

## 3.1.2 CARSTE

### 3.1.2.1 METODOLOGIA

A caracterização do sistema cárstico e de sua vulnerabilidade no PEI e da Zona de Amortecimento baseou-se no levantamento bibliográfico de informações geológicas e geomorfológicas e teve como apoio a utilização de técnicas de geoprocessamento, envolvendo o uso de imagens de satélite e de radar, além de plantas topográficas. Não foram realizados levantamentos de campo específicos para o Plano de Manejo, mas a equipe realizou inúmeros trabalhos de campo na região em projetos anteriores. Foi realizado um sobrevôo, que abrangeu toda a área cárstica do PEI e ZA.

#### Análise de fenômenos cársticos

Para a análise dos fenômenos cársticos utilizou-se a base geológica descrito no **Capítulo 3.1.1 Geologia**, de onde foram extraídos os limites das rochas carbonáticas em escala 1:50.000 de Campanha (2002).

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.

As feições cársticas de superfície (depressões poligonais fechadas, sumidouros e cones cársticos) foram extraídas por Hiruma *et al.* (2007) com base em fotografias aéreas na escala 1:25.000, o qual originou o mapa de depressões, que foi o principal elemento de análise do carste da região.

Além dessas bases, foram geradas cartas temáticas utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG) em ambiente ARCGIS, referenciados no datum SAD-69. Os dados cartográficos fornecidos pela Fundação Florestal foram conferidos com os mapas originais do IBGE, e algumas correções foram feitas em relação a drenagem nas áreas cársticas.

Foram utilizados dois recortes georreferenciados do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) do satélite LANDSAT-7 e do SRTM - *Shuttle Radar Topographic Mission* (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, adquiridas no servidor de imagens ESDI (2007) da Universidade de Maryland (EUA) do projeto *Landsat Geocover Mosaics da NASA Stennis Space Center*. A fusão das diferentes imagens que compõem o mosaico foi realizada pela Earth Satellite Company (atual MDA, 2004), resultando em uma combinação RGB em composições coloridas a falsa cor. Para a área de estudo foram utilizados 2 imagens (220-77 e 221-77) obtidas em diferentes datas.

Além disso, técnicas de geoprocessamento foram utilizadas para melhor caracterização dos terrenos cársticos e identificação das feições de interesse, a partir da classificação dos terrenos, na definição e identificação de áreas homogêneas, fundamentalmente baseada no padrão da rede de drenagem e em aspectos texturais, e foram gerados os seguintes mapas:

1) Modelo digital de terreno (MDT): foram confeccionados à partir de dados brutos das imagens de radar, de resolução de aproximadamente de 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) na 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) Mapa hipsométrico: foi confeccionado com base no MDT em classes altimétricas, segundo o método de “intervalos iguais” (*equal interval*) onde a distribuição do conjunto de classes teve o mesmo valor de intervalo de 50 m. O mapa hipsométrico destaca a distribuição e a organização espacial das principais unidades de relevo, e representa a altitude da área de estudo em relação ao nível do mar.

3) Mapa de declividade de vertentes: o grau de declividade representa em geral blocos de igual intensidade de dissecação fluvial, e reflete a taxa de variação na elevação. O mapa foi confeccionado a partir do MDT com os valores de declividade em graus. Para melhor visualização em mapa, foi utilizado um intervalo de classes de acordo com a distribuição da ocorrência de declividades, a partir do método de aproximação denominado “quantidades equivalentes ou quantis” (*quantile regression*). Este método ajusta os limites das classes para maximizar a variação perceptiva no mapa, dividindo a distribuição de classes contendo igual número de membros no conjunto.

4) Mapa de rugosidade do relevo: foi confeccionado com base no MDT. Foi estabelecida uma malha quadrática com células de 250 x 250 m, de acordo com a resolução original da imagem de radar obtida, e em cada célula foi calculada a razão entre a área real e a área plana (HOBSON, 1972), utilizando a extensão “Surface Areas and Ratios from Elevation Grid v. 1.2” (JENNESS, 2002) do software ARCVIEW 3.2. Como na área de estudo a rugosidade do relevo exibe valores baixos na maior parte das regiões foi utilizado um intervalo entre as classes de acordo com a distribuição da ocorrência de rugosidades, a partir do método de aproximação denominado “rupturas naturais” (*natural breaks*). Este método ajusta os limites das classes de acordo com a distribuição dos dados, identificando pontos de quebra entre as classes utilizando a fórmula estatística que se baseia na variabilidade dos dados (otimização de Jenk), que minimiza a soma da variância dentro de cada uma das classes. Este método encontra agrupamentos e padrões inerentes aos dados, diferenciando áreas entre si.

Para a obtenção e análise de padrão de lineamentos foram utilizados produtos de sensoriamento remoto (LANDSAT e RADAR) 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, conforme descrito no **Capítulo 3.1.1. Geologia**.

