

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

I.1 – Considerações iniciais

Parte significativa dos depósitos diamantíferos em território brasileiro está associada a rochas sedimentares com grande distribuição no tempo e no espaço, variando do Paleoproterozóico ao recente. As dificuldades inerentes à identificação de fontes “primárias” associados a estes depósitos se devem a escassez de registros bem preservados, sobretudo em função dos processos superimpostos de fragmentação e acreção crustal, erosão, transporte, alteração intempérica e recobrimento dos corpos magmáticos por processos sedimentares posteriores.

Os diamantes associados a estes (meta) sedimentos são, por vezes, os únicos registros dos processos que ocorreram desde sua formação, no manto, até os ciclos de redistribuição sedimentar na superfície. Nesta situação, o diamante é usado como guia para caracterização dos eventos geológicos relacionados ao próprio mineral.

De acordo com a literatura especializada (*e.g.* Dardenne & Schobbenhaus 2001), a região centro-norte de Minas Gerais possui um padrão complexo de distribuição de diamantes, guardando estreita relação com os períodos de desenvolvimento de bacias sedimentares no Proterozóico (Supergrupo Espinhaço e Grupo Macaúbas) e no Cretáceo Inferior (Formação Areado – Membro Abaeté).

No segmento setentrional mineiro da Serra do Espinhaço, na altura do paralelo 17° 30', Moraes (1934) descreveu que diamantes e carbonados (variedade policristalina do diamante) ocorrem juntos somente nos aluviões e paleoluviões do rio Macaúbas, associando-os aos “filitos conglomeráticos” da Formação “Macahubas”, de origem glacial. Esta proposta foi ampliada para outras regiões onde ocorre a unidade de metadiamicritos de idade neoproterozóica (Gonzaga & Tompkins 1991).

Diversos trabalhos, contudo, contestam esta hipótese (*e.g.* Fleischer 1998). Os principais argumentos dizem respeito *i)* ao aspecto dispersivo da sedimentação por geleiras, ineficazes para a concentração de diamantes, *ii)* a ausência de fontes diamantíferas no Neoproterozóico que pudessem ser retrabalhadas, *iii)* ao desconhecimento da influência dos processos de redistribuição sedimentar ocorridos no Cretáceo Inferior.

Nesta tese são apresentados dados de campo, resultados analíticos e interpretações sobre a origem e a evolução sedimentar dos diamantes e carbonados aluvionares da bacia do rio Macaúbas (MG).

Ressalta-se que este projeto de doutoramento representa a continuidade dos estudos iniciados em Dissertação de Mestrado anteriormente realizada (Martins 2002).

I.2 – Localização e acesso

A bacia hidrográfica do rio Macaúbas localiza-se no centro-norte do Estado de Minas Gerais, ocupando a porção ocidental da Folha Itacambira (IBGE 1977, SE-23-X-D-I, Carta do Brasil, escala 1:100.000) e uma pequena parte das folhas Bocaiúva (IBGE 1977, SE-23-X-C-III, Carta do Brasil, escala 1:100.000) e Botumirim (IBGE 1977, SE-23-X-B-IV, Carta do Brasil, escala 1:100.000), delimitada pelas latitudes 16°57'30" e 17°23'20"S e longitudes 43°16'48" e 43°37'12"W, abrangendo cerca de 1550km² de

área. A superfície ocupada pela referida bacia pertence aos municípios de Itacambira, Bocaiúva, Guaraciama e Olhos D'Água (figuras 1 e 2).

O acesso, a partir de Belo Horizonte, é realizado através da rodovia pavimentada BR-040, até o trevo de Curvelo, tomando-se a seguir a rodovia BR-135, sentido Montes Claros. Pode-se acessar a região da bacia do rio Macaúbas por duas vias: *i*) o acesso pela porção meridional é feita na altura do município de Bocaiúva, seguindo em estrada pavimentada até a cidade de Olhos d'Água, tomando-se então a estrada não-pavimentada para o distrito de Terra Branca; *ii*) acessa-se a parcela setentrional pelo município de Guaraciama, seguindo-se então para a cidade de Itacambira por via não-asfaltada. O percurso, seja pelo acesso meridional ou setentrional, perfaz uma distância total de aproximadamente 450km.

Importante salientar que à exceção da estrada não-pavimentada que liga a cidade de Olhos D'Água ao povoado de Terra Branca, existe apenas uma estrada de rodagem (em condições precárias) para trânsito de veículos não-tracionados dentro da bacia do rio Macaúbas. Neste sentido, as poucas tentativas que foram feitas pelas prefeituras e pelos moradores da região esbarram no problema da falta de recursos para abertura e conservação de outras vias de rodagem. Algumas novas estradas foram abertas pelas companhias de plantio de eucalipto ao longo dos últimos anos, o que tem possibilitado o acesso à periferia desta bacia por veículos não-tracionados.

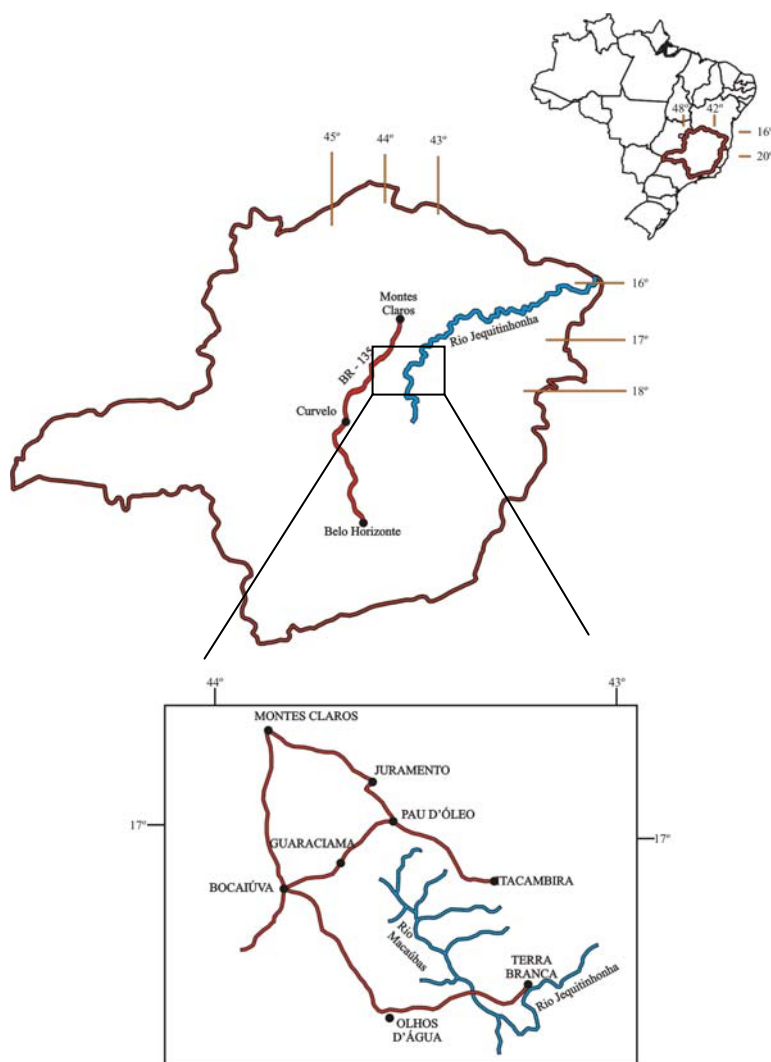


Figura 1 – Localização e acesso para a região da bacia do rio Macaúbas.

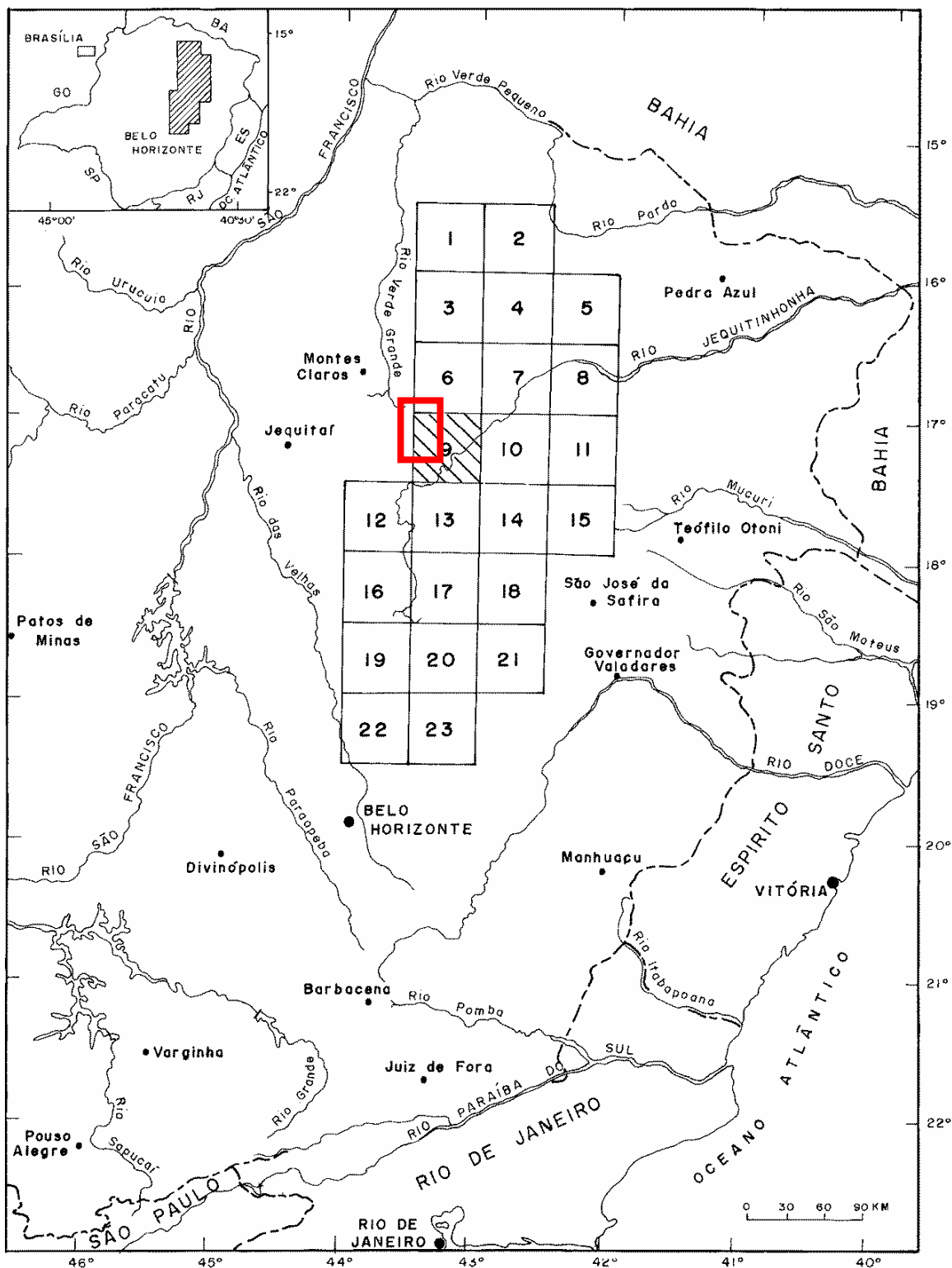


Figura 2. Mapa de situação e articulação das folhas 1:100.000 no âmbito do Projeto Espinhaço, destacando-se, em vermelho, a área da presente pesquisa. Modificado de Noce (1997).

- | | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. Janaúba | 7. Grão Mogol | 13. Carbonita | 19. Pres. Kubitschek |
| 2. Rio Pardo de Minas | 8. Araçuaí | 14. Capelinha | 20. Serro |
| 3. Francisco Sá | 9. Itacambira | 15. Malacacheta | 21. Guanhães |
| 4. Padre Carvalho | 10. Minas Novas | 16. Diamantina | 22. Baldim |
| 5. Salinas | 11. Jenipapo | 17. Rio Vermelho | 23. C. Do Mato Dentro |
| 6. Botumirim | 12. Curimataí | 18. S. S. do Maranhão | |

I.3 – Aspectos fisiográficos, clima e vegetação

A área considerada neste trabalho localiza-se na região do curso médio do rio Jequitinhonha em Minas Gerais, o qual possui direção geral SW-NE (Figura 3).

