistema de garantia financeira começou, então, a ser aplicado no setor como uma forma de gerar incentivos

financeiros e garantir recursos para o cumprimento de tais obrigações mesmo em caso de abandono prematuro, insolvência ou negligência. Nos últimos anos, com a exaustão econômica de inúmeros reservatórios de óleo e gás e com o persistente aumento da demanda mundial por combustíveis fósseis, iniciou-se um processo de disponibilização e oferta de campos marginais no cenário internacional e nacional. Esta oferta deve-se também ao desinteresse das grandes companhias em aplicar recursos em projetos deste tipo, onde o lucro geralmente é marginal ou inexistente. No entanto, concessionárias pequenas e independentes são capazes de produzir com custos operacionais significativamente mais baixos, viabilizando lucros satisfatórios, a depender das condições do mercado. Com a abertura do setor de petróleo e gás natural no Brasil, aumentou o interesse por oportunidades no país. Apesar da preocupação em fornecer um cenário atrativo para novos investimentos, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) e demais órgãos ambientais são também responsáveis pela garantia de que as concessões sejam retornadas em condições de auto-sustentabilidade ambiental e sem oferecer riscos de segurança. Dentro deste cenário, o órgão regulador enfrenta alguns graves problemas: (1) grandes concessionárias iniciam um processo de oferta de campos marginais negligenciando a responsabilidade de verificar a capacitação dos candidatos em cumprir as obrigações de final de contrato; (2) algumas empresas podem ser tentadas a formar companhias espúrias visando a exoneração de suas responsabilidades ambientais futuras; (3) flutuações no mercado afetam significativamente companhias pequenas e independentes que operam campos marginais, aumentando o risco de insolvência; (4) pequenos operadores, além de financeiramente vulneráveis, muitas vezes não possuem a experiência necessária para lidar com problemas ambientais, aumentando o risco de danos catastróficos e/ou irreversíveis; (5) na tentativa de salvaguardar-se das responsabilidades financeiras e ambientais, o órgão regulador pode ser

acusado de discriminar contra pequenas e recém formadas concessionárias.

**Abstract:** The present thesis describes the financial assurance system (bonding system), an innovative incentive approach being adopted by several countries in different productive areas, with the objective of guaranteeing the availability of funds for the compliance of all ex-post environmental obligations in the offshore petroleum industry. This work provides a general assessment of several decommissioning-related issues that economically impact offshore petroleum projects around the world. There are several forms of bonding instruments currently available providing significant flexibility for companies to meet end-of-leasing requirements. Bonds will provide advantages such as: (1) ensure satisfactory regulatory compliance; (2) safeguard government and taxpayers by attaining reasonable protection from default at a minimum increase in project costs; and (3) protect the environment from potential harm resulting from failure to carryout proper ex-post operations in a timely fashion. Based upon a discount cash flow analysis this study uses an experimental approach, suggesting interactive decision models (simulation models) estimating costs, and identifying the instrument option which offers the least economic impact in the project and, at same time, provides the best financial guarantee for all stakeholders involved in the process. Simulations confirm the current scenario where regulators are likely to require surety bonds, letters of credit, and periodic payment collateral account tools. Sensitivity analysis of Net Present Value and Government Take value indicate ex-post insurance policies, sureties, and letters of credit may cause fewer impacts yielding significantly better payoffs. Simulations confirm that small projects can be severely affected when collateral account instruments are used.

**Edson Farias Mello**

**Orientador: Dr. Roberto Perez xavier**

**Data: 25/08/2000**

**Estudos isotópicos do greenstone belt do rio Itapicuru, BA: evolução crustal e metalogenia do ouro.**

**Resumo:** O greenstone belt do Rio Itapicuru (GBRI) destaca-se como um dos mais importantes cinturões Paleoproterozóicos na porção nordeste do Craton de São Francisco. Neste cinturão ocorrem diversos depósitos de ouro mesotermal de pequeno e médio porte, localizados nos setores centro-norte (distrito de Maria Preta) e sul (distrito da Fazenda Brasileiro) do greenstone belt. Determinações U-Pb SHRIMP em zircões, monazita e xenotima provinientes de rochas intrusivas félsicas de ambos os distritos indicam que o terreno granito-greenstone do Rio Itapicuru desenvolveu-se em dois estágios entre 2152 - 2080 Ma. O primeiro foi caracterizado pela geração de magmas derivados do manto (2152 - 2130 Ma) e o segundo pela produção de granitóides sin-tectônicos (2130 - 2080 Ma) como resultado do retrabalhamento de rochas do embasamento arqueano. As intrusões mais antigas são indicadas pelas idades de  $2152 \pm 6$  Ma em Monazita e  $2155 \pm 9$  Ma em zircões provinientes do granodiorito de Trilhado na região norte do cinturão e pelas idades de  $2130 \pm 7$  Ma e  $2128 \pm 8$  Ma em zircões provinientes do tonalito e quartzo - feldspato - pórfiro Teofilândia na região sul do cinturão. As assinaturas de  $\epsilon_{Nd}(t)$  e Sr/Sr fornecidos por esses granitóides com o manto empobrecido, sendo que os valores menos radiogênicos de Sr/Sr (0,70167) e mais positivo de (+2,65) foram fornecidos pelo granodiorito Trilhado. As trajetórias evolutivas destas rochas e os andesitos mostram que elas são cogenéticas. Uma fonte comum é indicada pelas idades TDM há ca 2.2 Ga. Estes dados são consistentes com o desenvolvimento de um arco magmático, cuja progressiva acreção tectônica deve ter ocorrido durante o subsequente fechamento da bacia retroarco. A predominância de zircões herdados e a substância de enclaves de gnaisses nos granodioritos do domo do Ambrósio sugerem que o embasamento para as rochas supracrustais foi constituído por rochas da crosta continental com componentes há  $2937 \pm 16$  Ma,  $3111 \pm 13$  Ma e  $3162 \pm 13$  Ma. Esta herança sugere uma importância fase de retalhamento crustal sucedendo a formação do arco magmático e marcam o período de maior atividade tectônica e

tectônica no orógeno. A idade de colocação do domo de Ambrósio é assinalada por poucos zircões dos granodioritos datados em  $2077 \pm 22$  Ma e  $2063 \pm 55$  Ma, e por grãos de xenotima, provinientes de um dique de granito, que forneceram a idade de  $2080 \pm 2$  Ma. Esta última é considerada a melhor estimativa de idade de cristalização e provavelmente marca o final do magnetismo félsico. Esta idade mostra uma boa concordância com a idade Ar-Ar de  $2080 \pm 5$  Ma obtida em hornblendas, de um anfibolito ocorrendo próximo à borda do domo de Ambrósio, e com a idade U-Pb SHRIMP de  $2076 \pm 10$  Ma obtida em sobrecrescimentos de zircões detriticos, de quartzito ocorrendo próximo a Vila de Monte Santo, interpretadas como idade do metamorfismo. Estes dados sugerem que o metamorfismo deve ter atingido a intensidade máxima ao redor de 2080 Ma. As idades Ar-Ar de patamar de  $2050 \pm 4$  Ma e  $2054 \pm 2$  Ma fornecidas pelas amostras de moscovitas hidrotermais foram interpretadas como idades mínimas para a mineralização de ouro no distrito de Fazenda Brasileiro e devem estar próximas da verdadeira idade de decomposição do ouro. Os dados Ar-Ar indicam que a mineralização deve ter ocorrido no máximo 30 Ma após o pico do metamorfismo ou episódicamente entre 2080 e 2050 Ma. A composição isotópica dos fluidos mineralizantes na mina Fazenda Brasileiro é compatível com as fontes profundas, seja o reservatório do manto empobrecido ou da crosta inferior, conforme assinalada pelas razões Sr/Sr (0,70238 e 0,702260) e valores de  $\epsilon_{Nd}(t)$  (1,68 a 6,61) em scheelita e calcita, e pelos valores de  $\delta^{34}S$  em pirita e pirrotita (-1,11 ‰ e +1,23 ‰). Estes fluidos, entretanto devem ter interagido com reservatórios mais evoluídos, conforme indicado por: (1) dados isotópicos de Pb, que sugerem um reservatório misto (orogénico) ou da crosta superior; (2) valores mais enriquecidos de  $\delta^{34}S$  (+0,90 e +5,47 ‰) em Fazenda Maria Preta (0,70328) mais radiogênica que a calcita e scheelitas do depósito de Fazenda Brasileiro.

Os fluidos mineralizantes não mostram relação temporal com o magnetismo juvenil do orógeno (2152 - 2130). Possivelmente foram produzidas em

profundidade pelo metamorfismo da crosta oceânica subductada entre 2130 e 2080 Ma, e ascenderam durante o soerguimento e exumação do orógeno entre 2080 e 2050, através de condutos com alto ângulo de inclinação e ao longo de antigas superfícies de cisalhamento, reativadas pela tectônica extensional.

**Abstract:** The Itapicuru River greenstone belt of the (IRGB) is outstanding as one of the most important Paleoproterozoic belts in the northeastern portion of the São Francisco Craton. Various small and medium-sized deposits of mesothermal gold occur in this belt, located in the central-northern (Maria Preta district) and southern (Fazenda Brasileiro district) sectors of the greenstone belt. U-Pb SHRiP dating on zircons, monazite and xenotime derived from felsic intrusive rocks from both districts, indicate that the granite-greenstone terrain of the River Itapicuru developed in two stages between 2152 - 2080 Ma. The first was characterized by the generation of magmas derived from the mantle (2152 - 2130 Ma), and the second by the production of syntectonic granitoids (2130 - 2080 Ma) as a result of reworking of Archean basement rocks. The older intrusions are indicated by ages of 2152 ± 6 Ma in monazite, and 2155 ± 9 Ma in zircons derived from the Trilhado granodiorite in the northern region of the belt, and by the ages of 2130 ± 7 Ma and 2128 ± 8 Ma in zircons derived from tonalite, and by Teofilândia quartz-feldspar porphyry in the southern region of the belt. The  $\text{ENd}(t)$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$  signatures provided by these granitoids are compatible with a depleted mantle, the less radiogenic  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.70167) and more positive  $\text{sNd}(t)$  (+ 2.65) values being provided by the Trilhado granodiorite. The evolution trajectories of these rocks and the andesites show that they are cogenetic. A common source is indicated by their TDM ages of around 2.2 Ga. This data is consistent with the development of a magmatic arc, whose progressive tectonic accretion must have occurred during the subsequent closure of the back-arc basin. The predominance of inherited zircons and the abundance of gneiss inclusions in the granodiorites of the Ambrósio dome

suggest that the basement of the supracrustal rocks was composed of continental crust rocks with components of 2937 ± 16 Ma, 3111 ± 13 Ma and 3162 ± 13 Ma. This legacy suggests an important crustal reworking phase succeeding the formation of the magmatic arc and marks the period of highest thermal and tectonic activity in the orogenic belt. The emplacement age of the Ambrósio dome is indicated by few zircons in the granodiorites dated at 2077 ± 22 Ma and 2063 ± 55 Ma, and by xenotime grains derived from a granite dyke, which provided an age of 2080 ± 2 Ma. The latter is the best estimate of the crystallization age and probably marks the end of the felsic magmatism. This age shows good agreement with the Ar-Ar plateau age of 2080 ± 5 Ma obtained in hornblende from an amphibolite occurring close to the edge of the Ambrósio dome, and with a U-Pb SHRIMP age of 2076 ± 10 Ma obtained in overgrowths of detrital zircons from a quartzite occurring close to Vila de Monte Santo, interpreted as the age of the metamorphism. This data suggests that the metamorphism must have reached maximum intensity around 2080 Ma. The Ar-Ar plateau ages of 2050 ± 4 Ma and 2054 ± 2 Ma provided by the hydrothermal muscovite samples were interpreted as the minimum ages for gold mineralization in the Fazenda Brasileiro district and must be close to the true age of gold deposition. The Ar-Ar data indicate that the mineralization must have occurred until 30 Ma after the peak of the metamorphism. The isotopic composition of the mineralizing fluids in the Fazenda Brasileiro mine is compatible with deep sources, either the depleted mantle or lower crust reservoirs, as indicated by the Sr-Sr<sub>i</sub> ratios (0.70238 and 0.70260) and  $\text{sNd}(t)$  values (1.68 to 6.61) in scheelite and calcite, and by the  $\delta^{34}\text{S}$  values in pyrite and pyrrhotite (-1.11 ‰ and +1.23 ‰). However, these fluids must have interacted with more evolved reservoirs, as indicated by: (1) isotopic Pb data, which suggest a mixed (orogenic) or upper crust reservoir; (2) the higher values of  $\delta^{34}\text{S}$  (+0.90 and +5.47 ‰) at Fazenda Maria Preta, and (3) the Sr-Sr ratio in calcite from Fazenda Maria Preta (0.70328), more radiogenic than the calcite and scheelite from

Fazenda Brasileiro. The mineralizing fluids do not demonstrate a temporal relationship with the juvenile magmatism of the orogenic belt (2152 - 2130). Possibly, they were produced at depth by the metamorphism of the ocean crust subducted between 2130 and 2090 Ma. They ascended during the uplifting and exhumation of the orogenic belt, between 2080 and 2050 Ma, through conduits with a high inclination angle and along old shear surfaces reactivated by the extensional tectonics.

**Fernanda Gonçalves da Cunha**  
**Orientador: Dr. Bernardino R. de Figueiredo**  
**Data: 21/02/2003**

**Contaminação humana e ambiental no vale do Ribeira, nos Estados de São Paulo e Paraná, Brasil**

**Resumo:** Durante várias décadas o Vale do Ribeira, a região sul do Estado de São Paulo e nordeste do Estado do Paraná, esteve sob influência das atividades de mineração de chumbo e de uma usina de refino dos minérios que eram produzidos nas minas da região. A partir de 1996, todas essas atividades cessaram, mas estudos ambientais mostraram que o Vale do Ribeira, desde o Alto Vale até sua foz, em Iguape, no Estado de São Paulo, estava contaminado. O principal objetivo desta tese foi investigar se essa contaminação está afetando as populações residentes na região, principalmente as crianças; estudar quais as possíveis fontes e vias de exposição ao chumbo; e avaliar a biodisponibilidade do chumbo nos solos superficiais de Vila Mota e Capelinha, áreas rurais do município de Adrianópolis, no Paraná. Para o estudo da exposição ao chumbo, foram coletadas amostras de sangue de 335 crianças em idade escolar (7 a 14 anos) que moram nos municípios próximos às minas de chumbo e da refinaria, no Alto Vale do Ribeira: Ribeira e Iporanga, em São Paulo e Adrianópolis, no Paraná. Este estudo envolveu, também, a população do município de Cerro Azul, no Estado do Paraná, utilizada como referência, porque está localizada a montante das principais ocorrências de chumbo do Vale do Ribeira. Para verificar as possíveis fontes de

exposição, foram coletadas amostras de água superficial e de torneiras de algumas residências, utilizadas para consumo doméstico, de sedimentos de corrente e de solos superficiais. Os resultados mostraram que as crianças residentes em Vila Mota e Capelinha, próximas a mina Panelas de Brejaúva e da usina de refino, apresentaram teores de chumbo no sangue acima de  $10 \mu\text{g L}^{-1}$ , definido pelo CDC - Centers of Disease Control & Prevention, como limite de risco à saúde de crianças. As amostras de água apresentaram concentrações muito abaixo do permitido pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Os sedimentos de corrente mostraram elevados teores de chumbo, mas não constituem fonte de exposição humana, porque o pH do meio aquoso ( $\text{pH} > 7$ ) não permite a liberação do chumbo para a água. O estudo de solos superficiais em Vila Mota e Capelinha mostrou que os solos mais próximos à usina de refino estão contaminados, apresentando risco à saúde das crianças em longo prazo, sendo necessário estudos de remediação ambiental e dar continuidade ao biomonitoramento das populações infantis da região do Alto Vale do Ribeira.

**Abstract:** During several decades, the Ribeira Valley in the far south of the state of São Paulo and the east side of the state of Paraná, had been under the influence of the full activity of a lead mine and refinery. Since 1996, all the mines and refining plant were closed, but environmental studies showed that Ribeira Valley was contaminated. The objective of this thesis was to investigate the effects of exposure of children to lead, verify the probable sources of human contamination and the lead bioavailability in the surface soils of the Vila Mota and Capelinha, in the rural area of Adrianópolis. For the lead exposure study, blood samples were collected from 335 children aged 7 to 14, residing in municipalities around the mine and refinery: Ribeira and Iporanga in the state of São Paulo and Adrianópolis in the state of Paraná. The study also included children from municipality of Cerro Azul, of the state of Paraná, whose population could be considered as reference population since it is upstream from the main lead mines of the Ribeira Valley. To assess the probable

sources of lead exposure, a parallel study of surface water, water from residential taps, stream sediments and surface soils were collected. The results showed high blood lead levels, above  $10 \mu\text{g dL}^{-1}$ , which is higher than the value identified by the Centers for Disease Control and Prevention – CDC, as the limit value of the health risk factor. Most children live in the Vila Mota and Capelinha, situated near to the refining plant. Lead concentrations in water are lower than the limit value defined by Environmental National Council – CONAMA. The stream sediments to showed high lead concentrations, but do not constitute of human exposure source, because the aqueous environment pH values ( $\text{pH} > 7$ ) blocks the lead liberation to water. Soil samples revealed high lead concentrations, with the highest values found in areas close to the refinery, considered contaminated, which indicate the need to carry out environmental remediation studies and to the need of medical assessment of the children populations of the Upper Ribeira Valley.

**Fernando Henrique Bucco Tallarico**  
**Orientador: Dr. Bernardino Ribeiro Figueiredo**  
**Data: 29/08/2003**

#### **O Cinturão Cupro-Aurífero De Carajás, Brasil**

**Resumo:** A presente tese trata da geologia, caracterização de minérios e geocronologia U-Pb SHRIMP dos depósitos cupro-auríferos de Igarapé Bahia, Breves e Cento e Dezoito, e ainda da geologia e metalogênese do depósito de Au-Pd-Pt de Serra Pelada. Os resultados mostram que ocorreram no Cinturão Cupro-Aurífero de Carajás ao menos dois eventos metalogenéticos distintos, um no Neoarqueano (~2,57 Ga) representado pelo depósito de Fe-óxido Cu-Au-(U-ETR) de Igarapé Bahia e outro no Paleoproterozóico (~1,88 Ga) tipificado pelo depósito de Cu-Au-(W-Bi-Sn) de Breves. Os resultados do depósito Cento e Dezoito sugerem que este seja um depósito híbrido derivado da superposição de eventos neoarqueanos e paleoproterozóicos. A excepcional vocação metalogenética da região inicia-se no Arqueano com o desenvolvimento de

um rift continental onde se deu a acumulação de ferro, e possivelmente cobre, singenético. Neste ambiente ocorreu também a formação de depósitos de Pt-Pd associados a complexos máficos-ultramáficos. A precoce cratonização da região e sua complexa história tectônica, que registra múltiplos eventos de transtensão associados a magmatismo, permitiram a formação ainda no Neoarqueano de depósitos do tipo Fe-óxido Cu-Au-(U-ETR). Durante o Paleoproterozóico a região experimentou um novo episódio transtensional que permitiu o alojamento de diversos granitos do tipo-A, aos quais se associam os depósitos do tipo Cu-Au-(W-Bi-Sn). Desta justaposição de eventos resulta um quadro metalogenético complexo que inclui uma diversidade de depósitos minerais, alguns dos quais exóticos. Um exemplo é o depósito Serra Pelada que representa um caso único na região de mineralização de Au-Pd-Pt alojada em rochas meta-sedimentares.

**Abstract:** This research addresses the geology, ore assemblages and SHRIMP U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia, Breves and Cento e Dezoito copper-gold deposits, and the geology and metallogenesis of the Serra Pelada Au-Pd-Pt deposit. The data indicate that two temporally distinct metallogenetic events occurred in the Carajás Copper-Gold Belt, one Neoproterozoic (~2.57 Ga) represented by the Igarapé Bahia Fe-oxide Cu-Au-(U-REE) deposit, and other Paleoproterozoic (~1.88 Ga) represented by the Breves Cu-Au-(W-Bi-Sn) deposit. The results suggest that Cento e Dezoito is possibly a hybrid deposit resulting from the interplay of Neoproterozoic and Paleoproterozoic ore forming processes. The metallogenesis of the belt initiates in the Archean with the development of a continental rift where syngenetic iron, and possibly copper, were accumulated. This environment also favored the formation of Pt-Pd deposits associated with layered mafic-ultramafic intrusions. The early cratonization and the complex tectonic history of the Carajás Copper-Gold Belt, that includes multiple transtensional events, allowed the formation of Fe-oxide Cu-Au-(U-REE) during the Neoproterozoic. During the Paleoproterozoic the belt underwent other



transtensional episode that favored the ascent of several A-type granites to which Cu-Au-(W-Bi-Sn) deposits are associated. The juxtaposition of these distinct metallogenetic events resulted in a complex scenario that includes a variety of ore deposits some of which exotic, as for example the Serra Pelada Au-Pd-Pt deposit, a unique case of Au-Pd-Pt deposit hosted by meta-sedimentary rocks.