### 3.1.2.2 CONTEXTO REGIONAL

As regiões sudoeste do Estado de São Paulo e norte do Paraná estão inseridas no extremo nordeste da Faixa Carbonática do Subgrupo Lajeado, que representa o alinhamento geral NE-SW de rochas carbonáticas na parte central da Faixa de Dobramentos Ribeira (Figuras no Capítulo 3.1.1 Geologia), onde se situa o PEI e sua ZA. Esta faixa carbonática condiciona os terrenos cársticos e cavernas da “Província Espeleológica do Vale do Ribeira” de Karmann e Sanchez (1979). A Província Espeleológica do Vale do Ribeira, segundo Karmann e Sanchez (1986) é caracterizada por feições cársticas do tipo escarpas rochosas, torres isoladas, dolinas, sumidouros e ressurgências, com cavernas abundantes, com rios subterrâneos e abismos (cavernas verticais).

Karmann & Ferrari (2002) observam que a região caracteriza-se pela superfície carbonática rebaixada em relação às rochas não carbonáticas, condicionando sistemas cársticos de recarga mista com predomínio de injeção alóctone. Esta faixa apresenta setores com paisagem cárstica bem desenvolvida, com variadas formas de carste poligonal e trechos fluviocársticos, além de um expressivo entalhamento vertical associado às drenagens subterrâneas e sistemas de cavernas, como definido na região central da faixa, junto à bacia do Rio Betari (Karmann 1994; Karmann & Sánchez 1986).

Segundo Auler *et al.* (2001) a região do Vale do Ribeira tem potencial para grandes desníveis, mas dificilmente para cavernas com grande desenvolvimento.

Os trabalhos na região concentraram-se em estudos bioespeleológicos ou de exploração de cavernas, como o trabalho de Gnaspini Netto & Trajano (1992) que reuniram um grande número de informações das cavernas da região. Não existem estudos geológicos das cavernas e do carste na região do PEI e ZA.

O carste ocorre no Cinturão Orogênico do Atlântico de Ross *et al.* (Capítulo 3.1.5 Geomorfologia), com áreas mais elevadas corresponde ao Planalto de Guapiara e as áreas mais rebaixadas aos Morros Altos e escarpas da Serra do Mar e Paranapiacaba (Figura 5 e Tabela 1).

Tabela 1. Morfoestruturas, morfoescultura e formas do relevo na área que abrange o carste do PEI e ZA, Segundo Ross *et al.*

MORFOESTRUTURA	MORFOESCULTURA	FORMAS
CINTURÃO OROGENICO DO ATLANTICO	PLANALTO DE GUAPIARA	Sistema de Morros e Superfícies de Cimeira dos Planaltos do Alto Ribeira
	MORROS ALTOS E ESCARPAS DA SERRA DO MAR E PARANAPIACABA	Sistema de Morros e Escarpas das Serras do Mar e Paranapiacaba (Zonas de Unidade de Conservação)

### 3.1.2.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CÁRSTICO

A ocorrência de rochas carbonáticas e do carste no PEI e ZA, está restrita a área W-NW.

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, com maior concentração na ZA.