Dentro da grande área compreendida pelo município de Itacambira, a expressão fisiográfica mais proeminente deve-se ao início do segmento setentrional da Serra do Espinhaço. Os metassedimentos do Supergrupo Espinhaço distribuem-se como um cordão de serras quase sempre contínuos e em forma de arco, com fechamento ao sul da cidade de Itacambira e concavidade voltada para o norte, compreendendo as maiores elevações da região (máximo de 1480m; IBGE 1977 – Folha Itacambira). A topografia é bastante irregular, com grandes superfícies arrasadas. Os vales são geralmente encaixados e as vertentes abruptas, onde predominam altas declividades.

Bordejando o domínio serrano, desenvolve-se um relevo mais suave, relacionado aos litotipos do Grupo Macaúbas, recobertos por sedimentos fanerozóicos que formam grandes extensões de relevo aplainado (chapadas), chegando a ter dezenas de quilômetros de extensão e cujos topos situam-se entre as cotas 800 e 1000m. As vertentes são menos pronunciadas e os vales mais abertos quando comparados ao domínio fisiográfico do Supergrupo Espinhaço.

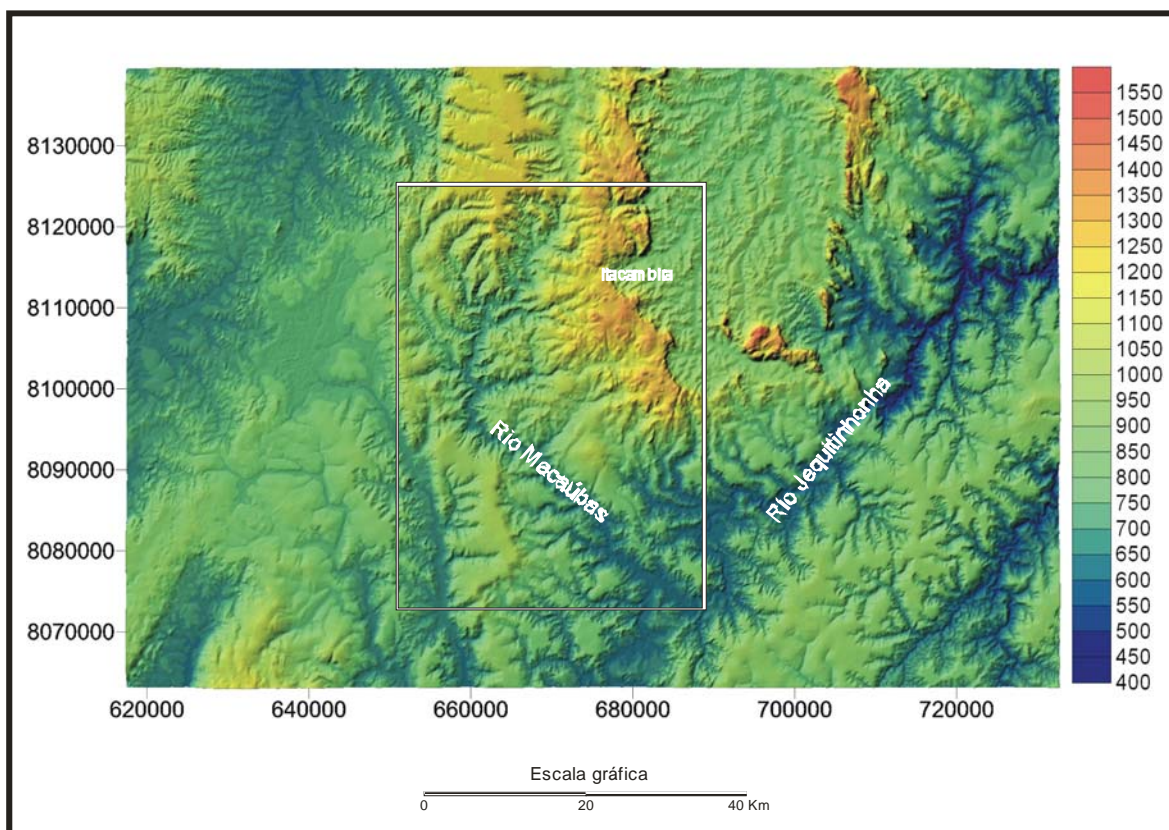


Figura 3 – Mapa hipsométrico da região do Anticlinal de Itacambira, destacando-se aproximadamente a região da bacia hidrográfica do rio Macaúbas.

O rio Macaúbas é afluente de primeira ordem da margem esquerda do curso principal (rio Jequitinhonha), orientado aproximadamente na direção NW-SE (ver mapa de pontos e drenagem, em anexo). A partir de sua porção mediana até à desembocadura com o rio Jequitinhonha, orienta-se segundo NW-SE.

Seus principais afluentes da margem esquerda são os ribeirões do Bananal, Onça e da Ilha e os córregos do Cedro, Barcos, Curral de Pedra e Água Limpa. Os da margem direita são representados pelo ribeirão da Dona e pelos córregos Saco de Mel, Taquarí, Ursa, Lagoa, Lavras, Retiro, Marinheiros e Melancia.

Segundo Noce (1997), o clima na região é tropical, com seis meses secos (de Abril a Setembro). A precipitação máxima ocorre durante os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, com valor médio anual de 1000 mm. A temperatura média anual é de cerca de 22°C.

A vegetação é controlada pelos fatores clima, altitude, morfologia, litologia e solo. Predominam ao longo de toda a área, vegetações rasteiras e de pequeno porte, características de campos de altitude. Localmente, matas ciliares ocorrem em regiões de relevo aplainado ou ao longo das drenagens. Nas chapadas, predomina o cerrado baixo, representado por árvores como o pequizeiro e o pau-da-terra (dentre outras) e a caatinga arbustiva, com bromeliáceas e cactáceas.

I.4 – Natureza do problema

Desde a descoberta de corpos ígneos portadores de diamante na África do Sul, em 1872 (*In* Gonzaga & Tompkins 1991), as pesquisas sobre a gênese, preservação e *emplacement* dos diamantes por processos tectono-magmáticos vêm sofrendo consideráveis avanços. Os dados disponíveis (*e.g.* Bulanova 1995, Taylor & Arnand 2004) indicam que a maior parte dos diamantes se formou no manto, sob influência de altas pressões e temperaturas, cuja ascensão e preservação até a superfície estaria relacionada a atividades magmáticas profundas de natureza alcalina (kimberlitos e rochas correlatas), ou ao metamorfismo de alto grau na interface crosta/manto superior, no período compreendido principalmente entre o Hadeano e o Paleoproterozóico (Helmstaedt 2002). A idade e o posicionamento geotectônico dos corpos kimberlíticos mineralizados em diamantes é bastante variável, mas, de uma forma geral, estão associadas a antigos núcleos crustais poupados de eventos termo-tectônicos há mais de 1.5Ga (Clifford 1966).

No Brasil, as principais manifestações magmáticas conhecidas e com potencial para jazimentos de diamantes relacionam-se às intrusões kimberlíticas do Cretáceo (Dardenne & Schobbenhaus 2001). Estes corpos são oriundos de uma intensa atividade magmática intra-placa quando da tafrogênese responsável pela quebra do Supercontinente Gondwana e abertura do proto-oceano do Atlântico Sul (evento Sul-Atlântico, Schobbenhaus *et al.* 1984). Os corpos kimberlíticos distribuem-se ao longo de dois grandes lineamentos estruturais, designados como AZ-125° e Transbrasiliano (Gonzaga & Tompkins 1991). Segundo estes autores, ao lineamento Transbrasiliano são associados os kimberlitos de Gilbués/Picos, no Piauí, e os de Poxoréu, no Mato Grosso. Ao lineamento AZ-125° são relacionadas as províncias kimberlíticas do Cretáceo Inferior (kimberlitos Batoví, datados em 121Ma), bem como as do Cretáceo Superior nas regiões de Aripuanã (kimberlitos de Juína), no Mato Grosso, de Pimenta Bueno, em Rondônia, e do Alto Paranaíba, em Minas Gerais. Somente os kimberlitos de Juína apresentam, até agora, mineralizações significativas de diamante (Teixeira 1996).

Historicamente, a produção de diamantes em território brasileiro deve-se à extração em depósitos secundários, sejam eles recentes ou antigos. Algumas das mais importantes ocorrências diamantíferas estão relacionadas a antigos depósitos sedimentares do Proterozóico, com grande distribuição espacial. Estes

horizontes diamantíferos foram retrabalhados ao longo do tempo e serviram como fonte secundária para outros ciclos de redistribuição sedimentar e formação de novos depósitos de diamantes.

O Supergrupo Espinhaço compõe e sustenta a serra homônima e se estende por aproximadamente 1200km segundo o meridiano, atravessando os estados de Minas Gerais e Bahia (Figura 4). É formado por associações vulcano-sedimentares na base, sobreposto por um espesso pacote de sedimentos siliciclásticos em direção ao topo, com porções localizadas de sedimentos carbonáticos. Estudos regionais integrados apontam para uma bacia intracratônica do tipo rift, com registros de sedimentação continental a plataformal, cuja evolução teria ocorrido em torno de 1750 a 1100Ma (Dussin & Dussin 1995).

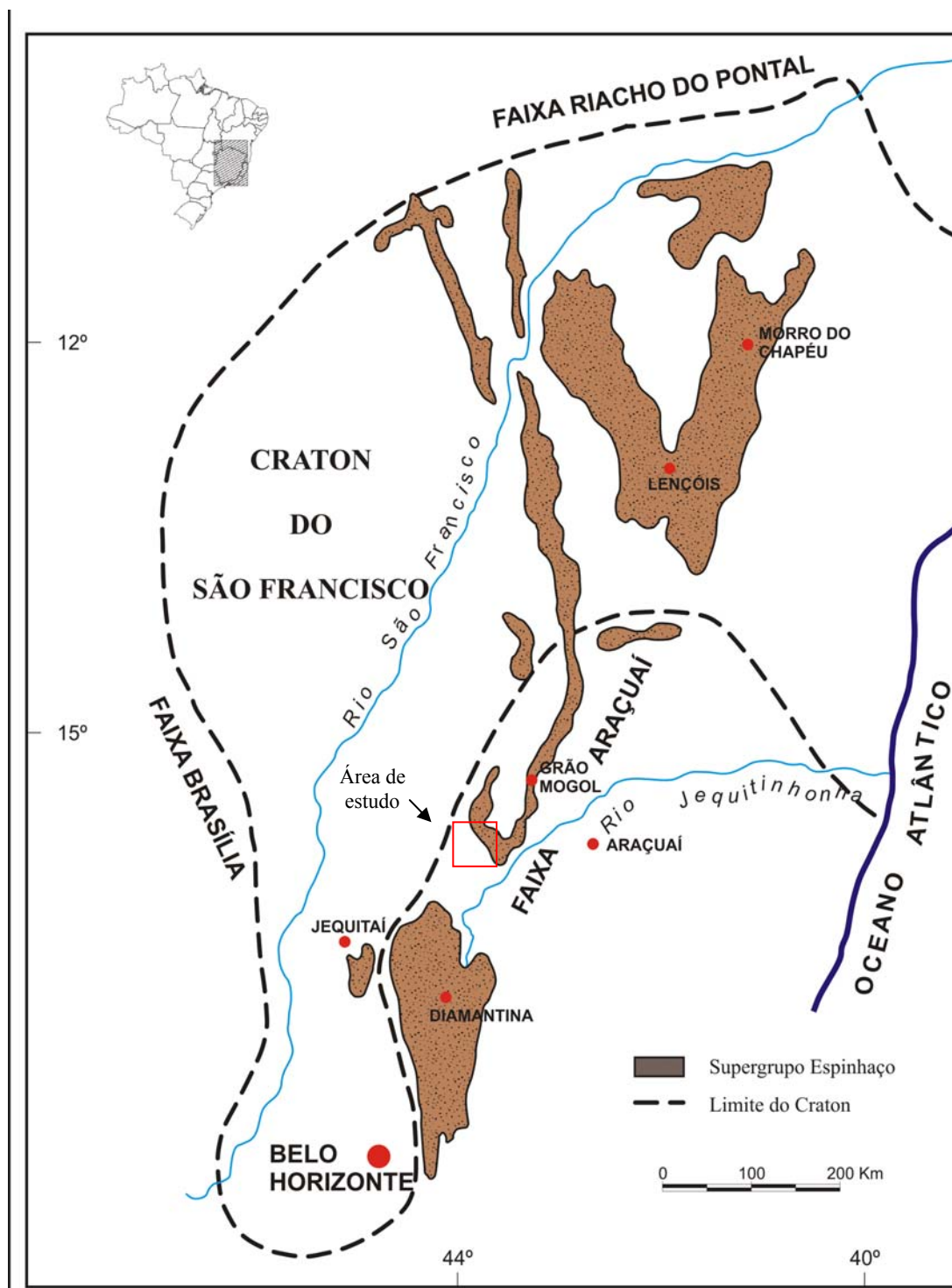


Figura 4 – Distribuição dos metassedimentos do Supergrupo Espinhaço. Modificado de Chaves (1997).