**Francisco Nepomuceno Filho**  
**Orientador: Dr. Saul Barisnik Suslick**  
**Data : 29/07/1997**

**Tomada de decisão em projetos de risco na exploração de petróleo**

**Resumo:** As recentes mudanças no setor petrolífero implicam um novo ambiente de exploração de intensa competição no Brasil. As tendências de internacionalização da exploração obrigam as empresas a adotarem técnicas padronizadas de avaliação e comparação de prospectos visando a redução do risco. Dentro desta perspectiva, os indivíduos necessitam de um processo decisório que contemple os objetivos da empresa, as metas desejadas e as restrições orçamentárias. Este trabalho descreve um sistema teórico e prático de suporte à tomada de decisão baseada na teoria da utilidade multi-atributos e da análise da decisão, com o objetivo de estimar a melhor alocação de capital em uma bacia sedimentar. Além disso, tal sistema possibilita estimar o melhor nível de participação financeira de uma firma em um projeto de exploração de petróleo realizado em parceria.

**Abstract:** With the recent changes in the petroleum sector in Brazil, the exploration will enter in an increasingly competitive and risky business environment. The trends of internationalization of exploration and risk reducing recommend the use of standardized techniques of evaluation and comparison of plays and prospects. Under these circumstances, managers have a growing need to employ better and more systematic decision processes that explicitly embody the firm's objectives, desired goals, and resource constraints. In order to spread risk in major projects, oil companies will continue to engage in joint ventures. This thesis describes a

theoretical and practical system for exploration decision support based on the expected utility theory and decision analysis, in order to estimate the best capital allocation and to define the best level of financial participation of a firm in the new ventures in petroleum exploration projects.

**Gabriela Oliveira de Paula**  
**Orientadora: Dra. Rachel Negrão Cavalcanti**  
**Data: 22/11/2002**

**A água: percepções e compromisso. estudo de Caso na Região Metropolitana de Campinas**

**Resumo:** Como resultado do modelo de crescimento econômico que incorpora de modo incipiente a esfera ambiental em seu planejamento, a Região Metropolitana de Campinas (RMC) apresenta problemas de ordem socioeconômica e ambiental que se intensificam. Especificamente no que diz respeito à disponibilidade de recursos hídricos, durante certos períodos do ano há escassez, o que gera preocupação quanto a esse aspecto no futuro, visto que projeções na área socioeconômica delineiam a continuidade da dinâmica crescente de sua demanda. Há indícios que o sistema de gestão de recursos hídricos vigente pode não ser suficiente para atender essa dinâmica, por conseguinte o atual contexto aponta a necessidade da implementação de novos mecanismos de gestão dos recursos hídricos ou aprimoramento da atual estrutura institucional

Partindo de um diagnóstico acerca da disponibilidade do recurso hídrico na RMC, a pesquisa caracteriza o uso e a gestão da água, avalia a capacidade de oferta de recursos hídricos na Região e procura responder como a relação entre uso e gestão pode ser determinada ou, no mínimo, influenciada pela percepção sobre o bem.

Resulta que a gestão de recursos hídricos deve ser procedida com vistas a enfatizar o caráter multiparticipativo e o envolvimento de órgãos governamentais, de organizações não governamentais e da sociedade civil, de modo a orientar as estratégias políticas a fim de promover o desenvolvimento social, o crescimento

econômico e a preservação dos recursos naturais. Para tanto, é essencial converter o baixo nível de informação sobre a matéria em conhecimento e comprometimento, pois ele é a base que fundamenta a ausência de consciência pública em relação à escassez do recurso hídrico e à falta de responsabilidade nas atitudes de cada cidadão, empresa, entidade e órgão gestor no que diz respeito, principalmente, à prudência.

**Abstract:** The Campinas Metropolitan Region (CMR) shows socio-economical and environmental problema that are intensifying as a result of the economic growth model, which superficially includes the environmental ares in its scope. More specifically, as far as the availability of water resource is concerned, there are droughts during certain periods, which raises concerns about the future, sente socio-economical projections predict the continuation of the increase in water demand. There are indications that water resources management systems may not be enough to attend to this dynamic. Consequently the actual situation points to the need to inplement new mechanisms to manage water resources or for the improvement in the actuali institutional structure.

Based on a diagnoses of the availability of the water resource in the CMR, this study characterizes water use and management, evaluates the available water resources in the region, and attempts to answer how the relationship between usage and management can be determined or influenced, at a minimum, by the perception of the resource.

Therefore water resource management must proceed emphasizing the multi-participativa character and the involvement of governmental offices, non-governmental organizations and civil society, in order to direct the political strategies that seek to promote social development, economical growth and the preservation of natural resources. To achieve this goal it is essential to increase the level of information about the subject both in knowledge and commitment, sente this is the underlying reason for the absence of public consciousness, as regarding the lack of water resource and lack of responsibilities of every citizen, company,

entity and management bureau with respect mainly to prudente

**Guttenberg Martins**

**Orientador: Dr. Élson Paiva de Oliveira**

**Data: 10/05/2000**

**Litogeoquímica e controles geocronológicos da suite metamorfica algodões-choro**

**Resumo:** Nesta tese é proposta uma interpretação da evolução geotectônica da Suíte Metamórfica ,Algodões-Choró (SMAC), uma associação de paragnaisses e anfibolitos intrudidas por ortognaisses graníticos-tonalíticos, aflorante na região central do Estado do Ceará. As observações geológicas suportam a divisão desta suíte nas seguintes unidades:

Anfibolito Algodões - anfibolitos com e sem granada encontrados no distrito homônimo, município de Quixeramobim; Metassedimentos Choró - biotita-gnaisses finos com intercalações de quartzitos e metaconglomerados, aflorantes em tomo do Açude Choró Limão no município de Choró; e Ortognaisses Tonalíticos-Graníticos - corpos intrusivos nas unidades anteriores como stocks, diques e folhas. Os anfibolitos finos sem granada da SMAC foram interpretados como produtos ígneos básicos tholeiíticos. Estes exibem padrões aplainados dos elementos do grupo das terras raras (ETR's), anomalias negativas de Nb, Ta, e Th, e anomalia positiva de Sr em diagramas de multi-elementos. Nestas rochas foram obtidas uma idade isocrônica Sm-Nd rocha total de  $2.240 \pm 50$  Ma, idades modelo de Nd (TDM) variando entre 2.403-2.257 Ma e valores positivos de  $ENd(r_{-2,2c,.})$ . Modelagem petrogenética admite a derivação destas rochas de uma fonte mantélica empobrecida como a dos basaltos de cadeia meso-oceânica. Os metassedimentos Choró foram caracterizados como metagrauvasas feldspáticas, formadas a partir de detritos provenientes de rochas ígneas máficas e félsicas-intermediárias. O enriquecimento em Sc e Co em relação a La e Th apoiam esta derivação. Os padrões dos ETR's são fracionados, sem proeminentes anomalias de Eu. Dados isotópicos indicam idades modelo (TDM) no intervalo 2.449-2.216 Ma e valores positivos de  $ENd(r_{-2,2Ga})$ . Em

geral, os ortognaisses tonalíticos-graníticos da SMAC apresentam natureza cálcio-alcálica, forte fracionamento entre os elementos LIL (large ions lithophile) e HFS (high field strength), valores positivos de ENd e razões iniciais de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  baixas (0,7013-0,7018). Nos ortognaisses tonalíticos de alta alumina de um stock aflorante no distrito de Algodões foi obtida uma idade U-Pb em em grãos individuais de zircão de  $2.131\pm 12$  Ma, e idade Pb-Pb evaporação de  $2.123\pm 20$  Ma. Em dique meta-andesítico e folha granítica desta região foram obtidas idades U-Pb de  $2.137\pm 34,8$  Ma e  $2.056\pm 164$  Ma, e idades Pb-Pb evaporação de  $2.153\pm 5$  Ma e  $2.107\pm 16$  Ma, respectivamente. Modelagem petrogenética admite a geração dos ortognaisses tonalíticos a partir da fusão parcial de granada-anfibolito. Dados estruturais indicam que as unidades litoestratigráficas desta região (SMAC, metapelitos de Quixeramobim e o Complexo Granítico Quixadá-Quixeramobim) tiveram seu arcabouço tectônico moldado pelas zonas de cisalhamento dúcteis Senador Pompeu, Quixeramobim e Custódia. A cinemática dextral caracterizada nas zonas de cisalhamento e a passagem progressiva das foliações miloníticas para as foliações regionais sugerem a extensa atuação de um regime transpressivo, e nos estágios tardios, a reversão deste para um regime transtrativo. Neste trabalho propõe-se que os metassedimentos e anfibolitos da SMAC representa o registro supracrustal da formação de uma bacia retroarco num ambiente de arco-insular, há ca. 2,24 Ga, tendo um conjunto intrusivo atingido estas rochas entre 2,17-2,05 Ga. Desta forma, a Suíte Metamórfica Algodões-Choró representa um segmento juvenil da orogênese Transamazônica/Eburneana (ca.  $2,1\pm 0,1$  Ga). Considerando os dados  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  publicados na literatura, admite-se o retrabalhamento desta. suíte à lante afom%\*O do GiQndwana Ocidental, entre 580 Ma e 530 Ma.

**Abstract:** This thesis proposes an interpretation of the tectonic evolution of the Algodões-Choro Metamorphic Suite (ACMS) - a paragneiss-amphibolite association intruded by granite-tonalite orthogneisses that crops out in the central region of the Ceara State, NE Brazil. The

geological data support the division of this suite in the following units: 1) Algodões amphibolite - garnet-bearing and garnet-free amphibolite found in the homonymous village of the Quixeramobim district; 2) Choro meta-sedimentary unit - biotite-gneisses with quartzites and metaconglomerate horizons cropping out around the Choro Limão dam; and 3) granite-tonalite orthogneisses - intrusive bodies into the older units as stocks, dikes and sheets.

The fine grained garnet-free amphibolite of ACMS was interpreted as tholeiite lavas having flat chondrite-normalized rare earth element patterns (REE), and negative Nb-Ta anomalies and positive Sr anomaly on primitive mantle normalized multi-elements diagrams. These rocks yielded a whole-rock Sm-Nd age of  $2,240\pm 50$  Ma with Nd model

ages (TDM) varying between 2,403-2,257 Ma with positive ENd values. Petrogenetic modelling suggests the derivation of these rocks from a Depleted Morb Mantle source. The Choró meta-sedimentary unit was characterized as dominantly feldspar-rich metagraywackes made up of fragments of mafic and felsic-intermediate igneous rocks. The enrichment in Sc and Co relative to La and Th supports this assumption. The REE-patterns are fractionated without prominent Eu-anomalies. Isotopic data indicate Nd model ages (TDM) in the interval 2,449-2,216 Ma and positive ENd values. In general the granite-tonalite orthogneisses of ACMS have a calc-alkaline geochemical signature, strong fractionation between the large ions lithophile and high field strength elements, positive ENd values and low  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  initial ratios (0,7013-0,7018). A small stock of high-alumina tonalite orthogneiss located in the Algodões village yielded a precise single grain zircon UPb age of  $2,131\pm 12$  Ma and single grain zircon Pb-Pb evaporation age of  $2.123\pm 20$  Ma. Similarly, a meta-andesite dike and a granitic sheet respectively yielded a poor single grain zircon U-Pb ages of  $2.137\pm 34,8$  Ma and  $2.056\pm 164$  Ma, as well as a single grain zircon Pb-Pb evaporation ages of  $2.153\pm 5$  Ma and  $2.107\pm 16$  Ma. Petrogenetic modelling admits the generation of the tonalite orthogneiss through partial melting of garnet-amphibolite. Structural data demonstrate

that the tectonic units of the studied area, i.e., ACMS, Quixeramobim metapelitic unit and Quixadá-Quixeramobim Granitic Complex have their tectonic evolution significantly controlled by movements of the Sen. Pompeu, Quixeramobim, and Custodia ductile shear zones. The clockwise kinematics characterized in the shear zones coupled with progressive change from mylonitic to regional scale foliation suggest that the structural evolution was largely achieved under transpressive conditions. However, the late stage of tectonic evolution was characterized by inversion of the transpressive regime to a transtensional one. Finally, it is suggested that the supracrustal sequence of ACMS was generated in a back-arc basin around 2,24 Ga, followed by emplacement of tonalite-granite bodies between 2,17-2,05 Ga. As such, the AlgodoesChoro Metamorphic Suite constitutes a juvenile segment of the Transamazonian/Eburnean orogeny (ca. 2,1±0,1 Ga). However taking into account the 40Ar/39Ar ages of the literature it is admitted that the above referred to units have been reworked between 580 Ma and 530 Ma, during the formation of Western Gondwana.

**Hector Rolando Barrueto**

**Orientador: Dr. Elson Paiva de Oliveira**

**Data: 26/08/2002**

**Petrogênese das intrusões graníticas compostas de teofilândia e barrocas, greenstone belt do Rio Itapicuru, Bahia, Brasil.**

**Resumo:** O terreno granito-*greenstone* do Rio Itapicuru (GBRI) é uma seqüência paleoproterozóica localizada na porção nordeste do Cráton de São Francisco, Bahia. Empilhada sobre o embasamento migmatítico, a seqüência é composta por um domínio máfico basal, sucedido por um domínio félsico e outro sedimentar. Ao longo dessa faixa vulcano-sedimentar e adjacências ocorrem várias intrusões graníticas, de composição e natureza variadas, assim como numerosas ocorrências e depósitos auríferos. Os granitóides Barrocas e Teofilândia ocorrem na porção sul do GBRI e têm orientação, respectivamente E-W e NE-SW, ao contrário da maioria dos granitóides do

GBRI que estão orientados N-S. Os dois granitóides têm forma arredondada e em conjunto definem uma megaestrutura amendoada, de aproximadamente 27 km de comprimento por 13 km de largura. As relações de campo indicam que se tratam de folhas graníticas, aparentemente rasas, com evidências de deformação simultâneas à sua intrusão. O Granodiorito Teofilândia (GrT) foi datado em 2130 Ma, apresenta composição modal granodiorítica a quartzo-monozodiorítica e associa-se à rocha subvulcânica dacítica. O Granodiorito Barrocas (GrB) cristalizou-se por volta de 2127 Ma e tem composição modal granodiorítica, raramente transicional para tonalítica. Esses corpos são cálcio-alcálicos, metaluminosos e do tipo I, típicos de ambientes orogênicos. O GrT exibe teores de SiO<sub>2</sub> (64% – 71%), Na<sub>2</sub>O (4,07%-5,92%), CaO (2,32%-4,44%) e TiO<sub>2</sub> (0,28-0,48%), com razões Rb/Sr, Rb/K, Sr/Y baixas a médias. O GrB tem SiO<sub>2</sub> mais alto (até 73,57%), razões Rb/Sr, Rb/K e Sr/Y mais baixas, e é mais empobrecido nesses elementos.

O GrT é rico em enclaves microdioríticos finos a médios, metaluminosos, cálcio-alcálicos, assim como em enclaves grossos, formados pela acumulação de minerais máficos. Um outro tipo de enclaves grossos aponta para a mistura com magmas mais primitivos. Tanto o GrT quanto o GrB não apresentam xenólitos de rochas regionais. Os dois granitóides apresentam características isotópicas juvenis, com baixas razões de <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr (0,69964-0,70177) e ε<sub>Nd(2130Ma)</sub> positivos (>+2,03), revelando origem em um ambiente de arco, provavelmente intra-oceânico, pela ausência de xenólitos de rochas regionais. As idades modelo T<sub>DM</sub> de aproximadamente 2200 Ma são bem próximas das idades de cristalização ígnea (2127-2130 Ma). Esses dados, em conjunto com os altos valores de δ<sup>18</sup>O para rocha total (>7,5‰), descartam aportes de sedimentos subductados na gênese desses granitóides, evidenciando a alteração dos seus protólitos previamente à fusão. Os dados isotópicos e a modelagem geoquímica de elementos traços sustentam a origem dos granitóides a partir da fusão parcial de fonte anfibolítica em ambiente de arco de ilha oceânico. Pequenos corpos granodioríticos cortam o GrT, os quais, por suas

características isotópicas ( $\epsilon_{\text{Nd}_{2130\text{Ma}}} = -8,49-9,38$ ), devem ter resultado da fusão parcial do embasamento arqueano do GBRI durante a colisão continente-continente. Dois eventos tectônicos D1 e D2 afetaram o GBRI, sendo que apenas o primeiro deixou registros deformacionais mais expressivos nos granitóides de Barrocas e Teofilândia. A deformação é caracterizada por foliação de alto ângulo com vergência de empurrões para noroeste. A compressão progressiva durante esse evento resultou numa falha fundamental a sul, uma provável zona de sutura, marcando o contato tectônico do GrT com o embasamento, e numa outra a norte que baliza o GrB dos metabasaltos regionais; essas falhas definem a megaestrutura em amêndoa. Outras falhas internas menores ocorrem paralelas às maiores. Essas falhas foram geradas por um sistema transcorrente dextral, que produziu dobras abertas nos granitóides cujos eixos verticalizam-se gradualmente de leste para oeste com o aumento da deformação, culminando com a formação de uma cunha no extremo ocidental da estrutura em amêndoa.

**Abstract:** The Rio Itapicuru Greenstone Belt (RIGB) is a Paleoproterozoic sequence situated in the northern portion of the São Francisco Craton, Bahia state, Brazil. Overlying a basement consisting of gnaiss and migmatites, this volcanic-sedimentary belt is intruded by several granitoid intrusions of different chemical compositions. Two of the most important intrusive bodies, the Barrocas (BGr) and the Teofilândia granitoids (TGr), which are early Proterozoic in ages (2130 and 2127 Ma, respectively), are located in the southern portion of the RIGB, and display E-W and NE-SW trending orientation, in contrast with the N-S trend of most of the remaining intrusions related to the supracrustal pile. Even being considered time- and spatial-related granitoids, the field relationships reveal the TGr as the earlier intrusion. It has a granodioritic to quartz-monzodioritic modal composition, and associated with a quartz-porphiric sub-volcanic rock. The BGr has a granodioritic modal composition and rare transitions to tonalite. Both belong to the calc-alkaline and I-type suites and have metaluminous signatures, characteristic of felsic igneous

rocks of orogenic environments. The TGr displays  $\text{SiO}_2$  (64%-71%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (4,02% - 5,92%),  $\text{CaO}$  (2,32% - 4,44%) and  $\text{TiO}_2$  (0,28% - 0,48%), with low to moderate Rb/Sr, Rb/K and Sr/Y ratios. The BGr has higher  $\text{SiO}_2$  values (up to 73,57%), and lower Rb/Sr, Rb/K and Sr/Y ratios and  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , Sr, Ba and Y. Although both granitoids have juvenile arc signatures, characterized by low  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopic ratios (0,69964-0,70177) and positive  $\epsilon_{\text{Nd}_{2130\text{Ma}}}$  ( $>+2,03$ ), their initial isotopic ratios indicate different sources, revealing a likely intra-oceanic tectonic setting for them. Geochemical modellings point to their being the result of partial melting of a basaltic protoliths of the RIGB sequence (oceanic crust) under amphibolite-eclogite facies conditions. All these features, in addition to the whole-rock O isotope data ( $> 7,5\text{‰}$ ), preclude the accretion of recycled materials, suggesting a pervasive alteration of their basaltic protoliths before melting. Fine to medium-grained microdioritic enclaves having metaluminous and calc-alkaline compositions are scattered in the TGr, as well as more restricted coarse-grained varieties, formed by mafic mineral accumulation from the host granitoid. Another coarse-grained enclave type resulted from the mixture with more primitive magmas. Neither the TGr nor the BGr has xenoliths of the surrounding regional rocks. Small and irregular granodioritic bodies cut the TGr, which are characterized by high Rb and K values and narrow negative isotopic variation ( $\epsilon_{\text{Nd}_{2130\text{Ma}}} = -8,49$  to  $-9,38$ ), indicating partial melting of an ancient crustal material. Of the two deformational events documented in RIGB, the D1 tectonic event directly affected the granitoids. This event, characterised by a NW-SE dextral transpression movement, was responsible for an expressive curved fault along the contact of the BGr with the basalt units of the supracrustal RIGB in the north, and for another one along the contact plane of the TGr with the basement in the south, representing a possible suture zone. The ongoing transpression developed E-W planes, E-NE mineral and stretching lineation trends, as well as kinematic indicators in the TGr, whereas imprinted a high (medium) angle dipping S-C foliation structures in the BGr granitoid.

Open upright folds with low NW-trending angle axes nucleated in a northeastern sector within the area determined by these two main faults, which gradually became closed-like folds in the central sectors, with their axes uprighting westward according to an apparent clockwise rotation. The dextral movement culminates in the two expressive upright mylonitic segments which form the wedge of a delta-like megastructure. Notwithstanding, as expected in syn-tectonics granitoids bodies emplaced in transpressional domains, the movement not inferred sigmoidal patterns to the geometric elements of the TGr and BGr intrusions. All these features indicate the folding as the dominant movement instead of rotation. These relationships support the suggestion that both igneous bodies are sheet-like intrusions, and provide evidence for the interplay between the TGr and BGr and the D1 tectonic event. The young D2 event locally affected the TGr and BGr through dominantly brittle features with many parallel N-S trending faults.