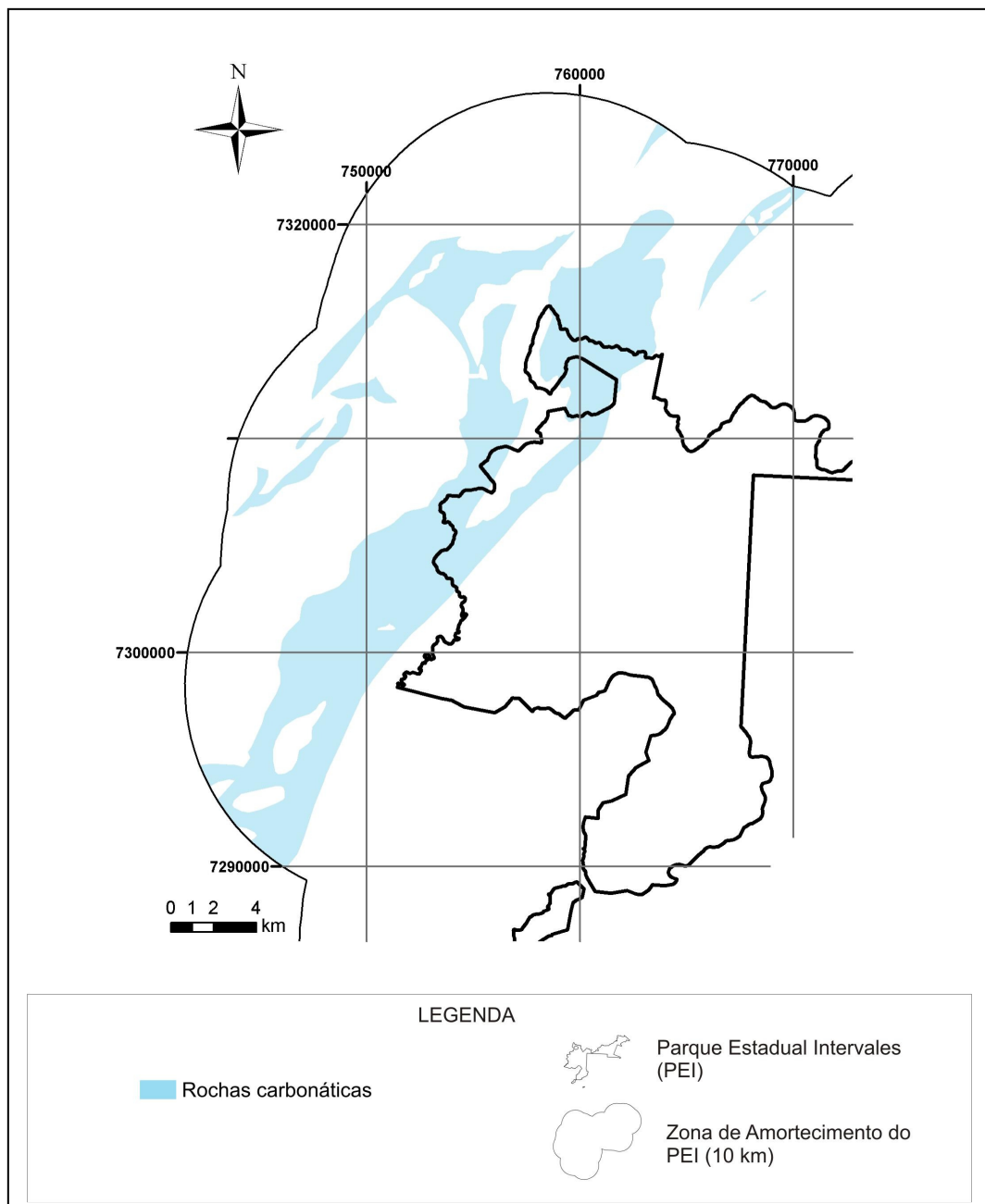


Figura 1. Distribuição das rochas carbonáticas no PEI e ZA.

A área de ocorrência das rochas carbonáticas abrange uma faixa de variação de altitudes de 137 e 1040 m (Figura 2 e 3). As maiores altitudes (acima de 650 m) encontram-se na porção



NE da faixa carbonática, a W-NW do PEI e ZA, enquanto que as áreas mais rebaixadas (abaixo de 650m), mais a sul, em uma proporção de 55 e 45 %, respectivamente. No contexto do Cinturão Orogênico do Atlântico Ross *et al.* (Capítulo 3.1.5 Geomorfologia) as áreas mais elevadas corresponde ao Planalto de Guapiara e as áreas mais rebaixadas aos Morros Altos e escarpas da Serra do Mar e Paranapiacaba (Figura 5 e Tabela 1).