As denominações utilizadas para a cordilheira consideram a área de ocorrência de seus diferentes segmentos: Espinhaço Meridional, iniciando nas proximidades de Belo Horizonte e prolongando-se ininterruptamente até a região de Olhos D'Água (Minas Gerais); Serra do Cabral, segmento ocidental da cadeia em Minas Gerais; Espinhaço Setentrional, iniciando-se na altura do paralelo 17° 30'S, em Minas Gerais, onde a serra ocorre separada e deslocada por aproximadamente 30km na direção NNE da parcela Meridional, com prolongamento contínuo do flanco oriental até o Estado da Bahia; Chapada Diamantina, distribuindo-se inteiramente na porção centro-oriental da Bahia.

O Supergrupo Espinhaço contém pelo menos quatro horizontes conglomeráticos portadores de diamante posicionados ao longo da cordilheira, sobre uma extensão linear de pelo menos 1000km, desde o Quadrilátero Ferrífero (Serra das Cambotas), em Minas Gerais, até o extremo norte da Chapada Diamantina, no Estado da Bahia (Chaves 1997). Estes depósitos são interpretados como “andares” estratigráficos distintos, com idades de sedimentação diferentes, podendo estar relacionados a uma ou mais fontes supridoras de diamantes, sejam elas distantes ou próximas aos sítios de deposição (Chaves 1997, Almeida-Abreu & Renger 2000).

Segundo Gonzaga & Tompkins (1991), o evento glacial Neoproterozóico é o principal agente redistribuidor de diamantes no Brasil a partir de fontes magmáticas posicionadas no paleo-continente do São Francisco. Durante este período, o proto-continente do São Francisco e adjacências teria sido afetado por um novo processo de distensão da crosta, concomitantemente com um evento glacial que cobriu parte da área cratônica (Karfunkel & Hoppe 1988). Ainda que as causas e a idade deste evento não sejam totalmente conhecidos, os sedimentos glaciogênicos deste período, de um modo geral, distribuem-se ao redor da área cratônica, recebendo diferentes denominações conforme a área de ocorrência (Figura 5): Grupo Macaúbas (Pflug & Renger 1973) – porção centro-oriental de Minas Gerais; Formação Carandaí (Leonardos 1940) – região sul de Minas Gerais; Grupo Ibiá (Pereira 1992) – região oeste de Minas Gerais/sul de Goiás, e Formação Bebedouro (Oliveira & Leonardos 1940), centro-norte da Bahia. Todas estas unidades foram consideradas cronocorrelatas por Karfunkel & Hoppe (1988), sendo posteriormente reagrupadas sob a denominação de “Glaciação do São Francisco” (Karfunkel *et al.* 2001).

No Estado de Minas Gerais, o Grupo Macaúbas (Pflug & Renger 1973), primeiramente designado de “Formação Macahúbas” por Moraes (1928) e equivalente da Formação Jequitai de Branner (1919), apresenta polaridade sedimentar e amplo desenvolvimento faciológico no sentido NNW-SSE, com registro de todos os estágios de desenvolvimento bacinal para uma margem passiva, cuja área fonte dos sedimentos estaria relacionada aos terrenos antigos que compõem o núcleo crustal do São Francisco e parte dos sedimentos da bacia Espinhaço (Noce *et al.* 1993). A região abrangida pela Serra da Água Fria, localizada no segmento norte da Serra do Cabral, possui uma das melhores exposições de feições diagnósticas que permitem caracterizar a influência de geleiras na erosão, transporte e sedimentação no período Neoproterozóico (pavimentos estriados, seixos facetados, eskers e varvitos; Hettich 1977). Derby (1879) foi o primeiro autor a descrever e a sugerir uma origem glacial para a unidade de “grauvacas conglomeráticas”, associando-a com os diamantes aluvionares que ocorrem próximos à cidade de Jequitai. Esta proposta foi ampliada para outras

partes do estado onde esta unidade ocorre (e.g. Moraes & Guimarães 1930), incluindo a bacia hidrográfica do rio Macaúbas (Moraes 1934), área enfocada por este trabalho.

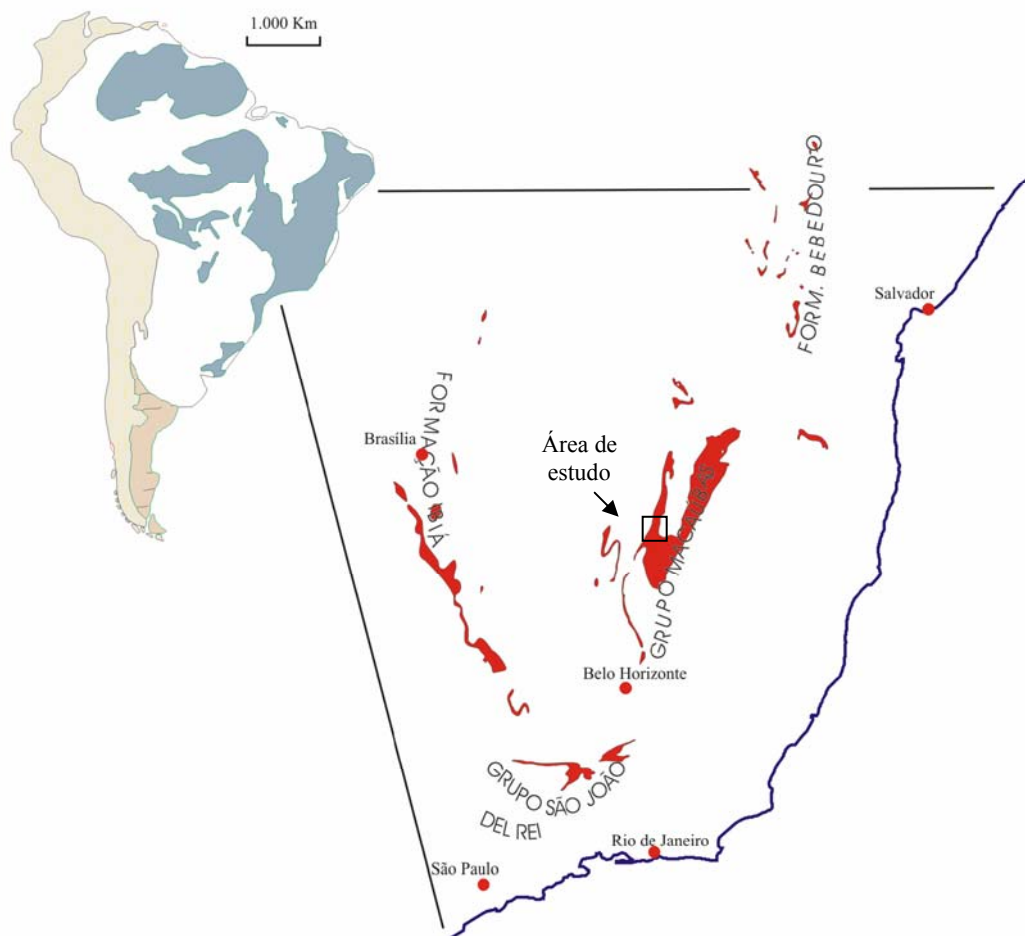


Figura 5 – Distribuição dos metassedimentos glaciogênicos do Neoproterozóico. Modificado de Karfunkel & Hoppe (1988).

Os depósitos sedimentares diamantíferos do Mesozóico e de maior distribuição areal em Minas Gerais são representados pelo conglomerado da Formação Areado - Membro Abaeté, originalmente definido na Província do São Francisco (e.g. Barcelos & Suguio 1980, Campos *et al.* 1993) e posteriormente reconhecidos na porção centro-norte do estado por Karfunkel & Chaves (1995). Datações indiretas posicionam o Membro Abaeté no Cretáceo Inferior (Kattah 1991), o que pressupõe que os diamantes neste conglomerado sejam retrabalhados a partir de fontes mais antigas, tendo em vista que os kimberlitos do Alto do Paranaíba foram datados como Cretáceo Superior (Svisero *et al.* 1979).

Um dos atributos mais importantes dessas camadas conglomeráticas relaciona-se ao fato de ocorrerem em níveis altimétricos bastante semelhantes. Chaves *et al.* (1996) e Penha *et al.* (2005), dentre outros, correlacionam os conglomerados reliquiais posicionados entre as cotas 750 a 1000m na Serra do Cabral, Mineira, e da Água Fria, aos conglomerados basais da Formação Areado (Membro Abaeté). Segundo estes autores, o soerguimento do Arco da Canastra e da Serra do Espinhaço durante a abertura do Atlântico

Sul, teria gerado as condições necessárias para a instalação das protobacias dos rios São Francisco e Jequitinhonha. Estes ruidos seriam os remanescentes de depósitos fluviais e de leques aluviais deste evento. Os diamantes contidos nestes depósitos seriam oriundos da exposição, erosão e transporte de parte dos metaconglomerados da Formação Sopa-Brumadinho, provenientes da Serra do Espinhaço Meridional. Addad *et al.* (1999) descreveram o Membro Abaeté - Formação Areado no Morro do Pai Albano, na “chapada” situada entre as cidades de Juramento e Itacambira, no âmbito de influência das drenagens que convergem para os rios Macaúbas e Congonhas.

De acordo com a literatura (*e.g.* Dardenne & Schobbenhaus 2001), a região centro-norte de Minas Gerais possui um padrão complexo de distribuição de diamantes, guardando estreita relação com os períodos de desenvolvimento de bacias sedimentares no Proterozóico e no Cretáceo Inferior, atribuídos a retrabalhamentos de uma ou mais fontes sedimentares e/ou magmática a partir do Paleoproterozóico. Os ciclos de redistribuição sedimentar “Espinhaço”, “Macaúbas” e “Areado” estão diretamente relacionados a diferentes agentes da dinâmica de superfície.

Os horizontes metaconglomeráticos posicionados ao longo da Serra do Espinhaço e os conglomerados cretácicos distribuídos entre as bacias dos rios Jequitinhonha e São Francisco, não deixam dúvidas sobre a importância dos processos subaquosos de alta energia para o transporte e concentração de diamantes (*e.g.* Chaves 1997). Em termos gerais, os ambientes mais comuns aos quais pode estar associada a formação de tais depósitos incluem os sistemas fluviais de leques aluviais, de rios entrelaçados, de rios meandantes, marinhos costeiros e da interação entre estes sistemas (*e.g.* Miall 1996).

Ainda que vários autores considerem os (meta) diamictitos do Grupo Macaúbas unidades portadoras de diamantes (*e.g.* Derby 1879, Moraes 1934, Campos & Gonzaga 1999), diversos outros trabalhos contestam esta hipótese (*e.g.* Fleischer 1998). O principal argumento diz respeito ao aspecto dispersivo da sedimentação por geleiras, ineficazes para a concentração de diamantes. Outros pontos advogados relacionam-se a *i*) a ausência de possíveis fontes diamantíferas no Neoproterozóico para que pudessem ser retrabalhadas e *ii*) o desconhecimento da influência dos processos de redistribuição sedimentar ocorridas durante o Cretáceo Inferior (Formação Areado).