**Heitor Neves Maia**

**Orientador: Dr. Roberto Perez Xavier**

**Data: 19/08/2002**

**Deformação, fluxo de fluidos e a formação de depósitos auríferos na zona de cisalhamento de Itapetim, Província Borborema (NE do Brasil)**

**Resumo:** O Distrito Aurífero de Itapetim localiza-se no domínio tectônico da Zona Transversal da Província Borborema (NE do Brasil) e caracteriza-se pela ocorrência de sistemas de veios de quartzo auríferos em vários depósitos de pequeno porte, tais como os de Sertãozinho, Piedade, Pimenteiras e Gurgueia. Esses sistemas de veios encontram-se confinados no interior da Zona de Cisalhamento de Itapetim onde se encaixam em gnaiss milonítico. Um estudo integrado envolvendo a análise geométrica em 3D da petrografia de eixo-c do quartzo dos veios auríferos e rochas encaixantes, distribuição de microfraturas, inclusões fluidas e isótopos de oxigênio e hidrogênio foi desenvolvido com os objetivos de: (i) avaliar os mecanismos de deformação responsáveis pela geração de porosidade

e conseqüente permeabilidade para a circulação de fluidos na Zona de Cisalhamento de Itapetim; (ii) determinar a natureza e evolução destes fluidos envolvidos na formação das mineralizações auríferas hospedadas nessa zona de cisalhamento. A trama de eixo-c dos quartzos em veios e rochas encaixantes mostrou um padrão de distribuição bem definido com média de  $10^{\circ}/310^{\circ}$  Az, em alto ângulo (média de  $75^{\circ}$ ) com a direção da Zona de Cisalhamento de Itapetim. As microfraturas (PIFs ou vazias), infra e intercristalinas, mostraram um arranjo espacial em grupos cujos planos encontram-se posicionados em alto (entre  $75^{\circ}$  e  $85^{\circ}$ ) ou baixo (entre  $20^{\circ}$  e  $25^{\circ}$ ) ângulos de mergulho, em direções variando entre NNW-SSE e NNE-SSW. Esse arranjo tridimensional do eixo-c e das microfraturas demonstra que a deformação sofrida pelo quartzo ocorreu em temperatura próxima de  $400^{\circ}\text{C}$ , com provável atuação de mecanismos de deformação cristal-plástico e puro-elástico e com deslizamento em  $\langle a \rangle$ . Além disso, os dados indicam que o tensor principal da deformação transpressiva regional esteve numa posição subparalela à direção da grande maioria das microfraturas, perpendicular ao plano (62-a3). Três tipos de fluidos foram definidos no estudo de inclusões fluidas, por meio da microtermometria e microespectroscopia Raman: a) tipo I, aquo-carbônico ( $1120 + \text{CO}_2 \pm \text{Cl}_{14}$ ), de baixa salinidade (0,8 a 10,0 % em peso equivalente de NaCl); b) tipo II, carbônico, rico em  $\text{CO}_2$  (92,0 a 99,0 mol %) e quantidades variáveis, mas subordinadas, de  $\text{CH}_4$  (até 8,0 mol%); e c) tipo III, aquoso de baixa salinidade (0,8 a 5,0 % em peso equivalente de NaCl). Estas inclusões fluidas representadas pelos fluidos 1, II e RI coexistem como grupos isolados ou ao longo de microfraturas infra e intercristalinas o que sugerem um aprisionamento heterogêneo de um fluido aquo-carbônico em estado de imiscibilidade. Esse processo deve ter ocorrido de forma episódica sob condições de temperatura e pressão que variaram entre  $215^{\circ}\text{C}$  e  $413^{\circ}\text{C}$  e 1,3 kb e 4,4 kb, respectivamente, correspondendo a uma profundidade na crosta de aproximadamente 3,0 e 11,0 Km. Os dados isotópicos de oxigênio e hidrogênio dos fluidos envolvidos na formação dos

veios de quartzo e provável evento mineralizante, definidos a partir dos valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  e  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  obtidos em quartzo e biotita, mostraram variações entre -1,6 ‰ e 6,5 ‰ e -63,8 e -80,8 ‰, respectivamente. Estes dados indicam uma possível mistura entre fluidos de fontes magmática ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,5$  ‰ e  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -75,9$  ‰) e metamórfica ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 2,4$  ‰ e  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -63,8$  ‰) com fluidos de origem meteórica ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -0,9$  ‰ e -1,6 ‰ e  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -80,8$  ‰ e -72,7 ‰).

**Abstract:** The Itapetim gold-bearing district, within the Transversal Zone of the Província Borborema, NE Brazil, comprises a series of low tonnage lode gold deposits, such as of hosted by mylonitic gneisses confined to a regional scale shear zone named Itapetim shear zone. The gold mineralization at Sertãozinho, Piedade, Pimenteiras e Gurgueia, the main deposits investigated in this work, are closely associated with vein shear systems. An integrated study involving the 3D analysis of quartz c-axis in veins and host rocks, distribution and pattern of microfractures, fluid inclusions and stable isotopes ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and d/H) was carried out with the purpose of evaluating the deformation mechanisms responsible for the porosity generation and, as consequent, permeability for fluid circulation within the Itapetim Shear Zone. Additionally, the nature and evolution of the fluids involved in the formation of the gold mineralization in this shear zone were also constrained. The plot of quartz c-axis in veins and host rocks showed a distribution pattern averaging  $10^\circ/310$  Az, in high angle (mean of  $75^\circ$ ) with the direction of the Itapetim Shear Zone. Intra and intercrystalline microfractures, empty or delineated by planes of fluid inclusions (PIFs), form an arrangement of steeply – dipping (between  $75$  and  $85^\circ$ ) and shallowly - dipping (between  $20^\circ$  and  $25^\circ$ ) planes, along strikes varying from NNW-SSE to NNE-SSW. The 3D arrangement of the quartz c-axis, together with that of the microfractures, demonstrate that quartz underwent deformation at temperatures close to  $400^\circ\text{C}$ , possibly as result of crystal-plastic and pure elastic deformation mechanisms, accompanied by sliding in  $\langle a \rangle$ . These data also confirmed that the

principal stress ( $\sigma_1$ ) associated with the regional transpressional deformation was sub-parallel to the direction of the great majority of the microfractures, perpendicular to the plane ( $\sigma_2$ - $\sigma_3$ ). Textural relationships, microthermometry and Raman microspectroscopy analysis of fluid inclusion in gold-bearing vein quartz defined three types of fluids: (i) type I, low salinity (0.8 to 10.0 wt % NaCl eq.) aqueous-carbonic ( $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$ ); (ii) type II,  $\text{CO}_2$ -rich carbonic, with subordinate amounts of  $\text{CH}_4$  (up to 8 mol%); and (iii) type III, aqueous with salinities ranging from 0.8 to 5.0 wt % NaCl eq.). The fluid inclusions which represent fluid types I, II and III coexist either in isolated groups or along intra- and intercrystalline microfractures, suggesting heterogeneous trapping of a  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{CO}_2$  fluid undergoing immiscibility. Such a process may have taken place episodically, under pressure and temperature in the range of  $215^\circ$  -  $413^\circ\text{C}$  and 1.3 kb - 4.4 kb, respectively, equivalent to crustal depths of 3 to 11 km.  $\delta^{18}\text{O}$  and d/H values calculated for the gold mineralizing fluids varied from -1.6 ‰ to 6.5 ‰ and from -63.8 ‰ to -80.8 ‰, respectively, indicating a fluid regime characterized by the contribution of magmatic ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.5$  ‰;  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -75.9$  ‰) and metamorphic - derived ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 2.4$  ‰;  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -63.8$  ‰) fluids, with cooler fluids of meteoric ori

**Jane Nobre Lopes**

**Orientador: Dr. Job Jesus Batista**

**Data: 27/08/2002**

**Diagenesis of the dolomites hosting zn/ag mineral deposits in the bambuí group at Januária Region - MG**

**Resumo:** A pesquisa efetuada na região de Januária teve por objetivo definir as relações existentes entre as mineralizações de Zn/Ag que ocorrem encaixados em dolomitos brechados da Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí), na região de Januária, MG. A definição de como e quando se formaram os dolomitos é fundamental para se entender a evolução das rochas carbonáticas, as relações existentes entre a sedimentação carbonática, os processos diagenéticos e sua relação com os depósitos minerais. A identificação de discontinuidades da bacia

e suas relações com as mineralizações também foram investigadas. A Formação Sete Lagoas foi informalmente dividida em 7 membros agrupados em 3 principais ciclos de sedimentação, denominados basal, intermediário e superior. O ciclo basal é constituído pelos membros calcilitos argilosos (basal) e calciruditos (1 e 2), interpretados como representando um intervalo regressivo, com os sedimentos depositados numa plataforma carbonática de baixa energia, cortada por canais de maré e esporadicamente afetada por tempestades. A sucessão intermediária é composta pelos membros calcarenito dolomítico (3), dolomito (4), stromatolito dolomítico (5) e dolomito oolítico, intraclástico (6) e da unidade inferior (7A) do membro 7, dololuto. A interpretação geral desse ciclo é que ele representaria uma sucessão regressiva após uma transgressão ocorrida quando da deposição do membro 3, em *ofáshore*, passando por depósitos de *shoreface* com barreira recifal, estromatolítica, ambiente lagunar, praias e planícies de marés. O ciclo intermediário termina com exposição subaérea da plataforma carbonática. Não foram encontradas evidências que confirmassem a possível discontinuidade, resultante de exposição subaérea, que teria atuado sobre sedimentos do membro 6. A sucessão superior é composta por pequenos ciclos regressivos de planícies de marés representando uma sucessão prográdante em ambientes de baixa energia. As três sucessões são consideradas como compondo um conjunto regressivo de parassequências. Sedimentos pelíticos da Formação Serra de Santa Helena encerraram a sedimentação carbonática da Formação Sete Lagoas. Com relação a modificações diagenéticas, os carbonatos apresentam feições de alterações diagenéticas em ambientes subaéreos (tepees, gretas de ressecção, cimentação vadosa e pequenas cavidades relacionadas a dissolução meteórica), submarino, incluindo aí ambientes de intermaré (cimento isópaco acicular ao redor de aloquímicos interpretado como representando cimentação tipo *beachrock*) e em subsuperfície. Feições diagenéticas de subsuperfície são predominantes e incluem, entre outras, compactação, cimentação por calcita espática,

dissolução hidrotermal, dolomitização, sulfetos e silicato de Zn, calcita espática de cristalinidade grossa (LCC), fluorita e betumem. Os dolomitos que hospedam os depósitos minerais são compostos por dolomitos de substituição (precoce e tardia) e cimenos dolomíticos, os quais foram intensamente afetados por dissolução/collapso, gerando brechas. Vários tipos de dolomitos foram identificados, mas apenas os mais importantes serão aqui abordados. Em ordem paragenética, os mais importantes são os dolomitos microcristalinos de substituição precoce (McCD), os dolomitos de cristalinidade média (MCD) e os de cristalinidade grossa (CCD), que são de substituição tardia. Dolomita de cristalinidade muito grossa (VcCD), saddle dolomita (SD) e dolomita de cristalinidade muito fina (VfCD) são cimenos dolomíticos. MCD afeta sedimentos do membro 7 e 5; MCD e CCD são abundantes e afetam litologias dos membros 4 e 6. VcCD e SD ocorrem intimamente associadas e embora predominem no membro 6, são comuns no membro 7, cortando a suposta superfície de exposição subaérea que teria ocorrido sobre o membro 6. SD ocorre na forma romboédrica, mais comum e precoce em relação à forma simétrica, que é de cor branca leitosa. VfCD é restrita a zonas de brechas de dissolução/ colapso e é tardia em relação às outras dolomitas, exceto possivelmente a SD branca. Os diversos tipos de dolomitos e os calcários basais foram analisados para isótopos estáveis e também para Sr. Os resultados das análises de CIO tem como referencia o PDB. Amostras selecionadas de calcários que apresentam o mínimo de alteração diagenética, e não contem argilominerais foram analisadas para CIO e  $87\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  e os resultados obtidos a partir dessas arrostas são considerados como representando a provável composição isotópica da água do mar quando da deposição dos sedimentos da Formação Sete Lagoas; esses resultados serão utilizados como referência para avaliar as variações isotópicas nas outras fases diagenéticas analisadas. Os resultados isotópicos de Sr permitem ainda avaliar a idade de deposição da Formação Sete Lagoas, estimada como tendo ocorrido em torno de 590 a 600Ma. As amostras analisadas são microamostras e



representam as fases diagenéticas já mencionadas. Valores de  $\delta^{18}O$  (PDB) situados entre -6.11 to -6.56‰ (média = -6.39) e valores de  $\delta^{13}C$  variando entre 0.26 to 0.58‰ (média = 0.42‰), são considerados como representativos da água do mar à época da deposição da Formação Sete Lagoas. A relação  $^{87}Sr/^{86}Sr$  da água do mar nesse mesmo oceano é situada entre 0.7076 and 0.7079, com base em calcários que ocorrem na base da seção. MCD: valores de  $\delta^{18}O$  permitem considerá-los como tendo se formado a partir da água do mar na época da deposição da Formação Sete Lagoas, ou ligeiramente modificada. A relação  $^{87}Sr/^{86}Sr$  obtida é ligeiramente superior à definida para a água do oceano Neoproterozóico da Formação Sete Lagoas, o que sugere modificações da composição original, por fluidos diageneticamente tardios. MCD/CCD: os valores de  $\delta^{18}O$  são ligeiramente depletados em relação à presumível composição isotópica da água do mar e os valores de  $^{87}Sr/^{86}Sr$  são enriquecidos em relação à água do mar. A pequena diferença isotópica observada em relação ao  $\delta^{18}O$  padrão não permite conclusões definitivas sobre a formação desses dolomitos; entre as possibilidades estão o neomorfismo de dolomitos pré-existentes tardiamente neomorfizados e afetados por fluidos ricos em Sr, ou formação durante soterramento a partir de fluidos enriquecidos em Sr. Os cristais de dolomita cortam estilólitos indicando formação em subsuperfície. VcCD e SD romboédrica apresentam valores semelhantes e muito depletados em  $\delta^{18}O$  em relação aos demais dolomitos. Os valores de  $^{87}Sr/^{86}Sr$  são semelhantes aos obtidos para MCD/CCD. Inclusões fluidas em SD sugerem temperatura de formação acima de 230 °C. Por essas razões VcCD e SD são interpretadas como tendo se formado em subsuperfície, durante soterramento, por fluidos diagenéticos quentes e que apresentavam composição semelhante entre si. VfCD cimenta fragmentos de brechas, mas age também como sedimento detrítico, apresentando laminação e às vezes gradação normal. Os valores de  $\delta^{18}O$  são anômalos em relação aos outros cimentos e mais próximos da presumível composição isotópica da água do mar, mas não os valores de  $^{87}Sr/^{86}Sr$ , que são enriquecidos.

Também não existe feições de campo ou diagenéticas que sugiram formação diretamente a partir da água do mar. Por essas razões VfCD é interpretado como resultando de desagregação química ou quimicamente induzida por fluidos quentes (warm brines). VfCD é muito semelhante aos denominados "dolomitos arenosos" depositados em cavernas e relacionados à atividade hidrotermal em outros depósitos minerais semelhantes. Todas as dolomitas descritas ocorrem no nível de dolomito brechado que hospeda as mineralizações. Feições relacionadas a dissolução meteórica são raras, pequenas e preenchidas apenas com sedimento fino dolomitizado; cavidades relacionadas ao nível brechado são preenchidas além das fases descritas por sulfetos, LCC, fluorita e betumem. Portanto, as feições de dissolução e o nível brechado são consideradas como tendo se desenvolvido em subsuperfície, a partir de fluidos quentes e não guardam qualquer relação com possíveis descontinuidades da bacia. As brechas mineralizadas são interpretadas como resultantes da ação seletiva de fluidos mineralizantes sobre um nível de brecha pré-existente. A mineralização é por isso considerada como epigenética e hidrotermal. A idade das mineralizações é um problema em aberto; se estiver relacionado à compressão ocorrida no Ciclo Brasileiro, a idade estará compreendida entre 590-600Ma e 530Ma, sendo portanto neoproterozóica. Caso esteja relacionada a tectônica distensiva atuante na região, pode ser até de idade fanerozóica. Os controles metalogenéticos, estão relacionados em primeira instância a fatores tectônicos e estruturais (fora do escopo da tese). No âmbito da bacia sedimentar, o principal controle metalogenético são unidades porosas e permeáveis que atuam como conduto para as soluções dolomitizantes e mineralizantes; unidades permeáveis são limitadas por fácies impermeáveis, que impedem a circulação dos fluidos (aquitardes). Níveis porosos são representados especialmente pelas unidades que compõem os membros 6 e 4; são eles também os mais afetados por dissolução/colapso gerando o extenso nível regional de brechas. Unidades que limitam a circulação dos fluidos e atuam

como selantes são a parte superior, não brechada do membro 7, e na porção inferior, as unidades lamosas do membro 3. Unidades de granulação mais grossa são afetados de modo mais intenso por brechas de dissolução /colapso e freqüentemente são mineralizadas. Durante o soterramento, as unidades permeáveis atuaram como condutos para fluidos aquecidos responsáveis pela dolomitização, brechado e mineralização.

**Abstract:** This study is designed to investigate the relationship between Zn/Ag mineral deposits emplacement and the host rock, dolostones of the Sete Lagoas Formation, (Bambuú Group) in the Januária region, MG. The definition of the timing and possible origin of the massive dolomitization and dissolution/collapse brecciation is of primary importance to understand the evolution of carbonate rocks and define the relationship between carbonate sedimentation, diagenetic processes and the emplacement of mineral deposits. The recognition of unconformities and their relationship with regional, large-scale brecciation is also envisaged. In order to attain these objectives, a regional and detailed mapping was done. In this research, the Sete Lagoas Formation is informally divided into seven members, grouped into three main shallowing-upwards successions, named basal intermediate and upper. The basal succession consists of the argillaceous lime mudstone member 1 (basal), and calcirudite member 2, and are interpreted as recording a prograding interval deposited on a lowenergy platform or shallow shelf cutted by tidal channels and sporadically affected by storms. The intermediate succession comprises the dolomite calcarenite member 3, dolostone member 4, stromatolite dolostone member 5, ooid-intraclast dolostone member 6, and the lowermost unit (7A) of the dolomudstone member 7. Its overall interpretation is that it represents a shallowing-upwards succession from muddy to sandier sediments deposited in offshore through a sandier shoreface with stromatolite reefal barrier, lagoonal and beach to tidal flat environments; subaerial exposure of the carbonate platform ended the intermediate shallowing-upwards succession. An unconformity assumed by

some authors as developed above the ooid-intraclast dolostone member 6 (the pink dolostone) is not recognized in this research. The uppermost succession, made up of small peritidal cycles, is interpreted as representing a series of prograding tidal flat successions that record low energy environments. The three main successions are interpreted as a parasequence set of a progradational stacking pattern. The increase in pelitic sediments upwards in the overlying Serra de Santa Helena shut down the carbonate platform. Regarding diagenesis, the carbonate rocks of the Sete Lagoas Formation has undergone diagenetic alteration in subaerial, submarine and subsurface environments. Diagenetic features of subaerial diagenesis include desiccation cracks, tepees, vadose cements and small-scale dissolution vugs; submarine environment is represented by isopachous fibrous cement around allochems suggesting beachrock cementation. Subsurface diagenesis resulted in the most important modifications in the carbonate rocks and includes, among others, compaction, blocky sparry calcite, hydrothermal dissolution, dolomitization, sulfide and silicate ore minerals, late-stage coarse-crystalline calcite, fluorite and bitumen. The dolostones hosting mineral deposits are made up of replacement dolomites and cements and are strongly affected by dissolution/collapse brecciation. The main dolomite types recognized in the Januária region related to mineral deposits, are in paragenetic sequence: microcrystalline (McCD), medium-crystalline (MCD), coarse-crystalline (CCD), very-coarse-crystalline (VcCD), saddle (SD) and very finely crystalline. McCD represent early, penecontemporaneous replacement dolomites and MCD/CCD, late replacement dolomites. Very coarse-crystalline dolomite (VcCD), saddle dolomite (SD) and very finely crystalline dolomite (VfCD) are dolomite cements. McCD occurs mostly in sediments of the dolomudstone member 7 and stromatolites/fine sediments of the member 5. MCD/CCD are widespread and affect mostly the dolostone and ooid-intraclast dolostone member (4 and 6). VcCD and SD are closely associated with each other and occur in cavities and fractures in MCD/CCD, crosscut the limits between the members 6 and 7 what