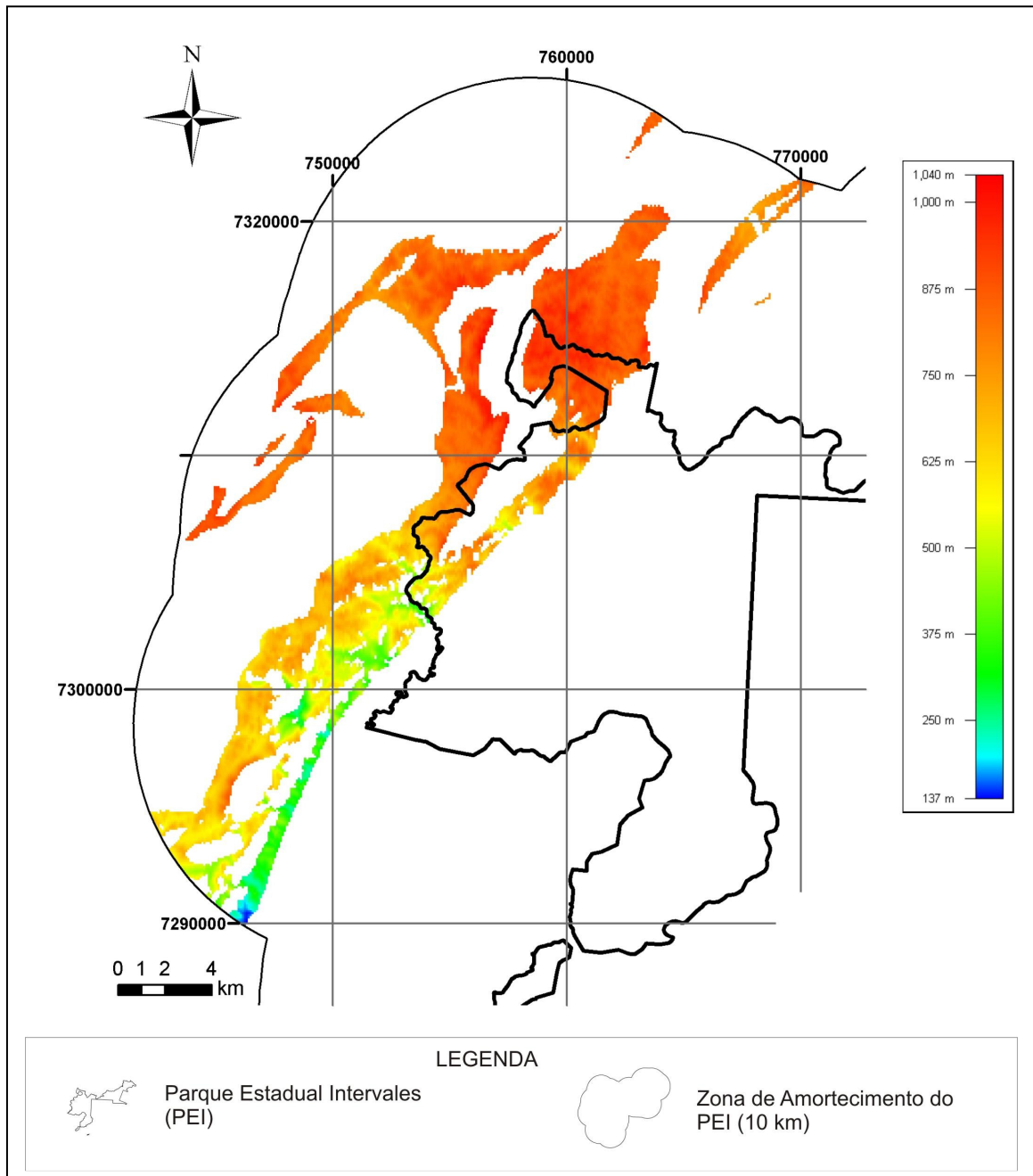


Figura 2. Mapa hipsométrico da área de rochas carbonáticas no PEI e ZA.

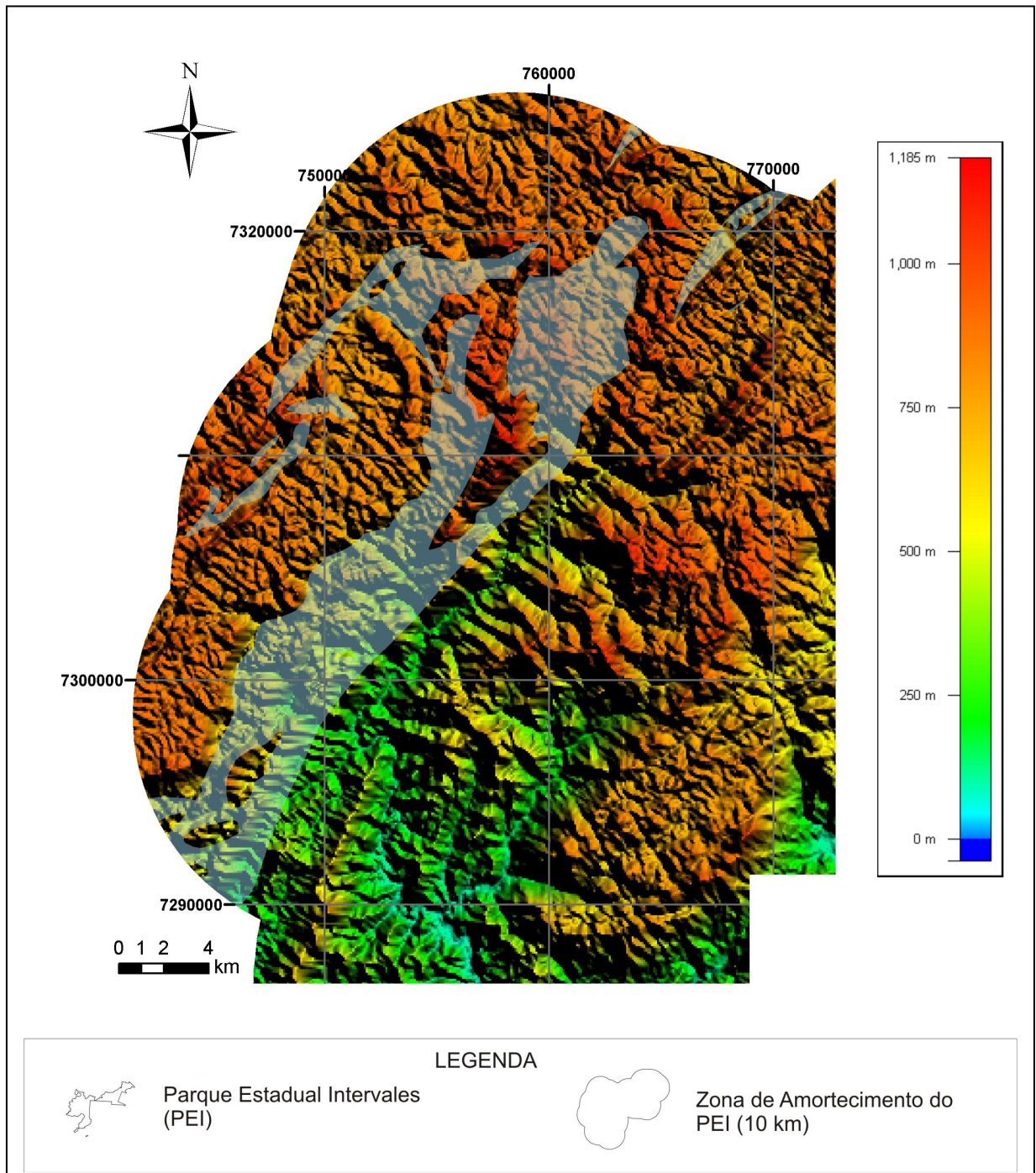


Figura 3. Modelo Digital de Terreno do setor W-NW do PEI e ZA.

