

3.1 MEIO FÍSICO

3.1.1 GEOLOGIA

3.1.1.1 METODOLOGIA

O Parque Estadual Intervales foi criado no sentido de promover o desenvolvimento sustentável regional e a conservação da natureza no Vale do Ribeira, devido a necessidade de proteção à extensa área de manancial, aos significativos sítios espeleológicos e às frágeis encostas da Serra do Mar/Paranapiacaba, cobertas pela Mata Atlântica, elementos esses reconhecidos constitucionalmente, em nível federal e estadual, a serem protegidos como Patrimônio Nacional.

Neste item são apresentadas as características geológicas da área do PEI e sua Zona de Amortecimento, com uma descrição das unidades geológicas sob o ponto de vista da estratigrafia e litologia, com a indicação da mineralogia, composição e de suas características estruturais.

O estudo envolveu o levantamento geológico baseado no levantamento bibliográfico e técnicas de geoprocessamento, com uso de imagens de satélite e de radar, além de plantas topográficas. Não foram realizados levantamentos de campo para o Plano de Manejo, mas a equipe já realizou diversos trabalhos de campo prévios na região, em outros projetos.

Os mapas foram confeccionados utilizando o software ARCGIS e os dados estão referenciados em UTM no datum SAD69.

Análise litológica e estrutural

Com o objetivo de obter informações sobre a geologia do PEI e sua Zona de Amortecimento, foi realizado um controle cartográfico das unidades geológicas e estruturas através da interpretação geológica de estudos anteriores e imagens de satélite.

Na área de estudo existem mapas geológicos desde a escala de 1:2.500.000 (Bizzi *et al.* 2001), 1:750.000 (CPRM 2006), 1:100.000 (fornecido pela Fundação Florestal), até 1:50.000 (Campanha 2002). Todas as bases geológicas disponíveis foram compiladas para compor um mapa geológico regional.

A caracterização química das rochas carbonáticas foi obtida a partir dos dados de ocorrências minerais do Projeto Calcário para Cimento da CPRM (Gonzales *et al.* 1972) na área do PEI e sua Zona de Amortecimento. Foram utilizadas as análises por espectrografia de absorção atômica.

Para a obtenção e análise de padrão de lineamentos foram utilizados produtos de sensoriamento remoto e geradas cartas temáticas utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG) em ambiente ARCGIS. Neste estudo considerou-se que os lineamentos estão relacionados a feições estruturais do terreno, sendo extraídos de três fontes diferentes:

1) Modelos Digitais de Terreno (MDTs): confeccionados à partir de dados brutos das imagens de radar, de resolução de aproximadamente 90 m, do projeto SRTM (2004; em inglês Shuttle Radar Topographic Mission). O projeto SRTM foi realizado pelas agências americanas NIMA (National Imagery and Mapping Agency), NASA (National Aeronautics and Space Administration), DOD

(Departamento de Defesa) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália, disponíveis no sítio <http://srtm.usgs.gov>. Para o geoprocessamento das imagens foi utilizado o datum e o elipsóide de referência SAD69, com dados de altitude em metros inteiros, e nenhuma edição foi aplicada sobre os dados. Os MDTs foram gerados com todos os pontos obtidos utilizando o método TIN (triangular irregular network) (Peucker *et al.* 1978, Burrough & McDonnell 2000) e com iluminação nas direções N45, N135, N225 e N315. Para uma análise mais coerente com o contexto regional, foi escolhida a área compreendida pela Folha Itararé (Folha SG.22-X-B - escala 1:250000), que abrange os limites do PEI e sua Zona de Amortecimento.

2) Imagem LANDSAT-7 com várias composições RGB. Foram utilizados dois recortes georreferenciados do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) do satélite LANDSAT-7 e do SRTM (2004). As imagens de mosaico LANDSAT foram adquiridas no servidor de imagens ESDI (2004) da Universidade de Maryland (EUA) do projeto *Landsat Geocover Mosaics da NASA Stennis Space Center*, georeferenciadas em Latitude e Longitude, datum WGS84 e resolução de 30 m. Para a área de estudo foi utilizada a imagem 220-77 de 26/09/1999.

3) Mosaicos semicontrolados de radar de visada lateral com abertura sintética do Projeto RADAMBRASIL (1976).

A partir dos lineamentos obtidos foram elaborados estereogramas, agrupados em áreas homogêneas e posteriormente analisados. Todos os diagramas estruturais apresentados correspondem à rede de Schimidt-Lambert, tendo como referência a semi-esfera inferior.

Hidrogeologia

A caracterização hidrogeológica da área constou de dados obtidos na bibliografia existente. Foi realizada uma simulação do risco de contaminação da água e do solo pelos efluentes gerados. A avaliação da vulnerabilidade do aquífero a contaminação foi realizada pelo método GOD (Foster *et al.* 2002). A Figura 1 mostra a estrutura do método, que consistem em multiplicarem-se os valores estimados para cada parâmetro, ou seja:

$$\text{Vulnerabilidade à contaminação} = \mathbf{G} \times \mathbf{O} \times \mathbf{D}$$

- Grau de confinamento hidráulico;
- Ocorrência de substrato suprajacente - características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada e camadas confinantes;
- Distância do nível da água subterrânea

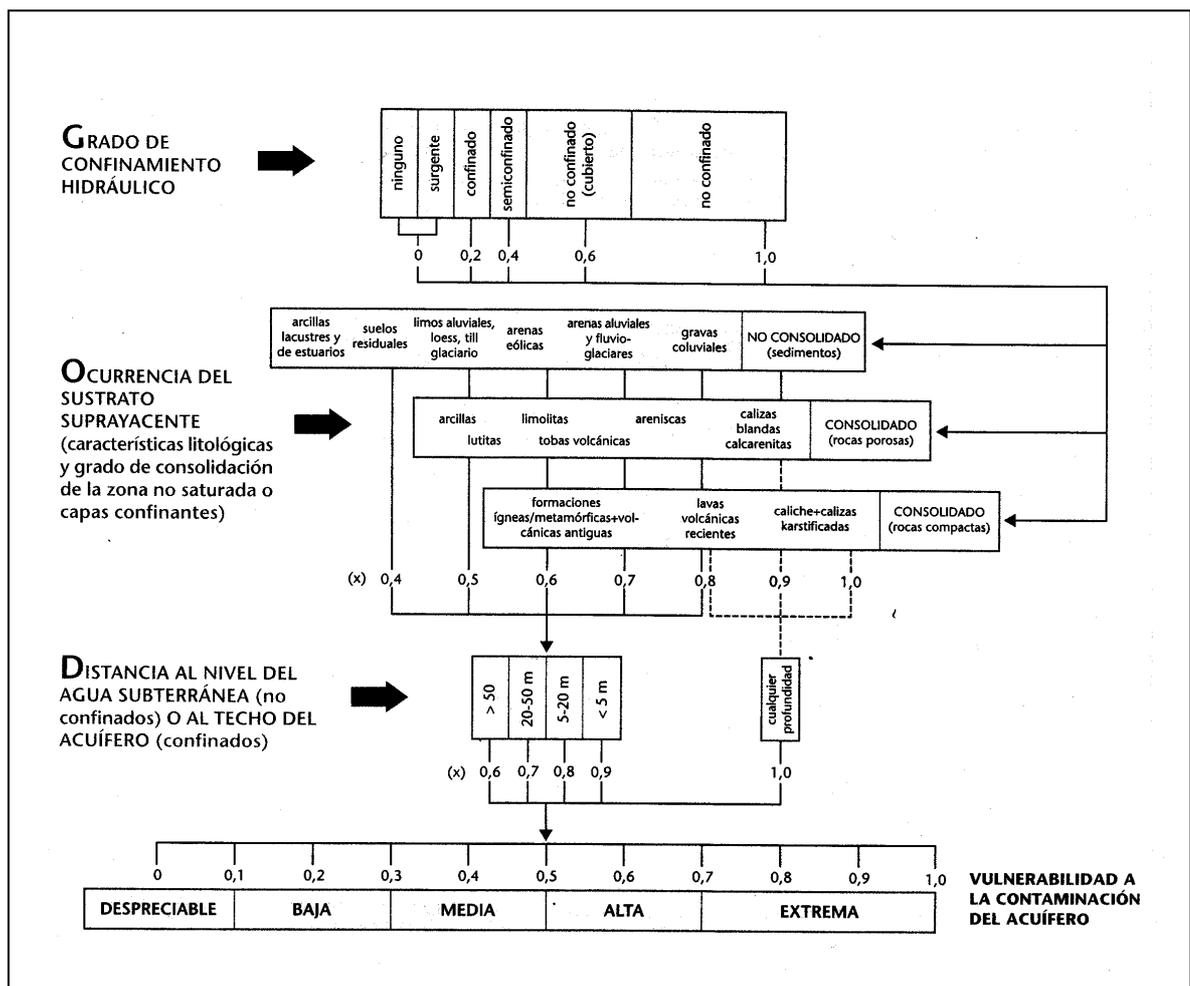


Figura 1. Método GOD para avaliação da vulnerabilidade à contaminação de aquíferos (Foster *et al.* 2002).

3.1.1.2 GEOLOGIA REGIONAL

Em um contexto geológico amplo, a área do Parque Estadual Intervalles (PEI) e sua Zona de Amortecimento estão inseridos na porção central da Província Mantiqueira (Almeida 1977), na denominada “Faixa de Dobramentos Ribeira” (Hasui *et al.* 1975) (Figura 2). A Faixa Ribeira é um cinturão de cisalhamento transcorrente, que se estende desde a Bahia até o Uruguai, que articula as interações entre a Faixa Brasília (Província ou Sistema Orogênico Tocantins), o Cráton do São Francisco e uma série de terrenos acrescidos a sul (Campos Neto 2000).

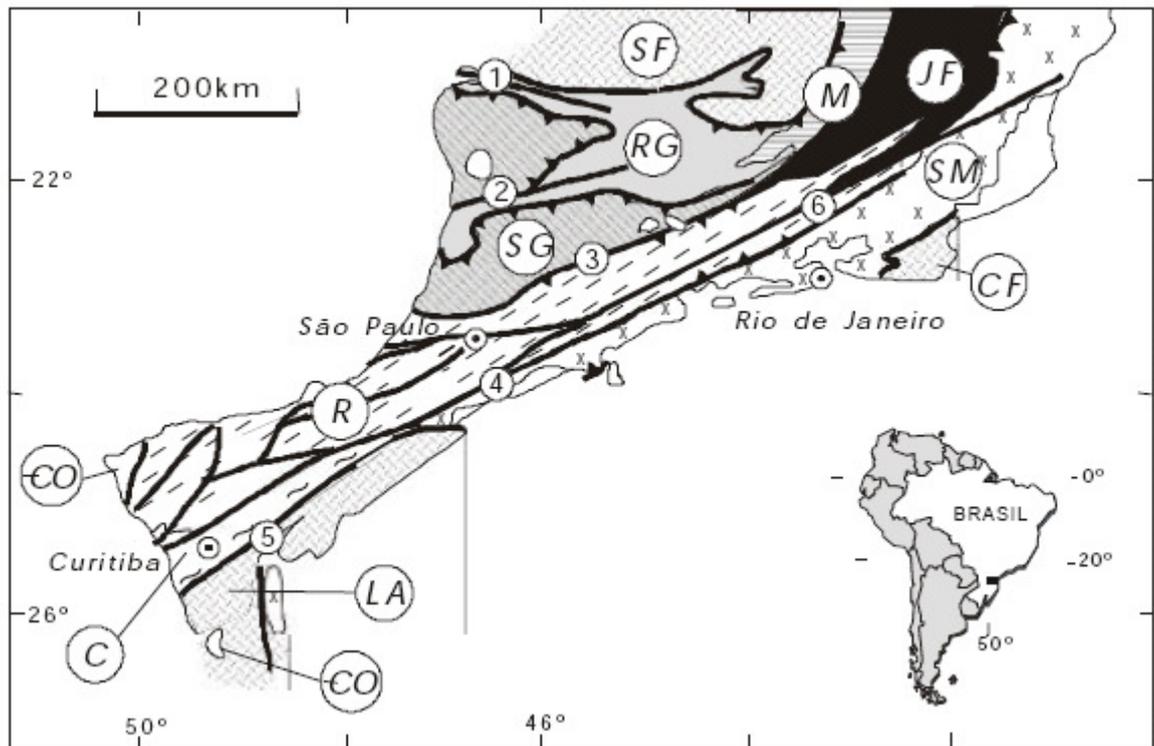


Figura 2. Contexto geológico regional em que está inserida a área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento. Blocos e fragmento cratônico: (LA) Luís Alves, (CF) Cabo Frio, (SF) São Francisco; Terrenos arqueanos e paleoproterozóicos: (C) Curitiba, (SM) Serra do Mar, (JF) Juiz de Fora, (M) Mantiqueira; Faixas de dobramento meso a neoproterozóicas: (RG) Alto Rio Grande, (R) Ribeira, (SG) Nappe Socorro-Guaxupé; Seqüências sedimentares e vulcanossedimentares Cambro-ordovicianas (CO); Zonas de cisalhamento: (1) Campos do Meio, (2) Jacutinga-Ouro Fino, (3) Jundiuvira-Boquira-Rio Preto; (4) Cubatão; (5) Lancinha; (6) Além Paraíba (Campanha & Sadowski 1999).

Esta faixa é recoberta pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná a W e a SW, limitada a NNW pelo Maciço de Guaxupé, a SSE pelo Maciço de Joinville, e para NE transiciona para terrenos de médio a alto grau (Campanha *et al.* 1987). Neste bloco, ocorrem predominantemente um conjunto de rochas supracrustais, de grau metamórfico fraco a médio, denominado de Supergrupo Açungui (Campanha *et al.* 1987, Campanha 1991, Campanha & Sadowski 1999).

O embasamento das rochas do Supergrupo Açungui é constituído por um conjunto de rochas gnáissico-migmatíticas, com intercalações variadas de metassedimentos, e núcleos charnockíticos maiores mais a sul (Campanha 2002). Posteriormente aos eventos deformacionais e metamórficos principais, no final do Neoproterozóico e início do Paleozóico (Campanha & Sadowski 1998), diversas falhas e zonas de cisalhamento de direção geral NE-SW e de caráter essencialmente transcorrente afetaram toda a área do Pré-Cambriano dos estados de São Paulo e Paraná. Estas falhas podem apresentar rejeitos quilométricos, tornaram tectônicos muitos dos contatos originais, dificultando ainda mais as reconstituições paleogeográficas (Campanha *et al.* 1987), e possivelmente geraram uma série de terrenos distintos (Campanha & Sadowski 1998).

O Supergrupo Açungui é composto pelas seguintes unidades geológicas: Grupo Itaiacoca, Formação Água Clara, Grupo Votuverava (Subgrupo Lajeado e Subgrupo Ribeira), Formação Capiru e Grupo Setuva (Campanha & Sadowski 1999) (Figura 3). As rochas do Supergrupo Açungui são intrudidas por um grande número de corpos granitóides de características variadas.