indicate they are formed later than the presumed unconformity developed above member 6, as already mentioned. SD occurs in rhombohedral (pink or pale gray saddle dolomite) and saddle fornix (Mãe saddle dolomite); white SD is later than rhombohedral ones. VfCD is restricted to dissolution/collapse breccia layer and affects the all above described dolomites, except possibly the white SD. The dolomites and late-stage coarse-crystalline calcite (LCC) were analysed for C/O isotopes, as well as to Sr isotopes. Samples of the basal limestones were analysed in order to have bench markers representing the estimated isotopic signature of the Neoproterozoic seawater of the Sete Lagoas Formation and these values will be used as a reference to determine post-depositional diagenetic changes. The Sr isotopic composition suggests sedimentation of the Bambuí Group started at around 590 to 600 Ma. The obtained  $\delta^{86}\text{O}$  values (PDB) inferred to represent the composition of seawater or slightly modified seawater during deposition of the Sete Lagoas Formation range from -6.11 to -6.56‰ (mean = -6.39) and  $\delta^{13}\text{C}$  range from 0.26 to 0.58‰ (mean = 0.42‰). The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio of seawater during deposition of the Sete Lagoas Formation is estimated to be between 0.7076 and 0.7079 based on micritic limestones at the base of the section. MCD:  $\delta^{86}\text{O}$  values is within the range of values for dolomites that would precipitated from Sete Lagoas Formation seawater, or slightly modified seawater. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios range are slightly higher than the estimated original isotopic signature of the Neoproterozoic Sete Lagoas Formation seawater, suggesting that their original isotopic signature were partly modified by later diagenetic fluids. MCD/CCD:  $\delta^{86}\text{O}$  values are slightly depleted compared to the Neoproterozoic seawater. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios are more radiogenic than the estimated seawater of the Sete Lagoas Formation. The present data do not provide an unequivocal conclusion concerning the origin of MCD/CCD; these dolomites could result from previous dolomites late affected by neomorphism and diagenetic fluids or formed under burial conditions by Sr-rich fluids. MCD/CCD postdate stylolites suggesting that dolomitization occurred during

burial. VcCD/SD show similar  $\delta^{86}\text{O}$  values, the most depleted ones.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios are similar to MCD/CCD, thus more radiogenic than the estimated seawater. Fluid inclusion measurements in SD suggest entrapment temperature above 231°C. Thus VcCD/SD are interpreted as being formed in subsurface during burial by warm diagenetic fluids of similar chemical composition. VfCD cements all kind of breccia fragments but also act as internal sediment displaying lamination and/or normal grading. Locally is closely related to mineralization. The  $\delta^{86}\text{O}$  values is within the range of Sete Lagoas Formation seawater, however the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values are not compatible with the estimated Neoproterozoic seawater. There is no diagenetic feature or field relationship could suggest formation of VfCD directly from seawater. Thus, VfCD is interpreted as resulting from chemical or chemically induced mechanical disaggregation by warm brines. VfCD is similar to the named "sanded dolomites" deposited in internal cavities and related to hydrothermal activity. All described dolomites occur in the brecciated dolostone level making a stratigraphic level in the Januária region, as well as in the middle São Francisco valley, and resulting from dissolution/collapse brecciation. This study indicate that dissolution occurred mostly in subsurface; dissolution related to subaerial exposure are minor and differ from subsurface in at least three main aspects: dissolution vugs related to meteoric waters are small, areally restricted and the infilling material are only fine dolomitized sediment. Dissolution features considered as resulting from subsurface warm fluids, are widespread, the filling material includes VfCD, SD, VfCD, sulfide, LCC, fluorite and bitumen, and dissolution/brecciation crosscut the hypothetical unconformity of previous authors developed above the member 6. Thus, most of the dissolution and breccias resulted from action of hydrothermal fluids during burial, and ore-bearing dissolution/collapse breccias are interpreted to be the result from selective sulfide replacement of pre-ore collapse breccia. Mineralization is thus epigenetic, resulting from the action of subsurface warm fluids, interpreted as hydrothermal. The timing of mineralization is one of the unsolved problems. As dolomitization and

the emplacement of ore minerals took place during burial of the sediments, considering the compressional model, the Januária mineral deposit could be related to the evolution of the Brasiliano Cycle and thus restricted to the Neoproterozoic. However, if emplacement of mineral deposits is related to extensional tectonics, the timing of mineralization need not be restricted to the Neoproterozoic and could be Phanerozoic in age. The main metallogenic control is tectonics, that provide the driving forces responsible for fluid flow over large arcs. Faults and fractures are the main conduits for the ascending flow in a basin. Within the basin, fluid flow is controlled also by Porosity and permeability of sedimentary units. Thus, the interaction of faults with permeable sedimentary units and unconformities of the basin define the regional pattern of related dolomitization and dissolution/collapse breccia development. This same association, depending on the availability of the sulphur, also controls ore emplacement. Thus, the first iron in the study area related to the carbonate sediments is the distribution of strata with contrasting Permeabilities. The porous units are lithofacies of the dolostone and ooid-intraclast dolostone members (4 and 6), limited by porous, impermeable ones (aquifers); the lowermost unit to act as aquifer was the basal fine carbonate of the dolomitic member 3 and the uppermost unit was lithologies of the dolomitic member 7. These aquifers controlled dolomitization, dissolution/collapse brecciation and ore mineral deposits. During burial, the permeable units acted as conduits for water, hydrothermal dolomitizing and mineralizing fluids.

**João César de Freitas Pinheiro**

**Orientador: Dr. Iran Ferreira Machado**

**Data : 13/07/2000**

#### **A mineração brasileira de ferro e a reestruturação do setor siderúrgico**

**Resumo:** Durante a década de 1990, intensificou-se uma profunda reestruturação do setor siderúrgico em todo o mundo, influenciando o aproveitamento econômico de minério de ferro. Com o desmembramento da União Soviética,

países como Rússia, Cazaquistão e Ucrânia, antes grandes produtoras e consumidores de aço e minério de ferro, tiveram a produção e o consumo desses insumos reduzidos a metade. Com a entrada dos novos materiais, fomentada pela aplicação de enormes recursos em P&D, está ocorrendo uma gradativa transferência da produção e do consumo de aço e minério de ferro dos países desenvolvidos para os países em desenvolvimento, com destaque para a China. O Brasil e a Austrália continuam sendo os países maiores produtores-exportadores de minério de ferro, liderando as vendas para a Europa Ocidental e para a Ásia, respectivamente. Após a privatização da Companhia Vale do Rio Doce-CVRD, o Brasil perdeu para a Austrália um pouco das suas fatias de mercado conquistadas no mercado japonês. As privatizações e mudanças de controle acionário nas empresas siderúrgicas do Ocidente, as inovações tecnológicas e a incessante busca dos baixos custos operacionais tem forçado as empresas de mineração a otimizar processos de lavra, beneficiamento, pelotização e transporte de minério de ferro, como também adotarem estratégias de aquisições, fusões e incorporações. Os preços dos vários tipos de minério de ferro submetem-se a uma evolução ditada pelas grandes empresas siderúrgicas, que estipulam monótonos limites, rigidamente seguidos pelas empresas de mineração. As instabilidades na produção, nos preços e na demanda por minério de ferro, no caso do Brasil, decorrem muito mais de fatores internacionais do que internos. Os passivos ambientais, gerados por acumulação histórica de impactos nas regiões mineradas do Brasil, estão preocupando a sociedade brasileira, principalmente os grupos sociais organizados das comunidades que vivem nas imediações das minas de ferro. O retorno social exigido não pode ser proporcionado somente pelas empresas de mineração, mas sim decorrerá da ação governamental capaz de responsabilizar governos e sociedades dos países desenvolvidos, cuja industrialização se fez às custas da mineração de ferro. Em vista da necessidade de pagamento dos passivos ambientais e preparação das empresas brasileiras de mineração de

ferro para a substituição do aço, esta tese apresenta a proposição de abertura imediata de negociações internacionais, pelo Brasil, voltadas à análise de impacto global, adoção dos Estudos de Impacto Ambiental - EIA(s) regionais e aberturas de linhas de financiamento de P&D de novos materiais (ligas especiais), envolvendo os principais países produtores-exportadores e consumidores de minério de ferro.

**Abstract:** During the 90s a deep restructuring in the steelmaking sector was intensified in the whole world, influencing the economic activities of iron ore industry. With the collapse of USSR, countries as Russia, Kazakhstan and Ukraine, formerly great producers and consumers of steel and iron ore, had their production and consumption halved. With the entrance of advanced materials, fostered by the use of a great amount of resources in R&D, a gradual transferring of production and consumption of steel is occurring, from the developed to the developing countries, notably China. Brazil and Australia still are the largest iron ore producers/exporters, directing their sales to Western Europe and Asia, respectively. After the privatization of Companhia Vale do Rio Doce - CVRD, Brazil lost to Australia part of its market share in Japan. The control transfers and changes in the stock ownership of the steelmaking companies in the West, the technological innovations and the persistent search for low operational costs have compelled the mining companies to improve extraction, processing, palletizing and transport of iron ore, as well as adopting strategies of mergers and acquisitions. The prices of various types of ore are submitted to an evolution dictated by the big steelmakers, which settle narrow limits, rigidly followed by the mining companies. The instabilities in Brazilian production, prices and demand for iron ore are due mainly to international factors instead of domestic ones. The environmental liabilities generated by a historical accumulation of impacts in the mined areas of Brazil are worrying our society, mainly the organized social groups of the communities living in the neighborhood of the iron ore mines. The required social payback cannot be proportioned only by the mining companies, but will instead arise from

governmental actions, capable of jointly charging the.

**Joel Buenano Macambira**  
**Orientador: Dr. Alfonso Schrank**  
**Data: 20/08/2003**

**O ambiente deposicional da formação carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará.**

**Resumo** Os grandes depósitos de ferro de Carajás pertencem à Formação Carajás, uma espessa (100-400m) formação ferrífera bandada e laminada (jaspilito), localizada no Estado do Pará, norte do Brasil. Esta formação aflora quase continuamente por, pelo menos, 260km, em 60 depósitos, distribuídos em três serras principais, São Félix, Leste e Carajás. A última é uma estrutura sinformal sub-dividida em serras Sul e Norte. Este trabalho envolveu mapeamento, levantamento estratigráfico e amostragem para estudos petrográficos, geoquímicos, isotópicos e geocronológicos na Serra Norte, onde a mineração está em atividade e há bancadas e sondagens disponíveis. Entre 2.754 e 2.744 Ma foram depositados, na razão de ~ 22m/Ma, níveis (4 mm a 3 cm) de chert ou jaspe, alternados com magnetita-magnetita-hematita, a profundidades de 100-200m, localmente afetados por correntes de fundo. Esse sedimento químico hidroplástico precipitou por supersaturação (Si) e oxidação (Fe) a partir de águas de ressurgência, sendo que, sua base recebeu maior contribuição de águas de fontes hidrotermais ( $\delta\text{REE}=6,66$ ;  $\text{Eu}^*=3,54$ ;  $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}=1,52$ ) que o topo ( $\delta\text{REE}=3,89$ ;  $\text{Eu}^*=3,18$ ;  $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}=0,66$ ). Também, os teores de elementos maiores mostram maior variabilidade na base que no topo. O jaspilito de Carajás tem duas vezes mais Ga (21ppm), Bi (6ppm) e Pb (18ppm) e sete vezes mais Sb (7ppm) que a média mundial de rochas similares. A oxidação do Fe pode ter sido promovida por atividade orgânica, evidenciada pelos delicados esferulitos de parede dupla e preservação de kerogênio em siltitos de unidade pouco mais jovem. Uma localizada carbonatização hidrotermal afetou o jaspilito, produzindo  $\delta^{13}\text{C}$  médio de  $-4,3\text{‰PDB}$  e dois grupos de  $\delta^{18}\text{O}$  ( $+24,9$  a  $+15,4$  e  $+12,8$  a  $+6,6\text{‰SMOW}$ ).

São mínimos os registros de metamorfismo nessas rochas. O trabalho regional, a compilação bibliográfica e as correlações da Formação Carajás com unidades sobrejacentes das minas do Bahia e Azul permitem propor um modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará, iniciando com um rifteamento intracontinental, marcado por um vulcanismo basáltico tholeiítico, com contaminação crustal (2,76 Ga - U-Pb em zircão). O segundo estágio foi a deposição da Formação Carajás sobre uma plataforma continental marinha, ampla, calma e influenciada pela ressurgência de águas ricas em Fe e Si. Em um terceiro estágio, essa unidade foi recoberta por vulcânicas associadas com sedimentação clástica (2,74 Ga - Pb-Pb em zircão). O quarto estágio compreende a instalação de outro ambiente de plataforma continental onde se depositaram clásticas e carbonáticas (2,68 Ga - U-Pb em zircão). Inversão da Bacia e deposição fluvial fecham essa evolução.

**Abstract** The large Carajás iron ores belongs to the Carajás formation, which is a 100-400m thick banded and laminated iron formation (jaspilite), located at Pará state in North Brazil. This almost continuous formation outcrops for at least 260km, in 60 ore deposits, distributed in three main ridges, São Felix, Leste and Carajás. The last one is a sinformal structure sub-divided in South and North ridges. This work was carried out on detailed mapping, stratigraphic raising and petrographic, geochemical, isotopic and geochronological sampling of the North ridge, where the mining activity is currently running and bench and drill-core are available. Levels (4  $\mu$ m to 3 cm) composed by chert or jasper alternated with magnetite-maghemite-hematite was deposited between 2,754 and 2,744 Ma (22m/Ma) at depths of 100-200m, locally affected by bottom currents. This hydroplastic chemical sediments precipitated by supersaturation (Si) and oxidation (Fe) from upwelling waters where the base was richer in hydrothermal source waters ( $\Sigma$ REE=6,66; Eu\*=3,54; (La/Yb)<sub>N</sub>=1,52) than the top ( $\Sigma$ REE= 3,89; Eu\*=3,18; (La/Yb)<sub>N</sub>=0,66). Besides, the major elements content have more variability at base than top. The Carajás

jaspilite have twice Ga (21ppm), Bi (6ppm), Pb (18ppm) and seven times Sb (7ppm) than the world average for similar rocks. The Fe oxidation may have been promoted by organic activity, attested by delicate double wall spherulites and kerogen preservation in siltstones of a light younger unit. Local hydrothermal carbonatization has affected the jaspilite producing  $\delta^{13}\text{C}$  mean of  $-4.3\text{‰}_{\text{PDB}}$  and two groups of  $\delta^{18}\text{O}$  (+24,9 to +15,4 and +12,8 to +6,6 $\text{‰}_{\text{SMOW}}$ ). Otherwise, metamorphic imprints on this rocks are minimal. Regional work, bibliographic compilation and correlations of the Carajás formation with overlying units of Bahia and Azul mines leaves to propose a evolutionary model for the Grão Pará Basin, initiated as a intracontinental rifting stage, marked by crustal contaminated tholeiitic basalt volcanism (2.76 Ga - U-Pb zircon ages). The second stage was the deposition of the Carajás formation over a wide, quiet marine continental shelf, influenced by upwelling of Fe-Si rich waters. In a third stage, the last was recovered by volcanics associated with clastic sedimentation (2.74 Ga - Pb-Pb zircon ages). The fourth stage comprises the installation of another continental shelf environment, where clastics and carbonate rocks has deposited (2.68 Ga - U-Pb zircon ages). Basin inversion and fluvial deposition closes the evolution.

**José Adilson Dias Cavalcanti**  
Orientador: Dr. Roberto Perez Xavier  
Data: 18/12/2003

**Origem dos turmalinitos auríferos da região sudeste do quadrilátero ferrífero-mg: evidências de campo, petrografia, química mineral e dados isotópicos de nd e sr.**

**Resumo:** Os turmalinitos auríferos que ocorrem na região do Anticlinal de Mariana, sudeste do Quadrilátero Ferrífero, têm suscitado debates quanto à sua origem, podendo ser singenética e relacionada a focos exalativos ou epigenética atribuída a processos metamórficos ou ao magmatismo granítico. O estudo realizado nos depósitos auríferos de Passagem, Mata Caval, Chico Rei, Scliar e Duas Bocas mostrou que existem três modos de ocorrência da turmalina associada aos depósitos auríferos da

região: (T1) turmalina em corpos de turmalinitos estratiformes; (T2) turmalina nos halos de alteração hidrotermal das encaixantes da mineralização; e (T3) turmalina em veios mineralizados. Apesar das diferenças composicionais, a turmalina foi classificada como dravita, pertence ao grupo das turmalinas alcalinas. A correlação entre os dados de campo, petrografia, química mineral e isótopos de Nd e Sr, indicou que: i) a circulação profunda de fluidos gerou focos exalativos ricos em boro, que resultaram na precipitação do turmalinito estratiforme; ii) a formação da turmalina dos halos de turmalinização e dos veios mineralizados, está relacionada com a mistura de fluidos mobilizados das rochas encaixantes e daqueles provenientes do sistema mineralizante.

**Abstract:** Auriferous tourmalinites of the Anticinal de Mariana region, southeastern Quadrilátero Ferrífero, have long raised debates regarding their origin. Genetic models have considered the tourmalinites as syngenetic, invoking the importance of exhalative focus, as well as epigenetic formed as a result of hydrothermal alteration and/or granitic magmatism. This study was centred on the Passagem, Mata Cavallo, Chico Rei, Scliar and Duas Bocas gold deposits, where three distinct modes of tourmaline occurrences were identified: (T1) tourmaline as the essential component of stratiform tourmalinites; (T2) tourmalines concentrated as hydrothermal alteration envelopes around gold –bearing quartz-carbonate-sulphide veins; (T3) aggregates of tourmalines as part of gold –bearing quartz-carbonate-sulphide veins. In spite of their compositional differences, all belong to the group of alkaline tourmalines and are classified as dravite. Combining field relationships, together with petrography, mineral chemistry and Nd and Sr isotope data, the following conclusions regarding the origin of the gold-related tourmalinites may be pointed out: i) boron-rich submarine exhalative fluids caused the syngenetic precipitation of the stratiform bodies of tourmalinites; ii) remobilization of boron, possibly by metamorphic fluids *sensu stricto* derived from the metamorphic devolatilization of the enclosing rocks and deep-seated synmetamorphic fluids, may have caused

the precipitation of vein-related tourmaline, as part of an epigenetic gold-bearing hydrothermal system.

**José Carlos Sícoli Seoane**  
**Orientador: Dr. Ardemirio de Barros Silva**  
**Data: 15/10/1999**

**Geologia do ouro epitermal de castro, pr. uso de sistema de informação geo-referenciada para avaliação de base de dados geológico-geoquímicos.**

**Resumo:** A região de Castro é constituída por uma bacia extensional, Eo-Cambriana e Eo-Ordoviciano tardia a pós-Brasilianok. Diques e plugs andesíticos cortam sedimentos pelíticos e rudáceos bem laminados, com tufos e ignimbritos subordinados. Um complexo de domos riolíticos maciços a extremamente bandados por fluxo, originado em vários pulsos magmáticos, tufos e epiclásticas completam a sequência, próximo à cidade de mesmo nome no centro -leste do estado do Paraná. As rochas da bacia hospedam mineralização aurífera epitermal de baixa sulfetação, a primeira de seu tipo e idade a ser descrita no Brasil. O ouro é encontrado tanto nas rochas intermediárias e félsicas. Sedimentos são estéreis mas os contatos entre as rochas vulcânicas e estes são locais de silicificação e mineralização. A textura comum aos veios mineralizados é a substituição de carbonato, e cinábrio e arsenopirita ocorrem em pequena quantidade. Calcedônia, calcita, ilita e barita são típicos como minerais e ganga. Também ocorrem hematita, limonita e goetita, em geral em fraturas e/ou cavidades, fluorita, sericita e epidoto. Estibnita, zeolita, e granada ocorrem localmente e em pequena quantidade. A geoquímica multielementar de 750 amostras de sedimento de corrente nas frações acima e abaixo de 80#, além de contagem de pintas em concentrado de batéia, foram importados de arquivos de resultados enviados pelo laboratório e associados através do número da amostra às coordenadas das estações de amostragem, obtidas por GPS. Cartas topográficas 1:50.000 foram digitalizadas em CAD e editadas em SIG para obtenção de uma base, e as bacias hidrográficas

foram delimitadas. Cada bacia foi associada à amostra correspondente. Mapas geológicos de diversas origens e fotointerpretação 1:60.000 das estruturas foram igualmente digitalizadas, georreferenciadas, editadas e integradas em SIG. O modelamento em SIG de associações de elementos farejadores da geoquímica multielementar, selecionados tanto pela técnica knowledge driven quanto data driven, leva à seleção de quatro grupos de onze bacias, por sua vez também relacionadas à estruturas ou contatos litológicos, a serem investigados para mineralizações aflorantes ou não. O ponderamento dos valores de ouro pela sinuosidade das drenagens amostradas permite a filtragem dos efeitos de dispersão física e de acumulação do ouro, resultando em um mapa de anomalias modificado, que melhor representa a distribuição química original do ouro nas rochas, e portanto, de anomalias correlacionáveis à mineralizações.