A caracterização e a influência dos processos associados ao ambiente glacial como agentes eficazes envolvidos nos ciclos de redistribuição do diamante têm sido bastante ampliados nos últimos anos, seja em áreas com registros de glaciações atuais ou pretéritas. A prospecção realizada em sedimentos glaciogênicos recentes como traçadores paleogeográficos permitiu a descoberta das províncias kimberlíticas mineralizadas de Arkhangelsk, Rússia (Golubev 1995) e dos Territórios do Noroeste, no Canadá (Morris & Kaszycki 1997). Da mesma forma, Rouffaer (1988) e Moore & Moore (2004) atribuem a presença de diamantes ao longo da costa da Namíbia e da África do Sul aos sedimentos glaciogênicos permo-carboníferos da Formação Dwyka, a partir de fontes “primárias” localizadas no Cráton do Kaapvaal. Contrariamente ao que havia sido postulado por Sutherland (1982), o rio Orange não poderia constituir o principal agente de transporte dos diamantes por mais de 1200km, sendo diamantífero apenas no trecho em que drena a Formação Dwyka, próximo a área litorânea.

O rio Macaúbas, localizado no segmento setentrional mineiro da Cordilheira do Espinhaço, na altura do paralelo 17° 30', particulariza-se por ser a única região em Minas Gerais onde diamantes e carbonados, estes, em quantidade apreciável, ocorrem associados em aluviões antigos e recentes.

O carbonado é uma das variedades policristalinas do diamante e caracteriza-se por ser extremamente poroso, opaco, de aspecto áspero e constituído por uma associação de cristais micrométricos de diamante com metais (Wentfort & Bovenkerk 1961). As investigações anteriormente realizadas no carbonado advogaram processos distintos de formação quanto à composição do meio, fonte de carbono, mecanismos de nucleação e crescimento, dentre outros (e.g. Kagi 1994, Kaminsky 1995, De Subarnarenkha *et al.* 1998). Alguns autores, inclusive, relacionam os carbonados a atividade de corpos extraterrestres (meteoros), em tempos que remontam aos primórdios da Terra, seja como constituintes destes corpos (e.g. Haggerty 1999) ou como produtos da cristalização de carbono primordial face ao metamorfismo de contato de alta pressão resultante do choque dos meteoros com a superfície terrestre (impactitos, Smith & Dawson 1985).

Moraes (1934) associou os diamantes e carbonados encontrados nos aluviões e paleoaluviões da bacia homônima aos litotipos do Grupo Macaúbas, proposta parcialmente confirmada pelo autor do presente trabalho durante a Dissertação de Mestrado (Martins 2002). Contudo, os resultados obtidos foram considerados preliminares no que diz respeito à existência de uma ou mais fontes de natureza sedimentar no Proterozóico. Karfunkel & Karfunkel (1975) consideraram os metaconglomerados da Formação Água Preta (unidade de topo do Supergrupo Espinhaço) como a fonte secundária dos diamantes desta bacia, possivelmente formados em ambiente litorâneo e correlacionáveis aos mesmos litotipos na região de Grão Mogol. Da mesma forma, o reconhecimento do Membro Abaeté - Formação Areado - descrito por Addad *et al.* (1999), coloca em questão a possibilidade de uma fonte sedimentar ligada aos ciclos de redistribuição ocorridos durante o Cretáceo Inferior.

Fez-se necessário ainda, a caracterização analítica detalhada dos diamantes e carbonados para que possam ser correlacionados geneticamente ou não, os quais poderiam estar relacionados a retrabalhamentos de um ou mais depósitos sedimentares diamantíferos mais antigos ou como registros de possíveis atividades magmáticas distintas no tempo e no espaço.

I.5 – Objetivos

Com base no que foi exposto no item anterior, os objetivos propostos para esta tese são:

- definir as características genéticas dos diamantes e carbonados da bacia do rio Macaúbas;
- estabelecer uma possível correlação genética entre diamantes e carbonados desta região;
- definir os mecanismos de transporte e deposição que operaram para a formação das unidades metassedimentares proterozóicas e dos sedimentos fanerozóicos;
- determinar qual(is) desta(s) unidade(s) deram origem à ocorrência dos diamantes e carbonados na bacia do rio Macaúbas;
- definir a razão pela qual esta bacia hidrográfica é a única que contém diamantes e carbonados em quantidade apreciável em Minas Gerais.

I.6 – Metodologia

Em termos metodológicos, a questão envolvendo a origem dos diamantes e carbonados aluvionares na bacia hidrográfica do rio Macaúbas implicou necessariamente a integração de dois ciclos geodinâmicos:

- um magmático: que tenta identificar, através dos elementos intrínsecos e extrínsecos dos próprios diamantes e carbonados, os aspectos relacionados a sua gênese e a todos os processos aos quais o mineral foi submetido no interior da Terra. No caso específico do carbonado, há de ser verificada ainda a hipótese de uma origem não-magmática;
- outro sedimentar: dentro dos possíveis ciclos sedimentares no Proterozóico e no Fanerozóico, responsáveis pelo transporte e deposição dos diamantes e carbonados para a atual bacia do rio Macaúbas, a história evolutiva destes minerais, em algum momento, passa necessariamente pelos estágios de desenvolvimento dos sítios de deposição, incluindo a idade, a natureza da(s) área(s) fonte e dos possíveis agentes e processos envolvidos na erosão, transporte e sedimentação.

Na medida do possível, o desenvolvimento do projeto de doutoramento foi sistematizado em etapas conjugadas entre os trabalhos de campo e os trabalhos de laboratório, de forma que ambos se completassem. Numa primeira abordagem, utilizaram-se os dados preliminares obtidos na Dissertação de Mestrado (Martins 2002).

Projetos de cooperação científica envolvendo pesquisadores de instituições nacionais e internacionais deram suporte metodológico para a obtenção de grande parte dos dados analíticos aqui apresentados e serão detalhados ao longo da descrição destes procedimentos.

Adicionalmente às etapas de campo realizadas na região da bacia do rio Macaúbas e em torno, procurou-se aprimorar os próprios conhecimentos através da participação, como orientador, nos estágios de mapeamento geológico desenvolvidos no Centro de Geologia Eschwege (IGC/UFMG), localizado na cidade de Diamantina, entre os anos de 2001 a 2005. Pelas peculiaridades relativas ao arcabouço geológico em que se encontram os metaconglomerados diamantíferos da Formação Sopa-Brumadinho, a Serra do Espinhaço Meridional tem sido considerada como uma das áreas-chave para o entendimento não só dos ciclos de redistribuição do diamante no Mesoproterozóico, mas abrangendo também as características sedimentares, estratigráficas e estruturais às quais se associam.

De igual importância cita-se a participação em três excursões temáticas na Rússia, realizada nos meses de julho e agosto de 2004. Foram visitadas as províncias diamantíferas de Arkhangelsk e dos Montes Urais. A primeira relaciona-se a pipes kimberlíticos e mineralizados, de idade Devoniana, descobertos através da prospecção em sedimentos glaciogênicos recentes (Vladimir Sobolev 2004, comunicação verbal). Foram observadas as características de um dos corpos de kimberlito atualmente explorados com relação à composição e a estrutura do corpo, assim como aspectos da mineralogia dos diamantes. Os depósitos diamantíferos dos Montes Urais possuem idade e origem desconhecidos, sendo primeiramente relatados por Von Humboldt em 1829/1830 (Prof. F. Renger, comunicação verbal). Principalmente pela semelhança entre suas características mineralógicas, os diamantes dos Urais e da Serra do Espinhaço foram estudados por Shafranovskii (1940) e Orlov (1977).

I.6.1 - Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo na bacia do rio Macaúbas envolveram as etapas de mapeamento geológico, prospecção aluvionar, coleta de material para análises e descrição de diamantes e carbonados *in situ*. Foram efetuadas diversas campanhas para estes fins durante os anos de 2002 a 2005, totalizando aproximadamente 213 dias de campo. O rio Congonhas situa-se no prolongamento setentrional a partir da cabeceira do rio Macaúbas e foi alvo de algumas investigações para fins de correlação estratigráfica e de prospecção aluvionar.

Foram utilizados como material de suporte para as etapas de campo:

- mapas geológicos, perfis e relatórios que abrangem a região enfocada neste trabalho e arredores: Moraes (1932, 1934), Moraes et al. (1937), Karfunkel & Karfunkel (1975, 1977), Oliveira (1989), Uhlein (1991), Noce *et al.* (1996), Noce (1997), Martins (2002) e Gradim (2003);
- folhas topográficas Itacambira (IBGE 1977, SE-23-X-D-I, Carta do Brasil), Bocaiúva (IBGE 1977, SE-23-X-C-III, Carta do Brasil) e Botumirim (IBGE 1977, SE-23-X-B-IV, Carta do Brasil), em escala 1:100.000, as quais foram ampliadas em modelo digital para a base cartográfica usada no presente trabalho (1:50.000);
- fotografias aéreas USAF, escala 1:60.000, abrangendo as linhas de vôo 57B (53504-535412), 58C (57040-57047), 55B (82028-82031), 52E (81044-81051), 53C (80782-80797), 56A (8538-8551), 59E (65515-65520).
- imagens de satélite LANDSAT-TM e ETM, na composição das bandas 5, 4 e 3 respectivamente, número 218/72, com resolução máxima de 30m, georeferenciada a partir de cartas topográficas 1:100.000, em modelo digital (EMBRAPA 2002). O arquivo digital permite a seleção e a ampliação de setores de uma mesma imagem em escala regional (1:250.000) até em escala de detalhe (1:25.000);
- imagem de satélite LANDSAT, cena 010, número 173228-122551-6, na composição da banda espectral 2, convênio CNPq/INPE (1978);
- aparelho GPS-Magellan-II, com erro máximo de 30 metros;
- material convencional de campo: bússola, martelo, altímetro, lupa de mão (10X aumento), estereoscópio, etc.

I.6.1.1 - Mapeamento geológico

Efetuiu-se o mapeamento geológico de toda a área abrangida pela bacia do rio Macaúbas na escala 1:50.000 como forma de atender aos objetivos deste trabalho. Foram plotadas 385 estações geológicas, onde foram realizadas as descrições dos afloramentos com relação à composição mineralógica e textura macroscópica (com auxílio de lupa de mão 10X aumento), continuidade vertical e lateral, espessura aparente, descrição de estruturas sedimentares e/ou tectônicas, medições de elementos planares e lineares, cartografia e aquisição de material fotográfico e/ou desenho esquemático dos principais afloramentos em escala adequada.

A metodologia usada para o mapeamento das unidades metassedimentares do Supergrupo Espinhaço e Grupo Macaúbas e das unidades fanerozóicas baseou-se no levantamento de perfis litoestratigráficos, onde foram descritas as litofácies características para cada estação plotada no mapa de pontos. Segundo a definição de Reading (1986), litofácies sedimentares correspondem aos atributos relacionados à composição,

granulometria ou textura, estruturas sedimentares, geometria e paleocorrentes, sendo um termo estritamente descritivo. A descrição e a interpretação das estruturas sedimentares baseou-se nos trabalhos de Pettijohn & Potter (1964), Pettijohn *et al.* (1973), Collinson & Thompson (1982), Reading (1986) e Ashley (1990).

Os vetores de paleocorrentes característicos para cada unidade litoestratigráfica foram analisados com ressalvas, uma vez que não foi realizada a restauração destas medidas através do balanceamento de seções afetadas por eventos orogênicos (*e.g.* Woodward *et al.* 1986).

Em se tratando de metassedimentos, indagações a respeito dos processos sedimentares envolvidos e dos possíveis ambientes de deposição são naturalmente feitos. Numa etapa posterior, as litofácies comuns foram reunidas em unidades litoestratigráficas (segundo a definição do Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.* 1986) e do Guia Estratigráfico Internacional (Salvador 1994)), e forneceram a base para estudos genéticos de sedimentos segundo o modelo de fácies, utilizados para interpretações de ambientes deposicionais (*e.g.* Walker 1979, Brodzikowski & van Loon 1987, Eyles & Eyles 1992, Walker 1992, Einsele 1992, Miall 1996, Galloway & Hobday 1996).