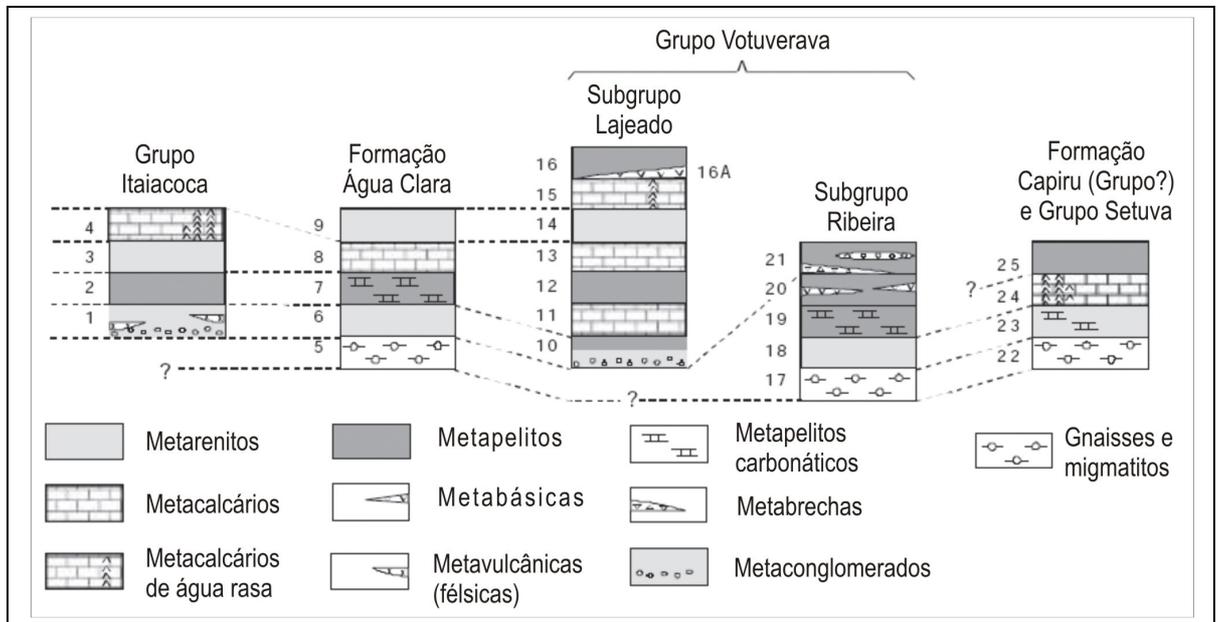


Figura 3. Colunas estratigráficas e tentativas de correlação lateral no Supergrupo Açungui: (1) Formação Bairro da Estiva (Abapã); (2) Formação Água Nova; (3) Formação Serra dos Macacos; (4) Formação Bairro dos Campos; (5) embasamento gnáissico-migmatítico; (6) quartzitos e xistos; (7) seqüência calciossilicática; (8) seqüência calcária; (9) seqüência de meta-arenitos; (Formação Córrego dos Marques); (10) Formação Betari; (11) Formação Bairro da Serra; (12) Formação Água Suja; (13) Formação Mina de Furnas; (14) Formação Serra da Boa Vista; (15) Formação Passa-Vinte; (16) Formação Gorutuba; (16A) Gabro de Apiaí; (17) embasamento gnáissico-migmatítico; (18) Formação Perau, membro quartzítico; (19) Formação Perau, membro calciossilicático (mineralizado); (20) seqüência vulcanossedimentar (pelágico - turbidítica); (21) Formação Iporanga; (22) embasamento gnáissico - migmatítico; (23) seqüência Morro Grande (= Turvo-Areado?); (24) Seqüência Rio Branco; (25) seqüência Juruqui (Campanha & Sadowski 1999).

3.1.1.3 GEOLOGIA LOCAL

Na área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento litologicamente predominam filitos, granitóides, xistos, mica-xistos e mármore (metacalcários) (Tabela 1), baseado em Campanha (2002). Essas rochas podem ser agrupadas em depósitos sedimentares cenozóicos, diques básicos juro-cretáceos, granitóides (Suítes e Corpos Graníticos pós-tectônicos, Complexo Três Córregos, Complexo Agudos Grandes, Corpos Graníticos, Gabro de Apiaí) e rochas metamórficas do Supergrupo Açungui (Tabela 2) (Figura 4).

Tabela 1. Tipos litológicos que ocorrem na área do PEI e sua Zona de Amortecimento, a partir do mapa geológico de Campanha (2002).

| Tipos litológicos | % em área |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| Metarrilitos, metassilitos, ardósias, filitos e xistos finos | 43.58% |
| Granitóides | 19.01% |
| Carbonato-xistos | 15.00% |
| Micaxistos, carbonato filitos e xistos migmatizados | 6.72% |
| Rochas carbonáticas (mármore) | 6.49% |
| Metarenitos | 4.50% |
| Depósitos sedimentares cenozóicos | 3.24% |
| Meta-básicas, anfíbolitos, Metagabros e diabásios | 1.04% |
| Quartzitos | 0.16% |
| Hornfels | 0.15% |
| Metabrechas | 0.10% |

Tabela 2: Quadro das unidades geológicas que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento, baseado em Campanha (2002) (Q - Quaternário; CN - Cambriano-Neoproterozóico; JK – Jurássico – Cretáceo).

| Unidade Geológica | Denominação - sigla | Litologia - sigla | Idade | | | |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|
| Depósitos sedimentares cenozóicos | Aluviões - a | aluviões - O | Q | | | |
| | Colúvios e tálus - c | aluviões - O | | | | |
| Suítes e Corpos Graníticos pós-tectônicos | Diques básicos indivisos | | J-K | | | |
| | Freguesia Velha - 7 | granitos equigranulares - ya | CN | | | |
| Complexo Três Córregos | Cravo - 1cr | granitos e granodioritos porfíricos - yb | NEOPROTEROZOICO | | | |
| | Aboboral - 13 | granitóides homogêneos - yh | | | | |
| Corpos graníticos | Complexo Agudos Grandes - 3 | complexos granitóides indiferenciados - yi | NEOPROTEROZOICO | | | |
| | Espírito Santo - 4 | granitos e granodioritos porfíricos - yb | | | | |
| | Almas - 6 | | | | | |
| | Bugner - 7 | | | | | |
| Supergrupo Açungui | Gabro de Apiaí - ap | gabros e diabásios - W | NEO A MESOPROTEROZOICO | | | |
| | Indiviso - t | mármore - M | | | | |
| | Formação Água Clara - ac | | | metabásicas e anfíbolitos - B | | |
| | | | | carbonato-xistos - CS | | |
| | Grupo Votuverava | Subgrupo Ribeira | | mármore - M | NEO A MESOPROTEROZOICO | |
| | | | | micaxistos - X | | |
| | | Formação Iporanga - vi | | filitos e xistos finos - FX | | |
| | | | | micaxistos - X | | |
| | | Subgrupo Lajeado | | carbonato filito - XC | | NEO A MESOPROTEROZOICO |
| | | | | xistos migmatizados - XM | | |
| Formação Turvo-Cajati - s | | indiviso - v | metarritmitos, ardósias e filitos - AF | NEO A MESOPROTEROZOICO | | |
| | | | metabásicas e anfíbolitos - B | | | |
| | | Formação Iporanga - vi | hornfels - H | | | NEO A MESOPROTEROZOICO |
| | | | quartzitos - Q | | | |
| | Subgrupo Lajeado | carbonato filito - XC | NEO A MESOPROTEROZOICO | | | |
| | | metarenitos - A | | | | |
| | Formação Betari - vl1 | filitos - F | NEO A MESOPROTEROZOICO | | | |
| | | mármore - M | | | | |
| | Formação Bairo da Serra - vl 2 | metabrechas - R | NEO A MESOPROTEROZOICO | | | |
| | | metarenitos - A | | | | |
| Formação Água Suja - vl 3 | metasilitos - S | NEO A MESOPROTEROZOICO | | | | |
| | mármore - M | | | | | |
| Formação Mina de Furnas - vl4 | filitos - F | NEO A MESOPROTEROZOICO | | | | |
| | mármore - M | | | | | |
| Formação Serra da Boa Vista- vl5 | metarenitos - A | NEO A MESOPROTEROZOICO | | | | |

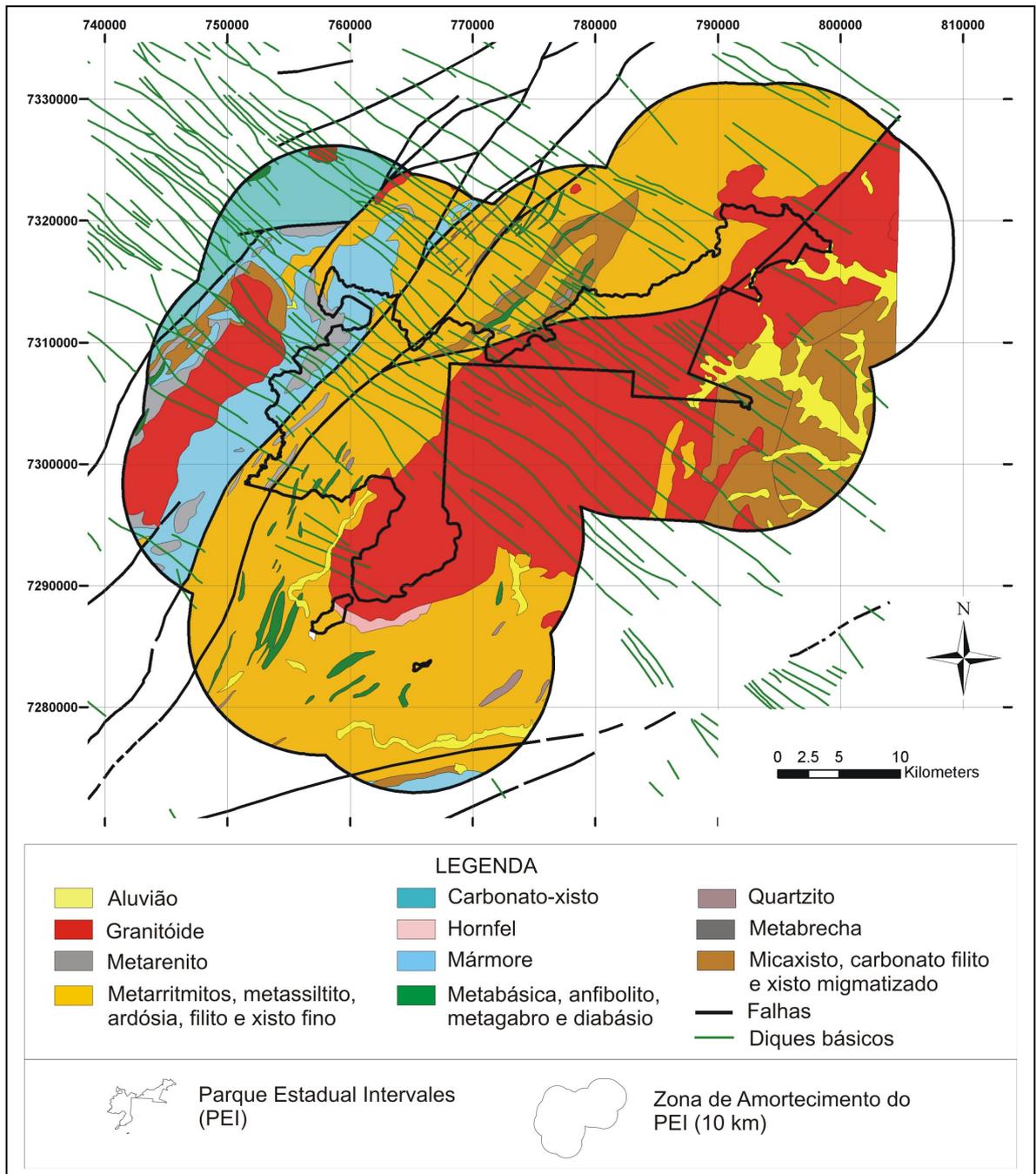


Figura 4. Mapa geológico simplificado da área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento.

- Supergrupo Açungui

O Supergrupo Açungui é composto de algumas unidades litoestratigráficas de menor abrangência, dispostas lateralmente em faixas longilíneas de orientação NE, que são definidas por sua continuidade física e associações, subdividido na área em estudo em Formação Água Clara, Grupo

Setuva ou Complexo Turvo-Cajati e Grupo Votuverava (Subgrupo Lajeado e Subgrupo Ribeira) (Campanha & Sadowski 1999). Estas unidades litoestratigráficas refletem ambientes sedimentares, vulcânicos e tectônicos distintos, com contatos em geral tectônicos, configurando um zoneamento de faixas paralelas com direção aproximada NE (Campanha et al. 1987), intrudidas por diversos corpos granitoides.

- Formação Água Clara

A Formação Água Clara (Marini *et al.* 1967) na região é composta por rochas metassedimentares de origem vulcano-sedimentar, predominantemente mármores puros e impuros, e rochas calciossilicáticas, cálcio xistos, mica xistos, anfibólio xistos, quartzitos, granada-clorita-biotita xistos, metacherts, metatufos básicos e intermediários, metabasitos, anfibolitos e cornubianitos (Frasca *et al.* 1990; Weber *et al.* 2004), provenientes do metamorfismo de baixo a médio grau de rochas carbonáticas e margosas depositadas em ambiente plataformal profundo.

As rochas metabásicas têm ocorrência generalizada, principalmente na forma de pequenos corpos, origem ígnea, associados às calciossilicáticas, apresentando dimensões longitudinais expressivas chegando a quilométricas, com dimensões transversais de até centenas de metros, com idades do intervalo 1590 - 1470 Ma (milhões de anos passados), e resfriamento regional em ~600 Ma (Frasca *et al.* 1990, Weber *et al.* 2004).

Os mármores e rochas calciossilicáticas têm composições químicas semelhantes às de sedimentos carbonáticos e de misturas carbonato-pelitos depositados durante o estágio rift da bacia. O magmatismo básico parece ter se desenvolvido em diversos ambientes tectônicos. Um primeiro evento magmático de natureza toleítica teria ocorrido nos estágios iniciais de fechamento da bacia e corresponderia a toleítos de arco de ilhas imaturo. Basaltos shoshoníticos, possivelmente relacionados a margens continentais ativas, estariam associados a uma maior maturidade deste arco magmático, sugerindo estágios finais de fechamento da bacia. Posteriormente, porém relacionado a eventos pré-cambrianos, teria ocorrido magmatismo básico com características de toleítos continentais (Frasca *et al.* 1990).

- Grupo Setuva ou Complexo Turvo-Cajati

As rochas do Grupo Setuva ou Complexo Turvo-Cajati são compostas por associações variadas, destacando-se principalmente os xistos, quartzitos e mármores, além de migmatitos variados e gnaisses. Dentre os xistos, ocorrem micaxistos, quartzo xistos, granada xistos com intercalações quartzíticas e presença subordinada de metassiltitos, ardósias, filitos, mármores, metabasitos e metaultrabasitos, além de biotita gnaisses bandados com intercalações subordinadas de mármores, calcossilicadas, anfibolitos, entre outras.

- Grupo Votuverava

- a. *Subgrupo Lajeado*

O Subgrupo Lajeado corresponde a metassedimentos de baixo grau metamórfico, que foram depositados em uma plataforma carbonática. Esta unidade geológica é constituída por formações siliciclásticas (pelíticas, psamíticas) e carbonáticas alternadamente sobrepostas, intrudida em sua porção superior pelo Gabro de Apiaí. Limita-se a sul com a Formação Iporanga e o Subgrupo Ribeira através da zona de cisalhamento (Lineamento) da Figueira (Campanha 2002).

As rochas carbonáticas pertencem às Formações Bairro da Serra (com metacalcarenitos e metacalcilutitos impuros calcíticos e dolomíticos), Mina de Furnas (com metacalcarenitos e calcilutitos laminados) e Passa-Vinte (metacalcarenitos dolomíticos).

b. Subgrupo Ribeira

O Subgrupo Ribeira é constituída de leques turbidíticos distais, seqüências possivelmente pelágicas e vulcânicas básicas toleíticas do tipo assoalho oceânico ou arco de ilhas pouco diferenciado. Esta unidade geológica ocorre à sudeste da plataforma carbonática de deposição do Subgrupo Lajeado (Campanha 2002).

O Subgrupo Ribeira no geral constitui-se predominantemente de metapelitos de granulação fina a muito fina associados a leques turbidíticos distais e folhelhos pelágicos, em geral intensamente deformados. Subordinadamente ocorrem metabasitos que apresentam assinatura litoquímica característica de assoalho oceânico e arco de ilhas imaturo, metamargas, metacalcários, metarenitos, metaconglomerados oligomíticos, formações ferríferas de pequeno porte e lâminas de metacherts (Campanha 2002).