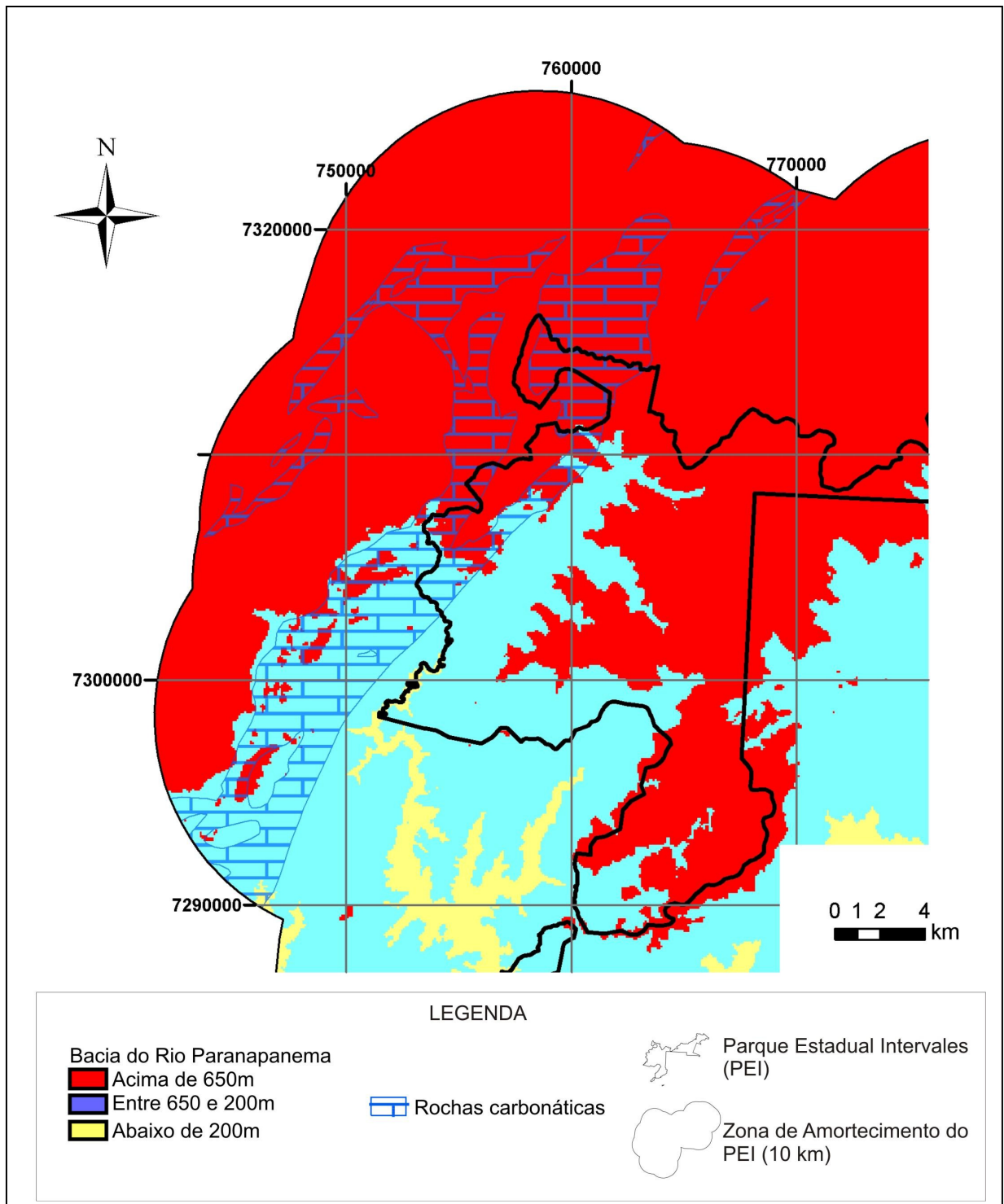
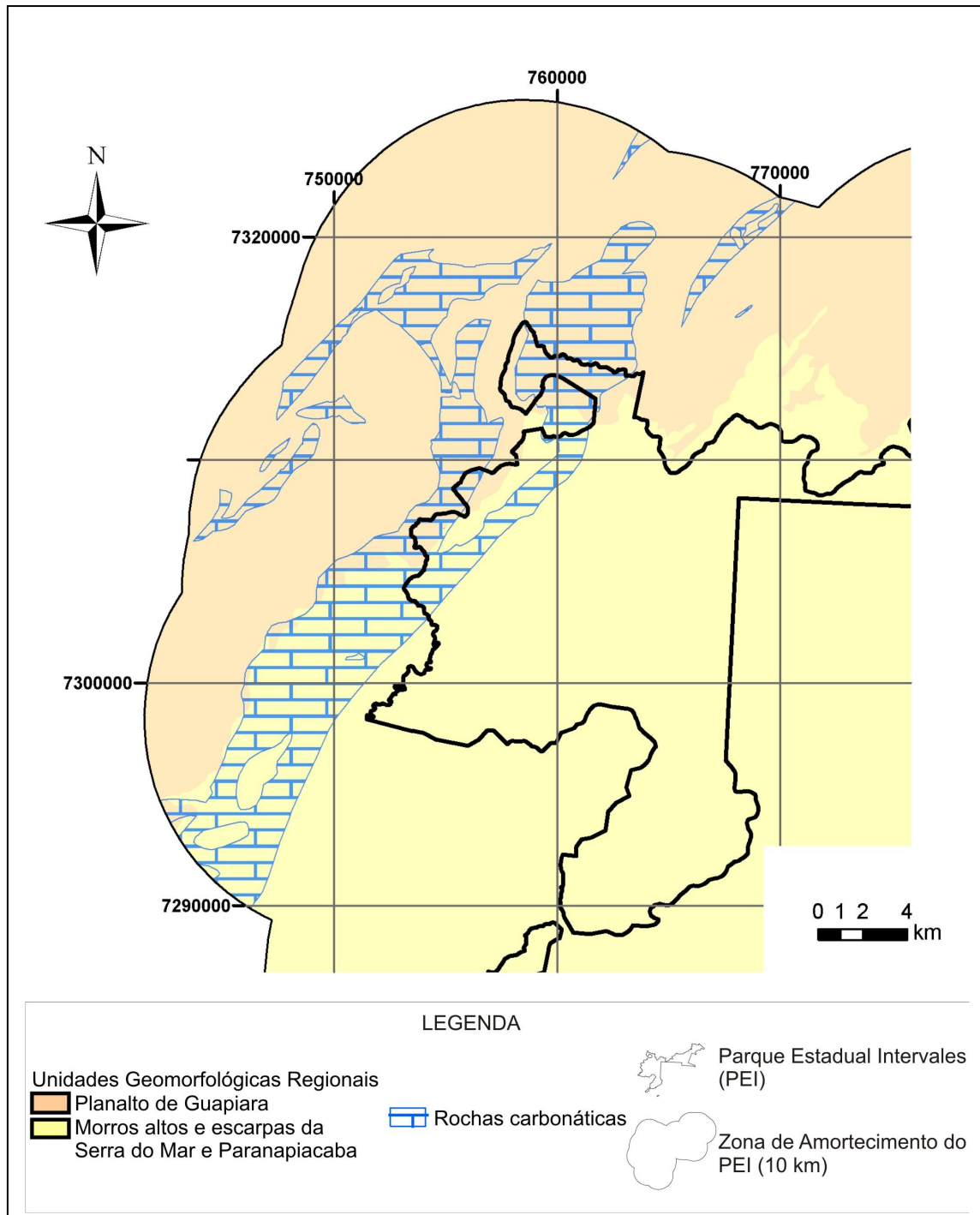