As litofácies rudíticas, propícias para a concentração de diamantes e carbonados presentes no Grupo Macaúbas, foram caracterizadas quanto à relação clasto/matriz, tipologia e distribuição granulométrica dos clastos. Foram selecionados afloramentos em bom estado de preservação, delimitando-se uma área de aproximadamente 1m² para levantamento estatístico de dados. Foram determinados os parâmetros acima referidos por contagem de pontos, espaçados de 5cm entre si, tanto no sentido longitudinal quanto no sentido transversal da malha de amostragem, totalizando 2000 pontos de contagem por afloramento. O grau de arredondamento e a esfericidade foram determinados qualitativamente, com auxílio de uma escala de mão contendo estes parâmetros (comparação visual). Os metaconglomerados do Supergrupo Espinhaço e das unidades fanerozóicas não foram caracterizadas segundo estes parâmetros pelo fato de apresentarem pequena área de exposição (menor do que 1m²) e arcabouço sedimentar completamente obliterado pela pelos processos de lateritização do Terciário Médio/Superior, respectivamente.

Localizada próximo ao contato com a borda do Cráton do São Francisco, a região da bacia do rio Macaúbas pertence ao domínio externo da Faixa de Dobramentos Araçuaí (segundo Pedrosa-Soares & Wiedemann 2000), segmento definido como um cinturão epidérmico de antepaís aos quais se associam dobras e falhas de empurrão vergentes para o cráton (Alkmim 2004).

A deformação brasileira seguramente promoveu modificações na arquitetura original das unidades proterozóicas, representadas pelo Supergrupo Espinhaço e Grupo Macaúbas (Oliveira 1989, Uhlein 1991), o que poderia ter afetado, em maior ou menor grau, a distribuição e mesmo a concentração de diamantes e carbonados nas possíveis rochas metassedimentares portadoras destes minerais. Desta forma, considerou-se também a necessidade de se caracterizar a influência da deformação brasileira na área de estudo.

Sempre que possível, foi dado enfoque especial na geometria de algumas das estruturas tectônicas descritas em campo, tais como, falhamentos, dobramentos, distribuição e relação espacial entre foliações e respectivas lineações minerais, dentre outros. Com isto, pretendeu-se estabelecer uma base mínima de conhecimentos para interpretações a cerca do significado destas estruturas, as quais foram correlacionadas com os trabalhos de Mitra (1986), Oliveira (1989), Uhlein (1991), Rolim (1992), Hippertt (1999) e Husson

& Mugnier (2003). As descrições das estruturas tectônicas seguiram os elementos e conceitos apresentados no livro-texto de Pluijm & Marshak (1997).

I.6.1.2 - Prospecção aluvionar

As campanhas de prospecção aluvionar foram realizadas nos principais afluentes do rio Macaúbas e nele próprio. A metodologia usada consistiu na amostragem de pelo menos três pontos na região de confluência entre o curso principal (não necessariamente sendo o rio Macaúbas) e um afluente. Desta forma, foi coletado material aluvionar a montante e a jusante do ponto de confluência, bem como na drenagem que converge para o curso principal.

O procedimento básico durante esta etapa baseou-se na experiência de garimpeiros da região na procura por cascalhos aluvionares associados a níveis ricos em silte/argila, aos quais recebem diferentes designações no vocabulário popular (cascalho de “goma”, “de leite” ou “lama-de-porco”). A eficiência deste método para aquisição de minerais pesados representativos de cada região amostrada foi confirmada durante os trabalhos exploratórios, inclusive com a extração de diamantes pelo autor nos rios Congonhas e Macaúbas e no córrego dos Barcos. A experiência garimpeira evidencia o fato de que os níveis silto/argilosos são ricos em argilo-minerais, cujo desequilíbrio na distribuição de cargas elétricas na superfície, cria uma tensão superficial suficiente para aglutinar outros minerais, constituindo um verdadeiro nível-guia para a prospecção aluvionar.

Para cada ponto de amostragem tentou-se coletar no mínimo 40 litros de sedimento. Em vários pontos, porém, isto não foi possível, principalmente pela heterogeneidade na espessura de tais níveis silto/argilosos associados aos cascalhos. O volume de material amostrado por ponto foi controlado através de um balde de 8 litros.

O material aluvionar foi separado em frações granulométricas através de três peneiras utilizadas pelos garimpeiros, denominadas de “grossa” (0.8x0.8cm de abertura da malha), “média” (0.5x0.5cm) e “fina” (0.2x0.2cm), acrescida da fração “bateia”. Depois de concentrados manualmente, todos os minerais pesados presentes nas diferentes frações foram separados e analisados. As frações “grossa” e “média” possuem granulometria propícia para separação visual a olho nu dos minerais pesados *in situ*, descartando-se o rejeito no próprio local de coleta. Os concentrados das frações “fina” e “bateia” constituíram-se basicamente de minerais opacos e escuros (em geral, óxidos) e foram separados e armazenados para observação detalhada com lupa binocular (20 a 60 vezes de aumento). O uso da lupa binocular portátil nos sítios de amostragem proporcionou a otimização das campanhas de prospecção aluvionar, apontando simultaneamente aos trabalhos de exploração, as características dos minerais pesados de cada ponto amostrado e na pré-seleção destes para análises de laboratório.

Um fator que contribuiu decisivamente para a obtenção representativa de minerais pesados em vários pontos de amostragem (incluindo diamantes e carbonados), relaciona-se a presença de garimpos manuais e semi-mecanizados nos aluviões e paleoaluviões da bacia do rio Macaúbas. Durante as saídas de campo, priorizaram-se as áreas onde ocorriam tais atividades e onde puderam ser adquiridos e caracterizados minerais pesados, diamantes e carbonados, possibilitando também a caracterização da morfologia e

composição dos cascalhos diamantíferos aluvionares e paleoaluvionares. Os garimpos manuais distribuem-se amplamente ao longo desta bacia ao passo que os garimpos semi-mecanizados restringem-se ao leito do rio Macaúbas e aos depósitos paleoaluvionares do mesmo e dos ribeirões do Onça e da Ilha. O volume diário de material extraído por garimpagem semi-mecanizada supera em centenas de vezes o obtido pelo método manual.

I.6.1.3 - Coleta de material para análises geoquímicas e geocronológicas

Adicionalmente aos trabalhos de mapeamento geológico e de prospecção aluvionar na bacia do rio Macaúbas, efetuou-se a amostragem de rochas sedimentares e ígneas para estudos geoquímicos e geocronológicos relacionadas à evolução das unidades proterozóicas na região abrangida pelo Anticlinal de Itacambira.

A unidade de metadiamicititos do Grupo Macaúbas possui, dentre outros, clastos de rocha carbonática na matriz. Através da abundância isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$), é possível inferir, com certa precisão, possíveis paleoambientes de deposição para estas rochas sedimentares (*e.g.* Hoffman *et al.* 1998). Rochas carbonáticas do Mesoproterozóico apresentam, em geral, valores de isótopos de carbono pouco variáveis e próximos a 0‰ (Santos *et al.* 2000). Por outro lado, rochas carbonáticas do Neoproterozóico apresentam ampla variação de isótopos de carbono, que têm sido atribuídas tanto a processos glaciais, quanto a flutuações na dimensão dos reservatórios de carbono orgânico e inorgânico (Jacobsen & Kaufman 1999).

A estratigrafia isotópica, realizada através dos isótopos de carbono e oxigênio em clastos de carbonatos, tem sido alvo de recentes pesquisas para a evolução paleogeográfica e ambiental do Grupo Macaúbas (*e.g.* Cukrov 1999, Queiroz 2002).

As áreas propícias para a coleta dos clastos de rocha carbonática situam-se na porção oeste da bacia do rio Macaúbas, onde a unidade de metadiamicititos é mais espessa e apresenta uma quantidade maior de clastos. Foram coletadas amostras de carbonato ao longo do ribeirão do Onça e do rio Macaúbas, em sua porção setentrional. Os clastos invariavelmente apresentam-se estirados segundo a foliação principal e foram retirados com o auxílio de um cinzel. O número de clastos e o volume de material extraído de cada um foi limitado pelo grau de alteração intempérica, pelo grau de estiramento e pelos intercrescimentos metamórficos com a matriz.

Amostras de rochas ígneas e metassedimentares foram coletadas para extração de zircões em laboratório, para posterior datação pelo método U-Pb SHRIMP II.

Os zircões detríticos foram extraídos de *i*) metarenitos da formação de topo do Supergrupo Espinhaço (correlacionáveis neste trabalho aos da Formação Matão de Karfunkel & Karfunkel (1975)), próximo à nascente do rio Macaúbas e *ii*) de metarenitos da base do Grupo Macaúbas, ao longo do rio Jequitinhonha, a aproximadamente 8 km à SW da localidade de Caçaratiba, onde foi definido por Karfunkel & Karfunkel (1975) como o local-tipo da Formação Califorme, correlacionável à Formação Duas Barras de Noce *et al.* (1993).

Corpos metaígneos máficos ocorrem como diques associados aos metassedimentos do Grupo Macaúbas. Quando possuem distribuição areal expressiva, mostram-se pouco deformados, com textura ígnea

bem preservada, principalmente no centro do corpo. Foram amostrados dois destes litotipos para fins de correlação petrográfica, geoquímica e geocronológica:

- ao longo do rio Jequitinhonha, no mesmo ponto onde foram coletadas amostras da Formação Duas Barras, aflora um dique de metagabro intrudindo metarenitos micáceos e metaconglomerados do Grupo Macaúbas (Karfunkel & Karfunkel 1975 - BOQ-30).

- um corpo de metagabro de direção E-W aflora ao longo do córrego Taquari, afluente do rio Macaúbas (TAQ).

Os resultados obtidos através da estratigrafia isotópica dos clastos de carbonato, bem como das idades dos zircões detríticos e dos zircões ígneos das rochas metabásicas, foram usados como ferramentas *complementares* para interpretações da evolução paleogeográfica e temporal do Supergrupo Espinhaço e do Grupo Macaúbas nesta região.

I.6.1.4 - Descrição de diamantes e carbonados *in situ*

A cristalização do diamante produz diferentes formas primárias, podendo ser, às vezes, modificada por processos epigenéticos de dissolução, corrosão, pigmentação de superfície, deformação plástica e transporte mecânico. Tais processos são visualizados na forma de elementos de superfície e registram parte de sua história evolutiva, desde a formação no manto superior até sua redistribuição em superfície (Orlov 1977).

Foram analisadas as características superficiais de 496 diamantes *in situ* provenientes de garimpos da bacia do rio Macaúbas, os quais representam a continuidade dos levantamentos estatísticos iniciados na dissertação de mestrado. Justifica-se o estudo dos diamantes nos próprios locais de extração por dois motivos: *i*) da garantia de procedência; *ii*) da aquisição de todos os diamantes para análise em laboratório é impossibilitada pelo alto custo.

Foi desenvolvido um pequeno laboratório portátil que pudesse atender às condições de campo, limitadas pela falta de infra-estrutura nas áreas de extração (principalmente estradas e energia elétrica). As descrições dos diamantes foram feitas usando-se lupa triplet de 10 X de aumento (graduação gemológica), lupa binocular Carl Zeiss (10 a 60 X de aumento) e microscópio petrográfico Leitz (5, 10, 20, 40 X de aumento). O esquema de descrição proposto segue em parte os mesmos elementos adotados na dissertação de mestrado (Martins 2002). A Tabela 1 exemplifica este esquema, a qual foi baseada nos trabalhos de Orlov (1977), McCallum *et al.* (1994), McCandless *et al.* (1994), Otter *et al.* (1994) e Karfunkel *et al.* (2001).

Com relação ao tamanho, os diamantes não foram agrupados de acordo com *sieve classes* (e.g. Robinson *et al.* 1989), mas adaptados para os parâmetros comerciais de compradores da região. Desta forma, o peso foi dividido em seis grupos: 1= 0.01 a 0.20 ct; 2= 0.21-0.40 ct; 3= 0.41-0.60 ct; 4= 0.61-0.80 ct; 5= 0.81-1.00 ct; 6= >1.01 ct.