Situada no topo do Subgrupo Ribeira, a Formação Iporanga está em parte em contato tectônico com o restante do Subgrupo Ribeira através do Lineamento de Agudos Grandes, restando dúvidas quanto ao hiato de tempo entre a sua deposição e o restante das unidades subjacentes. Em outros locais entretanto esse contato parece ser discordante, com a brecha basal da Formação Iporanga sobreposta a metargilitos e metavulcânicas do Subgrupo Ribeira (Campanha 2002).

A Formação Iporanga é constituída por metarritmitos finos, com intercalações de metarenitos, metaconglomerados e metabrechas polimíticas, indicando interpretações paleoambientais diversificadas (tilitos, turbiditos distais, molassas, wildflysh, debris flow e turbiditos canalizados) (Campanha 2002).

A Formação Perau situa-se estratigraficamente nas porções mais basais do Subgrupo Ribeira, definida por uma série de estruturas antiformais e sinformais abertas, no bloco entre os Lineamentos de Lancinha e Agudos Grandes / Ribeira, no Estado do Paraná. No núcleo das antiformas ocorrem rochas gnáissicas, fortemente milonitizadas, com intercalações de xistos feldspáticos e quartzitos, atribuídas ao Complexo Gnaíssico - Migmatítico. A base da Formação Perau é constituída por um pacote de quartzitos, espesso de centenas de metros e contínuo por dezenas de quilômetros, o qual provavelmente condiciona o estilo aberto dos dobramentos maiores. São capeados por um pacote de carbonato xistos seguidos um pacote de xistos e filitos com intercalações menores de anfibolitos (Campanha 2002).

- **Granitóides**

Por toda a Faixa de Dobramentos Ribeira Domínio ocorrem inúmeras ocorrências de intrusões graníticas neoproterozóicas a cambrianas, formando numerosos corpos graníticos de grande porte, formando batólitos e stocks alongados, dispostos segundo a direção regional das estruturas geológicas.

O Gabro de Apiaí é um corpo intrusivo de composição básica, de ocorrência muito restrita na área em estudo.

O Complexo Três Córregos são constituídos por granitóides, predominantemente hornblenda-biotita granitóides porfiróides e granitos leucocráticos microporfiríticos a equigranulares, além de granitóides orientados, com comuns enclaves máficas de composição predominantemente diorítica potássica (Gimenez Filho *et al.* 1996), de idade entre 630 e 600 Ma (Janasi *et al.* 2001). O Complexo Agudos Grandes, composto por granitóides sin e tardi orogênicos, e o Complexo Três Córregos foram afetados posteriormente por stocks graníticos pós-tectônicos. Posteriormente, durante o Jurássico-Cretáceo, as rochas do Supergrupo Açungui e os Granitóides foram intrudidos por numerosos diques de diabásio, subverticais, orientados preferencialmente segundo N45W, com extensões que chegam a alcançar dezenas de quilômetros.

- **Diques Básicos**

Na área de estudos afloram centenas de diques que cortam as rochas pré-cambrianas do embasamento. Os diques são verticais a sub-verticais, sendo que alguns deles chegam a atingir quilômetros de comprimento, com espessuras de poucas a dezenas de metros. Estes diques freqüentemente ocupam falhas, reativadas por esforços tracionais perpendiculares à direção costeira (Almeida 1986). Os diques básicos apresentam, na região sudeste do Brasil, idades em torno de 161 e 193 Ma (Guedes *et al.* 2005) até 125-120 Ma (Renne *et al.* 1992), em sua grande maioria de composição básica e natureza toleítica (Piccirillo *et al.* 1988, Marques 2001).

- **Depósitos Sedimentares Cenozóicos**

Os depósitos sedimentares cenozóicos compreendem diversas unidades geológicas de idade cenozóica não diferenciadas, que ocorrem dispersas por toda a área de estudos. Estas unidades ainda são pouco conhecidas, representando diversos eventos de deposição sedimentar. São compostos essencialmente de sedimentos de composição arenácea a argilosa, de origem coluvial e fluvial. Os depósitos coluviais correspondem a material depositado sob forma de tálus (com matacões), fluxo de detritos e rampas de acumulação. Os depósitos fluviais encontram-se depositados principalmente ao longo das principais drenagens existentes na área em estudo, como no Rio Ribeira de Iguape sob a forma de antigos terraços aluvionares, contendo às vezes camadas turfosas de origem orgânica.

3.1.1.4 GEOLOGIA ESTRUTURAL

As complicações da estratigrafia e da idade de sedimentação das unidades geológicas do Grupo Votuverava na área em estudo, refletem a complexidade geológica estrutural da região. O metamorfismo gerado foi de grau xisto verde incipiente a baixo (Trein *et al.* 1985, Campanha *et al.* 1987). A deformação e o metamorfismo teriam sido gerados no Neoproterozóico. Posteriormente, durante o final do Neoproterozóico e início do Paleozóico (Campanha & Sadowski 1998), diversas falhas e zonas de cisalhamento de direção geral NE-SW, responsáveis pelas rochas cataclásticas/miloníticas, de caráter essencialmente transcorrente (posteriores aos eventos deformacionais e metamórficos principais) afetaram toda a área do Pré-Cambriano na área de estudos.

Estas falhas podem ter rejeitos da ordem de quilômetros, tornaram tectônicos muitos contatos, dificultando ainda mais reconstituições paleogeográficas (Campanha *et al.* 1987), gerando uma série de terrenos distintos (Campanha & Sadowski 1998).

As direções das principais linhas tectônicas são SW/NE, podendo ocorrer ainda direções próximas a N/S e E/W. As feições estruturais mais importantes na região são: Lineamento Ribeira, na região sul do PEI, e Lineamento Agudos Grandes, Falha Barreiro, Falha do Espírito Santo à oeste do PEI.

O Lineamento Ribeira se desenvolve segundo a direção geral NE/SW, colocando em contato o Supergrupo Açungui e o Complexo Turvo-Cajati. O Lineamento Agudos Grandes, a Falha Barreiro e a Falha do Espírito Santo se desenvolvem segundo a direção geral NNE/SSW (Figura 5).

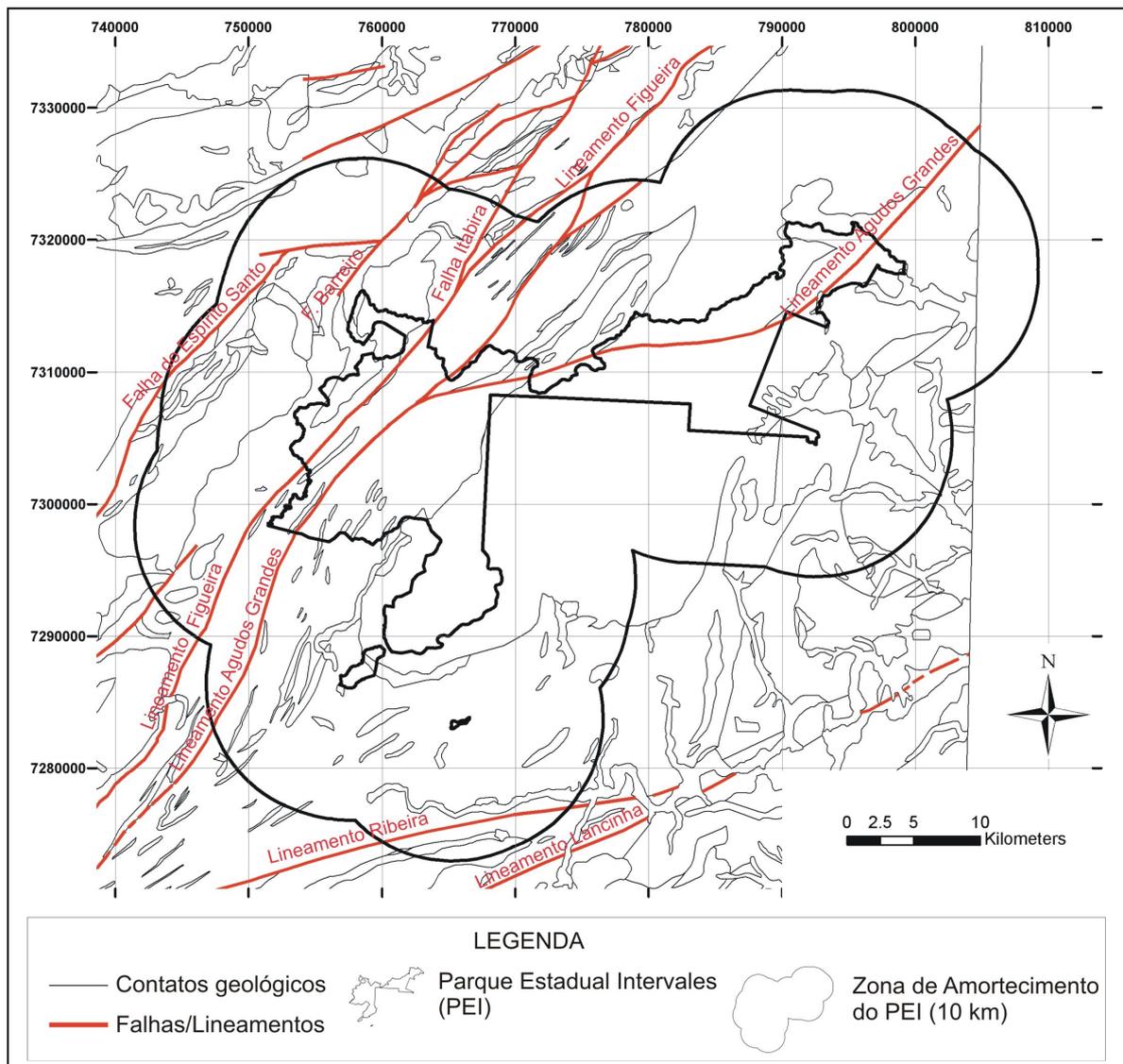


Figura 5: Principais falhamentos que cortam as unidades geológicas na área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento (fonte: Campanha 2002).

O Subgrupo Lajeado, em sua porção central, apresenta padrão estrutural dominado por uma série de anticlinais e sinclinais, os maiores com comprimentos de onda da ordem de centenas de metros a poucos quilômetros, com planos axiais empinados, com mergulho forte para NW, eixos subhorizontais e uma clivagem ardosiana em posição plano-axial, e com vergência estrutural para SE. O empilhamento estratigráfico original está aparentemente preservado, embora existam suspeitas da repetição tectônica de alguns pacotes por deslocamentos (falhas oblíquas de baixo ângulo) ao longo dos contatos entre os pacotes maiores. Ocorrem mais duas fases de dobramentos sobrepostas, associadas a clivagens de crenulação, uma com direção NE e outra, mais tardia, com direção NW.

O Subgrupo Ribeira apresenta estilo deformacional mais intenso, com dobramento cerrado e transposição em escala de afloramento associado à primeira fase de deformação. Porém, a clivagem gerada nessa fase é contínua e paralela com a observada no Subgrupo Lajeado, sendo também paralelos nestas unidades seixos, planos axiais e o sentido da vergência estrutural. Sobrepoem-se ainda duas fases de dobramento, com orientações similares às do Lajeado.

Os subgrupos Lajeado e Ribeira foram afetados pelas mesmas fases deformacionais. No entanto, enquanto no Lajeado o empilhamento original está pelo menos em parte preservado, no Subgrupo Ribeira as diversas intercalações litológicas apresentam forma lenticular, com clivagem tectônica paralelizada aos contatos litológicos em todas as escalas, estando possivelmente totalmente desmembrados os contatos e as posições estratigráficas originais. O Subgrupo Ribeira é seccionado pelo Lineamento Ribeira (Figura 6).

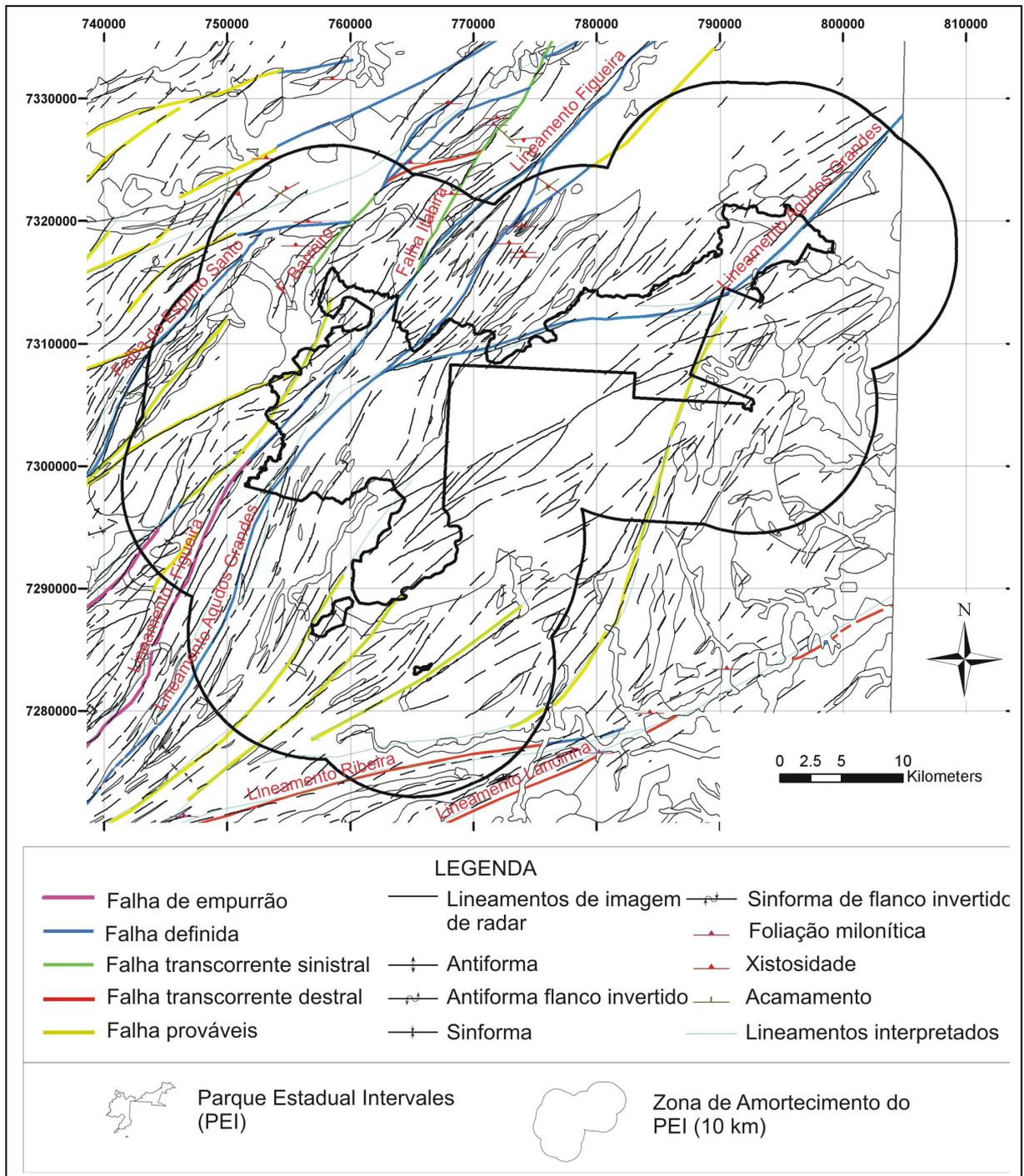


Figura 6. Principais estruturas geológicas que cortam as unidades geológicas na área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento (fonte: Campanha 2002).

Durante o Mesozóico, no Jurássico-Cretáceo, toda a área foi intrudida por uma série de diques de rochas básicas, alojados em estruturas de orientação na direção NW-SE reativadas por esforços tracionais perpendiculares à direção costeira, cortando as rochas pré-cambrianas do embasamento (Figura 7).