Figura 4. Mapa hipsométrico simplificado do setor W-NW do PEI e ZA.



**Figura 5. Unidades Geomorfológicas de Ross et al. (Capítulo 3.1.5 Geomorfologia) do PEI e ZA.**

Conforme assinalado por Karmann & Ferrari (2002), a faixa de terrenos cársticos caracteriza-se pela superfície rebaixada em relação às rochas não carbonáticas, condicionando importante injeção alóctone no sistema cárstico.

A configuração do relevo com o Planalto de Guapiara a W-NW, determina a drenagem que escoar de oeste em direção a faixa carbonática. As bacias que drenam esta área do PEI e ZA

representam a área de cabeceiras das bacias dos rios Pilões (Bacia do Rio Ribeira) e das Almas e São José do Guapiara (Bacia do Rio Paranapanema) (Figura 6).

As bacias dos rios das Almas e São José do Guapiara escoam de sul para norte (Figuras 6 e 7), e possuem menor expressão em área. Seus afluentes possuem percursos em áreas elevadas, no Planalto de Guapiara.

Já a Bacia do Rio Pilões é a mais significativa em área, e seus canais escoam de norte para sul (Figuras 6 e 7). Seus rios escoam desde o limite do Planalto de Guapiara, a norte, até o Sistema de Morros altos e escarpas da Serra do Mar e Paranapiacaba.

As diferenças no relevo definem as diferenças entre as bacias. Os rios da Bacia do Pilões possuem gradiente médio de 3,15% e amplitude de vales variando entre 100 e 800 metros, valores superiores aos observados nos rios das bacias dos rios das Almas e São José do Guapiara, com gradientes médios de 1,6% e 1%, respectivamente, e amplitudes de vales entre 115 e 260 metros (Tabela 2).