**Abstract:** Castro is an extensional, Eocambrian to Eordovician late to post-Brasiliano foreland basin. Plug and dyke bodies of andesite cut pelitic and rudaceous sequences of well-bedded red to green siltstone and sandstone, with subordinate ignimbrite. A dome complex of massive to highly flow-banded rhyolite from several pulses, tuff and epiclastics, fill the basin nearby the town of the same name, in central-eastern state of Paraná. The basin is host to lowsulphidation epithermal gold mineralization, the first of its type and age to be reported in Brazil. Gold is found in both intermediate and felsic volcanic rocks. Sediments are virtually barren, but rhyolite / sediment contacts are known sites of silicification and mineralization. Carbon replacement is a common vein texture and cinnabar and arsenopyrite occur in small quantities. Chalcedony, calcite, illite and barite are typical gangue minerals. Also present are hematite, limonite and goethite, usually in fractures and/or cavities, fluorite, sericite and epidote. Stibnite, zeolite, and garnet occur locally and in small quantities. The integration, validation and analysis at different scales of the great diversity of data suitable for the exploration of commodities associated with epithermal systems, are met by the implementation of

a Geographic Information Systems (GIS). Data used in deposit modeling includes multielementary geochemistry in various media and regional and detail geological mapping. Multielementary geochemistry of 750 stream sediment samples in two sieve fractions (above and below 80#), plus color count for gold in pan concentrates collected nearby the stream sediment stations, were captured from lab result spreadsheets and associated by their corresponding sample number to sample site location obtained from GPS. Topo sheets in 1:50.000 scale were digitized in CAD to provide a base map and edited in the GIS to become seamless; catchment basins were delimited and each basin was assigned its corresponding sample. Geology maps and photointerpretation of structures were also digitized, georeferenced and edited for consistency in the GIS. Modeling by GIS, using both knowledge driven and data driven pathfinder associations for multielementary geochemistry, lead to selection of four clusters of eleven catchment basins, which are related to structures or lithological boundaries, to be investigated for surfacing and non-surfacing orebodies. Weighting gold values based on sinuosity of the streams, to filter out the effects of physical dispersion and accumulation of gold, results in a modified anomaly map which more closely represents the original chemical distribution of gold in rocks, and thus anomalies related to mineralization.

**José Mário Coelho**

**Orientador: Dr. Saul Barisnik Suslick**

**Data: 20/09/2001**

**Impactos da reestruturação do setor de feldspato no Brasil sobre as empresas de pequeno porte: importância de uma nova abordagem na análise de investimentos**

**Resumo:** Este trabalho analisa os principais obstáculos à competitividade do setor brasileiro de minerais industriais, utilizados nas indústrias de vidro e de cerâmica, bem como a sua reestruturação e seus reflexos nas pequenas empresas de mineração. São apresentados os dados da pesquisa de campo sobre a estrutura da indústria de feldspato no Brasil e das principais indústrias consumidoras: vidro,



revestimentos cerâmicos, coloríficos e louças sanitárias, que apresentaram no seu conjunto, em 2000, um faturamento de aproximadamente US\$ 5 bilhões/ano, representando quase 1% do produto interno bruto brasileiro. É apresentado o estudo de previsão de demanda de feldspato que leva em conta a entrada do revestimento cerâmico tipo porcelanato, que está ampliando substancialmente o consumo de feldspato. Face, principalmente, ao provável aumento substancial do consumo, o setor de feldspato está passando por uma forte reestruturação, que será ampliada com a entrada de grandes empresas de mineração que estão promovendo estudos para implantação de novos empreendimentos. Essa reestruturação, com uma provável concentração, está impactando as pequenas empresas, com o aumento da exclusão e o fechamento dessas empresas. As pequenas empresas produtoras de feldspato, não estão preparadas para a formulação de estratégias competitivas e a construção de diferenciais competitivos para enfrentar o novo ambiente, em contínua transformação. A redução da vulnerabilidade das atuais pequenas e médias empresas produtoras de feldspato requer a formulação de estratégias e a construção de diferenciais competitivos. Visando capacitar as pequenas empresas a enfrentarem competitivamente o modelo concorrencial que está se configurando, desenvolveu-se neste trabalho uma metodologia que incorpora os conceitos de gestão estratégica de custos à tomada de decisão em empreendimentos de pequenas e médias empresas de minerais industriais. A utilização dessa metodologia de análise de investimento requer que os tomadores de decisão entendam as mudanças, e seus efeitos, como integrantes necessários do rol de fatores a analisar. Uma das razões para valorizar a análise estratégica e o desenvolvimento sustentável como fatores de seleção de projetos é que, diante rápidas mudanças no mundo dos negócios, no qual é inerente a convivência com riscos e incertezas, novos instrumentos de análise e novas competências devem ser criados ou recuperados para conduzir o processo decisório.

**Abstract:** This study analyses the main obstacles to the competitiveness of the Brazilian sector of mineral industries, specifically that of the glass and ceramics industries, as well as its restructuring and how this reflects on small mining companies. Data from field work on the structure of the feldspar industry in Brazil and on the main consumer industries are presented: glass, ceramic tiles, enamel frits and glazes, and bathroom fixtures. This sector, as a whole, showed sales of approximately R\$5 billion in the year 2000. The study of the demand forecast for feldspar is presented, taking into consideration the entry of the ceramic tiles of the porcelain stoneware type, which is considerably increasing the consumption of feldspar. Mainly in the light of the probable substantial increase in consumption, the feldspar sector is undergoing a considerable restructuring, due to be expanded with the entry of large mining companies, which are promoting studies for the implantation of new enterprises. This restructuring, with a probable concentration, is having a great impact on the small firms, increasing their exclusion and closure. The small companies producing feldspar are unable to devise competitive strategies and to establish competitive differentials to face the new circumstances, in continual transformation. The reduction of the vulnerability of the current small and medium-size companies producing feldspar demands these new strategies and competitive differentials. With a view to enabling the small firms to successfully face the competitive model that is emerging, in this study we have developed a methodology that incorporates the concepts of strategic cost management to the decision-making process in small and medium-sized firms in the mining industry. The utilization of this methodology of investment analysis requires the decision-makers to understand the changes and their effects, as a necessary component of the list of factors to be analyzed. One of the reasons to value strategic analysis and sustainable development as a factor for selecting projects is that, in view of the rapid changes in the business world, in which it is inherent to coexist with risks and uncertainties, new analytical tools and new competences must be created or salvaged

in order to carry out the decision-making process.

**Juarez Fontana dos Santos**  
**Orientador: Dr. Iran Ferreira Machado**  
**Data: 02/09/1997**

**O capital internacional e a mineração brasileira contemporânea**

**Resumo:** A indústria mineral brasileira apresentou um acentuado crescimento ao longo das décadas de 60 a 70. A descontinuidade dos investimentos, a partir da segunda metade da década de 80, originou uma crise que tem preocupado todos os profissionais do setor. Na busca de instrumentos para promover a reativação da mineração, os especialistas procuram identificar as causas da crise e os mecanismos para a sua neutralização. A pesquisa pretende contribuir para o melhor conhecimento da presente estrutura da mineração brasileira, identificando a relevância do capital externo e o papel a ele destinado no futuro.

A nível temporal, o estudo limitou-se às quatro últimas décadas, período em que ocorreram os principais eventos que influíram na modelização da mineração contemporânea. O segmento da mineração de minerais metálicos constituiu o foco principal do trabalho, tendo em vista ser aquele de maior interesse para os investidores internacionais e também o campo de aplicação profissional do autor nos últimos trinta anos. A pesquisa pretendeu uma abordagem sistêmica, evitando considerar isoladamente qualquer elemento relativo à ação dos investidores internacionais, buscando incorporar uma visão holística, suficientemente abrangente, que levasse em conta as mudanças ocorridas na economia e na sociedade, a nível internacional e nacional, inclusive de hábitos sociais e de consumo, com reflexo no setor mineral. O capítulo 1 sintetiza os fundamentos e conceitos relacionados especificamente à pesquisa. As características do setor mineral e a atuação das corporações transnacionais são discutidos no capítulo 2. O panorama internacional e a evolução da mineração são detalhados no curso dos capítulos 3 e 4, onde também são

discriminados os elementos críticos considerados pelos investidores internacionais quando da decisão sobre investimentos em outros países. Na análise da estruturação e da evolução da mineração brasileira, detalhada no capítulo 5, destaca-se a importância da política desenvolvimentista adotada pelos governos militares pós-64, que possibilitaram a consolidação da maior e mais importante corporação mineira nacional, a Cia Vale do Rio Doce. As corporações transnacionais assumiram um importante papel na consolidação da mineração brasileira contemporânea, porém sua ação foi subordinada à estratégia de desenvolvimento da CVRD, líder de investimentos no setor. O descontrole da economia nacional, registrada particularmente na segunda metade da década de 80, constituiu o principal fator de restrição para os investimentos estrangeiros na mineração, fato que foi agravado pelas limitações impostas pela constituição de 1988. A partir de 1994/95, as mudanças ocorridas na política econômica e na regulamentação setorial, buscaram atrair novamente os investidores estrangeiros. Paralelamente, a privatização da CVRD, o principal agente do Estado na mineração, abre espaço para a redefinição dos papéis exercidos pelos atores setoriais. Considerando-se a tradicional aversão dos empresários privados nacionais por investimentos a risco, particularmente na mineração, o autor deduz que a retomada do setor estará relacionada à iniciativa dos investidores internacionais. Equacionada a questão econômica e estabelecidas as condições para a recepção do capital externo, a sua efetivação dependerá do nível de atratividade e competitividade internacional do país para a captura dos investimentos. O potencial metalogênico do Brasil para ouro constitui o principal fator de atratividade para os investidores estrangeiros e representa o mais efetivo instrumento para a reativação do setor. Tendo em vista que a partir da privatização da CVRD a mineração de metálicos ficará sob responsabilidade dos investidores estrangeiros e dos mineradores nacionais, e que o país não dispõe de instrumentos para o financiamento do capital de risco para mineração, o autor faz sugestões no sentido de alterar a regulamentação do

setor, com o objetivo de facilitar o fortalecimento de empreendedores nacionais.

**Abstract:** During the 70's and 80's there was a continuous growing up of the Brazilian mining industry. At the end of 80's it was registered a general decrease of the investments in mining, given space to a pervasive pessimistic climate. Mining experts try to understand the main crisis controlling factors, looking for neutralizing its effects. The research intend to contribute for a more appropriate understanding of the present structure of Brazilian mining industry. It was given major relevance for the international capital, its role along the last decades and also a preview for the next future. These work focuses the last four decades, when occurred the principal facts which modified the mining industry profile. The main target was identified by the metals mining segment, the more attractive to international investors and also the author's professional field of application during thirty years. The author pretended to introduce a systemic approach, considering not only the issues related to the action of the international investors itself but by incorporating also a holistic vision, so wide as to take in account the changes in the economy and in society, both at international and national levels. The fundamentals and concepts related to mining industries and to the transnational corporations are the main subject of Chapter 2. The international panorama and the evolution of mining industry are detailed along the Chapters 3 and 4, where also are discriminated the critical elements considered by the international investors, when deciding about off-shore investments. Considering the framework and the evolution of the Brazilian mining industry, performed in the Chapter 5, his pointed out the relevance attributed to the economic policy imposed, after 1964, by the military governments. Such policy, promoted the development of Cia Vale of Rio Doce, the major Brazilian mining corporation. The transnational mining corporations performed an important role in the foundation of the contemporary Brazilian mining industry, but its action was conditioned by the development strategy of CVRD, the major investor. The

troublesome economic climate during the last years of 80's, and also the restriction to international capital in mining, incorporated in the national constitution (1988), induced a sensible fall in overall activities of international mining corporations. From 1994/95 the Brazilian government implemented a great structural changes, related to economic and mining policy, looking to attract again the international investors. At the same time the privatization of CVRD, the main government mining agent, will impose the retrace the roles of the remaining mining actors. If you consider the Brazilian entrepreneurs are not committed with risk investments, especially in mining, it is conclusive that the growing up of mining in Brazil will depend on the international investor attitude. In a new national scenario, involving a stable economic policy and a receptive mining regulation, the new international investments will depend on the level of the Brazilian mining attractiveness and competitiveness. The Brazilian metalogenetic endowment indicates the gold as the main attraction for foreign investors and also the more effective instrument to reactivate the Brazilian mining. The Brazilian mining industry hasn't financial options, like those available in the Stock Exchange houses located in North America. To improve mining activities, it is suggested some changes in the mining regulation to incorporate financial instruments to assure venture capital, especially oriented to Brazilian mining enterprise.

**Luiz César Corrêa Gomes**

**Orientador: Dr. Elson Paiva De Oliveira**

**Data: 29/02/2000**

**Evolução dinâmica da zona de cisalhamento neoproterozóica de Itabuna-Itajú do colônia e do magmatismo fissural alcalino associado (SSE do Estado da Bahia, Brasil).**

**Resumo:** o Estado da Bahia, Brasil, ocorrem diversas províncias filonianas toleíticas, espalhadas desde o Arqueano-Paleoproterozóico até o Fanerozóico, e alcalinas, restritas ao Meso-Neoproterozóico e normalmente associadas a Zona de Cisalhamento de Itabuna-Itajú do Colônia (ZCIIC). A ZCIIC

esta localizada na porção SSE do Estado da Bahia. Trata-se de uma ZC intracratônica, de orientação N45, com 30 Km de largura por 150 Km de extensão, que apresenta íntima associação cronogenética com sienitos e diques da Suite Alcalina do Sul da Bahia. A ZCIIC aparece cortada a SW pela Zona de cisalhamento ductil-rúptil de Potiragua (ZCP), de orientação N140, localizada no limite tectônico entre a Faixa Móvel Araçuaí (Neoproterozóico) e o Cráton do São Francisco (Arqueano-Paleoproterozóico). O estudo de marcadores cinemáticos observados nos planos de falhas, fraturas e diques nestas duas Zc, evidenciou a atuação de duas fases tectônicas. Uma primeira, ligada a uma compressão N-S, causou falhamentos reversos na ZCP e uma transpressão sinistral na ZCIIC. Uma segunda, relacionada a uma compressão E-W, resultou em transtrações sinistral, na ZCP, e dextral, na ZCIIC. Os diques alcalinos foram colocados no final da primeira fase e durante toda a segunda fase. Nestas fases as orientações dos campos de paleotensão nas ZCIIC e ZCP foram controlados pela orientação do campo remoto de tensão, pelas perturbações dos campos de tensão nas vizinhanças das ZC reativadas, pela geometria 3-D da ZC, por canalizações de tensão pelas ZC, pela posição de falhas e fraturas secundárias e pelas posições das ZC em relação ao limite faixa móvel/cráton e ao local de interseção das duas ZC (que atuou como um ponto de convergência de tensões). Os padrões de fluxo magmático dentro de ZC foram examinados a partir do estudo de 524 diques ZCIIC, com a separação de dois tipos distintos: um radial (com sentido de fluxo centro-divergente, relacionado à fraturamento magmáticos) e um retilíneo (paralelo a sub-paralelo à zona de cisalhamento). Os diques alcalinos associados aos padrões lineares foram colocados em regime de tectônica ativa. Com o objetivo de melhor compreender o processo de colocação destes diques foi idealizada uma modelagem geométrica que combinou os efeitos da tensão cisalhante externa, representada pela velocidade de deslocamento das paredes do conduto dividida por dois (VDP/2), sobre a pressão magmática, representada pela velocidade de fluxo do magma (VFM), na orientação

dos marcadores cinemáticos dentro dos filões. Foram sugeridas 5 situações: VFM - VDP/2, VFM-VDP/2, VFM=VDP/2, VFRM-VDP/2 e VFM-VDP/2. Estas situações foram comparadas com casos reais obtidos em diques alcalinos localizados no centro da ZCIIC. Os resultados validaram a modelagem e propiciaram avanços na análise de marcadores cinemáticos internos em corpos tabulares ígneos verticais colocados em semelhantes situações tectônicas. A melhor compreensão da dinâmica evolutiva da área de influência das Zonas de Cisalhamento de Potiraguá e de Itabuna-Itajú do Colônia desde o Paleoproterozóico até o Neoproterozóico foi possível a partir de novos dados isotópicos Sm/Nd, Ar/Ar e Pb/Pb, obtidos para diversos corpos plutônicos da região. Entre estes se destacam as idades Pb/Pb para: (i) o Anortosito de Pau Brasil, 2089 ± 4 Ma; (ii) o Granito de Potiraguá, 2087 ± 1 MA, (iii) os Sienitos de Ibicaraí, 688 ± 10Ma, e Potiraguá 732 ± 3Ma e (iv) diques félsicos de Potiraguá, 676 ± Ma, e de Itabuna, 551 ± 36Ma.

**Abstract:** The Bahia State, Brazil, hosts a number of tholeiitic and alkaline dyke swarms that evolved within several geologic periods spanning from the Archaean-Paleoproterozoic to the Phanerozoic. The alkaline provinces are restricted to the Meso-Neoproterozoic interval and are usually associated with brittle shear zones such as the Itabuna-Itajú do Colônia Shear Zone (IICSZ), the focus of this thesis. The IICSZ is a N45°-trending, 30km wide, intracratonic shear zone, extending for some 150km through the SSE portion of the Bahia State. The IICSZ is closely related to dykes and syenites of the Southern Bahia Alkaline Suite and its southwestern extension is cut by the N140°-trending, ductile-brittle Potiraguá Shear Zone (PSZ). The PSZ is located in the tectonic limits between the Neoproterozoic Araçuaí Mobile Belt and the Archaean-Paleoproterozoic Sao Francisco Craton. The study of kinematic indicators in faults, fractures and dykes planes of both the IICSZ and PSZ indicated that two tectonic phases were responsible for their present structure. The first phase was connected to a N-S compression that triggered reverse faulting in the PSZ e

sinistral transpressional shearing in the IICSZ. The second phase was akin to a E-W compression that resulted in sinistral and dextral transtension strains in the PSZ and IICSZ, respectively. The alkaline dykes were emplaced later in the first phase and throughout the second phase. Palaeostress fields in both the IICSZ and PSZ were controlled by the orientation of the far-field stress, disturbances in field stress around re-activated shear zones, 3D-geometry of shear

zones, tension canalization along shear zones, position of secondary faults and fractures and orientation of shear zones in relation both to the limit of the Araçuaí Mobile Belt and the São Francisco Craton and to the site of intersection between the IICSZ and the PSZ (where tension vectors converged to). Magmatic flow patterns associated with the shear zones were yielded from 524 dykes in the IICSZ. These were divided into two distinct groups: (i) a radial pattern, related to magmatic fracturing and displaying centre-divergent flow sense and (ii) a linear pattern, arranged in parallel to sub-parallel position to the shear zone. Alkaline dykes comprised in linear patterns were emplaced during active shearing. They were modelled in this study in order to simulate all possible orientation of magma flow indicators that might be produced within a vertical dyke emplaced under coeval internal and external stresses. The effect of magmatic driving pressures were portrayed in terms of magma flow velocities (MFV) and the external stresses in terms of wall motion velocities (WMV) divided by two (WMV/2). Using these assumptions, five cases were proposed:  $MFV \gg WMV/2$ ,  $MFV > WMV/2$ ,  $MFV = WMV/2$ ,  $MFV < WMV/2$  e  $MFV \ll WMV/2$ . The model was tested in the field using dykes hosted in the central portion of the IICSZ. Comparisons of features predicted in the model with those observed in the field showed a remarkable equivalence, improving on aspects of paleostress analysis of dykes emplaced under similar tectonic environments. The IICSZ and PSZ dynamic evolution along the Paleoproterozoic and Neoproterozoic was accessed from new Sm/Nd, Ar/Ar e Pb/Pb isotopic data stemming from a number of plutonic bodies in the region. Among the results, the following Pb/Pb ages are

highlighted: (i) the  $2089 \pm 4$  Ma Pau Brasil anorthosite; (ii) the  $2087 \pm 1$  Ma to  $2079 \pm 4$  Ma Potiraguá granite; (iii) the  $688 \pm 10$  Ma Ibicaraí and the  $732 \pm 3$  Ma Potiraguá syenites and (iv) the  $676 \pm 15$  Ma Potiraguá and the  $551 \pm 36$  Ma Itabuna felsic dykes.