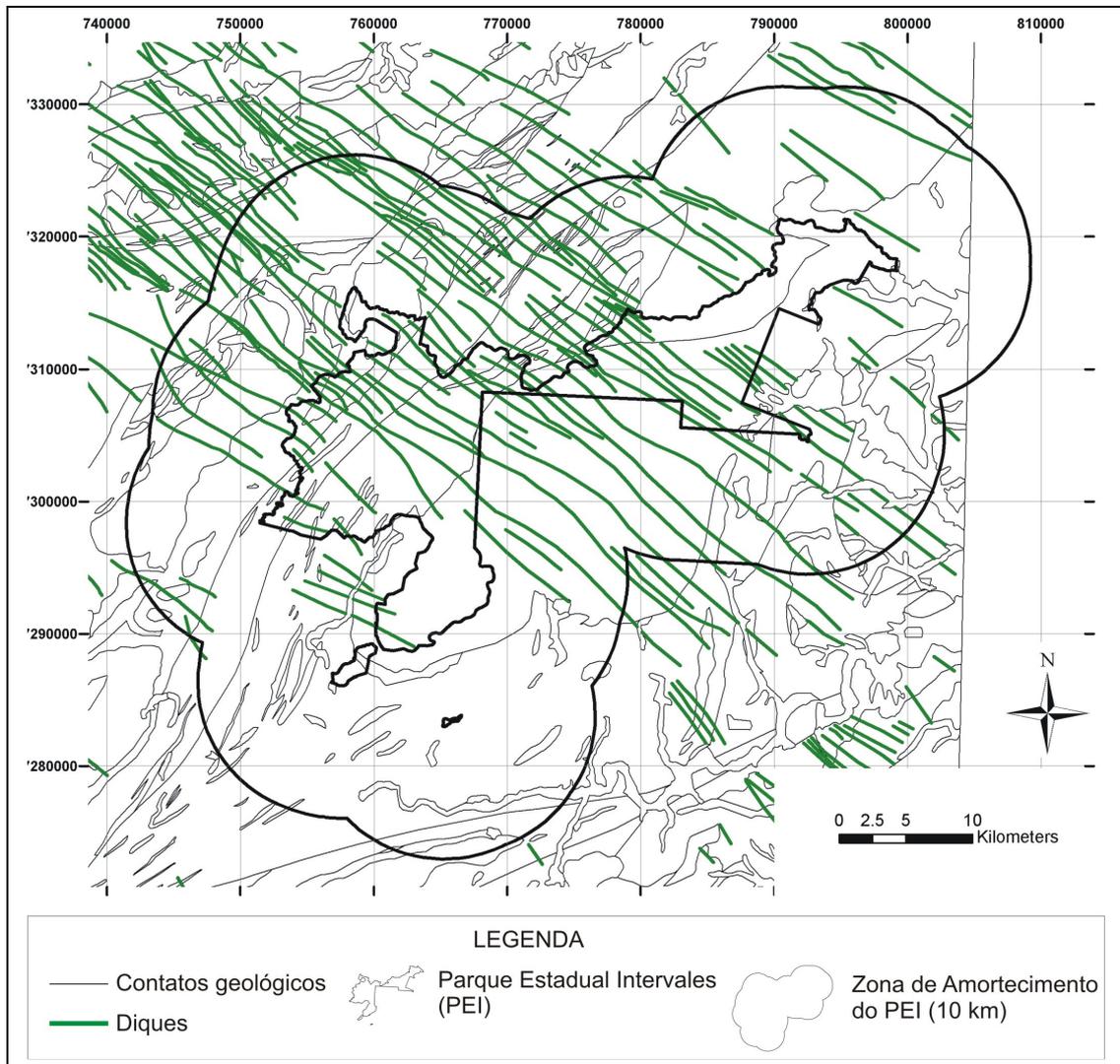


Figura 7. Diques de rochas básicas que cortam as unidades geológicas na área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento (fonte: Campanha 2002).

Lineamentos

Para caracterização das estruturas nas unidades geológicas da área do PEI e sua Zona de Amortecimento, foram analisados os lineamentos e sua correlação com falhas na região, através de Modelos Digitais de Terrenos (MDTs) (Figura 8), Imagem LANDSAT-7 (Figura 9) e Mosaico semicontrolado de radar do Projeto RADAMBRASIL (1976) (Figura 10).

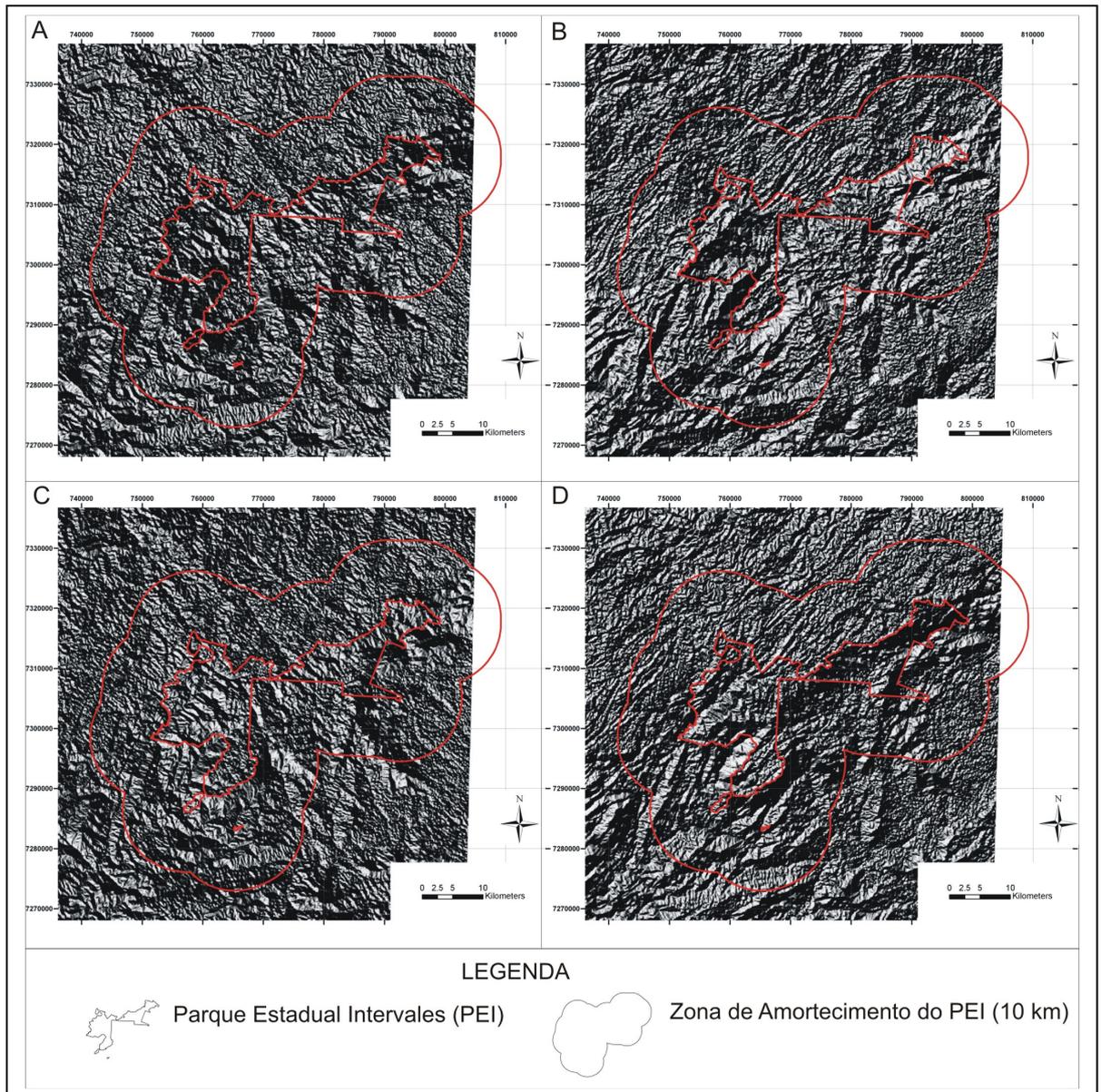


Figura 8: Modelos Digitais de Terrenos (MDTs) com azimute a 45° e iluminação nas direções N45 (A), N135 (B), N225 (C) e N315 (D), com base nos dados SRTM (2004), da área da Folha Itararé (Folha SG.22-X-B - escala 1:250000).

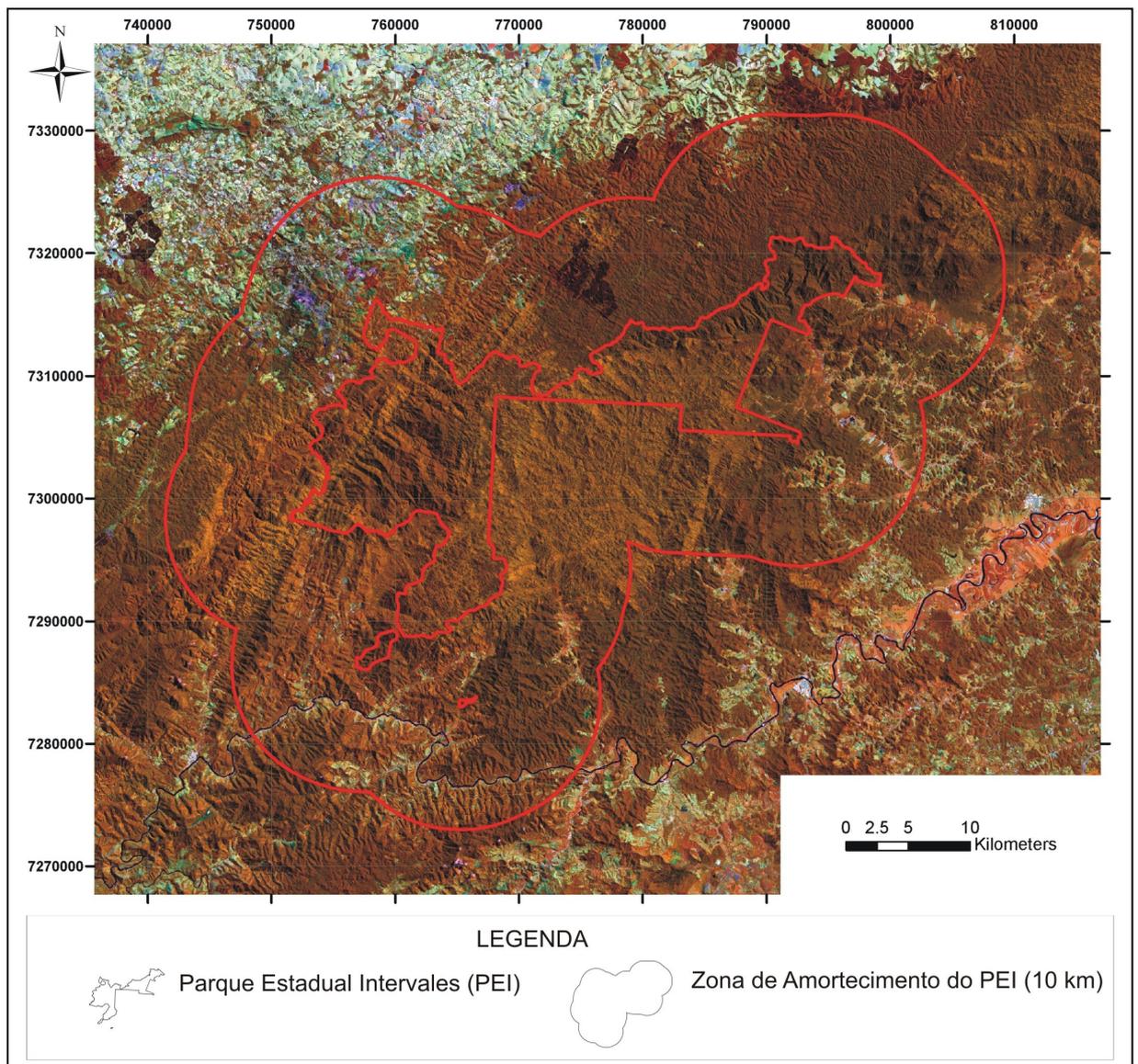


Figura 9. Imagem LANDSAT-7 com composição R8G5B3 da área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento.

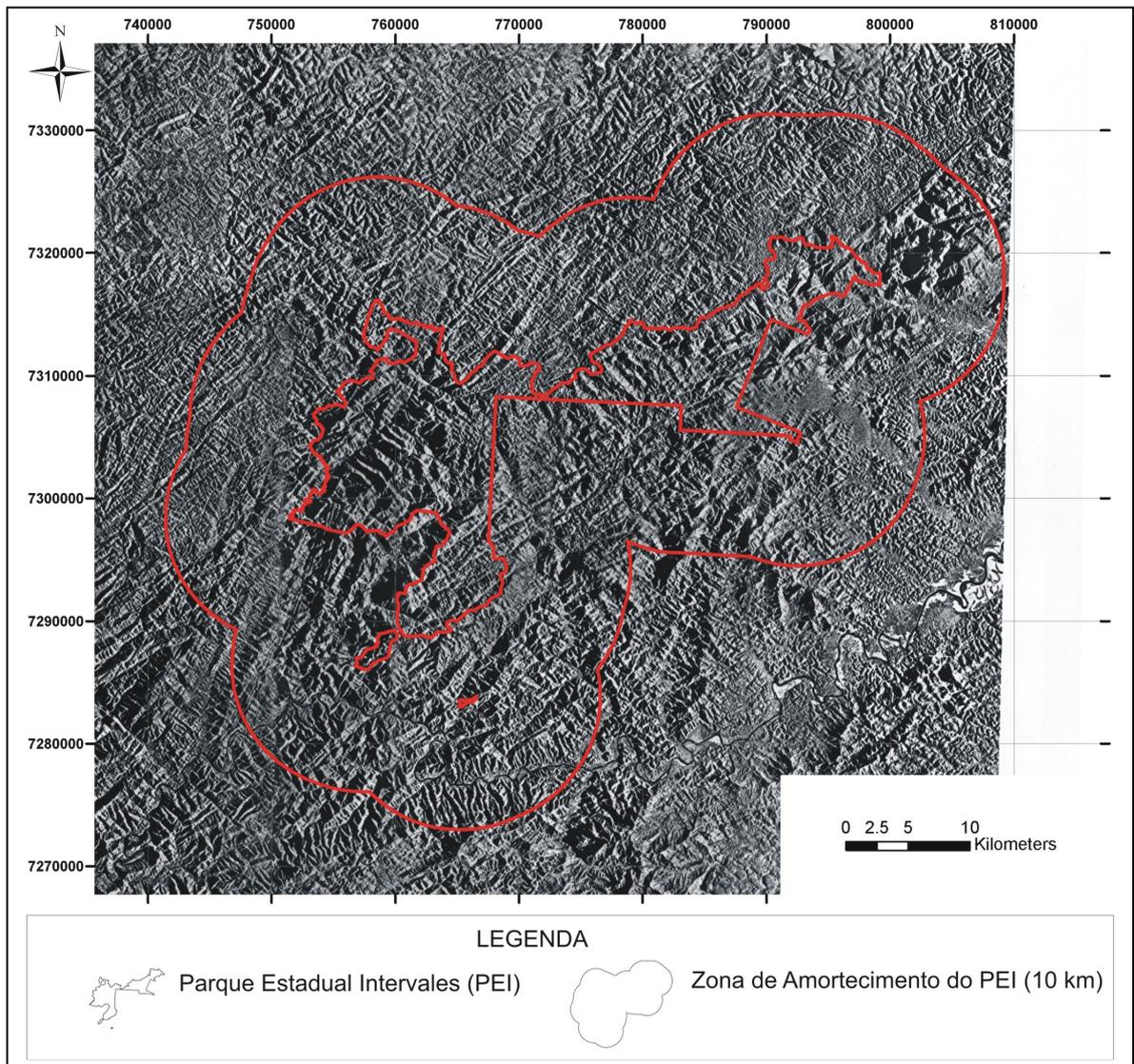


Figura 10. Mosaico semicontrolado de radar do Projeto RADAMBRASIL (1976) da área do PEI e sua Zona de Amortecimento.