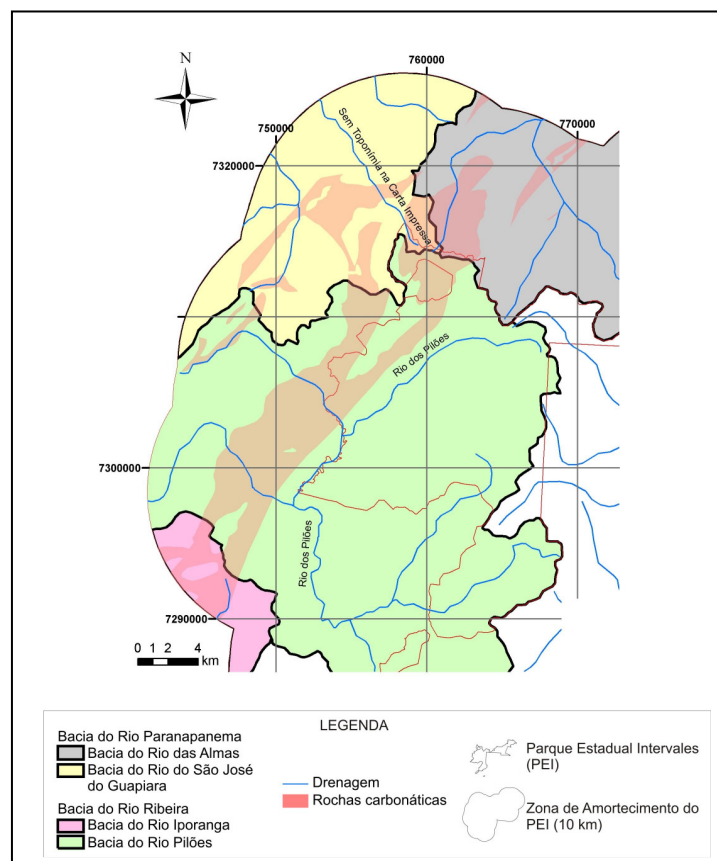


Figura 6. Bacias de drenagem superficial que ocorrem na área cárstica do PEI e ZA.



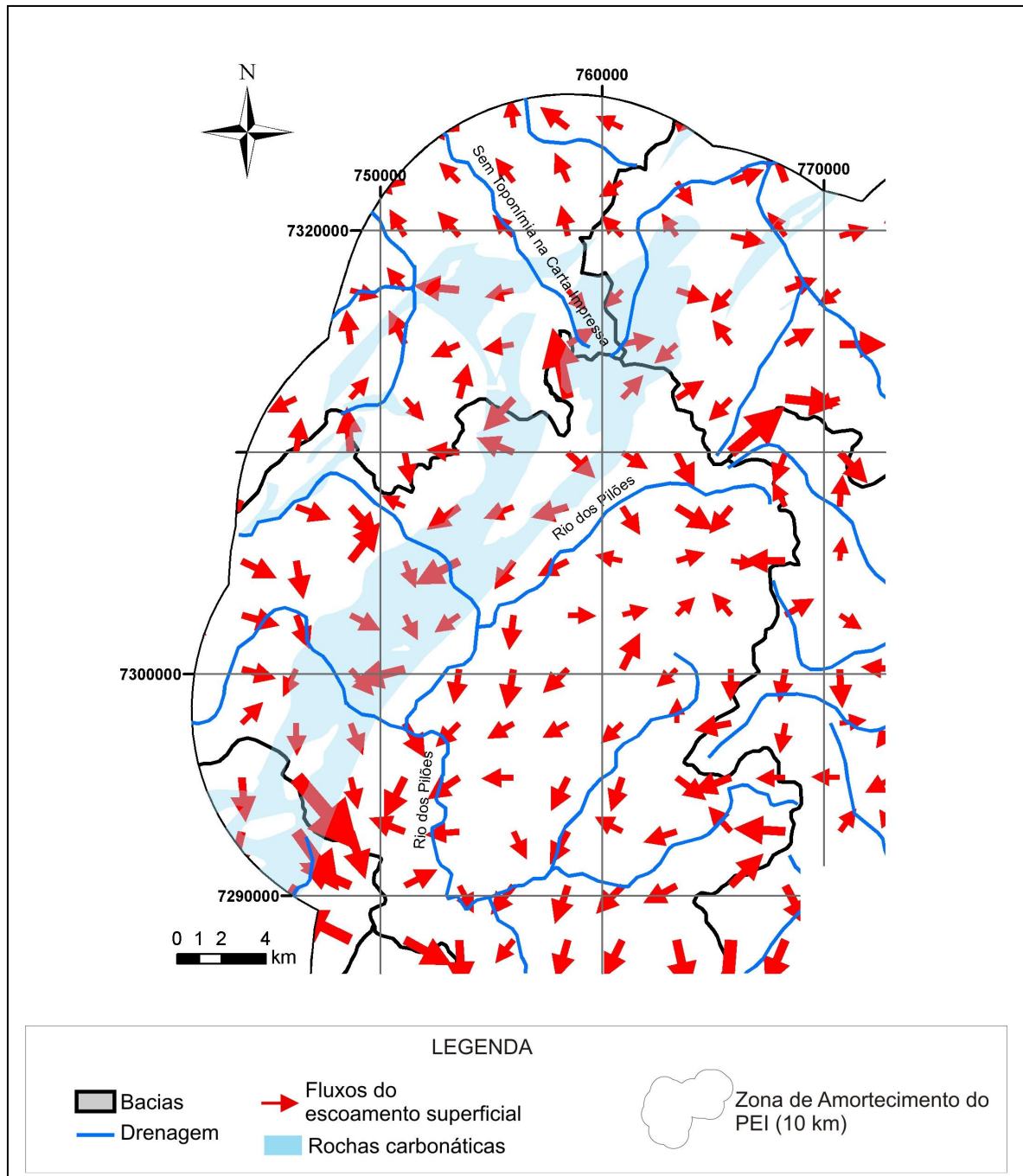


Figura 7. Mapa de direção de fluxo do escoamento superficial na área cárstica do PEI e ZA.