Foi introduzida uma simplificação na graduação gemológica, devido à importância em obter uma idéia a cerca do valor dos diamantes (estimado em US\$/ct). A determinação da cor foi feita de acordo com os critérios do GIA (Gemological Institute of America), para pedras lapidadas. Para efeito de praticidade nas

descrições, os parâmetros foram agrupados em cinco categorias (1= D-H; 2= I-L; 3= M-P; 4=Q ou menor; 5= fancies), acrescido da tonalidade e intensidade.

A classificação da pureza foi baseada nos parâmetros da CIBJO (Confédération Internationale de la Bijouterie, Joaillerie, Orfèvrerie, des diamants, Perles et Pierres), pelo fato de que uma certa confusão é feita na interpretação de pedras do tipo P1, se escrito I1 ou II (de acordo com o GIA). A determinação foi feita com lupa de mão (lupa binocular foi utilizada para pedras muito pequenas), e a classificação foi adaptada para simplificar e atender aos aspectos comerciais da região (seguindo os parâmetros descritos em Karfunkel *et al.* 2001), em quatro grupos (1=IF-VVS; 2=VS-SI; 3=P1-P3; 4=indústria).

Tabela 1: Esquema de classificação adotado para os diamantes da bacia do rio Macaúbas.

1. Identificação + peso (ct)	5. Capa
2. Qualidade gemológica	6. Jaças
3. Aparência	7. Morfologia externa, dissolução, figuras de superfície (*)
4. Radiation spots	8. Estado do cristal

(*) – Dados obtidos parcialmente em laboratório.

Ex.:

1. [JMP-011 0.21ct];

2. a. Cor + tonalidade + intensidade b. Pureza [2];

3. Brilhante ou fosco;

4. Cor da capa + intensidade;

5. Cor dos *Radiation Spots*, forma (arredondada, retangular, irregular, outras), tamanho (examinado com lupa binocular de 30 X de aumento, relativo ao próprio cristal, similar a graduação gemológica de pureza e densidade (um termo relativo que descreve a distribuição espacial de alguns ou muitos *Radiation spots* no cristal));

6. Descrição das jaças;

7. - Comentários gerais (se necessário)

- Formas cristalográficas (octaedro, cubo, transicional)

- Geminações (maclas)

- Outras

- Fotogoniometria

8. Inteiro, quebrado (inclusive arestas), não identificado.

a. magmático (e.g. figuras de dissolução, *Hillocks*, clivagem primária, *inclusion pits*, *lamination lines*);

b. sedimentar (e.g. desgaste nas arestas, *percussion marks*, clivagem secundária).

I.6.2 - Trabalhos de laboratório

I.6.2.1 - Determinação dos minerais pesados através do método óptico e por espectroscopia

Raman

Os minerais pesados de todas as frações granulométricas pré-selecionadas nas campanhas de prospecção aluvionar foram analisados por dois métodos:

- método óptico, que consiste na separação dos minerais pesados segundo a forma, cor e textura de superfície através de lupa binocular Carl Zeiss (10 a 60 X de aumento) e microscópio petrográfico Leitz (5, 10, 20, 40 X de aumento). Utilizou-se o trabalho de Addad (2001) como referência para descrição dos elementos acima referidos, facilitado por comparação visual com imagens digitais de populações de grãos pesados;
- espectroscopia Raman para determinação da(s) fase(s) química(s) principal(is) presente(s) em cada mineral analisado. Esta técnica analítica tem sido muito utilizada pela rapidez e confiabilidade dos resultados e por ser não-destrutiva (Karfunkel *et al.* 2000). Como guias metodológicos, foram utilizados o trabalho de Hope (2001) e o livro-texto de Hollas (2002). Os espectros Raman dos minerais pesados foram obtidos num aparelho policromático, equipado com microscópio óptico Olympus e fonte de laser de Ar⁺ ($\lambda=514.5\text{nm}$), no Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas (Icex/UFMG). Os espectros obtidos neste estudo foram comparados com o catálogo do Instituto de Gemologia de Basel (Suíça).

I.6.2.2 - Espectrometria de massa para obtenção do fracionamento isotópico de C e O em clastos de carbonato extraídos do pacote de metadiamicrito do Grupo Macaúbas

As análises para obtenção dos isótopos de C e O dos clastos de carbonato do metadiamicrito do Grupo Macaúbas, foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis da Universidade Federal de Pernambuco (LABISE/UFPE), sob a coordenação do Prof. Alcides Nóbrega Sial.

Os clastos foram pulverizados em moinho de tungstênio até que atingissem a fração granulométrica menor que $\phi=0.062\text{mm}$ (Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa, Universidade Federal de Minas Gerais – CPMTc/UFMG). Para cada clasto foi enviada uma quantidade mínima de 50 mg de carbonato moído para análises de fracionamento isotópico de C e O.

O processo de abertura da amostra consistiu na extração de CO₂ dos carbonatos por ataque químico, utilizando-se via úmida (H₃PO₄, concentrado a 100%). A partir deste, obteve-se o fracionamento isotópico dos elementos acima referidos através de um Espectrômetro de Massa VG Isotech, com coletor triplo SIRA II, cuja composição isotópica relativa (δ) de uma amostra é apresentada pelas seguintes relações:

$$\delta^{13}\text{C}\text{‰} = \left[\left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{amostra}}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{padrão}}} - 1 \right) \times 10^3 \right];$$

$$\delta^{18}\text{O}\text{‰} = \left[\left(\frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{amostra}}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{padrão}}} - 1 \right) \times 10^3 \right].$$

O padrão usado relativo ao carbono é o PDB (*Pee Dee Belemnite*, suprimento original exaurido). $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 2067.2 \times 10^{-5}$.

Comumente são usados dois padrões relativos ao oxigênio: V-SMOW (*Viena Standard Mean Ocean Water*) ou PDB ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 1123.75 \times 10^{-6}$). A conversão entre as duas unidades pode ser feita pela relação $\delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})} = 0.97006 \delta_{(\text{SMOW})} - 29.94$.

A descrição dos procedimentos analíticos baseou-se nas notas de aula (Sial 2004) e no curso de “Isótopos Estáveis aplicados à Geologia”, ministrado pelo Prof. A.N. Sial durante o 2º semestre de 2004 na UFMG.

I.6.2.3 - Geoquímica das rochas metabásicas

Os diagramas de discriminação geotectônica comumente utilizados para rochas ígneas (*e.g.* Irvine & Baragar 1979, Cox *et al.* 1979), baseiam-se na distribuição dos elementos químicos da rocha, na forma de Elementos Maiores e Menores.

Com este intuito, os corpos de rochas metabásicas amostrados foram cominuídos num moinho de bolas de tungstênio até que atingissem uma fração granulométrica menor que $\phi = 0.062\text{mm}$ (CPMTC-UFMG). Algumas destas frações foram encaminhadas para análises geoquímicas, caracterizando-se os Elementos Maiores e os Elementos Traços (CPMTC-UFMG, analista Kácia Monteiro). Os métodos analíticos utilizados foram:

- Fluorescência de Raios-X (% ponderal) para Elementos Maiores: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 ;
- Fluorescência de Raios-X (ppm) para Elementos Menores: Ba, Rb, Sr, Zr, Nb, Y, Co, Cr, Cs, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn;
- Volumetria de Oxi-redução (% ponderal): FeO ;
- Método Gravimétrico (%ponderal): Perda ao Fogo (PF).

I.6.2.4 - Espectrometria de massa para datação dos zircões através do método U-Pb SHRIMP

Sensitive High Resolution Ion MicroProbe (SHRIMP) é uma técnica analítica usada para medidas *in situ* da composição isotópica de elementos na superfície de amostras sólidas. O método SHRIMP permite medir composições isotópicas de elementos traços a concentrações de algumas partes por milhão e, para grande maioria dos elementos químicos, o limite de detecção atinge algumas partes por bilhão (Matsuda 1974).

O princípio baseia-se na retirada de íons secundários (ionizados) da amostra a ser analisada através do bombardeamento de uma micro-superfície ($<10\mu\text{m}$) por um feixe iônico de alta energia (usualmente O_2). Posteriormente, estes íons serão capturados por lentes eletrostáticas e transferidos para um espectrômetro de massa, onde serão separados de acordo com suas abundâncias isotópicas relativas (Xu *et al.* 2005).

As datações U-Pb dos zircões foram realizadas num aparelho SHRIMP II da Academia Chinesa de Ciências Geológicas (Beijing), sob a supervisão da Profª. Marly Babinsky (USP). Os procedimentos analíticos seguiram o esquema proposto por Williams & Claesson (1987), Compston *et al.* (1992) e Xu *et al.* (2005).

Nove espécies de íons (Zr_2O^+ , $^{204}Pb^+$, $^{206}Pb^+$, $^{207}Pb^+$, $^{208}Pb^+$, U^+ , Th^+ , ThO^+ , UO^+) foram medidos num multiplicador de elétrons por alternância do campo magnético, registrando-se a contagem média dos íons através de sete dispositivos de varredura. Foi usado um feixe iônico primário de cerca de 4.5 nA, 10 kV de O_2 , com resolução de massa de 5000 (ao redor de 1% da altura de pico). O fracionamento dos elementos químicos emitidos pelos zircões foi corrigido pelo padrão de referência ANU RSES, usando TEMPORA (417 Ma, $^{206}Pb/^{238}U = 0.06683$), com repetição dos resultados (desvio máximos permitidos de 3%). Foram usados *softwares* Ludwig SQUID 1.0 e ISOPLOT para processamento dos dados (Ludwig 1999, 2001). As idades foram calculadas usando as constantes recomendadas pelo IUGS (1977).

I.6.2.5 - Métodos analíticos empregados no estudo dos diamantes e carbonados

Após a caracterização preliminar dos carbonados e principalmente dos diamantes da bacia do rio Macaúbas nos locais de extração através dos parâmetros contidos na Tabela 1, procedeu-se à aquisição destes minerais para análises em laboratório. Todos os diamantes e carbonados foram adquiridos nos serviços de garimpagem, numa forma de garantir a procedência das amostras a serem estudadas.

Como fator relevante e fundamental para o desenvolvimento do projeto de doutoramento, grande parte dos diamantes e carbonados foram estudados em parceria com duas instituições internacionais, que deram suporte analítico e metodológico através de acordos interinstitucionais e que culminaram com a co-orientação dos pesquisadores Prof. Vitaly A. Petrovsky (Instituto de Geologia da República de Komi, Filial Uraliana da Academia de Ciências da Rússia) e Dr. Richard Wirth (GeoForschungsZentrum – GFZ Potsdam, Alemanha).

I.6.2.5.1 - Fotogoniometria

Um dos principais problemas para o estudo do diamante relaciona-se à correta determinação das formas cristalográficas de crescimento e de dissolução. Shafranovskii (1948, *In* Orlov 1977) explicou a origem dos diamantes abaulados da região dos Montes Urais através da relação entre a configuração externa e a estrutura dos diamantes. Para este fim, o referido autor aperfeiçoou o método de medidas goniométricas de superfícies não-planas, aos quais foi capaz de caracterizar corretamente a curvatura destas superfícies em termos dos índices de Miller da face (qualitativo), a frequência em que ocorriam (quantitativo) e as distâncias interplanares. Estudos posteriores corroboraram os resultados de Shafranovskii (1948), Kukhareenko (1954) e Orlov (1977), segundo o qual a forma estável de dissolução do diamante é o rombododecaedro de arestas abauladas (ou *dodecahedroid*).

O método da fotogoniometria foi usado no Instituto de Geologia da República de Komi, sob a coordenação do físico-cristalógrafo Dr. Vladimir Rakin.