**Márcio Anselmo Duarte Ferrari**

**Orientador: Dr. Asit Choudhuri**

**Data: 24/05/2001**

**Controles da mineralização aurífera da mina córrego paiol da seqüência Vulcano-Sedimentar de Almas - To.**

**Resumo:** A mineralização aurífera da Mina Córrego Paiol é associada às rochas da Seqüência Vulcano-Sedimentar de Almas (SVSA), terreno granito *greenstone* de Almas-Dianópolis, TO. A Formação Córrego Paiol, unidade metavulcânica da SVSA, é composta por metandesito, metadacito e por rochas metabásicas como metadiabásio e anfíbolito. A unidade de topo desta seqüência é representada por metassedimentos da Formação Morro do Carneiro, tais como filitos sercíticos, quartzitos, formação ferrífera bandada e turmalinitos. Granitóides intrusivos do Batólito Serra das Areias e da associação TTG, são as rochas encaixantes da SVSA. A característica química dos metandesitos e metadacitos são compatíveis com rochas cálcio-alcálicas a tholeiíticas, enquanto as metabásicas seguem a tendência toleítica. As rochas citadas são enriquecidas em LILE, ETRL e HFSE e originam-se em ambiente extensional ou de ríft eamento de possível arco magmático à proximidade de uma margem continental ativa. As rochas graníticas intrusivas, quimicamente, descrevem uma tendência cálcio-alcálica e peraluminosa, estas possuem padrão altamente fracionado dos ETRL e anomalia negativa de Yb, formaram-se em possível ambiente de arco-vulcânico no campo dos granitos sin-colisionais. Dois eventos tectono-metamórficos foram identificados nas rochas supra citadas. O evento mais antigo D<sub>n</sub>, atingiu as rochas da associação TTG e da SVSA, em condições de fácies anfíbolito médio. As estruturas de D<sub>n</sub> são pertencentes à tectônica transtensional, formadas em regime de deformação dúctil,

obliqua à direcional. Posterior e progressivamente instalou-se dentro de um regime compressional, transpressional, zonas de cisalhamento direcionais, de caráter dúctil-rúptil  $D_{n+1}$ , responsável pelo retrometamorfismo das rochas em condições de fácies anfíbolito baixo a xisto-verde, e pela colocação dos granitóides intrusivos em zonas transtensionais. No fechamento de  $D_{n+1}$ , houve aporte de fluidos hidrotermais canalizados em zonas de cisalhamento direcionais. Ao final da evolução tectono-estrutural, tanto as rochas das SVSA, quanto os granitóides intrusivos, foram afetados por zonas de cisalhamento rúptil  $D_{n+2}$ . São zonas rúpteis representadas por famílias de fraturas e falhas, de extensão T, sintéticas R, e antitéticas R' e sintéticas P. A mineralização na Mina Córrego Paiol, hospeda-se em rochas metabásicas controladas por cisalhamentos  $D_{n+1}$ , enquanto as mineralizações nas rochas graníticas são controladas por cisalhamentos  $D_{n+2}$ . No entanto, ocorrem remobilizações das mineralizações de  $D_{n+1}$  para  $D_{n+2}$ , pela interseção destes sistemas de cisalhamento, formando sítios favoráveis a mineralizações auríferas de médio a grande porte, conhecidas como *ore shoots*, observadas na mina. Os fluidos responsáveis pela mineralização aurífera na mina, são aquosos com sais de Na, Ca, Mg e Fe, e nas rochas graníticas, aquosos com sais de Mg, Na. Estes fluidos possuem salinidade moderada à alta, atingindo até 40% NaCl para as rochas da mina e  $T_{total}$  da ordem de 450°C. São responsáveis pela mineralização hospedada ao longo do *strike* das rochas do cisalhamento  $D_{n+1}$ . A mistura de fluidos causou o rebaixamento da temperatura até cerca de 100°C, propiciando a instabilidade das condições físico-químicas, propiciando para a deposição do ouro em estruturas rúpteis, contribuindo para um segundo pulso mineralizante do tipo *ore shoots*. Em resumo, o conjunto de fatores que controlaram a mineralização aurífera na Mina Córrego Paiol da SVSA, são a interseção da foliação S-C de  $S_{n+1}$  com planos extensionais  $S_{n+2}$ , que abriram espaços em zonas transtensionais pelas quais grande volume de fluidos passaram facilmente, resultando os *ore shoots*. Estudos de inclusões fluidas mostram uma gradual diluição dos fluidos

de alta salinidade acompanhado pela decréscimo de temperatura que foram responsáveis pela mineralização aurífera.

**Abstract:** Gold mineralization at the Córrego Paiol mine is hosted by rocks of the Almas volcanosedimentary sequence (SVSA) in the Almas-Dianópolis greenstone belt, Tocantins State, Brazil. The SVSA is a metavolcanic unit, the Córrego Paiol Formation, with meta-andesite, metadacite and metabasic rocks such as metadiabase and amphibolite. On top is the metasedimentary Mono do Carneiro Formation that consists of sericite phyllites, quartzites, banded iron formation and tourmalinites. Intrusive granitic rocks of the Serra das Areias Batholith and a TTG association are the country rocks of the SVSA. Chemical compositions show that meta-andesite and metadacite belong to a calc-alkaline t group; the metabasics follow a tholeiitic trend. Besides, the fresh, unaltered metabasics cluster in the field of continental basalts. These rocks are enriched in LILE, LREE and HFSE, and it is therefore possible that they originated in an extensional setting, or rifted magmatic arc, close to an active continental margin. The granitic rocks are peraluminous and follow a calc-alkaline trend. Their strongly fractionated LREE and a Yb anomaly suggest that they may have formed as syncollisional bodies in a volcanic arc. Two deformation events have been identified at the Córrego Paiol mine. The older  $D_{n+1}$  affected the TTG and the volcanic rocks, and reached middle amphibolite facies conditions. The structures related to  $D_{n+1}$  are transtensional, having formed in an oblique to directional ductile regime. The later ductile-brittle  $D_{n+2}$  deformation took place progressively in a compressional regime, giving rise to directional shear zones. This event resulted in retrogression of the rocks from amphibolite to greenschist facies, and also the emplacement of the intrusive granites in transtensional zones. The  $D_{n+1}$  deformation enabled the passage of fluids in directional shear zones. The deformation events culminated in brittle  $D_{n+2}$  shear zones that affected both the SVSA and the granitic rocks. The main structural elements of  $D_{n+2}$  are faults and fractures of the type Textensional, synthetic and antithetic R and R', and synthetic P. Gold

mineralization at the Córrego Paiol mine is hosted by metabasic rocks and controlled by  $D_{n+1}$  shears, whereas the mineralization in the granitic rocks is controlled by  $D_{n+2}$  shears. Nevertheless, there appears to have been a remobilization of gold from  $D_{n+1}$  to  $D_{n+2}$ , as can be inferred from the intersection of the two shear zone systems that were favourable sites for gold deposition. This process led to the higher gold grades in ore shoots at the mine site. Fluid inclusion analysis revealed that the fluids associated with the ore at the mine are aqueous and saline with Na, Ca, Mg and Fe. Those in the granitic rocks are aqueous with K, Mg and Na salts. These fluids have moderate to high salinity, up to 40% NaCl for the rocks at the mine, and  $T_{totn}$ , on the order of  $450^{\circ}$  C. These are related to mineralization along the  $D_{n+1}$  shear strike of the rocks. Lower temperatures around  $100^{\circ}$  C were recorded for brittle structures that contributed to the second pulse of mineralization and the formation of ore shoots. In summary, Gold mineralization is most probably related to the intersection of S-C foliations in dextral shear zones  $D_{n+1}$  with  $D_{n+2}$  brittle fault planes, opening transtensional zones through which large volumes of fluids could easily pass, resulting in ore shoot zones. Fluid inclusion studies show that gradual dilution of high salinity fluids accompanied by decreasing temperature may have been responsible for the mineralization.

**Miguel Antonio Cedraz Nery**  
**Orientador: Dr. Saul Barisnik Suslick**  
**Data: 26/11/199**

**O processo decisório na pesquisa mineral: análise de decisão geoeconômica**

**Resumo:** A tese apresenta uma metodologia de análise de depósitos minerais para ser aplicada nos estudos de pré-viabilidade de lavra, em que modelos econômicos, matemáticos estatísticos são relacionados às estratégias de investimento, com base na definição de um projeto conceitual ou de um anteprojeto de engenharia para o empreendimento. A metodologia subdivide

o processo decisório na pesquisa mineral em cinco níveis diferenciados, compreendendo: a parametrização e as condições mínimas de aceitação para um depósito; a definição do melhor teor de corte e da reserva base (critério unidimensional ou multicritérios); a análise de sensibilidade dos parâmetros, obtendo-se estados determinísticos ou relações de resultados econômicos X risco; do estabelecimento de funções de preferência, avaliando a suficiência e a confiabilidade das informações obtidas no processo de detalhamento do depósito; o ordenamento e a seleção de projetos mutuamente exclusivos. A melhor decisão (ou suficientemente satisfatória) deve considerar o retorno econômico propiciado pela lavra, incorporando, quando for o caso, o nível de risco envolvido, ou então apenas a maximização de uma das medidas de satisfação ou de resultado econômico. A metodologia é ilustrada por três estudos de casos selecionados e a sua aplicação foi sistematizada em um algoritmo ontido no programa denominado Geodec.

**Abstract:** This thesis presents a evaluation methodology, developed to be applied on the pre-feasibility studies of mineral deposits in that economics, mathematics and statistics models are relating with investment strategies, based on the definition of the conceptual or anteproject of enterprising engineering. The methodology subdivide in different levels the decisory process of mineral exploration, consisting: of the parameterization and acceptance minimum conditions to deposits; the best cut-off grade and reserve base definition using one-dimensional criterion or multi-criterion and with sensitive analysis of the parameters obtaining deterministic states or relations economics outputs versus risk; establishment of preference functions, evaluating the sufficiency and confidence of information, obtained on detail process of deposit; ranking and selection of exclusive mutually projects. The best decision (or satisfactory sufficiently) may consider the economic return, incorporating the risk level involved or then only the maximization of the satisfaction measure of economic output. The methodology will be illustrated for three

case studies selected and its applications were systemized in an algorithm called Geodec.

**Moacir Cipriani**

**Orientador: Dr. Luiz Augusto Milani Martins**

**Data: 27/11/2002**

**Mitigação dos impactos sociais e ambientais decorrentes do fechamento definitivo de minas de urânio**

**Resumo:** Esta tese focaliza o impacto de minas de urânio no Brasil. É recente, no ordenamento da mineração brasileira, a preocupação com os impactos da indústria mineral. A Constituição Federal de 1988 obriga o minerador a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, o qual dispõe de um sistema de normas ambientais condicionantes da atividade mineral. Porém, é incipiente a preocupação com o fechamento de minas, para cuja consecução o poder público ainda carece de normas e regulamentos. Desta forma, o fechamento da primeira mina de urânio no Brasil reveste-se de significado especial pois, os possíveis problemas ambientais relacionados a minas de urânio são graves e a indústria de urânio é estatal. Esta tese está apresentada em duas partes. Na primeira parte, está descrito o estado da arte da indústria do urânio, da sua regulação e do gerenciamento do fechamento definitivo de empreendimentos para o aproveitamento desse bem mineral, no Brasil e em países de destaque no cenário mundial - Austrália, Canadá, EUA, França -, selecionados com base nos seguintes critérios: produção; exportação; controle de reservas e consumo final de urânio. A segunda parte da tese apresenta o estudo do caso do Complexo Mineiro-Industrial do Planalto de Poços de Caldas, MG, contendo a descrição do empreendimento e destacando o gerenciamento de rejeitos da mina e da usina de tratamento químico do minério, as pesquisas realizadas desde o início das operações, visando mitigar os impactos ambientais que se verificariam no local, o papel da CNEN como órgão regulador federal de energia nuclear e o levantamento dos impactos sociais decorrentes do aproveitamento do urânio

no Planalto de Poços de Caldas, utilizando para isto a cobertura jornalística da imprensa local. Dentre as recomendações finais, é proposto um modelo gerencial e estratégias voltados para a mitigação dos possíveis impactos sociais e ambientais adversos decorrentes do fechamento definitivo do CIPC.

**Abstract:** This thesis focus on the impact of uranium mines in Brazil. It is recent, in the order of the Brazilian mining, the concern with the impact of mining activities. The Federal Constitution of 1988 compels the miner to rehabilitate the degraded environment, in accordance with the technical solution demanded by the competent public agency, which makes use of a system of environmental norms conditioning the mining activity. However, the concern with the closure of mines is in an early stage, for whose achievement the public power still lacks of norms and regulations. The closure of the first uranium mining in Brazil assumes special meaning, because the possible environmental problems related to uranium mines are considered to be serious and the uranium industry is state owned. This thesis is divided in two sections. The first one describes the state of the art of the uranium industry and the rules and management practices regarding the final closure of uranium mining in Brazil and countries like Australia, Canada, EUA and France, that have been selected on the basis of the following criteria: production, exportation, control of reserves and final consumption of uranium. In the second part, a case study of Poços de Caldas mine is presented, with description of historical production, plant waste and the chemical treatment of the ore. This part also presents the research carried out since the beginning of the operations aiming to remedial actions, including the dismantling of surface structures, tailings reclamation, and ground-water restoration, following CNEN (Brazilian Nuclear

**Petain Ávila de Souza**

**Orientador: Dr. Hildebrando Herrmann**

**Data: 21/01/2000**

**Impacto econômico questão ambiental no processo decisório do investimento em mineração**



**Resumo:** A consciência ambiental contemporânea exige das empresas de mineração a internalização dos custos e investimentos para proteção ambiental e controle da poluição. Este trabalho demonstra o impacto econômico tanto desse processo de internalização bem como o do atraso (potencializado pela demora na outorga das licenças ambientais) no início da produção nos resultados econômicos do empreendimento de mineração. Para medir esse impacto o empreendimento foi avaliado sob diferentes cenários (antes e após a tributação direta, com recursos próprios e de financiamento e nas hipóteses de ocorrência ou não de atraso no início da produção), com o propósito de subsidiar a participação dos principais agentes sociais envolvidos (empresa, governo e sociedade) no processo decisório do investimento em mineração.

**Abstract:** In the present scenario of environmental concern mining companies must take into account the financial impacts generated by operating and capital costs due to environmental policy compliance. This thesis demonstrates the impact of such costs on the economic evaluation of a mining project. The economic impact of deferring the beginning of production is also demonstrated. The present work evaluates the mining project under different scenarios: (1) before and after governmental taxes; (2) with and without project finance (debt to equity); and (3) with and without start up delay. This evaluation provides tools which will further aid the main stakeholders (firms, government, and community) in the mining investment decision-making process.

**Renato Dantas Neder**

**Orientador: Dr. Bernardino Ribeiro de Figueiredo**

**Data: 24/05/2002**

**Depósitos de sulfeto maciço associados a rochas vulcânicas: O caso do depósito Zn-Pb do Expedito, Aripuanã, MT, Brasil"**

**Resumo:** Os depósitos de sulfeto maciço de filiação vulcânica constituem importantes fontes de chumbo, zinco,

cobre e metais preciosos em vários países do mundo. Este estudo é uma contribuição para um melhor entendimento da origem dos depósitos de sulfeto maciço a Zn-Pb da Serra do Expedito, município de Aripuanã, Mato Grosso, Brasil. Esses depósitos localizam-se na porção SW do Cráton Amazônico e são associados às rochas vulcânicas e plutônicas félsicas, de idade Paleoproterozóica, relacionadas ao Magmatismo Teles Pires. Os trabalhos compreenderam mapeamento geológico, descrição de testemunhos de sondagem, estudos litogeoquímicos e geocronológicos, análises petrográficas e de microsonda eletrônica de minerais de minério, encaixantes e zona de alteração hidrotermal, bem como, aplicações de geoquímica isotópica de Sr e Pb no estudo da gênese do depósito do Expedito. Os estudos litogeoquímicos indicaram o enquadramento das rochas ácidas no tipo A, origem anorogênica ou pós-orogênica, possivelmente resultante de ativação mantélica durante um evento extensional de grande duração, em ambiente ensialico. Foram obtidas idades Shrimp U-Pb em zircões de  $1762 \pm 6$  Ma para as rochas extrusivas e de  $1755 \pm 5$  Ma para as rochas plutônicas. As rochas vulcânicas encaixantes do depósito incluem tufo de cristal e lapilli que são interpretados como registros distais subaquáticos de um centro vulcânico de localização desconhecida. Evidências de campo sugerem que os corpos de minério conformam um cinturão mineralizado ao longo de um sistema de falhas que canalizaram os fluidos hidrotermais e a deposição de sulfetos. Esses corpos apresentam uma paragênese metálica constituída de pirita, pirrotita, esfalerita, galena, calcopirita e arsenopirita subordinada. Por outro lado, apresentam uma alteração hidrotermal atípica com abundante clorita localmente associada a actinolita e magnetita. Estudos de química mineral indicaram um evento principal de formação do depósito no intervalo 300-350°C em condições de pressões parciais de O<sub>2</sub> e S<sub>2</sub> elevadas. Porções do minério foram submetidas a aquecimento e interação de fluido que deram origem à formação da assembléia de alteração cálcio-silicática e magnetita. Foram obtidas idades modelo de chumbo em galena em torno de 1.75 Ga que indicam

contemporaneidade entre o evento vulcânico-plutônico e a deposição do sulfeto maciço. A ocorrência de um episódio pós-mineralização a 1.1 Ga foi demonstrado pela composição isotópica de chumbo e K-feldspato e uma isócrona Rb-Sr em lixiviados de esfalerita. As composições isotópicas de estrôncio e carbonato são claramente indicativas de sua origem hidrotermal e confirmam, em combinação com as elevadas razões isotópicas de chumbo em galena, a origem dos fluidos hidrotermais em reservatórios da Crosta Superior. Esses dados em conjunto conduzem à conclusão de que a deposição das rochas encaixantes ocorreu em ambiente sub-aquático e o depósito de sulfeto maciço se formou em níveis crustais epizonais, ao longo de zonas de falhas sin-vulcânicas que funcionaram como canais para os fluidos mineralizantes de origem plutônica e supra-crustal. Esses processos são coerentes com o enquadramento do depósito do Expedito no modelo VHMS - Volcanic Hosted Massive Sulfide.

**Abstract:** Volcanic-associated massive sulfide deposits represent important sources of lead, zinc, copper and precious metals worldwide. The present study is a contribution to a better understanding of the origin of the Zn-Pb sulfide deposits of the Serra do Expedito, State of Mato Grosso, Brazil. These deposits are located in the SW portion of the Amazonian Craton, associated with Paleoproterozoic felsic volcanic and plutonic rocks, correlate to Magmatismo Teles Pires. Studies undertaken included geological mapping, drill-core examination, lithogeochemical and geochronological studies, petrographic and electron-microprobe analyses of minerals in the ore, wall rocks and hydrothermal alteration zones, as well as applications of Sr and Pb isotope geochemistry to ore-deposit modeling. Geochemical data place the acid rocks in A-type, indicating an anorogenic or post-orogenic origin, possibly due to mantle activation during a long lasting extensional event, in an ensialic environment. SHRIMP U-Pb zircon ages at  $1762 \pm 6$  Ma and  $1755 \pm 5$  Ma were obtained for volcanic and plutonic rocks, respectively. The predominant volcanic host rocks include crystal and lapilli tuffs that are interpreted

as a sub-aqueous record of a distal volcanic center of unknown localization. Field evidence suggests that the orebodies form one single belt, representing the actual trace of a system of synvolcanic fault that channeled the hydrothermal fluids and sulfide deposition. The orebodies present normal sulfide mineralogy for volcanogenic deposits with pyrite, pyrrhotite, sphalerite, galena, chalcopyrite and with locally accessory arsenopyrite. On the other hand, the alteration is atypical since it presents chloritic zones locally associated with actinolite and magnetite. Mineral chemical studies indicate that the main mineralization event occurred in the interval 300-350°C at elevated  $O_2$  and  $S_2$  partial pressures whereas some portions of orebodies underwent heating and fluid interaction that yielded the calc-silicate and magnetite assemblage overprint. A Pb-Pb model age in galena was obtained at 1.75 Ga which indicates that the deposit was formed during the last stages of a magmatic-tectonic-hydrothermal event that occurred in the interval 1.76-1.75 Ga. The lead isotopic data for K-feldspar and a Rb-Sr isochron for sphalerites leachates indicate a later post-depositional event at 1.1 Ga. The Sr-isotope compositions of carbonate are clearly suggestive of its hydrothermal origin and, in conjunction with elevated lead-isotope ratios in galena, point to hydrothermal sources located in the Upper Crust. These results lead to consider a sub-aqueous deposition of wall-rocks and sulfide deposition in epizonal crustal levels, along synvolcanic fault zones that channeled mineralizing fluids of plutonic and supracrustal origin. These processes are consistent with the VHMS – Volcanic Hosted Massive Sulfide model presently attributed to the Expedito Zn-Pb deposit.

**Ricardo Perobelli Borba**

**Orientador: Dr. Bernardino R. de Figueiredo**

**Data: 19/04/2002**

**Arsênio em ambiente superficial: processos geoquímicos naturais e antropogênicos em uma área de mineração aurífera.**

**Resumo:** O Quadrilátero Ferrífero no Estado de Minas Gerais é conhecido como

a mais famosa província aurífera do Brasil, tendo respondido pela produção de 1.300 t de Au nos últimos 3 séculos. Considerando as razões As/Au nos minérios, estima-se que pelo menos 390.000 t As devem ter sido liberadas para o ambiente, em grande parte com o lançamento de rejeitos arseníferos nas drenagens, em razão da atividade de mineração.