Foi observada maior frequência de lineamentos nas direções NW-SE e NE-SW (Figura 11). Os lineamentos de direções NE-SW observados regionalmente em termos de frequência podem ser relacionadas à ocorrência de diversos corpos intrusivos de diques básicos, assim como os de direções NW-SE estão relacionados aos principais falhamentos que condicionam as unidades geológicas na região.

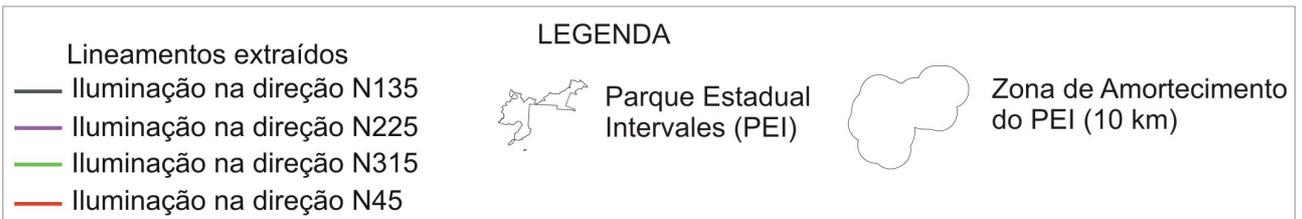
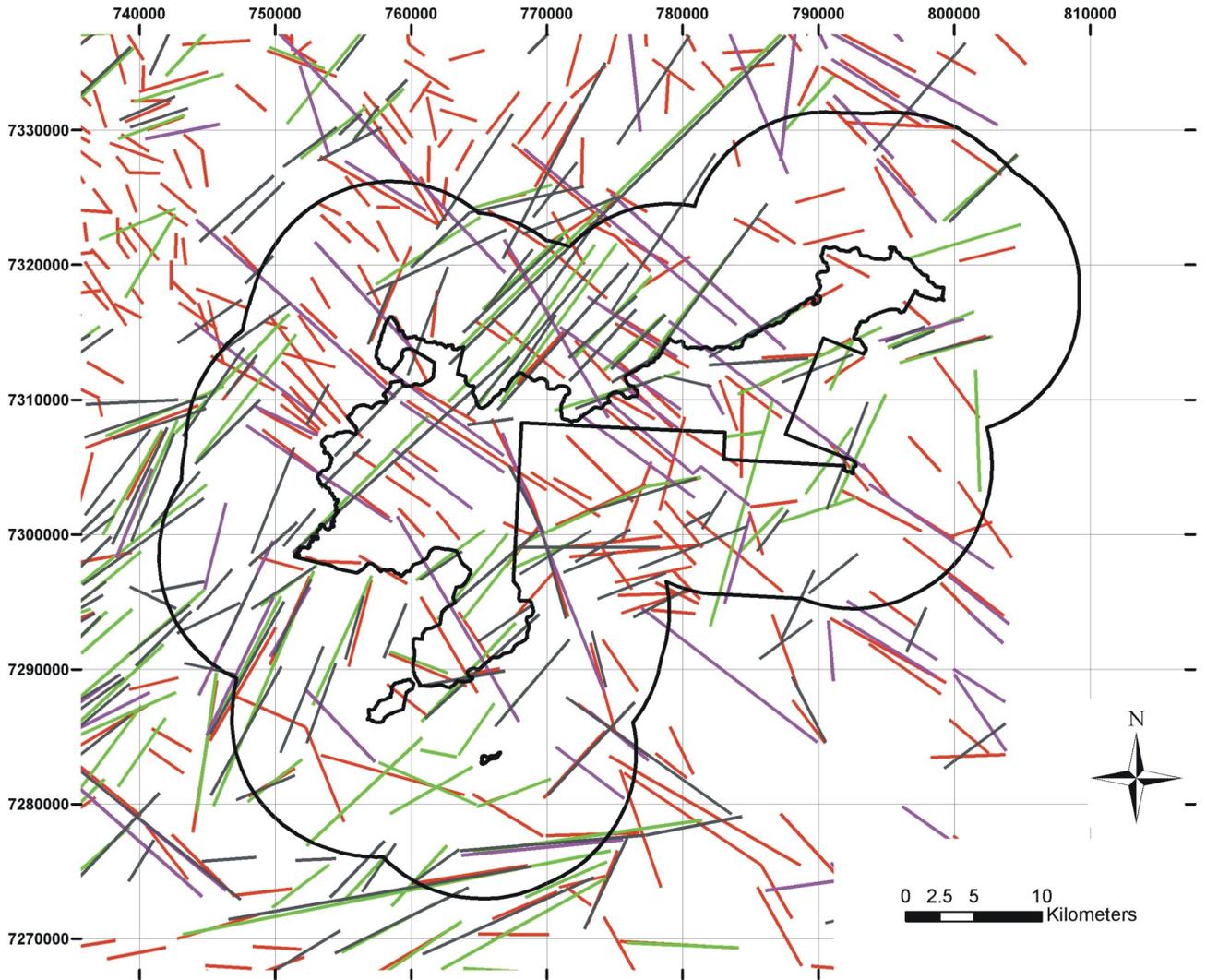


Figura 11. Mapa dos lineamentos extraídos de Modelos Digitais de Terrenos (MDTs), com azimute a 45° e iluminação nas direções N45, N135, N225 e N315, da área da Folha Itararé (Folha SG.22-X-B - escala 1:250000).

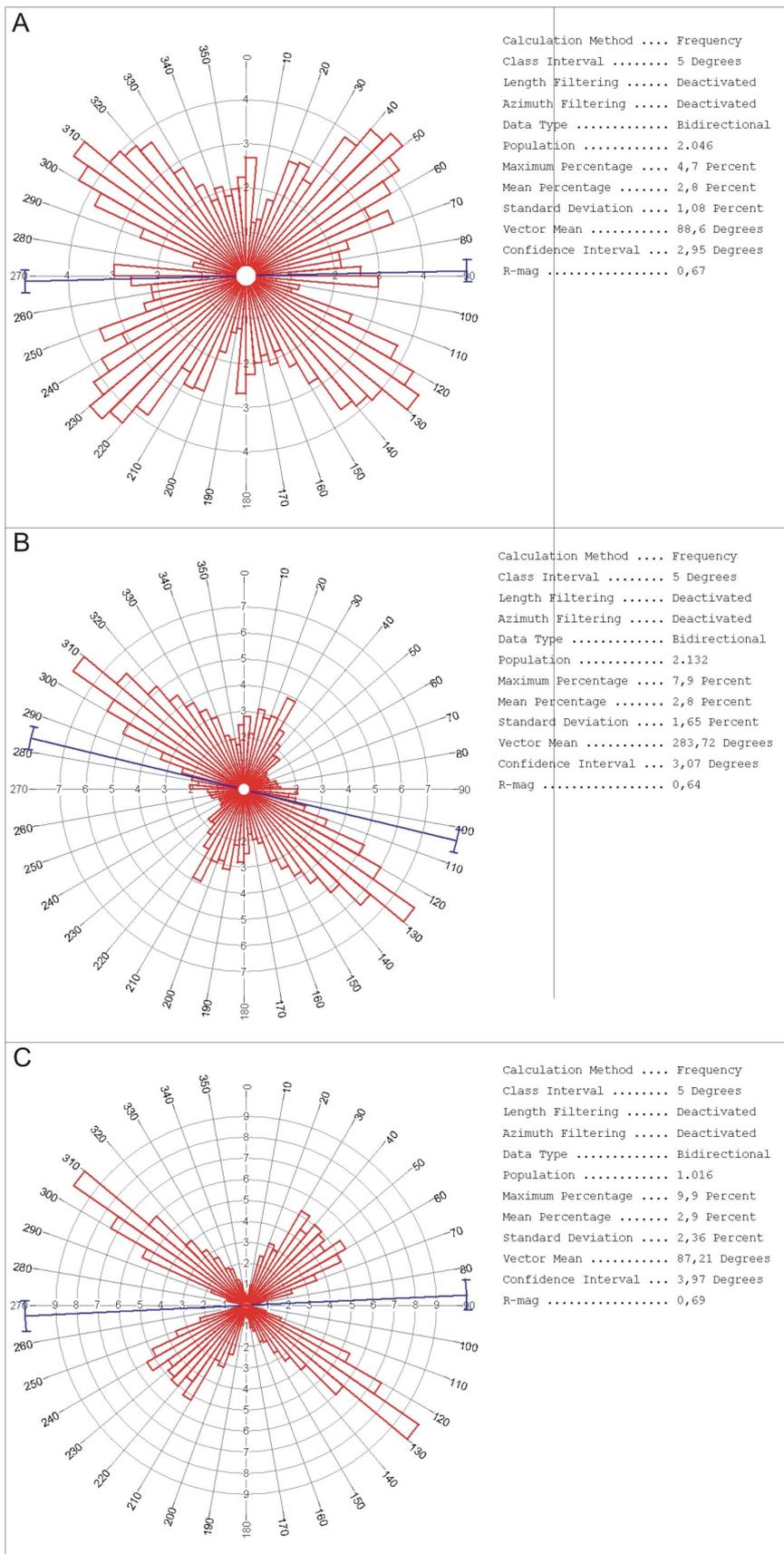


Figura 12: Diagramas em rosácea dos lineamentos extraídos da área da Folha Itararé (Folha SG.22-X-B - escala 1:250000) em termos de frequência, à partir de Modelos Digitais de Terrenos (MDTs) (A), Imagem LANDSAT-7 (B) e Mosaico semicontrolado de radar (C).

3.1.1.5 RECURSOS MINERAIS

Na região do Vale do Ribeira é a principal região no Estado de São Paulo em relação a potencialidade mineral. Essa vocação econômica possibilitou a fixação da população na região e influenciou a forma de colonização local. Desde o início da mineração no Brasil, esta foi uma região importante, que segundo Germani (2002) “as primeiras catas ou garimpos foram feitos em São Paulo, em São Vicente, no Vale da Ribeira, e os bandeirantes paulistas espalharam-se depois por Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso”. Atualmente o Vale do Ribeira apresenta uma indústria cimenteira que já conta com infra-estrutura para rápido escoamento de produção.

A região do PEI e Zona de Amortecimento é detentora de importante potencial metalogenético, ocorrendo variedade de substâncias minerais, desde ferrosos, metálicos não ferrosos e preciosos, além de minerais industriais diversos e materiais naturais destinados à indústria de construção civil.

São de conhecimento histórico as ocorrências de cobre, ouro, chumbo e prata associada. A região também encerra importantes reservas de mármore (calcários e dolomitos) que propiciam a exploração mineral empregados na indústria cimenteira e como insumo para a agricultura (corretivo de solo), atuante principalmente na Zona de Amortecimento do PEI. Outros bens minerais encontrados, que podem ser aproveitados eventualmente, são os sedimentos de origem fluvial para construção civil (areia e argila), apresentando depósitos pequenos e sem significado econômico. Gnaisses, granitóides e veios pegmatóides podem ocorrer intemperizados, dando como produto final caulim proveniente da decomposição dos feldspatos, porém sem significado econômico na região.

Ressalta-se que na região do Rio Itacolomi (ou Rio do Leite), localizado na Zona de Amortecimento do PEI, ocorrem anomalias de cobre (Cu), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), com potencial muito significativo de mineralizações, tendo em vista a similaridade com outros depósitos explorados do Vale do Ribeira, como do Perau e Araçazeiro. Os indícios de mineralizações correspondem à disseminação e/ou finos leitos de galena e pirita em rochas carbonáticas associadas a formações ferríferas bandadas, intercaladas com xistos carbonosos e clorita-sericita quartzo xistos (Morgental *et al.* 1975).

A partir de dados obtidos em IPT (1981), CPRM (2006) e um levantamento das áreas requeridas para pesquisa mineral e/ou lavra nos arquivos do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) para a área do PEI e sua Zona de Amortecimento, observa-se como bens minerais na região: areia, argila, calcário e dolomito, chumbo, filito, turfa, cianita, feldspato, fluorita, ouro, pirita e prata (Figura 13).

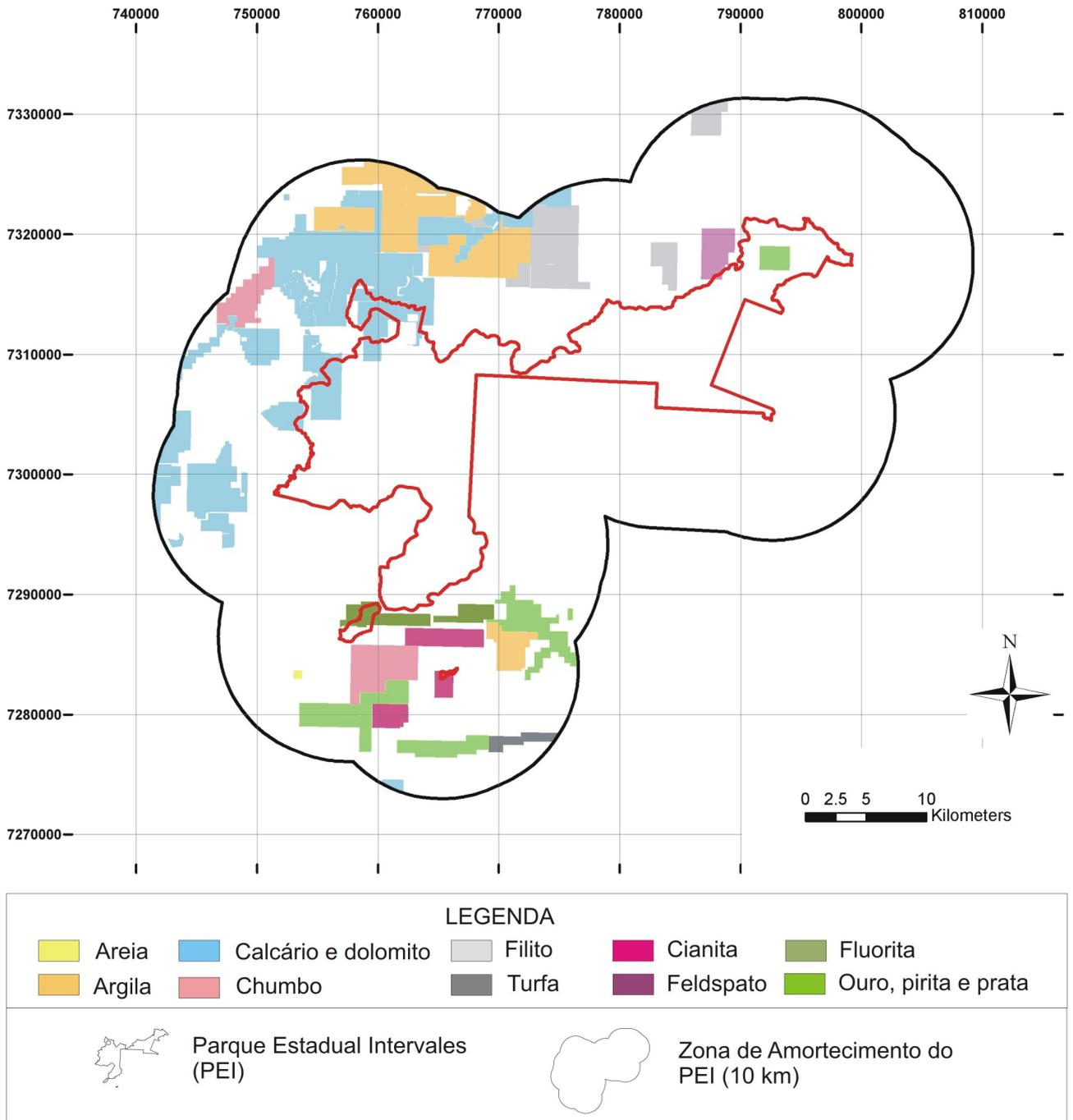


Figura 13. Mapa com delimitação das principais ocorrências de bens minerais na área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento, a partir dos polígonos delimitados de processos minerários junto ao DNPM.