A metodologia consistiu na aplicação direta da Lei de Bragg para difração de raios laser (fonte monocromática) pela superfície dos diamantes. Foi feita a correção da Lei de Bragg para superfícies curvas a partir das relações trigonométricas entre as superfícies planas e curvas (Figura 6):

Lei de Bragg para superfícies planas: $\beta = \arcsin(\lambda/2n \sigma_1) + \arcsin(\lambda/2n \sigma_2)$

Para superfícies curvas: $2(R-h)/L = \cotg \alpha$

Os padrões de interferência emitidos pela superfície de cada cristal foram “capturados” em um papel fotográfico posicionado à frente do diamante afixado no goniômetro semi-circular, permitindo que o papel fotográfico velado exibisse exatamente os valores angulares de interferência desta superfície. Todos os cristais foram orientados segundo eixo do cubo [100].

Uma vez que a Lei de Hauy estabelece que as relações entre os índices millerianos h , k e l (k/l e k/h) sejam sempre números racionais, decorre-se que os índices de Miller não determinam um plano quanto a sua posição absoluta, mas quanto a sua direção (Assunção 1964). Para se determinar os índices de Miller de cada face e subface, a imagem (papel fotográfico) foi escaneada e colocada no programa “Corel Xara”, onde foi reticulada (escala de referência) e rotacionada, de modo que os eixos de simetria sejam diagonais ao centro de referência de rotação do cristal, tornando possível o cálculo dos índices de Miller de cada face e sub-face oriundas dos processos de crescimento ou dissolução.

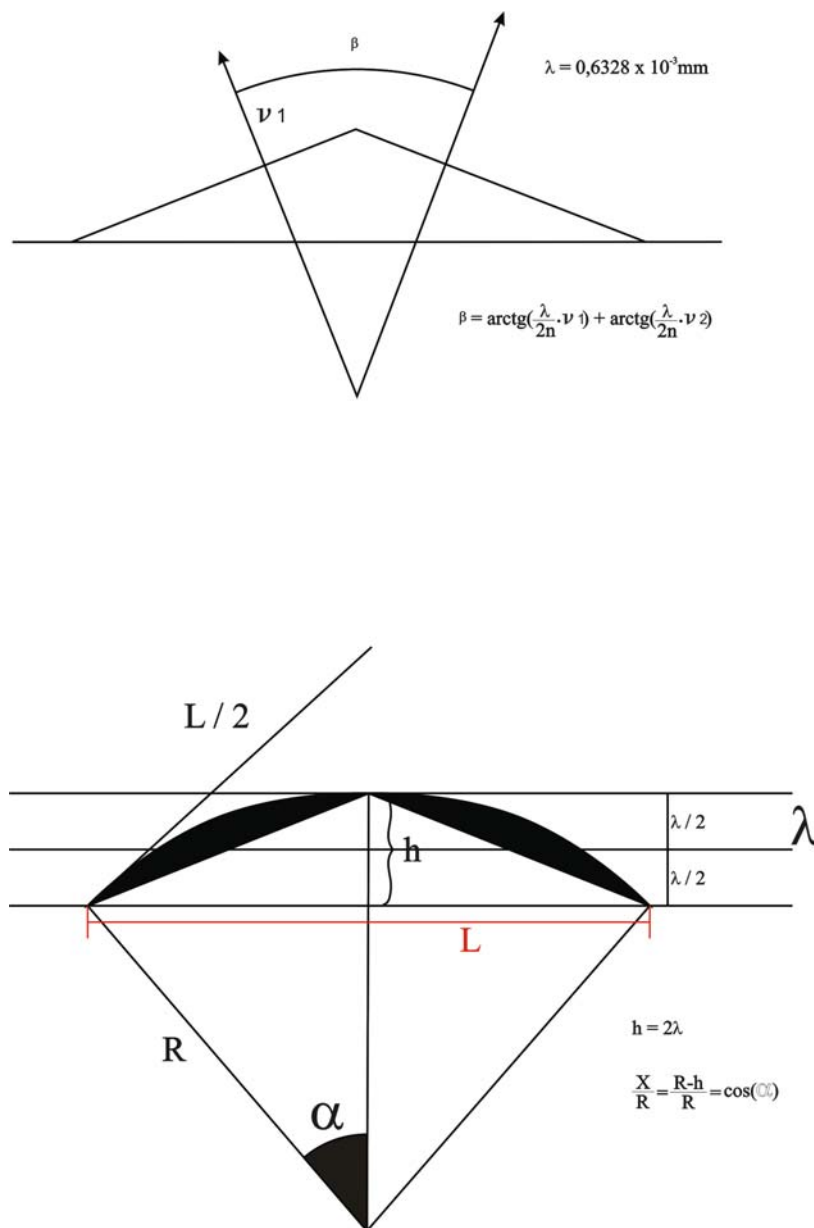


Figura 6 – Padrões de interferência de superfícies planas e curvas segundo a Lei de Bragg.

I.6.2.5.2 - Difractometria de raios X

A difratometria de raios-X foi empregada nos carbonados para a caracterização dos parâmetros das células unitárias contidas pelas diferentes fases minerais presentes nos poros do carbonado. O método usado foi o de Debye, obtido através de um tubo BSV-22, com anodo de cobre ou ouro (Instituto de Geologia da República de Komi). Foram analisadas os padrões de reflexão da radiação-X nas linhas $K\alpha$ e $K\beta$, na região de reflexão angular dada pelo ângulo $2\theta = 10^\circ - 150^\circ$, supervisionado pelo físico Dr. G.N. Kablis

I.6.2.5.3 - Espectroscopia e espectrometria

A presença de impurezas na estrutura do diamante é refletida, em muitos casos, na suas propriedades físicas e químicas (Davies 1984, Trautman et al. 1998), e podem ser divididas em dois grupos (Taylor & Anand 2004): *i*) como elementos traços que ocupam sítios intersticiais ou de substituição de carbono, ou ainda como “vazios” estruturais; *ii*) impurezas que ocorrem na forma de fluidos, *melts*, gases ou inclusões minerais trapeadas no corpo do diamante (Meyer 1985).

A caracterização dos tipos de impurezas denotam informações importantes com relação aos processos de crescimento e variações composicionais do meio em que o mineral se desenvolve.

Os métodos de espectroscopia e espectrometria baseiam-se na quantificação das impurezas através de suas propriedades físicas e químicas e são largamente usados no estudo dos diamantes (Field 1997).

A - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplado a um dispersor de energia (EDS)

Análises detalhadas dos elementos de superfície de parte dos diamantes e carbonados foram realizados através do microscópio eletrônico de varredura (MEV), no Instituto de Geologia da República de Komi, sob a coordenação do físico Dr. Vassily Filippov.

O equipamento usado é do tipo Jsm-6400, dotado de sistema de dispersão de energia (EDS), prefixo Link Isis-300 ($U=20\text{kV}$, $I=1\text{nA}$, $t= 50\text{s}$), calibrados através de metais puros ou óxidos. As superfícies das amostras foram limpas com acetona, usando-se um dispersor ultra-sônico, sendo posteriormente metalizadas com grafite. Áreas planas foram selecionadas para análises químicas de inclusões nos carbonados, cuja acuracidade foi checada pela soma dos componentes e pela repetição das análises em diferentes pontos da amostra (TEM, modelo Tesla Bs-500).

B - Espectroscopia por luminescência, fotoluminescência e ressonância eletrônica de spin

A luminescência nos diamantes é causada por vários tipos de centros óticos, cujos elétrons emitem radiação característica (cor da luminescência) ao serem excitados. É referida como fotoluminescência se gerada por incidência de luz visível, ultravioleta e raios X (Wilks & Wilks 1995).

A ressonância eletrônica de spin consiste na determinação do campo eletromagnético dos níveis energéticos quantizados da última camada eletrônica, na zona dos spins de ressonância (Hollas 2002). Esta técnica permite a distinção espectral de níveis energéticos não-diferenciados pela fotoluminescência e foi usada somente para análise dos carbonados.

Os espectros de luminescência e fotoluminescência dos diamantes e carbonados (e para este último, acrescido dos espectros de ressonância eletrônica de spin) foram obtidos no Instituto de Geologia da República de Komi sob a coordenação dos pesquisadores geólogo Dr. Yuri Glukhov, físico Dr. Vladimir Lyutoev e físico Dr. Sergey Isaenko.

A luminescência foi obtida através da emissão de raios X por um equipamento modelo YPC-1.0, consistindo num dispositivo monocromático AAS-1 (Carl Zeiss Jena), voltagem catódica de 50kV, 14mA, com fotomultiplicador 106. Os espectros foram escaneados na região entre 230-800nm e corrigidos por técnicas espectrais sensíveis. A temperatura da sala foi controlada em 25°C.

Os espectros de fotoluminescência foram registrados pelo mesmo equipamento, com diapasão de 396-700nm. A emissão de raios ultravioleta se deu através de uma lâmpada de mercúrio DPK-120.

A espectroscopia de ressonância eletrônica de spin foi obtida através de espectrômetro SE/X-2547 (RadioPAN), operando na frequência da banda de raios X (9.4GHz), modulado a 100 KHz. Um ressonador RX102 com módulo TE102 foi usado para medir os espectros dos carbonados. A calibração do campo magnético polarizado se deu no intervalo de 0.05 a 1.00mT, obtido por um equipamento de ressonância magnética nuclear. A alta frequência foi medida por um freqüencímetro especial, cujos espectros foram armazenados em um computador IBM. Os espectros de todas as amostras foram recalculados para o peso de 50mg, usando-se o algoritmo de Nettar.

C - Espectroscopia Infravermelho pela transformada de Fourier (FTIR)

O nitrogênio é a principal impureza química nos diamantes, cuja concentração registrada varia de 0 a 3000 ppm (Harris 1992), sendo que cerca de 98% dos diamantes contém nitrogênio (Evans 1992, Kaminsky *et al.* 2001). O nitrogênio substitui o carbono no diamante e pode ser detectado por meio de absorções características no infravermelho, o que deu origem à classificação espectral dos diamantes (Robertson *et al.* 1934, Mendelsohn & Milledge 1995). A forma como o nitrogênio ocorre na estrutura cristalina do diamante evidencia o estado de agregação, cujos mecanismos de cinética e difusão têm sido investigados (Bursill & Glaisher 1985, Evans 1992).

Os espectros de infravermelho foram registrados num espectrômetro FTIR, equipado com um microscópio de infravermelho, detector MCT e um separador de feixes de KBr. Os espectros foram normalizados a 1992 cm^{-1} e, numa forma de padronizar os resultados com relação ao conteúdo de nitrogênio e os estados de agregação, foi usada a metodologia proposta por Mendelsohn & Milledge (1995). O equipamento opera no Departamento de Física-Icex-UFMG, sendo que a obtenção dos espectros de infravermelho dos diamantes do rio Macaúbas foram supervisionados pelo geólogo Dr. Alexandre O. Chaves (CNEN/CDTN).

D - Espectroscopia Raman (RS)

A espectroscopia Raman foi utilizada como ferramenta complementar para determinação da(s) fase(s) química(s) principal(s) presente(s) como inclusões nos diamantes e carbonados. Os espectros Raman de minerais inclusos no diamante foram obtidos num aparelho policromático, equipado com microscópio

óptico Olympus e fonte de laser de Ar⁺ (514.5nm), no Departamento de Física (Icex/UFMG, sob a coordenação do geólogo Dr. Alexandre O. Chaves), ao passo que os espectros Raman nos carbonados foram obtidos em aparelho semelhante, na Universidade Estatal de Geologia de Moscow, supervisionado pelo físico doutorando Alexander Ye. Sukharev.

E - Feixe iônico focado associado ao microscópio de transmissão eletrônica (FIB-TEM)

Nos últimos 20 anos, vários incrementos em microscopia eletrônica de transmissão e microscopia eletrônica analítica têm sido usados para se estudar materiais sólidos em escala atômica. O feixe iônico focado (*focus ion beam - FIB*) foi criado na Universidade de Chicago no final da década de 1970, e utilizado quase que exclusivamente pela indústria de semicondutores (Kirk *et al.* 1989).

O GeoForschungsZentrum Potsdam (Alemanha), possui um laboratório equipado com aparelhos conjugados para a realização de análises de alta resolução analítica desde 2002, coordenado pelo Dr. Richard Wirth.