A presente pesquisa de doutorado abrangeu (i) o estudo da distribuição do As em águas e sedimentos nas bacias fluviais sob a influência dos distritos auríferos mais importantes do Quadrilátero Ferrífero; a realização de testes de biodisponibilidade de As em sedimentos; (ii) o desenvolvimento de um método de especiação de As em águas; (iii) a descrição de processos e produtos relacionados com o intemperismo da arsenopirita em mineralizações auríferas; e (iv) a modelagem hidrogeoquímica de águas subterrâneas de minas. Estes estudos indicaram que os distritos auríferos situados nas bacias hidrográficas dos rios das Velhas, Carmo e Conceição apresentam elevadas concentrações de As nos sedimentos, com até 4.000 mg/kg As. Os testes de avaliação de biodisponibilidade de As nos sedimentos revelaram valores inferiores a 4% dos teores totais, o que pode representar situação de risco em certas áreas. Concentrações de até 350 mg/L As em amostras filtradas foram obtidas em água superficial das bacias estudadas enquanto que as águas subterrâneas de minas de Ouro Preto e Mariana chegaram a apresentar concentrações de As<sub>Total</sub> de até 2.800 mg/L. O desenvolvimento de uma metodologia analítica para a determinação das espécies inorgânicas de As (As<sup>3+</sup> e As<sup>5+</sup>), utilizando-se o método de geração de hidretos acoplada à espectrofotometria de absorção atômica, permitiu a obtenção da distribuição das espécies inorgânicas de As em águas superficial e subterrânea, com razões [As<sup>3+</sup>]/[As<sup>5+</sup>] entre 1.10<sup>-1</sup> a 4.10<sup>-2</sup>. A distribuição original das espécies inorgânicas de As nas amostras de água se manteve inalterada até 10 dias após a coleta, independente do modo de preservação da amostra, porém, após 30 dias, a conservação das amostras com HCl ou HNO<sub>3</sub> permitiu a recuperação

abaixo de 80% da concentração de As<sup>3+</sup> original. Os processos geoquímicos que regem o intemperismo dos depósitos auríferos foram estudados detalhadamente por meio de análises de difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura, análises químicas de águas subterrâneas coletadas em minas e utilização de modelos matemáticos. Observou-se que a oxidação natural da arsenopirita em veios de quartzo-arsenopirita (sem carbonatos) promove a formação de escorodita enquanto que em veios de quartzo-carbonatos-arsenopirita a oxidação da arsenopirita leva à formação de arsenatos de ferro com Ca, com cristalinidade baixa, e, em menor quantidade, à formação de escorodita, kolfanite, yukonite e farmacossiderita. A liberação do As para as águas superficiais e subterrâneas ocorre por etapas: (i) durante a oxidação da arsenopirita parte do As é solubilizado e outra parte participa da formação de arsenato de ferro ou escorodita, (ii) durante a dissolução total ou incongruente dos minerais secundários de As ocorre a retenção de parte do arsênio adsorvido em óxido de ferro e outra parte é solubilizada. A presença de carbonatos nas mineralizações sulfetadas neutraliza a drenagem ácida, formada a partir da oxidação dos sulfetos. Entretanto, no caso do As, o pH neutro a alcalino induz a liberação do As em solução através da dissolução do arsenato de ferro e da escorodita. Em conjunto, os estudos geoquímicos realizados no Quadrilátero Ferrífero sugerem que as preocupações com a saúde da população devem estar presentes. Recomenda-se a realização de monitoramento periódico das águas superficiais, em especial nas áreas mais próximas das minas de ouro ou pilhas de rejeitos arseníferos, com adoção de medidas que previnam o consumo de águas contaminadas por As. Com respeito às águas subterrâneas, de nascentes ou de poços, as maiores possibilidades de ocorrência de As estão associadas aos aquíferos hospedados nas rochas com mineralização aurífera sulfetada ou em locais atingidos por soluções contaminadas por As, oriundas da percolação por pilhas de rejeito ou de água de poros de sedimentos contaminados.

**Abstract:** The Quadrilátero Ferrífero, located in the state of Minas Gerais, is the most famous Brazilian gold district, and has produced 1.3 million tonnes of gold during the last three centuries. Given the As/Au ratios of the ores, it is estimated that at least 390,000 tonnes of As were liberated in the environment, mainly due to the dumping of wastes in the drainages. This Ph.D. thesis focussed on: (i) the distribution of As in water and sediments from fluvial basins under influence of the major mining districts of the Quadrilátero Ferrífero, and test the biological availability of As in sediments; (ii) the development of a method of As - As in water; (iii) the description of processes and products related to the supergene alteration of arsenopyrite from gold ores; and the hydrogeochemical modeling of groundwater in mines. The results indicated that the gold districts sited in the basins of the das Velhas, Carmo and Conceição rivers, contain high concentrations of As in the sediments, with values up to 4,000 mg/kg As. Tests of bioavailability of As in sediments indicate values below 4% of the total grades, thus representing a potential risk in certain areas. Concentrations of up to 350 µg/L As were obtained in samples of filtered surface water, whereas ground water collected in gold in the Ouro Preto and Mariana region, indicate values as high as 2,800 µg/L of total arsenic. The development of a method to determine the different species of inorganic As (As<sup>3+</sup> e As<sup>5+</sup>), via the combination of hydride generator and atomic absorption spectrometry, allowed the identification of different inorganic species of As in surface and groundwater, with [As<sup>3+</sup>]/[As<sup>5+</sup>] ratios ranging from 1.10<sup>-1</sup> to 4.10<sup>-2</sup>. The original distribution of the inorganic arsenic species in water samples remained unaltered until 10 days after regardless the method of sample preservation. Although, after 30 days, the conservation of samples containing HCl or HNO<sub>3</sub> recoveries above 80% of the original As concentration. The geochemical processes that guide the supergene alteration of gold deposits were studied in detail via X-ray diffraction, X-ray electron microscopy, chemical analyses of groundwater from mines, and via hydrogeochemical modelling. It was noted that the oxidation of arsenopyrite from quartz veins (without carbonate minerals) originated scorodite, while the oxidation of

quartz arsenopyrite veins generated low-crystallinity Fe-Ca-arsenates, and minor scorodite, kolfanite, yukonite and farmacossiderite. Migration of As into surface and ground water occurs according to the following stages: (i) during the oxidation of arsenopyrite part of As is soluble and part is incorporated in Fe-arsenate or scorodite; (ii) during the total or incongruent dissolution of secondary As part of the As is soluble, and part is adsorbed and retained in Fe-oxides. The presence of carbonate minerals in sulfide ores acidic waters derived from the oxidation of sulfide minerals. Although, neutral to alkaline pH induces the liberation of As via of Fe-arsenates and scorodite. Collectively the geochemical studies performed in the Quadrilátero Ferrífero indicate that concerns regarding the public health must be present. It is recommended a periodical monitoring of surface waters, particularly in areas close to gold mines or waste dumps, and the adoption of methods that prevent waters contaminated by As to be used. The highest possibility of contamination of wells, springs and groundwater, relate to groundwater hosted by that bear sulfide-rich gold mineralizations or to sites impacted by solutions contaminated by As, derived from waste or water from contaminated sediments.

**Rigoberto Lazaro Prieto Cainzos**

**Orientadora:** Dra. Elisabete Maria Pascholati

**Data:** 16/07/2001

**Integração de dados geofísicos e geológicos de Cuba centro-oriental: contribuições a cartografia e exploração mineral regional.**

**Resumo:** Cuba Centro-Oriental, foco deste estudo, abrange amplos setores das principais unidades geológicas documentadas no arquipélago, incluindo o arco de ilha Cretácico (AVC), os ofiolitos Mesozóicos, a margem continental da plataforma das Bahamas (Jurássico Superior-Cretáceo Superior) e a cobertura sedimentar Cenozóica. É uma área com características geológicas e potencial metalogenético notáveis, constituindo-se num excelente sítio para utilização e avaliação de métodos geofísicos voltados ao mapeamento geológico e a exploração

mineral. Com o objetivo de gerar subsídios para interpretação geológica regional, para a análise tectôno-estrutural e avaliar preliminarmente áreas com potencial para ouro em Cuba Centro-Oriental, este estudo foi dedicado ao processamento e interpretação de dados magnéticos, gravimétricos e gamaespectrométricos, oriundos de levantamentos aerogeofísicos realizados na região, na escala 1:50.000, entre 1979-1990. Os dados aeromagnéticos foram processados através de filtros de redução ao pólo, continuação para cima, susceptibilidade magnética, pseudogravidade, sinal analítico e derivadas horizontal e vertical. A interpretação destes dados permitiu a confecção de: (i) um mapa de domínios magnéticos, onde 4 domínios regionais foram caracterizados, com destaque para o mapeamento de corpos plutônicos do AVC, rochas continentais da Plataforma das Bahamas, zona de sutura marginal e bacias do arco; (ii) um mapa de lineamentos, onde três sistemas regionais principais foram individualizados: o "Cubano" (NW-SE), "Camaguey" (NE) e "Banao" (N-S); (iii) um mapa de domínios magneto-estruturais, segundo o qual a área foi compartimentada em 9 domínios, relacionados às principais estruturas e processos da evolução geológico-tectônica em Cuba Centro-Oriental. Os dados gravimétricos foram processados por meio de filtros de continuação para cima, sinal analítico e derivadas horizontal e vertical. A interpretação dos produtos obtidos permitiu a geração de: (i) um mapa de domínios gravimétricos, compreendendo 3 domínios principais, relacionados ao embasamento metamórfico da margem continental da Plataforma das Bahamas, a sedimentos continentais e oceânicos na zona de sutura e a corpos profundos e bacias do AVC; (ii) um mapa de domínios gravi-estruturais, contendo 6 domínios principais, relacionados às principais estruturas documentadas em Cuba Centro-Oriental. Os dados aerogamaespectrométricos foram micro-nivelados e integrados sob a forma de mapas ternários, potássio anômalo e principais componentes. A partir desses mapas foi possível estudar o comportamento radiogeoquímico da área de estudo. A interpretação dos dados demonstrou que (i) setores com altas

concentrações de urânio relacionam-se a coberturas cenozóicas do neo-autóctone, sedimentos continentais fosfatados da Plataforma das Bahamas e afloramentos de corpos plutônicos do AVC; (ii) as altas concentrações de tório abrangem extensas áreas relacionadas ao desenvolvimento de crostas lateríticas em seqüências cenozóicas vinculadas ao neo-autóctone; (iii) as concentrações de potássio caracterizam as faixas de rochas plutônicas e vulcânicas do arco. O potássio é o radioelemento dominante na área de estudo.

**Abstract:** The central-eastern portion of Cuba, the focus of this study, comprises broad sectors of key geologic units recognized in the island, including the Cretaceous volcanic arc (CVA), the Mesozoic ophiolites, the margin of the Bahamas continental platform (Upper Jurassic-Upper Cretaceous) and the Cenozoic cover. The region's unique geologic and metallogenic characteristics makes it an attractive site to evaluate geophysical methods and their usefulness in geologic mapping and mineral exploration. This project involves airborne magnetic, gravimetric and gammaespectrometric data processing and interpretation, aiming to provide a chief support for regional lithologic, structural and gold exploration investigations in central-eastern Cuba. The data employed in this study was acquired between 1979-1990, at 1:50.000 scale.

The magnetic data was processed using filters to reduce data to magnetic pole, upward continuation, magnetic susceptibility, pseudo-gravity, analitic signal and horizontal (x or y) and vertical derivatives. The information yielded through these processing techniques was interpreted as: (i) a map of magnetic domains, where 4 regional domains were characterized, comprising plutons of the CVA, continental rocks of the Bahamas platform, the marginal suture zone and basins within the arc; (ii) a map of lineaments, where three main tectonic systems were mapped, including the "Cubano" (NW-SE), "Camaguey" (NE) and "Banao" (N-S); (iii) a map of magnetic-structural domains, in which the area were subdivided into 9 domains

related to the main geologic units and structures of central-eastern Cuba. The gravimetric data was processed using filters that provide upward continuation, analytic signal and horizontal (x or y) and vertical derivatives. Interpretation of the results allowed to assemble: (i) a map of gravimetric domains, comprising 3 main domains related to the metamorphic basement that constitute the margin of the Bahamas continental platform; continental and oceanic sediments within the suture zone and deep plutons and basins of the CVA; (ii) a map of gravimetric-structural domains, with 6 domains related to the main geologic features found in central-eastern Cuba. The gamma-spectrometric data were micro-leveled and integrated as ternary maps, anomalous potassium maps and maps derived through principal component analysis. The examination of the information provided in these maps showed that: (i) sectors with high U concentrations are related to Cenozoic covers of the Neo-autochthonous, phosphate-rich continental sediments of the Bahamas platform and plutons of the AVC; (ii) high concentrations of Th encompass extensive areas associated to lateritic crusts developed over Cenozoic sequences of the Neo-autochthonous; (iii) high concentrations of K characterize tracts of volcanic and plutonic rocks of the arc. The potassium is the dominant radioelement in the study area. The 2-D modelling of the gravimetric and magnetic data were conducted along three representative profiles in the area, allowing to establish the sources responsible for the geophysical anomalies and the proposal of a geologic-geophysical model for the study area. Such model yielded a comprehensible distinction between units of the volcanic arc and the ophiolite complex, and also the distinction among these oceanic units and the continental unit of the Bahamas platform. Merging the geophysical database involved the following techniques: (i) unsupervised classification of the magnetic-gravimetric and gamma-spectrometric data, which yielded a map of geophysical classes related to several geologic formations and tectonic features of the area; (ii) fusion of

thematic maps derived from processing and interpretation of geophysical data, which provided an integrated map with three geologic-geophysical tracts correlated to the evolution of the regional fold-belt. The integration of the thematic maps with dot maps of gold occurrences and using three sectors as controls, yielded five new areas for gold prospecting in central-eastern Cuba.

**Ronaldo Luiz Mincato**  
**Orientador: Dr. Alfonso Schrank**  
**Data: 24/02/2000**

**Metalogenia dos elementos do grupo da platina com base na estratigrafia e geoquímica da província ígnea continental do Paraná**

**Resumo:** A metalogenia dos elementos do grupo da Platina na Província ígnea Continental do Paraná foi avaliada a partir de novos dados geoquímicos (elementos maiores, traços, terras raras e do grupo da platina) e geocronológicos ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ ). As rochas da província do Paraná foram categorizadas, com base em critérios geoquímicos, em cinco unidades básicas (Gramado, Esmeralda, Paranapanema, Pitanga e Urubici) e três ácidas (Caxias do Sul, Santa Maria e Chapecó). As unidades básicas de Ti e P baixos (Gramado e Esmeralda) e as ácidas, de baixo-Ti, associadas (Caxias do Sul e Santa Maria), estão concentradas no sul-sudeste da província. As unidades básicas de Ti e P intermediários (Paranapanema) e altos (Pitanga) e a unidade ácida, de alto-Ti, associada dominam no norte-noroeste. A unidade Urubici (de Ti e P altos) ocorre intercalada à unidade Gramado no leste da província, em Santa Catarina. Apesar dessa distribuição preferencial das unidades, os resultados não confirmam a compartimentação geoquímica da província nas zonas Norte, Central e Sul e nem os lineamentos tectônicos do Rio Uruguai e do Rio Piquiri como controladores da efusão e da natureza do magmatismo. As diferentes assinaturas geoquímicas das unidades básicas podem ser relacionadas à grau de fusão parcial distintos do manto litosférico continental, tendo a contaminação crustal desempenhado papel importante na evolução da unidade Gramado ( $\text{Th}/\text{Ta} \sim$

8,2). A gênese e evolução das unidades ácidas puderem ser diretamente relacionadas à evolução das unidades basálticas geograficamente associadas. Os dados radiométricos indicam que o magmatismo da província teve uma duração de cerca de 3,5 Ma (entre 133,90 e 130,36 Ma), com uma taxa de efusão de 0,23 km<sup>3</sup>.an<sup>-1</sup>, e que evoluiu de sul para norte em estreita vinculação com a abertura do oceano Atlântico Sul. A partir das abundâncias dos EGP, as unidades básicas são caracterizadas como altamente fracionadas (Pd/Ir = 75) e que foram geradas a partir de magmas subsaturados em S. Tal condição em associação com os controles geológicos dos depósitos de Ni-Cu-EGP nas províncias de CFB, permitem indicar a unidade Gramado, na borda leste da província, como o principal alvo para esse tipo de depósito na província do Paraná. Todavia, a potencialidade das demais unidades básicas não pode ser descartada, pois os baixos teores de EGP de alguns derrames da unidade Pitanga podem ser devidos à segregação de sulfetos na ascensão de tais magmas.

**Abstract:** The platinum-group elements metallogeny of the Paraná Continental Igneous Province is evaluated from new geochemical (major, trace, rare-earth and platinum-group element) and geochronological (Ar-39) data.

The Paraná rocks vary widely in chemical composition but can be categorised into five basic units (Gramado, Esmeralda, Parapanema, Pitanga and Urubici) and three acid units (Caxias do Sul, Santa Maria and Chapecó). The low-Ti and low-P basic units (Gramado and Esmeralda) and the associated low-Ti acid units (Caxias do Sul and Santa Maria) are located at the south - southeast of the province. The basic units of Ti and P intermediate (Parapanema) and high (Pitanga) and the associated high-Ti acid unit (Chapecó) dominate in the north-northwest. The Urubici unit (high-Ti and -P) occurs interbedded with Gramado unit at the eastern border of the province in Santa Catarina state. This observed preferable distribution of the magmatic units does not confirm the geochemical subdivision of the province in three main zones: North, Central and South. Also, the Rio Uruguai

and Rio Piquiri lineaments have no obvious control on the nature and distribution of the magmatic units. The distinct geochemical signatures of the basic units can be related to different grades of partial melt of the continental lithospheric mantle, with the crustal contamination playing an important role in the evolution of the Gramado unit (Th/Ta = 8,2). The genesis and evolution of acidic units were related to the evolution of the basaltic units, to which they occur associated. The geochronological data indicated that the magmatism of the Paraná province lasted about 3,5 My (between 133,90 and 130,36 My) with a mean eruption rate of 0,23 km<sup>3</sup>.yr<sup>-1</sup> and was linked to northward opening of South Atlantic ocean. From the PGE geochemistry, the Paraná basalts were characterised as highly fractionated (Pd/Ir = 75), and that were generated from S-undersaturated magmas. This favourable condition together with the geological controls of Ni-Cu-PGE ore deposits in CFB provinces allows to indicate the Gramado unit (low-Ti and -P) at the eastern border of the province, as the principal target for this kind of deposit. However the potentiality of the other basic units of the province cannot be ignored, because the low PGE abundance of some flows of the Pitanga unit might be related to the segregation of sulphides during the ascension of those magmas.

**Sandro Tonso**

**Orientadora:** Dra. Rachel Negrão Cavalcanti

**Data:** 04/08/2000

**A Universidade e o setor areeiro: as dificuldades de um diálogo possível**

**Resumo:** Esta pesquisa, diante da evidência do distanciamento entre a universidade e a Sociedade – com quem deveria ter uma ligação vital e bastante dinâmica – procurou investigar as características e as causas deste distanciamento, partindo das diferentes “naturezas” dos saberes acadêmicos e popular como origem de algumas de suas razões para a hierarquia se estabeleceu entre eles, dificultando um diálogo possível e necessário entre estas diferentes e criativas formas de ver o mundo. Desta forma, um setor da produção de areia

(Araçariguama, SP) foi investigado como estudo de caso, tanto nos aspectos de sua produção por mineradores (detentores de saberes social e historicamente construídos), quanto pela visão que têm alguns órgãos oficiais de Licenciamento e Controle (CETESB, Secretaria Estadual do Meio Ambiente, Prefeitura Municipal de Araçariguama), quanto pela produção científica sobre o assunto das três Universidades Públicas do Estado (USP, UNICAMP e UNESP). Investigou-se como as suas atividades acadêmicas de Ensino (graduação e pós-graduação), Extensão (cursos e atividades) e Pesquisa (linhas, infra-estrutura e teses) estão se relacionando com o setor de mineração de areia, considerado pelos próprios docentes como importante para qualquer intenção de melhoria de qualidade de vida e desenvolvimento sustentável da população de um modo geral. Como proposta, se sugere uma nova postura da Universidade, pautada na concepção de Ação Participativa em Extensão universitária como forma de favorecer o desenvolvimento de uma pesquisa não alienada e de um ensino não alienante.

**Abstract:** This research, considering the distance between University and the Society – where should exist a vital and dynamic liaison – tried to investigate the reasons and characteristics and of this situation, starting with the difference between academic and popular knowledges, as the origins of some of their reasons to the hierarchy that was established between them, making difficult the possible and necessary dialogue between these two creative ways to see and understand the world. This way, a case study, Sand Mining in Araçariguama, SP, was investigated, considering the production aspects of the miners (who hold the social and historical wisdom) and by the vision of some official organisms that grant License and Control (CETESB, Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Prefeitura Municipal de Araçariguama) and also considering the Cientific Production over this issue in the three Public Universities of São Paulo State (USP, UUNICAMP and UNESP). Investigation of how their Academic Activities is today (graduation and post-graduation), Extension (lessons and

activities) and Research Lines of study (infra-structure and thesis) are interconnected with this sector of Sand Mining, considered by the academy as important to any development of life quality to population in general. As a Proposal, it is suggested a new approach for the University, following a Participatif Action in University Extension as a way to favorish and integrated relationship between Research, Extension and Academic Activities.