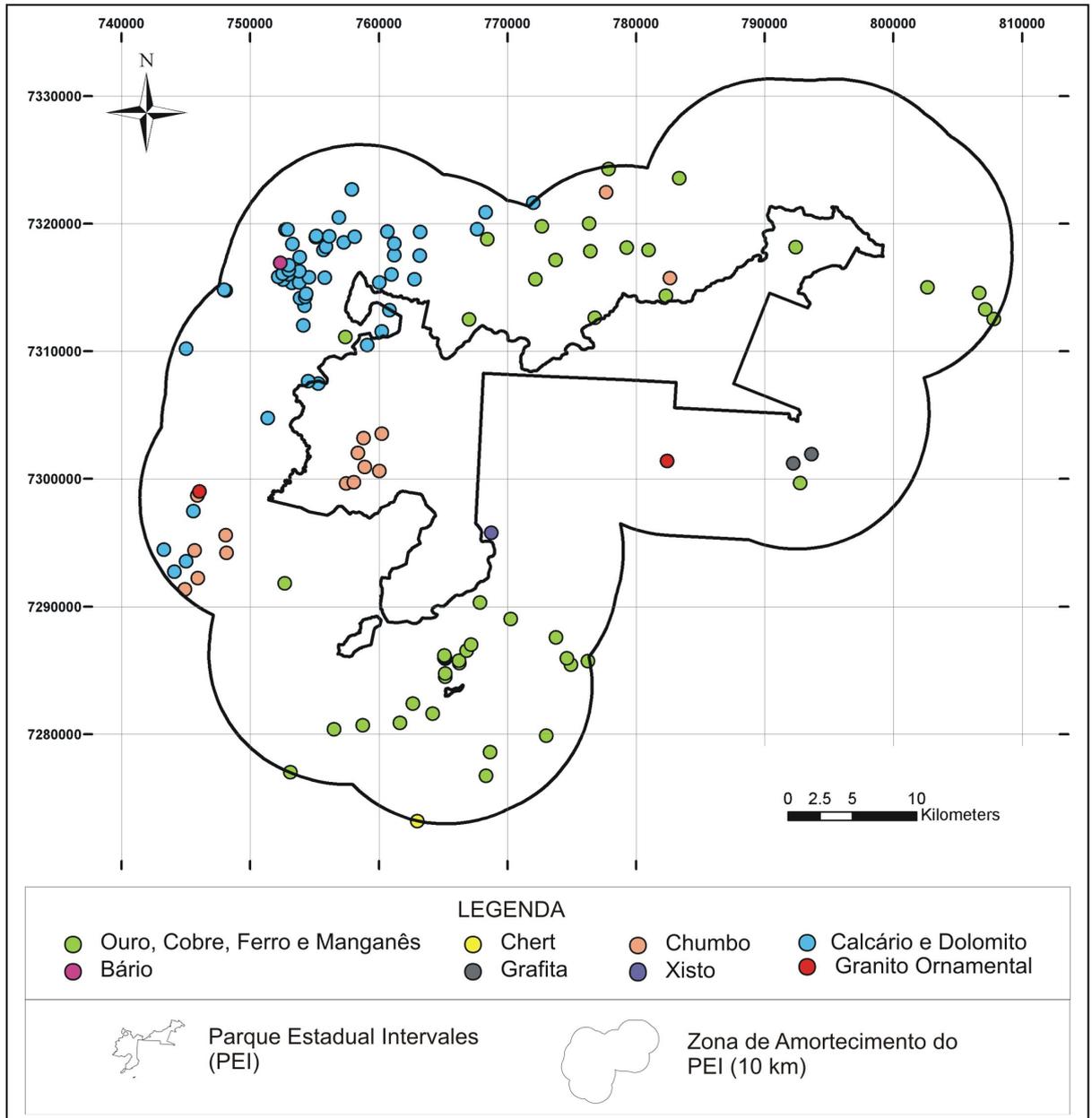


Figura 14. Localização dos pontos de ocorrências minerais na área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento identificados pela CPRM (2006).

Ocorrência das rochas carbonáticas

Na área do PEI e sua Zona de Amortecimento há destaque em relação às rochas carbonáticas. Estas unidades carbonáticas contem um Sistema Cárstico com diversas cavidades naturais, um dos maiores atrativos turísticos do PEI, e constante conflito com a atividade minerária por conter os bens minerais mais explorados da região (calcário, dolomito e magnesita), que serão tratados em detalhe por capítulos posteriores neste Plano de Manejo.

Este conflito minerário existe devido ao fato de que a maior parte de unidades carbonáticas proterozóicas com grande potencial para a indústria cimenteira localizam-se na região sul do Estado de São Paulo (Figura 15), no Vale do Ribeira. Grande parte dessas reservas minerais, com composições mais calcíticas, encontram-se em áreas protegidas, como no Parque Estadual Intervales (PEI), no Mosaico de Jacupiranga e Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), ou ocorrem em áreas sem restrição ambiental mas apresentam composições mais dolomíticas ou silicosas como na região dos municípios de Itapeva, Nova Campina e Bom Sucesso de Itararé (Figura 16).

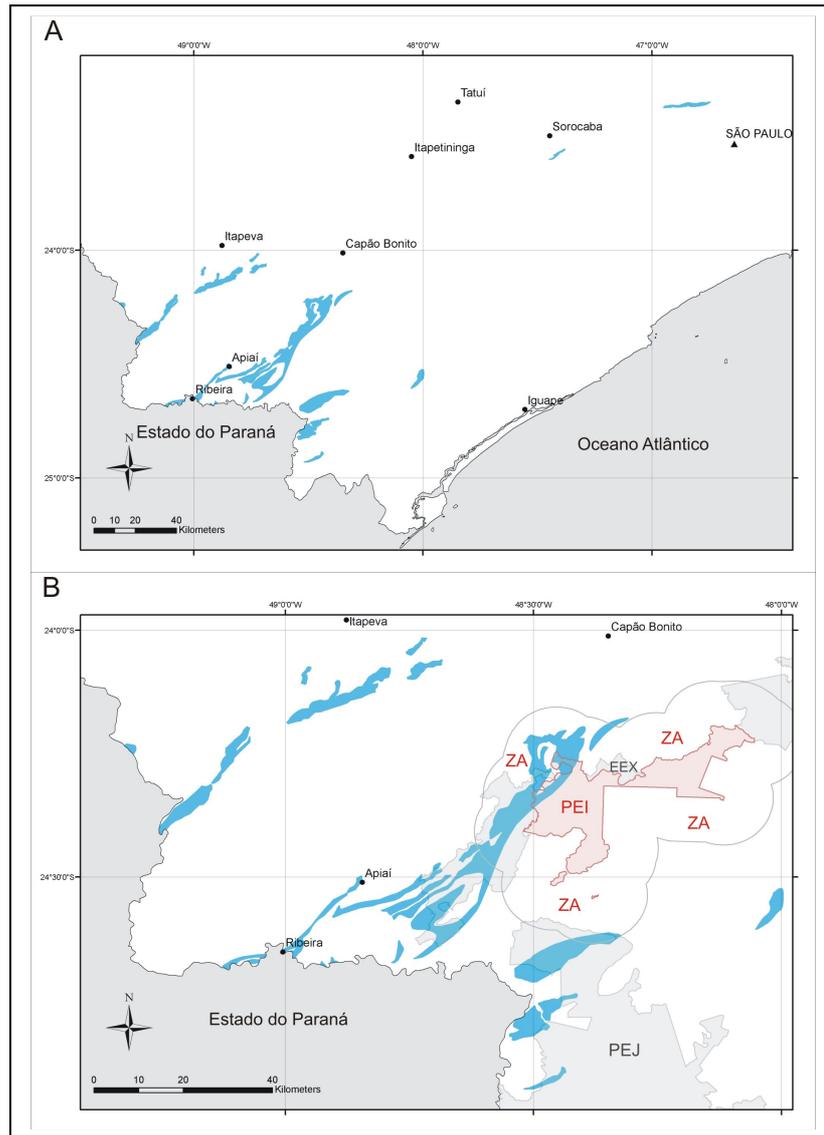


Figura 15. (A) Localização das unidades geológicas carbonáticas proterozóicas no Estado de São Paulo e, (B) nas áreas do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento (ZA), Mosaico de Jacupiranga e Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), Parque Estadual Carlos Botelho (PECB) e Estação Ecológica Xitúé (EEX).

Em relação à caracterização geológica, as rochas carbonáticas que ocorrem na área do PEI e sua Zona de Amortecimento tem pequena extensão em área, correspondendo a 5,70% da área do PEI e 7,09% da área da Zona de Amortecimento (ZA). Quando é analisada a área conjunta do PEI e da sua ZA, as rochas carbonáticas perfazem 6,49% da área total. Deste total, 16,42 % das rochas carbonáticas ocorrem na área do PEI, onde é expressamente proibida a atividade minerária, e 83,58% ocorrem na sua Zona de Amortecimento. Na sua Zona de Amortecimento 57,09% estão localizadas em áreas protegidas, sendo 39,41% no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e 17,67% no Mosaico de Jacupiranga, enquanto 42,91% encontram-se em áreas sem nenhuma restrição ambiental (Tabela 4.1).

Tabela 3. Distribuição das rochas carbonáticas no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento (ZA), que inclui áreas do PETAR (Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira) e Mosaico de Jacupiranga.

| Rochas Carbonáticas | % de ocorrência em área em cada unidade | % do total em área de ocorrência (PEI + ZA) | % áreas protegidas |
|---------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------|
| PEI | 5,70% | 16,42% | 100% |
| ZA | 7,09% | 83,58% | 57,09% |

Do ponto de vista geoquímico, estes carbonatos apresentam composições distintas de CaO e MgO, bem como variações na composição siliciclástica. Essas distintas composições nas rochas carbonáticas da região refletem no tipo de exploração mineral, bem como na compartimentação do Sistema Cárstico e a distribuição das cavidades naturais.

As rochas carbonáticas da região apresentam maiores teores de CaO em relação a MgO e SiO₂ (Figuras 16, 17 e 18), principalmente na área da Zona de Amortecimento do PEI localizada em áreas sem restrição ambiental.

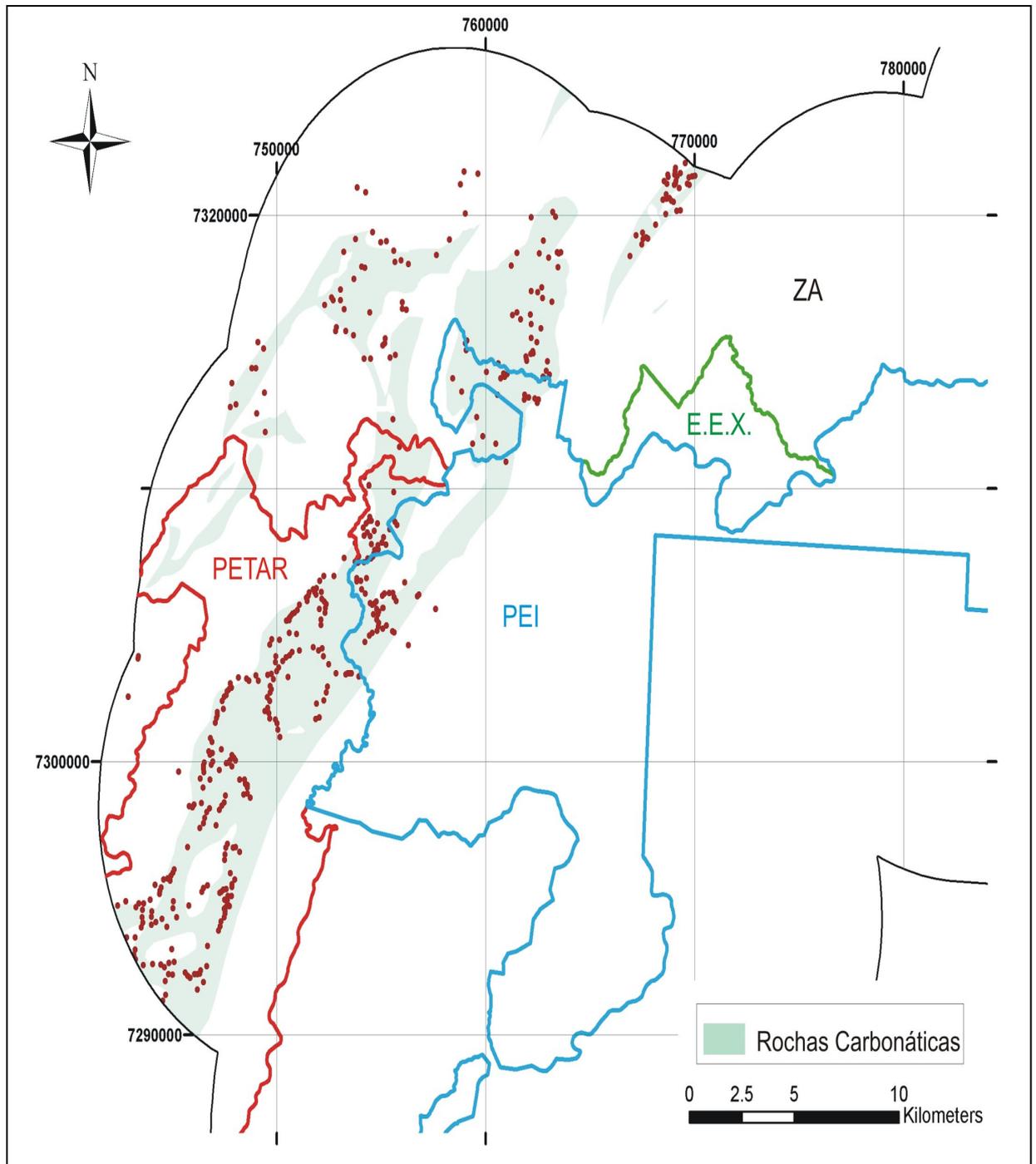


Figura 16. Localização dos pontos com análise química das unidades geológicas carbonáticas que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento, incluindo áreas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e Estação Ecológica Xitúé (EEX) (fonte: CPRM/DNPM 1972).