O método consiste na retirada de uma fatia muito fina (*foil*) do material a ser analisado (da ordem de 50nm de espessura), através da “metalização” de uma superfície plana por platina e Gálio gasoso, que será posteriormente cortado, em profundidade, através de raio laser. Pode-se controlar exatamente local de extração do *foil* através do feixe iônico focado (*FIB*). O *foil* será então levado para um microscópio eletrônico de transmissão (*TEM*) acoplado a multi-sensores conjugados, que permitem a análise por difração eletrônica de raios X, espectroscopia por perda de energia, microscopia eletrônica de alta resolução e microscopia eletrônica analítica, todos com a possibilidade de obtenção dos gráficos característicos das análises e imagens por elétrons secundários (inclusive por varredura seletiva de espectros de elementos individuais).

Utilizou-se o trabalho de Wirth (2004) como guia metodológico.

F - Espectrometria de massa para obtenção do fracionamento isotópico de C nos diamantes e carbonados

As relações isotópicas entre carbono ¹³C/¹²C nos diamantes refletem a fonte de carbono a partir da qual os diamantes foram derivados e das condições de temperatura, pressão e do tempo de residência mantélica que prevaleceram durante a formação destes minerais (Javoy *et al.* 1986, Deines 1992, Cartigny *et al.* 1999, Deines 2002).

A composição isotópica dos diamantes monocristalinos e carbonados da bacia do rio Macaúbas foram determinadas através de um espectrômetro de massa MI-1305 na Universidade Estatal de Geologia de Moscow, sob a coordenação do físico Dr. Mikhail Kucher. As amostras individuais foram moídas até a obtenção de uma fração granulométrica inferior a $\phi=0.062\text{mm}$ (“*standard sampling*”), a partir da qual foi retirado o conteúdo de CO₂ pela combustão de oxigênio a temperatura de 1100°C. Posteriormente, o produto foi purificado com nitrogênio líquido e misturado com gelo e acetona num ambiente a vácuo. Os resultados das análises isotópicas foram indicados através do coeficiente $\delta^{13}\text{C}_{\text{‰}} = [(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{amostra}}) / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{padrão}}) - 1] \times 10^3$, cujo parâmetro ¹³C/¹²C_{padrão} é equivalente a 0.0112372. O erro da análise não excedeu a $\pm 0.1\%$.

G - Espectrometria de massa para obtenção do fracionamento isotópico de C nos carbonados a partir de ensaios de variação de temperatura x tempo

Para se determinar uma possível heterogeneidade na distribuição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) dos carbonados, algumas das amostras foram quebradas em fragmentos menores para análises pontuais de partes do centro e da periferia do mineral. O equipamento e parte dos procedimentos analíticos foram os mesmos descritos no item anterior.

A decomposição isotópica pirolítica baseia-se no fato de que durante a gênese dos diamantes (mono ou policristalinos) a temperatura de formação dos cristais (independente da escala de grandeza) é um dos principais fatores responsáveis pelo fracionamento isotópico de carbono (Deines 2002).

O carbonado designado como MGCO foi quebrado em oito pequenas partes, sendo selecionado um grupo de seis destes fragmentos para análises isotópicas. O método consistiu na determinação das análises isotópicas dos fragmentos aquecidos ao redor de 600°C e submetidos a intervalos de tempo variáveis.

O mesmo procedimento foi aplicado para os outros fragmentos do carbonado MGCO, que foram atacados por KOH (solução normal a 4 moles).

A amostra MGCO-6 foi submetida a graus variáveis de aquecimento (700, 800, 900 e 1000°C) no vácuo e com solução oxidante de CuO, a qual se decompõe quando a temperatura excede a 700°C.

H - Espectrometria de massa para obtenção do fracionamento isotópico de C em inclusões fluidas nos carbonados

Para a determinação do fracionamento isotópico de inclusões fluidas nos carbonados, algumas amostras foram aquecidas a 350-400°C, no vácuo. No instante em que houve o aumento da pressão na câmara de aquecimento (início da liberação de gases provenientes das inclusões fluidas), o dispositivo de exaustão de ar foi desligado. A amostra passou a ser aquecida no intervalo de 600-900°C, durante 40-50 minutos. O CO₂ liberado foi separado, fracionado isotopicamente e medido nas mesmas condições descritas anteriormente.

Uma vez que o CO₂ gerado durante o intervalo de 600-900°C relaciona-se à liberação de inclusões fluidas trapeadas durante a cristalização do carbonado, é possível de se determinar às temperaturas de cristalização deste mineral. De posse dos dados isotópicos dos carbonados e das inclusões fluidas, a razão de fracionamento (α) foi estimada pela equação: $1000 \ln \alpha = \delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2) - \delta^{13}\text{C}(\text{C}_{\text{diamante}})$.

Baseando-se nos dados da constante de equilíbrio da reação CO₂→C₂ calculada por L.P. Nosik usando as fórmulas de M. Mayer, estimou-se as temperaturas de cristalização dos carbonados.

I - Espectrometria de chama para obtenção da composição química de inclusões fluido-gasosas nos carbonados

A composição química de inclusões fluidas e gasosas constituem uma das informações mais importantes para a determinação dos componentes voláteis envolvidos nos processos de formação do diamante (Navon *et al.* 1998). Inúmeros estudos desta natureza vêm sendo realizados em diamantes de

diferentes partes do mundo (e.g. Melton & Giardini 1974, Takaoka & Ozima, 1978, Bartoshinsky *et al.* 1987, Tomilenko *et al.* 1997).

Os dados disponíveis indicam que parte dos componentes gasosos dos diamantes constituem fases instáveis e foram divididos em três grupos: *i*) gases simples (N₂, H₂, ...), *ii*) H₂O+CO₂+CO, *iii*) hidrocarbonetos.

Estes grupos distribuem-se em proporções variáveis, apresentando grande heterogeneidade. Um dos mais importantes indicadores do ambiente de formação dos diamantes é dada pela relação entre CO / CO₂ (Melton & Giardini 1981).

Os estudos de composição química de inclusões fluido-gasosas foram realizadas na Universidade Estatal de Geologia de Moscow, sob a coordenação do físico Dr. Sergey Shanina. O método de pirocromatografia foi feito em um cromatógrafo de gás “Tsvet-800”, equipado com dispositivo pirolítico.

As amostras foram aquecidas em um reator durante 3 minutos. Gás hélio foi aplicado ao sistema por um carreador de gás. Antes de colocadas no forno para aquecimento, as amostras foram envolvidas por uma corrente de hélio (1 hora) para retirada de ar e água adsorvida na superfície e nos espaços interporos. A separação cromatográfica dos gases foi feita numa pré-coluna preenchida com agente de adsorção “polysorb-1”, conectada a uma coluna do tipo HP-PLOT Q. A determinação da composição dos gases foi obtida através de dois detectores de chama (catarômetro e de ionização), sendo possível registrar simultaneamente a presença de H₂, N₂, CO, CO₂, H₂O, H₂S, SO₂, CH₄, ...C₄H₁₀. A composição dos gases foi determinada em dois estágios de aquecimento: *i*) a 20-500°C e 500-1000°C, e *ii*) 20-300°C.

1.6.2.5.4 - Análise por ativação neutrônica (AAN) para determinação de Elementos Terras Raras (ETR) nos carbonados

A análise por ativação neutrônica (AAN) é uma técnica de análise elementar (ou seja, em teores de traços), não-destrutiva e requerida para análises com alta sensibilidade, precisão e seletividade. Consiste na indução de radioatividade em uma amostra, mediante a irradiação com nêutrons (relativo às propriedades do núcleo) e posterior medição da atividade induzida. A equação fundamental da AAN é dada por:

$$A_0 = 0.6023 \theta w / M \left[\int_0^{\infty} \sigma_{(v)} \vartheta_{(v)} dv \right] S, \text{ onde;}$$

A₀= atividade obtida no final da irradiação;

M= peso atômico;

θ= abundância isotópica;

w= massa do elemento presente na amostra;

v= velocidade do nêutron incidente;

σ= seção de choque do isótopo de interesse;

ϑ= fluxo de nêutrons;

S= fator de saturação; [S= 1-e^{-λt_i}], onde t_i é o tempo inicial e λ o comprimento de onda característico.

Os elementos terras raras de alguns carbonados foram determinados por AAN num reator nuclear TRIGA IPR-R1 (ϑ_n= 6.6 x 10¹¹n / cm²s, P=100kW), com mesa giratória de 40 posições na Universidade Estatal de Geologia de Moscow.

O princípio da técnica e as aplicações da AAN foram baseadas nas notas de aula e no curso de “Técnicas analíticas aplicadas a geociências”, ministrado pela Dra. Cristiane Castañeda, com colaboração da pesquisadora Ester Figueiredo de Oliveira (CNEN/CDTN), durante o 2º semestre de 2003 na UFMG.

I.7 – Idealização, estruturação e redação da Tese

A presente tese de doutoramento contém oito capítulos e quatro anexos, organizados e dispostos de forma a permitir ao leitor o completo entendimento deste trabalho. Apesar das críticas e sugestões feitas pelos diversos revisores que colaboraram significativamente para a melhoria do volume final, gostaria de reafirmar que o autor é o único responsável por quaisquer erros de fato ou de interpretação que possam ser encontrados nesta tese.

As consultas às referências bibliográficas, que versam direta ou indiretamente com os objetivos desta tese, foram realizadas de forma contínua ao longo de todo o período deste projeto. Tentou-se acessar o maior número possível de bibliografias para compor o estado da arte dos diferentes aspectos abordados nesta pesquisa, a fim de possibilitar *i)* uma definição clara acerca da natureza do problema, *ii)* nortear os procedimentos metodológicos utilizados para a obtenção dos dados, *iii)* correlacionar os resultados obtidos com os de outros trabalhos, *iv)* estabelecer uma seqüência lógica de evolução magmática e sedimentar para os diamantes e carbonados da bacia do rio Macaúbas partir da integração de todas as informações levantadas.

A seguir, apresenta-se um breve resumo destes capítulos:

- Capítulo I: ora apresentado, objetivou introduzir o leitor à região onde se realizou a pesquisa, compor o estado da arte dos diferentes segmentos geológicos a qual está inserida, apontar a natureza do problema em foco, definir os objetivos propostos e caracterizar os diferentes métodos empregados nos trabalhos de campo e de laboratório, bem como a disposição do texto;
- Capítulo II: compõe o estado da arte acerca do arcabouço geológico em que está envolvida a região abrangida pelo rio Macaúbas e em torno. Procurou-se destacar os períodos de desenvolvimento de bacias sedimentares cujas unidades (meta) sedimentares pré-cambrianas e fanerozóicas possam estar relacionadas aos ciclos de retrabalhamentos de diamantes;
- Capítulo III: apresenta os dados referentes aos levantamentos sedimentológicos, estratigráficos, estruturais, geoquímicos e geocronológicos realizados na bacia do rio Macaúbas e em torno;
- Capítulo IV: expõe os resultados obtidos durante as campanhas de prospecção aluvionar na bacia do rio Macaúbas, apontando as regiões onde foram recuperados minerais pesados, diamantes e carbonados;
- Capítulo V: apresenta um breve resumo acerca da gênese de diamantes monocristalinos, bem como os resultados obtidos *in situ* de 496 diamantes provenientes da bacia do rio Macaúbas, acrescida de dados analíticos de parte destes diamantes, realizados nos institutos de Geologia de Syktyvkar e Moscow (Academia de Ciências da Rússia), no GeoForschungsZentrum-Potsdam (Alemanha) e no Instituto de Ciências Exatas da UFMG (Icex-UFMG);
- Capítulo VI: apresenta o estado da arte acerca da problemática envolvendo a origem do carbonado, seguido dos dados resultados analíticos obtidos em carbonados do rio Macaúbas nos institutos de Geologia de Syktyvkar e Moscow (Rússia) e no GeoForschungsZentrum-Potsdam (Alemanha).

- Capítulo VII: discute os resultados obtidos nesta tese em termos específicos e gerais, correlacionando-os com os objetivos propostos no Capítulo I;
- Capítulo VIII: conclusão final sobre a origem magmática e os ciclos de retrabalhamentos sedimentares no tempo e no espaço a que foram submetidos os diamantes e carbonados da bacia do rio Macaúbas.