**Silvania Maria Netto**  
**Orientadora: Dra. Jacinta Enzweiler**  
**Data: 13/06/2001**

### **Caracterização cristaloquímica da incorporação de íons cobre (II) em goethita (FeOOH) sintética"**

**Resumo:** A caracterização cristaloquímica da incorporação de íons Cu(II) em goethita ( $\alpha$ -FeOOH) sintética foi estudada para definir, estruturalmente, o ambiente local do cobre na goethita. As amostras, preparadas em meio fortemente alcalino, foram caracterizadas química e mineralogicamente com ênfase à difração de raios X (DRX) e aplicação do método de Rietveld e espectroscopia de absorção de raios X (XAS) com fonte de luz síncrotron. A análise térmica diferencial (ATD) mostrou uma desestabilização na estrutura do mineral, através da diminuição da temperatura da segunda endoterma (296,3 - 290,3 °C), no decorrer da substituição. A análise de microscopia eletrônica de transmissão (MET) das amostras de goethita contendo cobre, mostrou que os cristalitos aciculares ( $0,7 < \text{Cu} < 1,6$  mol%), no decorrer da incorporação, tornavam-se geminados em forma de estrelas ( $2 < \text{Cu} < 3,9$  mol%). A aplicação do método de Rietveld mostrou que esta variação morfológica dos cristalitos afeta, diretamente, a orientação preferencial nos planos cristalográficos (100), (010) e (001), produzindo uma instabilidade estrutural ao longo dos eixos a e c. As variações locais no sítio do cobre, observadas com XAS, mostraram distorções nos octaedros de cobre, porém os encadeamentos poliméricos Fe(III) e Cu(II), conservam o mesmo ambiente estrutural do ferro. Os diagramas de densidade eletrônica (Fourier diferença)



mostraram a existência de substituição isomórfica entre ferro e cobre. O desequilíbrio eletrônico gerado é compensado estequiometricamente com o aumento do teor de água, via inserção de hidroxilas, confirmando a fórmula estrutural  $[a-(Fe_{1-x}Cu_x)_{1-y/3}O_{1-y/3}(OH)_{1+y}]$  proposta. A análise química e mineralógica mostrou, no entanto, que esta substituição isomórfica é limitada a 3,9 mol%, aproximadamente. Para teores superiores, a hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) foi identificada como segunda fase mineralógica juntamente com goethita. Estes resultados, aplicados à formação de depósitos lateríticos, sugerem que estes seriam enriquecidos em cobre, por limitada substituição isomórfica Fe-Cu na estrutura da goethita, imobilizando o metal no meio superficial.

**Abstract:** The crystallochemical characterization of Cu(II) ions incorporated in synthetic goethite ( $\alpha$ -FeOOH) was studied to define the structural local environment of copper in this mineral. The samples were prepared under highly alkaline conditions and characterized chemistry and mineralogically with emphasis in Rietveld refinement using X-ray diffraction (XRD) data and X-ray absorption spectroscopy (XAS) with synchrotron light source. Results from differential thermal analysis (DTA) showed a decrease of the temperature of the second endotherm (296,3 - 290,3 °C) with substitution, interpreted as a structural instability. Transmission electron microscopy (TEM) of the Cu-goethite samples showed acicular crystallites (0,7 < Cu < 1,6 mol%) and star shaped particles (2 < Cu < 3,9 mol%) in the elapsing of incorporation. The application of the Rietveld method showed that this morphological modification of the crystallites affects, directly, the preferential orientation of the crystallographic plans (100), (010) and (001), producing a structural instability along the axes a and c. The local variation in Cu(II) sites, observed by XAS, showed distortions in the copper octahedra, but the polymeric linkages Fe(III) and Cu(II), preserve the structural environment of iron. The electron density diagrams (Fourier difference) confirmed the copper-iron isomorphous substitution in goethite. The generated electronic

unbalance was, stoichiometrically, compensated by an increase in water content, through hydroxyl insertion, confirming the structural proposed formula  $(a-(Fe_{1-x}Cu_x)_{1-y/3}O_{1-y/3}(OH)_{1+y})$ . The chemical and mineralogical analysis showed, however, that this isomorphous substitution is limited to 3,9 mol%, approximately. With higher Cu values, hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) was identified as a second mineralogical phase beside goethite. These results, applied to the formation of lateritic deposits, suggest that these would be enriched in copper, by limited isomorphous substitution Fe-Cu in goethite structure, immobilizing the metal in the superficial environment.

**Silvia Beatriz Alves Rolim**

**Orientador: Dr. Carlos Alberto Mendonça**

**Data: 27/07/2001**

### **Resposta geofísica dos depósitos de ouro da porção central do quadrilátero ferrífero, MG**

**Resumo:** O Quadrilátero Ferrífero vem sendo palco de diversas campanhas de estudo há mais de um século, na tentativa de conhecer seu potencial metalogênico, assim como a complexa evolução tectônica registrada na sua arquitetura. Uma dessas campanhas consta do levantamento aerogeofísico do Projeto Rio das Velhas (PRV), cujas características de alta resolução motivaram a investigação de parte desses dados. A área selecionada apresenta uma série de depósitos auríferos associada a uma zona de cisalhamento de direção geral NW-SE caracterizada, preliminarmente, por uma associação dessa mineralização de uma intensa alteração hidrotermal e a presença de um rosário de corpos com condutividade elétrica mais elevada. Este trabalho apresenta os resultados obtidos a partir do re-processamento e interpretação de parte de dados do PRV na porção central do Quadrilátero Ferrífero (QF) fornecendo subsídios às investigações geológicas convencionais, à análise metalogênica, bem como à identificação de ambientes favoráveis à mineralização aurífera. Inicialmente, foi feita uma síntese do conhecimento geológico e geofísico da área e das especificações e possibilidades

de tratamentos dos dados aerogeofísicos. Na fase de tratamento dos dados magnetométricos a presença de anomalias truncadas, tanto impediu a caracterização das fontes profundas, quanto dificultou a interpretação das fontes rasa devido ao efeito de sobreposição das anomalias. O efeito desse truncamento também comprometeu a transformação de redução ao pólo que, nestas condições, tende a gerar feições espúrias. Apesar destes efeitos. A aplicação de rotinas de processamento adequadas, escolhidas a partir de estudos de simulação efetuada em computador, permitiu caracterizar a natureza das anomalias truncadas com base na utilização dos dados magnetométricos regionais do Convênio Geofísica Brasil-Alemanha. Uma vez entendidas as respostas magnéticas presentes na área, o problemas da interferência de anomalias pode ser contornados utilizando na interpretação informações provenientes da aplicação de derivadas tais como, mapas de gradiente vertical e de amplitude do sinal analítico. A derivada vertical foi, particularmente, útil na caracterização e delimitação de uma porção da Zona de Cisalhamento São Vicente (ZCSV), que contém diversas ocorrências de ouro e apresenta anomalia magnética compatível a fontes com magnetização remanescente. As respostas radiométricas obtidas mostraram uma correlação entre o controle estrutural a rocha hospedeira a mineralização, o grau metamórfico e a alteração associada. Destes, a alteração hidromental, associadas ao enriquecimento relativo de potássio, foi de relevada importância no mapeamento de áreas favoráveis à concentração de ouro. O tório apresentou uma depleção nessas condições e o urânio revelou um comportamento variado. As respostas dos sistemas eletromagnéticos (EM)(frequências de 935,4175 e 33000 Hz) foram influenciadas pelo manto de alteração (até 100 m de espessura) em quase todas unidades da região estudada. As amplitudes dos campos eletromagnéticos (20 ppm para frequências mais altas) foram muito inferiores aos prescritos na literatura e os mapas de condutividade aparente calculados permitiram apenas um mapeamento sub-superficial. O arranjo horizontal coplanar (4175 Hz) mostrou-se

mais sensível à presença de condutores horizontal, compensando o menor grau de penetração e a interferência de ruídos. Nos levantamentos EM foram observados calores de médios a altos sobre as unidades máficas-ultramáficas e metassedimentares pelíticas do Grupo No Lima. Valores semelhantes foram encontradas a longo da ZCSV, representadas por "corredor" de condutividade com valores mais elevados na sua porção N e médios e altos na sua porção S. Por fim, considerando o expressivo número de ocorrências auríferas na parte sul do Lineamento São Vicente, pode-se cogitar que o processo de mineralização guarde uma associação com o evento específico que causou o alojamento de minerais magnéticos com atributos de remanesência ao longo da zona de falha. Esta hipótese, sugerida a partir da polaridade reserva da anomalia magnética, é reforçada pela sua correspondência com as respostas apresentadas nas anomalias radiométrica e eletromagnética, devendo ser considerada, tanto com fins prospectivos em estudos tectônicos ou referentes à gênese das mineralizações.

**Abstract:** The Quadrilátero Ferrífero is the most intensively studied area in Brazil due to its metallogenic potential and its complex geological evolution. One of the most important investigations of this region was the aerogeophysical survey of the Rio das Velhas Project (gamma-ray, magnetic and electromagnetic data). The high-resolution characteristics of this project have provided several studies in this region. However, some of the outlined goals haven't been reached, because it is possible to recognize new relationships between geophysical features and mineralization environments. Analysis of gamma-ray data from a selected area where a series of gold deposits are associated with a NW/SE-trending shear zone has identified an association with mineralization processes and intense hydrothermal alteration. Electromagnetic anomalies are shown as line bodies with significant electric conductivity. In addition, magnetic anomalies are associated with higher amplitudes, despite the interferences

caused b) anomalies from deeper sources in the region. The present research was aimed at investigating the geophysical response of the gold deposits in suitable environments with the use of aerogeophysical data supported by studies of background geology. A review of the geological and geophysical knowledge of the area and an evaluation of the possibilities of the processing of the aerogeophysical data were made. During the processing of the magnetic data, the truncated anomalies prevented the characterization of the deep sources, masking the interpretation of the shallow sources due to overlapping of anomalies. The effect of the truncation restricts the use of the reduction-to-pole, which generates features that do not correspond to reality. From this two questions could be answered. First is related to the origin and characterization of the truncated anomalies that was solved through processing and interpreting magnetic regional data from the Brazil-Germany Geophysical Covenant. The second is related to the forecast of the response of magnetic data to general processing that was based on simulation studies using magnetic models. Once the magnetic response in this area was understood, anomalies interference problems could be resolved using information derived from the application of techniques, such as vertical gradient maps and amplitude of the analytical signal. The vertical gradient was particularly useful in the delimitation and characterization of a portion of the Sao Vicente Shear Zone that presents compatible anomalies to sources with total magnetization of strong remanence and, in this case, associated with concentrations of gold. The analytical signal has reinforced the interpretation of the vertical gradient map that shows a greater magnetization degree to the mineralization. The gamma-ray responses obtained have demonstrated the existence of a relationship between structural control, host rock, mineralization, metamorphic grade and hydrothermal alteration. Out of these, hydrothermal alteration, associated to relative enrichment of Potassium, was of great help to map areas of favorable gold concentration. Thorium was depleted under these conditions and Uranium

presented a varied behavior. Responses of the electromagnetic system (frequencies of 935, 4175 and 33000 Hz) were influenced by the effect of weathering cover (up to 100 m thick) in almost all units of the region studied. The amplitudes of the electromagnetic field (20 ppm for higher frequencies) were much lower than the expected and the apparent calculated conductivity maps permitted only a superficial mapping of the area. The horizontal coplanar array (4175 Hz) permitted a higher grade of penetration and was most sensitive to the presence of the horizontal conductors, compensating the lower penetration grade and the noise interferences in high frequencies. Medium to high values of apparent conductivity have been observed, corresponding to mafic-ultramafic and metapelitic rocks from Nova Lima Group. Similar values are found along the Sao Vicente Shear Zone, represented by a "conductivity corridor" with high values in its northern sector and medium to high in its southern sector. Finally, considering the significant number of gold occurrences along the southern São Vicente lineament, it can be considered that mineralization processes are associated with the specific geological event, which aligned the magnetic material with remanence features along the fault zone. This possibility, as suggested by the magnetic anomaly signature, is reinforced by its close correspondence with the electromagnetic and gamma-ray anomalies. Therefore, it must be considered in prospective and tectonic studies about the genesis of the mineralization.

**Wilson José de Oliveira**

**Orientador: Dr. Álvaro Penteadó Crósta**

**Data: 29/06/1998**

**Caracterização das Emissões Gasosas de Hidrocarbonetos na região do remanso do fogo (MG), através do uso integrado de sensoriamento remoto geoquímica, geofísica, geologia estrutural e espectrometria de reflectância**

**Resumo:** Mapas de iso-concentração de hidrocarbonetos gasosos, juntamente com dados de levantamento espectral aéreo e terrestre foram integrados à imagens

do LANDSAT TM com o objetivo de estudar as emissões naturais de gás existente numa região conhecida como Remanso do Fogo, localizada no interior da Bacia Proterozóica do São Francisco, no norte do Estado de Minas Gerais. Técnicas de realce aplicadas em imagens digitais mostraram a existência de anomalias espectrais relacionadas à diferenças de coloração dos solos e diferenças na densidade da cobertura vegetal, dentro de uma área de plantio de eucaliptos. A análise geoquímica de amostras de solo, mostram, em alguns casos, a correlação espacial entre a elevada concentração de hidrocarbonetos gasosos e as anomalias do TM. Informações de campo comprovam que as anomalias espectrais identificadas encontram-se relacionadas à existência de áreas onde os eucaliptos encontram-se pouco desenvolvidos mostrando claros sinais de deficiência nutricional. Além disto, solos localizados dentro das áreas de anomalias geoquímicas de hidrocarbonetos apresentam uma coloração cinza, diferente da coloração marrom avermelhado dos solos posicionados fora das áreas de anomalias. Curvas espectrais de amostras de solo, coletadas dentro e fora das anomalias geoquímicas de hidrocarbonetos comprovam estas diferenças. Da mesma forma obteve-se dados espectrais utilizando-se um sistema aerotransportado (SADA) operante no intervalo entre 400 e 1100 nm. A integração destes dados de natureza distinta revelaram a presença de anomalias combinadas significantes de solo e vegetação, causadas provavelmente pela ocorrência dos hidrocarbonetos gasosos. A interpretação dos elementos estruturais de campo e do perfil sísmico de reflexão demonstraram que o sistema de falhas inversas com *trend* N30-40E e o sistema de juntas (N30E e N40-60W) controlam as emissões de hidrocarbonetos gasosos. A fim de melhor investigar este fenômeno e objetivando-se obter o melhor entendimento dos efeitos causados pelos hidrocarbonetos gasosos no solo e na vegetação, foi desenvolvido um experimento que ocorreu dentro de um ambiente controlado (*greenhouse*). Três conjuntos

de vasos contendo solos coletados na área de estudo e duas espécies de vegetação (eucalipto e grama) foram utilizados. Hidrocarbonetos gasosos foram injetados continuamente durante o experimento em um período de oito semanas em dois conjuntos de vasos. O terceiro conjunto de vasos, não afetado pela injeção do gás, foi utilizado para comparação no decorrer do experimento. As características físicas, químicas e radiométricas dos solos e vegetação foram quantificadas e avaliadas para todos os conjuntos de vasos. Medidas radiométricas da vegetação foram realizadas periodicamente através do espectroradiômetro portátil Spectron SE-590, operante na faixa entre 400 e 1100 nm do espectro eletromagnético. A presença dos hidrocarbonetos gasosos no sistema causou mudança nos padrões espectrais e químicos da vegetação devido à deficiências nutricionais comprovadas. As curvas espectrais das folhas de eucaliptos e das gramíneas demonstraram um aumento do albedo nas faixas do visível e infravermelho próximo. Observou-se uma migração do gradiente abrupto da curva espectral da vegetação (*red edge*) em direção a comprimentos de onda inferiores (*blue shift*). Mudanças no conteúdo relativo dos nutrientes, tais quais nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, zinco e ferro também detectados, resultaram na clorose das folhas. O hidrocarboneto gasoso também modificou as características espectrais dos solos, que demonstraram um decréscimo do albedo acima dos 550 nm. Tal fato é corroborado pela coloração do solo observada variando de tons de marrom amarelado do solo original para tons de marrom nos solos injetados com hidrocarbonetos gasosos. Interpretou-se estas mudanças cromáticas como uma indicação da mudança química evidenciada pela redução dos íons férricos  $Fe^{3+}$  para os íons ferrosos  $Fe^{2+}$ .

**Abstract:** Hydrocarbon soil geochemistry and airborne spectrometry survey were integrated with Landsat Thematic Mapper - LANDSAT TM - imagery for an area known as Remanso do Fogo, located in a portion of the São Francisco basin in

Central Brazil, where hydrocarbon seeps were previously known. Digital image enhancement allowed the identification of spectrally anomalous areas related to different soil color and geobotanical anomalies within an extensive eucalyptus plantation. Soil geochemistry showed, in some places, spatial correlation with high levels of gaseous hydrocarbons and TM anomalies. Field checking of these anomalies revealed that eucalyptus specimens in the anomalous areas were poorly developed, showing clear signs of nutritional deficiency. Furthermore, soils from sites corresponding to geochemical anomalies had a distinctive gray color differing from the usual brownish-red color of surrounding superficial soils. Reflectance spectra were measured for soil samples from the anomalous and non-anomalous area and showed differences. Spectral data were collected over anomalous and non-anomalous eucalyptus stands, using an airborne system operating between 400 and 1100 nm. The integration of these different data sets reveals the presence of a significant combined soil-vegetation anomaly, caused probably by long-term hydrocarbon gas seepage. The interpretation of field structural data and reflection seismic profiles shows that N30-40° ending thrust faults and two joint systems (N30E and N40-60W) control hydrocarbon gas seepage. To further investigate the phenomena and to understand the effects of hydrocarbon gas in soils and vegetation, we devised an environment-controlled (greenhouse) experiment. Three sets of vessels containing soil collected in the study area and two different vegetation assemblages (eucalyptus and grass) were used. Hydrocarbon gas was injected continuously throughout the experiment (8 weeks) into two sets of vessels. The third set of vessels, in which no gas was injected, was used for comparison throughout the experiment. Physical, chemical and radiometric characteristics of soils and vegetation (leaves) were measured and evaluated for both sets. Radiometric measurements on vegetation were made periodically using a Spectron SE-590 handheld radiometer, operating in the 400 to

1,100nm range. The presence of hydrocarbon gas caused changes on the spectral and chemical patterns of the vegetation due to nutritional deficiencies. Spectral curves of eucalyptus and grass leaves showed an overall increase in albedo within the visible and near infrared range. A shift of the vegetation red edge towards smaller wavelengths has been observed (the "blue shift"). Changes on the relative content of nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, zinc and iron were also detected, which resulted in chlorosis of the leaves. Hydrocarbon gas also modified the spectral characteristics of the soils, which showed a decrease in albedo above the 550-nm region. The fact is supported by the observed soil color changes, ranging from yellowish-brown tones in the original soils to brown tones in the gas-injected soils. We interpret this as an indication of chemical modification of the ferric ions, which have been reduced to ferrous ions.

**Zildo Gallo**

**Orientadora: Dra. Rachel Negrão Cavalcanti**

**Data: 04/12/2000**

**A defesa da qualidade das águas da bacia do rio Piracicaba: o papel da CETESB e de todos nós.**

**Resumo:** Esta tese tem o objetivo de analisar o trabalho de controle ambiental da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), observando prioritariamente o controle da poluição produzida pelos despejos industriais nos rios da bacia do rio Piracicaba. Os parâmetros para as análises são as suas contribuições, legalmente estabelecidas, e os impactos ambientais causados pelo processo de industrialização da região a partir dos anos setenta. A descentralização e a participação da comunidade são requisitos necessários para uma boa gestão ambiental. A participação da CETESB nas instâncias descentralizadas do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SIGRH), criado em 30 de dezembro de 1991, tem contribuído para a ruptura com sua atuação isolada e para um fortalecimento do modelo de gestão

das águas mais democrático e transparente. Observa-se, ainda hoje, que a CETESB privilegia as ações de controle em detrimento das preventivas, criando dificuldades para as ações futuras de proteção ambiental. É necessário que ela melhore cada vez mais no seu papel de fiscal e avance rumo a um trabalho mais preventivo, alterando a qualidade do seu relacionamento com os fiscalizados e abrindo espaço para consultorias e elaborações. Em oposição à década de setenta, quando a CETESB iniciou o seu trabalho, o atual momento apresenta condições muito mais favoráveis às ações das agências ambientais. Mudanças que estão ocorrendo na cultura empresarial, por exemplo, têm contribuído para tanto. Cabe à CETESB aproveitar os ventos favoráveis. Num futuro não muito distante, mudanças legais, aliadas à adoção de novos instrumentos de gestão, aperfeiçoarão a atuação das agências ambientais no Estado de São Paulo, entre elas a CETESB.

**Abstract:** This work analyses the environmental control performance of CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Environmental Sanitation Technology Company), by observing primarily the industrial sewage pollution control in the Piracicxaba River basin. The main parameters for the analysis are the legal attributions of the agency and the environmental impacts caused by the industrialization process in the region since the 70's. The decentralization and the community participation are fundamental requirements for a good performance of an environmental management agency. The participation of the CETESB in the decentralized Water Resources Integrated Management System – SIGRH, created on December 30<sup>th</sup>, 1991, has contributed for the breaking of its traditional isolated pattern of action and the development of a more democratic and transparent water resources management model. We can easily observe that the emphasis of CETESB is in control actions rather than in preventions, which may create difficulties for its future environmental protection actions. CETESB must continue improving its control activities, while developing a more preventive approach, increasing the

quality of the relationship with its stakeholders. Nowadays there seems to be favorable conditions for environmental agencies to develop their work, which was not the case in the 70's, when CETESB was created. The changes occurring in the private managerial environment have contributed for this favorable atmosphere and CETESB must take advantage of it. It must also be prepared to profit from changes in legal background as well as from development of new environmental management instruments, foreseeable for the near future.