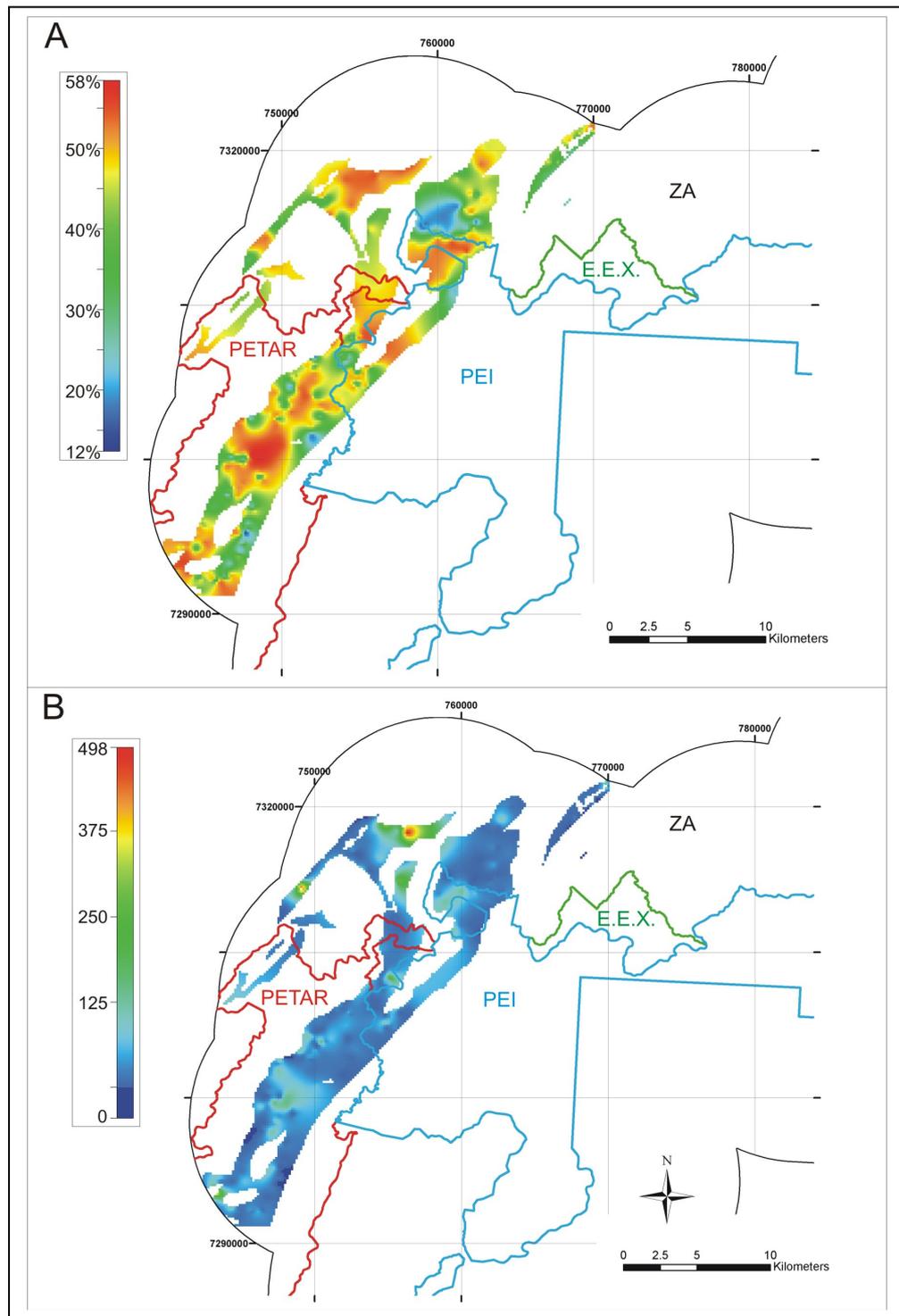


Figura 17. Distribuição da porcentagem na composição das unidades geológicas carbonáticas que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento, incluindo áreas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e Estação Ecológica Xitué: (A) CaO e (B) CaO/MgO (fonte: CPRM/DNPM 1972).

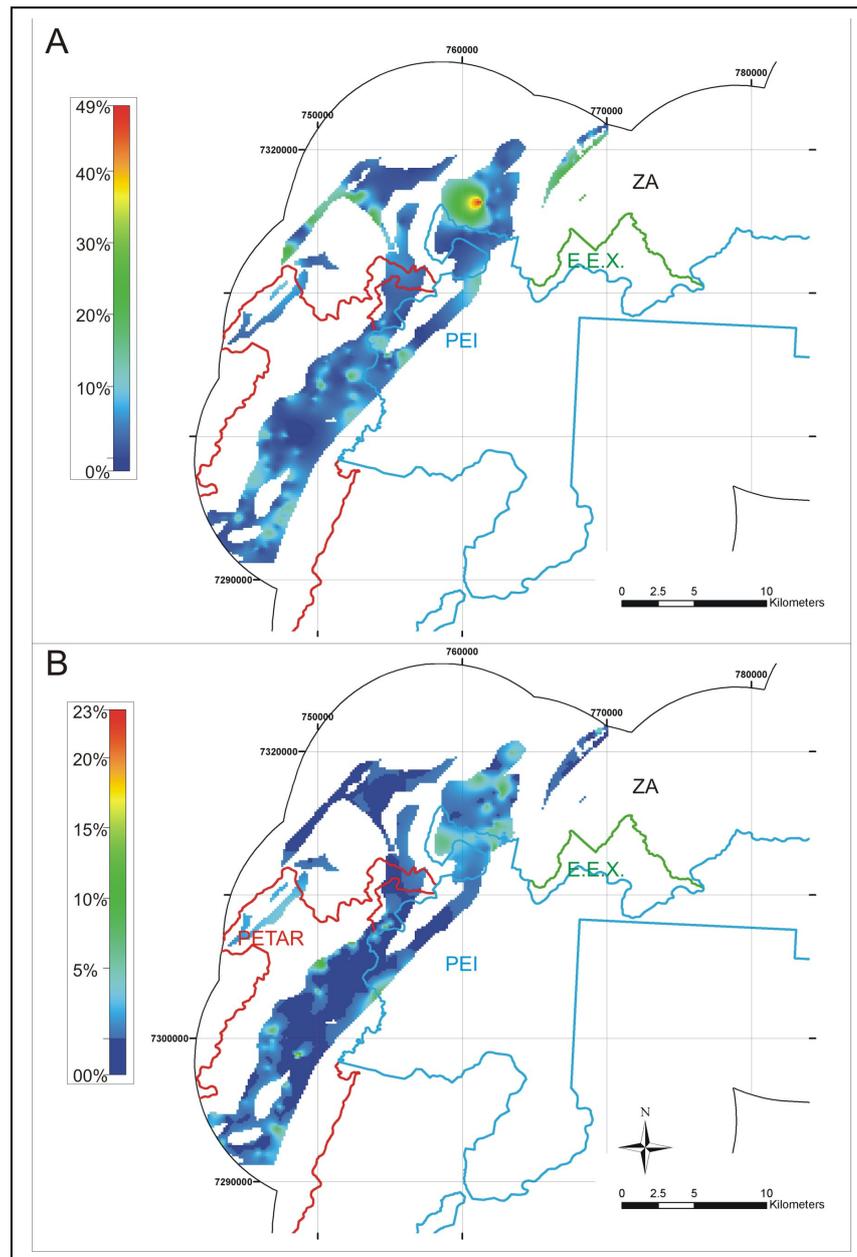


Figura 18. Distribuição da porcentagem na composição das unidades geológicas carbonáticas que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento, incluindo áreas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e Estação Ecológica Xitú: (A) MgO e (B) SiO₂ (fonte: CPRM/DNPM 1972).

Importância econômica das rochas carbonáticas

CPRM/DNPM (1972) identificou os tipos de aplicação industrial mineral das unidades geológicas carbonáticas do Vale do Ribeira a partir da composição geoquímica (Tabela 3.1.1-4). Na área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento foram identificados: calcário para

cimento, calcário dolomítico e dolomito calcífero, calcário silicos para pavimentação e, dolomito para cal e corretivo de solo (Tabela 4 e Figura 19).

Tabela 4. Classificação utilizada por CPRM/DNPM (1972) para caracterizar os bens minerais carbonáticos do Vale do Ribeira em relação ao teor de CaO e MgO.

| Tipo | CaO | MgO |
|------------------------------------------|-------|-------------|
| Calcário para cimento | ≥ 42% | ≤ 4% |
| Calcário dolomítico e dolomito calcífero | - | 4,3 a 19,1% |
| Calcário silicoso para pavimentação | <42% | < 1% |
| Dolomito para cal e corretivo de solo | - | 19,1 a 22% |

No ano de 2005 (DNPM 2006) de todo o calcário comercializado no Brasil, 44,80% foi utilizado pela indústria cimenteira, 18,67% para construção civil, 4,97% para corretivo de solo, 3,72% extração e beneficiamento de minerais e 2,52% para cal. O dolomito e magnesita representa 27% para corretivo de solo, 4,68% para fabricação de óxidos e 3,93% para cal e 2,90% para construção civil. De todo calcário bruto produzido no Estado de São Paulo, 94,5% é consumido no próprio Estado.

Das reservas minerais do Brasil (DNPM 2006), em São Paulo tem-se de reserva lavrável 7,13% de calcário e 4,04% de dolomito e magnesita (Tabela 5).

Tabela 5. Reservas Minerais de 2005 (DNPM 2006) de calcário, dolomito e magnesita no Brasil e Estado de São Paulo.

| Classe | Reserva (toneladas) | | | |
|-----------------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| | medida | indicada | inferida | lavrável |
| calcário | | | | |
| Brasil | 49.410.979.875 | 29.959.685.186 | 26.265.945.460 | 43.705.014.298 |
| Estado de São Paulo | 3.126.753.572 | 1.945.159.006 | 679.326.870 | 3.115.818.617 |
| % da reserva SP | 6.33% | 6.49% | 2.59% | 7.13% |
| dolomito e magnesita | | | | |
| Brasil | 8.797.014.933 | 3.881.285.385 | 2.214.345.539 | 5.127.705.426 |
| Estado de São Paulo | 196.252.741 | 67.177.980 | 26.144.072 | 207.170.825 |
| % da reserva SP | 2.23% | 1.73% | 1.18% | 4.04% |

As reservas minerais lavráveis que ocorrem nos municípios que abrangem o PEI e sua Zona de Amortecimento (Apiáí, Capão Bonito, Eldorado, Guapiara, Iporanga, Ribeirão Grande e Sete Barras) representam, das reservas lavráveis, 67,07% de calcário e 19,87% de dolomito e magnesita do Estado de São Paulo em 2005 (DNPM 2006) (Tabela 6).

Considerando que de todo calcário bruto produzido no Estado de São Paulo, 94,5% é consumido no próprio Estado (DNPM 2006), os valores de reservas minerais, produção bruta de minério (Tabela 6), quantidade e valor da produção mineral comercializada (Tabela 7), nos municípios que abrangem o PEI e sua Zona de Amortecimento são bem representativos. A maior parte das lavras de minas do Estado de São Paulo em 2005 (DNPM 2006) são de médio a pequeno porte com mina a céu aberto (Tabela 8).

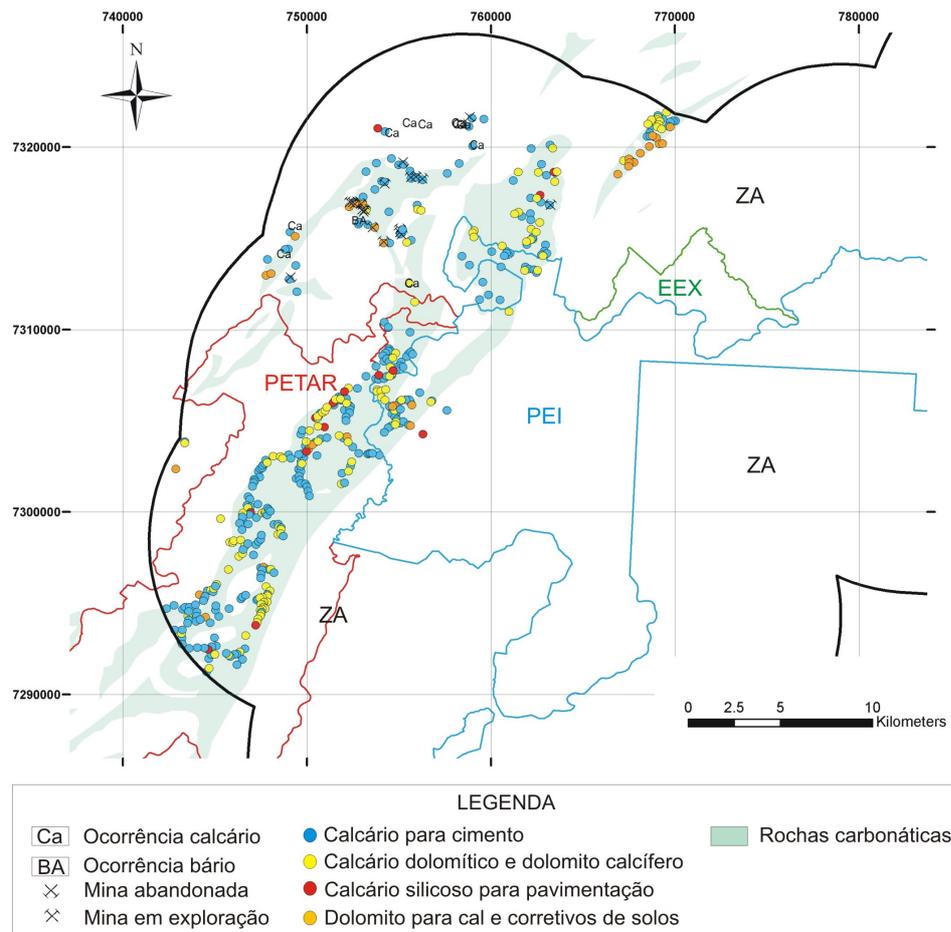


Figura 19. Classificação segundo CPRM/DNPM (1972) baseada na composição geoquímica das unidades geológicas carbonáticas que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento (CPRM/DNPM 1972), para tipo de aplicação mineral.

Tabela 6. Reservas Minerais de 2005 (DNPM 2006) de calcário, dolomito e magnesita nos municípios que abrangem o PEI e sua Zona de Amortecimento (*municípios de Apiaí, Capão Bonito, Eldorado, Guapiara, Iporanga, Ribeirão Grande e Sete Barras).

| Municípios que abrangem o PEI e sua Zona de Amortecimento * | | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| calcário | | | | |
| Classe | Reserva (toneladas) | | | |
| | medida | indicada | inferida | lavrável |
| Apiaí | 629.650.643 | 205.280.743 | 108.088.000 | 630.825.643 |
| Capão Bonito | 91.180.303 | 63.635.700 | 11.346.750 | 91.180.303 |
| Eldorado | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Guapiara | 280.564.298 | 87.698.212 | 70.279.555 | 246.995.892 |
| Iporanga | 782.049.049 | 804.713.893 | 102.044.425 | 720.314.149 |
| Ribeirão Grande | 525.499.291 | 285.457.200 | 113.491.750 | 400.558.631 |
| Sete Barras | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 2308943584 | 1446785748 | 405250480 | 2089874618 |
| % da reserva SP | 73.84% | 74.38% | 59.65% | 67.07% |
| dolomito e magnesita | | | | |
| Classe | Reserva (toneladas) | | | |
| | medida | indicada | inferida | lavrável |
| Apiaí | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Capão Bonito | 1.400.000 | 3.000.000 | 0 | 1.400.000 |
| Eldorado | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Guapiara | 25.894.290 | 514.670 | 514.670 | 25.894.290 |
| Iporanga | 8.200.000 | 8.790.000 | 4.150.000 | 8.200.000 |
| Ribeirão Grande | 5.676.000 | 3.656.000 | 4.046.000 | 5.676.000 |
| Sete Barras | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 41170290 | 15497467 | 8247467 | 41170290 |
| % da reserva SP | 20.98% | 23.07% | 31.55% | 19.87% |

Tabela 7. Produção bruta de minério de 2005 (DNPM 2006).

| Classe | Produção em quantidade ton. | |
|------------------------------|-----------------------------|-------------|
| | Bruta | Beneficiada |
| calcário | | |
| Brasil | 80.379.623 | 71.321.864 |
| Estado de São Paulo | 12.510.844 | 12.167.037 |
| % de SP na produção nacional | 15.56% | 17.06% |
| dolomito e magnesita | | |
| Brasil | 6.568.447 | 1.766.560 |
| Estado de São Paulo | 220.631 | 198.292 |
| % de SP na produção nacional | 3.36% | 11.22% |

Tabela 8. Quantidade e valor da produção mineral comercializada de 2005 (DNPM 2006).

| Classe | Bruta | | Beneficiada | | Valor Total (R\$) |
|------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|
| | quant. (ton) | valor (R\$) | quant. (ton) | valor (R\$) | |
| calcário | | | | | |
| Brasil | 21.932.985 | 117.942.754 | 66.311.515 | 749.326.304 | 867.269.058 |
| Estado de São Paulo | 721.749 | 3.976.516 | 9.033.674 | 147.565.944 | 151.542.560 |
| % de SP na produção nacional | 3.29% | 3.37% | 13.62% | 19.69% | 17.47% |
| dolomito e magnesita | | | | | |
| Brasil | 1.048.082 | 4.747.986 | 1.800.807 | 206.078.230 | 210.826.216 |
| Estado de São Paulo | - | - | 198.516 | 5.900.022 | 5.900.022 |
| % de SP na produção nacional | 0.00% | 0.00% | 11.02% | 2.86% | 2.80% |

Tabela 9. Porte e modalidade de lavra das minas de São Paulo em 2005 (DNPM 2006) (Produção bruta anual: grande- > 1.000.000 ton., média- entre 1.000.000 e 100.000 ton., pequena- entre 100.000 e 10.000 ton.; CA: mina céu aberto, M: mina mista, S: mina subterrânea).

| Classe | grande | | | média | | | pequena | | | sub-total | | | total |
|----------------------|--------|---|---|-------|---|---|---------|---|---|-----------|---|---|-------|
| | CA | M | S | CA | M | S | CA | M | S | CA | M | S | |
| calcário | 3 | 0 | 0 | 16 | 1 | 0 | 17 | 0 | 0 | 36 | 1 | 0 | 37 |
| dolomito e magnesita | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 |

3.1.1.6 HIDROGEOLOGIA

Neste estudo, tentou-se esboçar o potencial e as disponibilidades hídricas subterrâneas na área do PEI e sua Zona de Amortecimento. Porém não há condições, de separar quantificar as parcelas que alimentam o sistema granular ou poroso, o sistema fraturado e o sistema cárstico, devido a sua heterogeneidade e anisotropia. As maiores dificuldades referem-se à determinação da real espessura saturada do sistema, embora se saiba que a maior densidade de fendas abertas e cavidades naturais ocorrem, em geral, em níveis superficiais em poucos metros de profundidade. Em segundo lugar, e esta constitui a principal dificuldade, não se conhece a distribuição espacial dos coeficientes de armazenamento ou porosidade, além do sistema fraturado não apresentar conectividade em profundidade, enquanto o sistema cárstico provavelmente apresenta conectividade em profundidade.

Pode-se fazer uma estimativa muito preliminar da reserva de água subterrânea que ocorre na área do PEI e sua Zona de Amortecimento admitindo-se os seguintes valores: Área de cerca de 2480 Km², espessura saturada de 60 metros, porosidade eficaz 0,001, resultando em uma Reserva permanente de 1488.10³ m³.

Unidades Aquíferas

A compartimentação dos sistemas aquíferos da área do PEI e sua Zona de Amortecimento foi realizada com base nos litotipos e descontinuidades presentes, e da interpretação da natureza da porosidade apresentada pelos mesmos. As unidades aquíferas da área de estudo podem ser agrupadas em três sistemas de aquíferos distintos: sistema granular ou poroso e sistema fraturado (Tabela 10 e Figura 20).

Tabela 10. Unidades aquíferas da área estudada e características hidráulicas. Condutividades hidráulicas estimadas com base nas características texturais e estruturais das rochas. Valores tabelados extraídos de Freeze e Cherry (1979) e Fetter (1994).

| Sistema de Aquíferos | Unidade aquífera | Tipo de porosidade | Condutividade hidráulica (cm/s) |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Granular ou Poroso | Depósitos sedimentares cenozóicos (aluvial, coberturas coluviais, tálus e mantos de alteração) | permeável, porosidade primária: intergranular | 10^{-7} a 10^2 |
| Fraturado | Granitóides Supergrupo Açungui (Formação Água Clara, Grupo Setuva e Grupo Votuverava) | Impermeável e porosidade secundária: planos de estratificação, descontinuidades (fratura, falha, xistosidade) | 10^{-7} a 10^{-2} |
| Cárstico | Grupo Votuverava (Subgrupo Lajeado - Form. Bairro da Serra e Form. Mina de Furnas) | Condutos e porosidade secundária (planos de estratificação e descontinuidades como fraturas, falhas e xistosidade) | 10^{-7} a 10^{-2} |

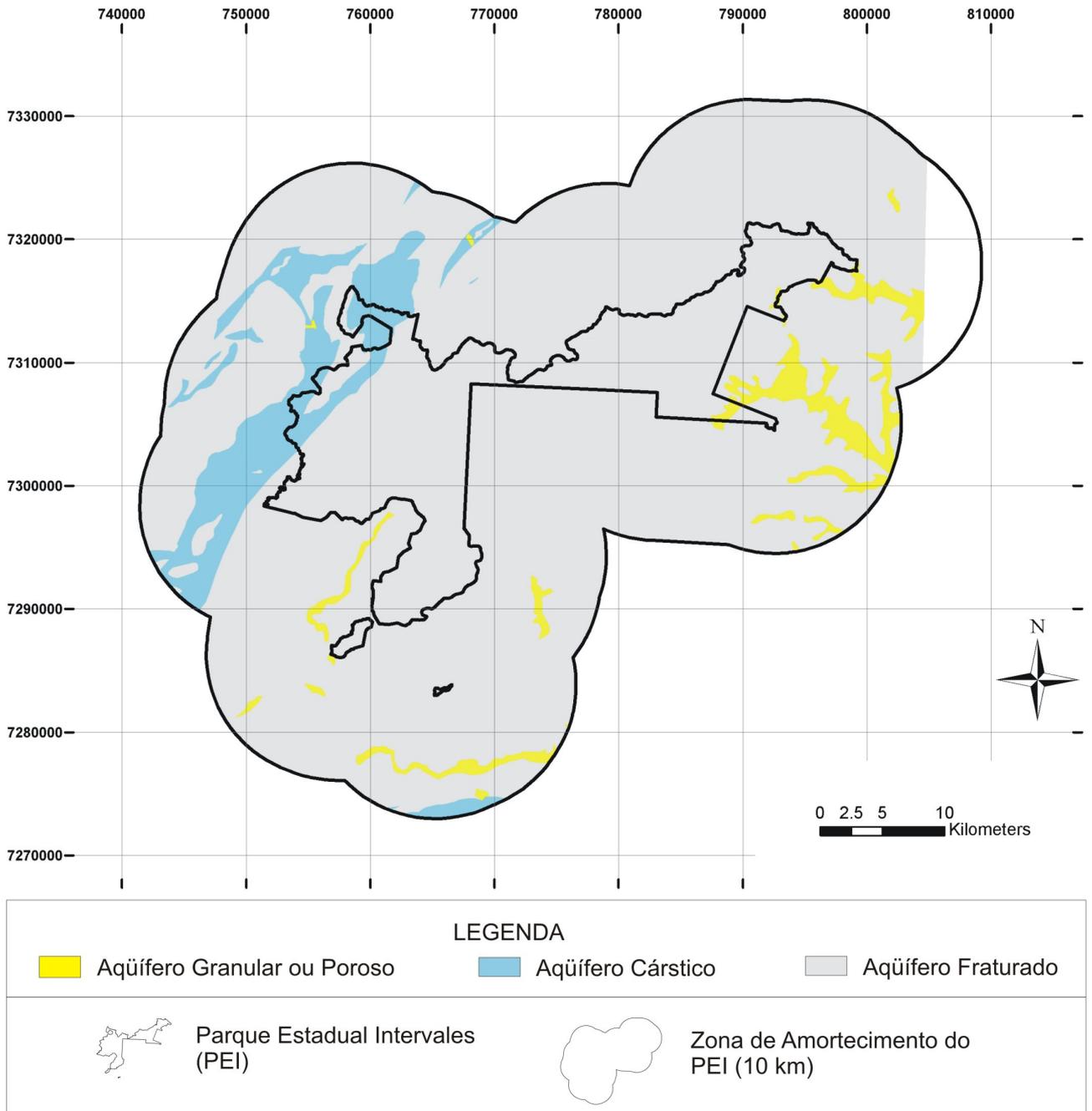


Figura 20. Sistema de aquíferos que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento.

- Sistema Granular ou Poroso

Composto pelos depósitos sedimentares cenozóicos, formando aquíferos aluviais, de coberturas coluviais, tálus e mantos de alteração. Apresentam níveis d'água profundos e rasos, devido à sua condição topográfica variada, pequena espessura saturada e baixa vazão específica. Suas condições

de ocorrência favorecem uma rápida drenagem e alimentação dos cursos d'água, tendo importante função reguladora do escoamento superficial.

Este sistema ocupa uma área de cerca de 140 km², perfazendo cerca de 3,24% da área de recarga, e assumem importância em alguns trechos dos principais rios da região.

Nos períodos sem chuva a água percola pelo sistema granular ou poroso de forma lenta e gradativa para o topo do aquífero fraturado e cárstico, responsável pelo abastecimento do deflúvio da bacia. Já nos períodos chuvosos, a infiltração da água é alta e a profundidade do nível de água subterrâneo se eleva enquanto a frente de molhamento estende-se em direção às camadas mais profundas ou de menos permeabilidade do sistema fraturado e cárstico, a direção do fluxo da água na camada saturada sistema granular ou poroso é desviada ao longo da declividade do terreno, resultando no escoamento subsuperficial, que é o responsável pelo aumento do deflúvio da bacia.

Os aquíferos aluviais apresentam pequenas espessuras (da ordem de uma dezena de metros), correspondendo aos aluviões que ocorrem nos principais rios da área. Apresentam níveis d'água próximo à superfície e recebem recarga direta das águas de escoamento superficial, com as quais mantêm conexão hidráulica constituindo uma zona de trocas ativas rio-aquífero, e por infiltração meteórica. Provavelmente os aquíferos aluviais apresentam o nível de água próximo à superfície durante a estação chuvosa e algum tempo após o início da estação seca, sendo cursos de água efluentes. Em seguida, sofrem um rebaixamento acentuado, sendo cursos de água influentes. Embora não se tenha informação local da condutividade hidráulica, a mesma deve variar bastante em função da natureza dos sedimentos como arredondamento, seleção e empacotamento.

Os aquíferos em coberturas coluviais, tálus e mantos de alteração compreendem os pacotes de sedimentos detríticos e coberturas de natureza coluvionar e de tálus, que configuram condições favoráveis a infiltração de modo que constituem as principais áreas de recarga da região.

A recarga nos aquíferos de cobertura ocorre diretamente através da percolação de água meteórica em suas áreas de ocorrência, apresentando níveis d'água mais profundos, em comparação aos Aquíferos aluviais. As coberturas têm em geral permeabilidade elevada, razão pela qual as águas neles infiltradas percolam até o topo do substrato impermeável de rochas Granitóides, do Supergrupo Açungui ou do Grupo Votuverava, formando um lençol freático pouco espesso. O escoamento dessas águas é comandado pela inclinação do substrato e pelos sistemas de fraturas subjacentes, formando zonas de descarga nas escarpas, constituindo fontes ou nascentes de encostas, no contato com as rochas quando estão pouco alteradas, devido a diferença de porosidade e permeabilidade entre as unidades geológicas.

Porém, quando as rochas Granitóides, do Supergrupo Açungui ou do Grupo Votuverava apresentam espessuras razoáveis de material alterado ou com descontinuidade adequada (descontinuidades com extensão, abertura e grau de conectividade) é favorável à recarga para o meio fissurado. Neste caso o aquífero atua como meio condutor, e não armazenador.

- Sistema Fraturado

Na área do PEI e sua Zona de Amortecimento predominam os aquíferos em meio fraturado. Como os sistemas fraturados têm uma permeabilidade primária muito baixa ou nula, podendo ser

considerada impermeável, a ocorrência e o armazenamento de água restringem-se aos sistemas de descontinuidades (juntas, fraturas, falhas, estratificação, xistosidade). Embora algumas fontes ou pequenas filtrações possam ocorrer nas encostas e cabeceiras de drenagem, a descarga desses aquíferos se processa principalmente no fundo dos vales.

No sistema fraturado ocorre o *Aquífero Granitóides*, *Aquífero Supergrupo Açungui* ou *Aquífero Grupo Votuverava* que apresentam feições estruturais com maior ou menor incidência e densidade de fraturas responsáveis por variações locais na permeabilidade. Tais comportamentos devem-se ao alargamento da abertura de juntas, e ao melhor desenvolvimento das descontinuidades em rochas mais competentes.

A área do PEI e sua Zona de Amortecimento, este sistema ocupa uma área de cerca de 3900 km², perfazendo cerca de 90,27% da área de recarga, e assumem maior importância na região.

As rochas Granitóides, do Supergrupo Açungui e do Grupo Votuverava apresentam manto de alteração, que aloja rede de drenagem mais densa com direções concordantes aos padrões estruturais regionais, facilitando o escoamento superficial em detrimento da infiltração. A recarga deste aquífero ocorre através da infiltração direta em suas descontinuidades através de água meteórica ou infiltração através da cobertura que forma o manto de intemperismo.

O *Sistema Granular* ou *Poroso* recobre o *Sistema Fraturado* em várias localidades em discordância erosiva. No geral, os sedimentos cenozóicos apresentam maiores valores de condutividade hidráulica, favorecendo uma infiltração mais rápida para o topo do *Sistema Fraturado*. A baixa condutividade hidráulica de alguns setores de coberturas formadas por alteração intempérica, dependendo do tipo de rocha geradora, pode atuar como retardador na infiltração no caso de espessuras elevadas, influenciando em condições de recarga, circulação e armazenamento do *Sistema Fraturado* porque adquire nesta zona porosidade secundária do tipo granular. O *Sistema Fraturado* corresponde a uma parcela do fluxo de base dos rios da região, considerando a parcela de recarga indireta que recebem dos aquíferos de cobertura.

- Sistema Cárstico

A área do PEI e sua Zona de Amortecimento, este sistema que ocorre em rochas carbonáticas, ocupa uma área de cerca de 280 km², perfazendo cerca de 6,49% da área de recarga.

Os sistemas cársticos têm uma permeabilidade primária muito baixa ou nula, podendo ser considerada impermeável, sendo que a ocorrência e o armazenamento de água restringem-se a porosidade secundária, que é gerada por dissolução na rocha, formando cavidades. Essas cavidades desenvolvem-se preferencialmente ao longo de sistemas de descontinuidades (juntas, fraturas, falhas e estratificação), devido a favorabilidade de percolação de água nestes meios. A absorção e o transporte de água ocorre sob a superfície, o que leva ao surgimento de feições de relevo típicas, ligadas ao sistema de condutos subterrâneos por onde a água é conduzida.

As rochas que compõem o sistema cárstico pode apresentar um manto de alteração, que aloja rede de drenagem mais densa com direções concordantes aos padrões estruturais regionais, facilitando o escoamento superficial em detrimento da infiltração. A recarga deste aquífero ocorre através da infiltração direta em suas descontinuidades e cavidades geradas, através de água meteórica ou infiltração através da cobertura que forma o manto de intemperismo.

O *Sistema Granular ou Poroso* recobre o *Sistema Cárstico* em várias localidades em discordância erosiva. No geral, os sedimentos cenozóicos apresentam maiores valores de condutividade hidráulica, favorecendo uma infiltração mais rápida para o topo do *Sistema Cárstico*.

Vulnerabilidade dos sistemas aquíferos à contaminação

Na simulação do risco de contaminação da água e do solo por efluentes gerados, segundo método GOD (Foster *et al* 2002), com exceção do *Sistema Granular ou Poroso*, cujo nível d'água encontra-se com menor profundidade, nos demais sistemas aquíferos a vulnerabilidade do aquífero à contaminação foi calculada em Média a Baixa. A Tabela 11 apresenta os valores de GOD e o grau de vulnerabilidade calculado para cada sistema aquífero identificado.

Tabela 11. Parâmetros GOD e graus de vulnerabilidade calculados para os sistemas aquíferos identificados.

| Sistema | G | O | D | Resultado | Grau de Vulnerabilidade |
|------------------------|-----|-----|-----|-----------|-------------------------|
| Granular ou Poroso | 1,0 | 0,7 | 0,9 | 0,63 | Alta |
| Faturado - coberto | 0,6 | 0,4 | 0,8 | 0,19 | Baixa |
| Faturado - não coberto | 1,0 | 0,4 | 0,8 | 0,32 | Média |
| Cárstico - coberto | 0,6 | 0,9 | 1,0 | 0,54 | Alta |
| Cárstico - não coberto | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | Extrema |