Tabela 2: Declividade e amplitude do vale de alguns rios nas bacias dos rios Pilões, Almas e São José do Guapiara, medidos no trecho de área cárstica no PEI e ZA. A amplitude foi calculada em perfis delimitados na Figura 8 e o gradiente dos rios marcados na Figura 9.

Tabela 2. Declividade e amplitude do vale dos rios nas bacias dos rios Pilões, Almas e São José do Guapiara

Bacia	Sub-bacia	Rio	Gradiente (%)	Amplitude do vale (m) e perfil (p)
Ribeira	Pilões	Ribeirão da Pescaria	3,6	460 (p11)
		Rio dos Pilões	2,9	700 (p5) 630 (p6) 800 (p13) 460 (p10)
		Córrego da Campina	4,2	325 (p8) 100 (p9)
		Córrego Monte Alegre	1,9	-----
Parapanema	São José do Guapiara	Rio São José do Guapiara	0,74	130 (p4)
		Ribeirão das Pedras	3,13	226 (p7)
		Rio Pinheiro	1,3	260 (p3)
		Ribeirão do Alegre	1,48	-----
	Almas	Rio das Almas	0,5	-----
		Ribeirão dos Baréias ou dos Caetanos	1,62	250 (p1) 115 (p2)
		Sem nome	1,13	-----

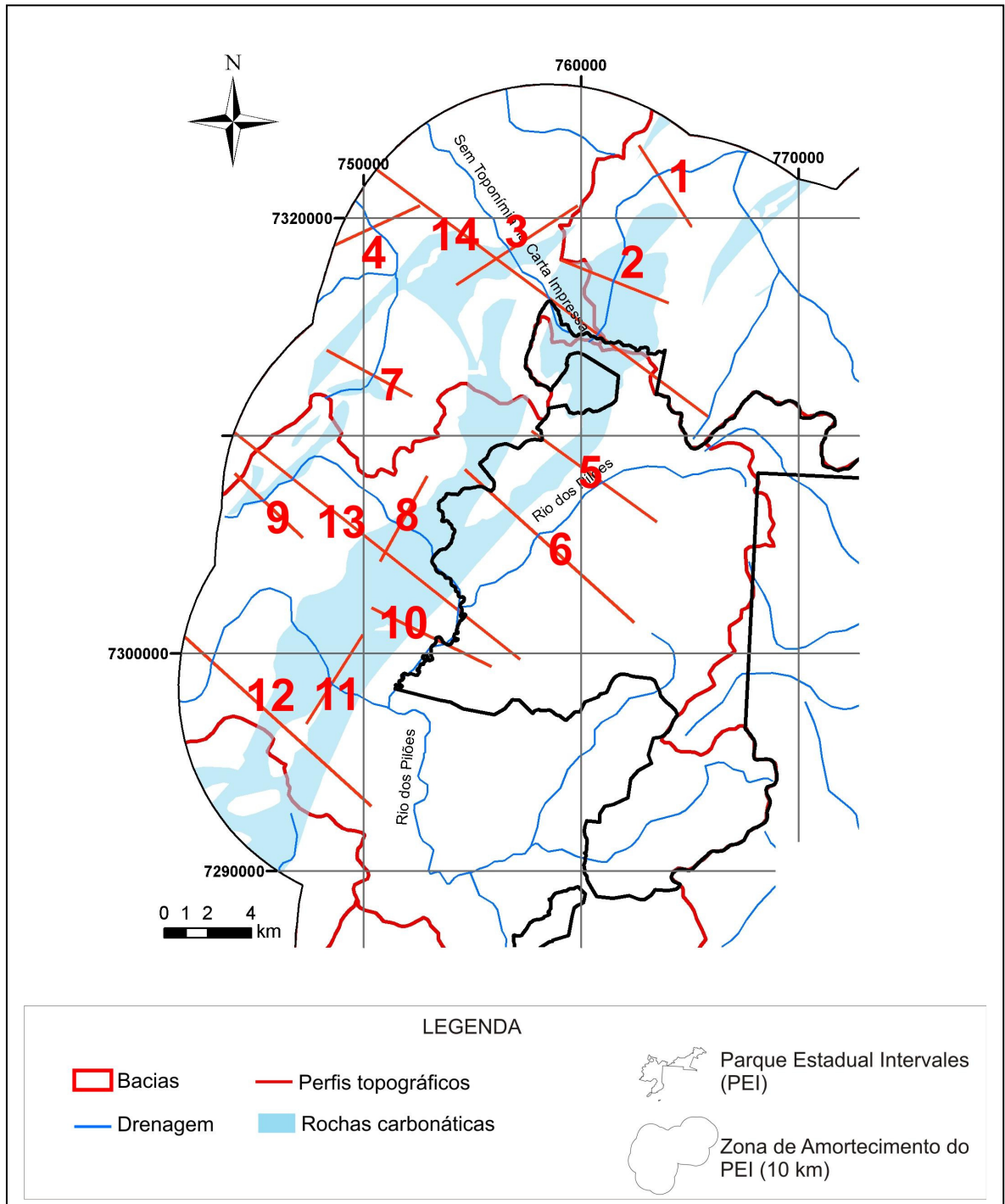


Figura 8. Localização dos perfis topográficos em diversos pontos do PEI e ZA.



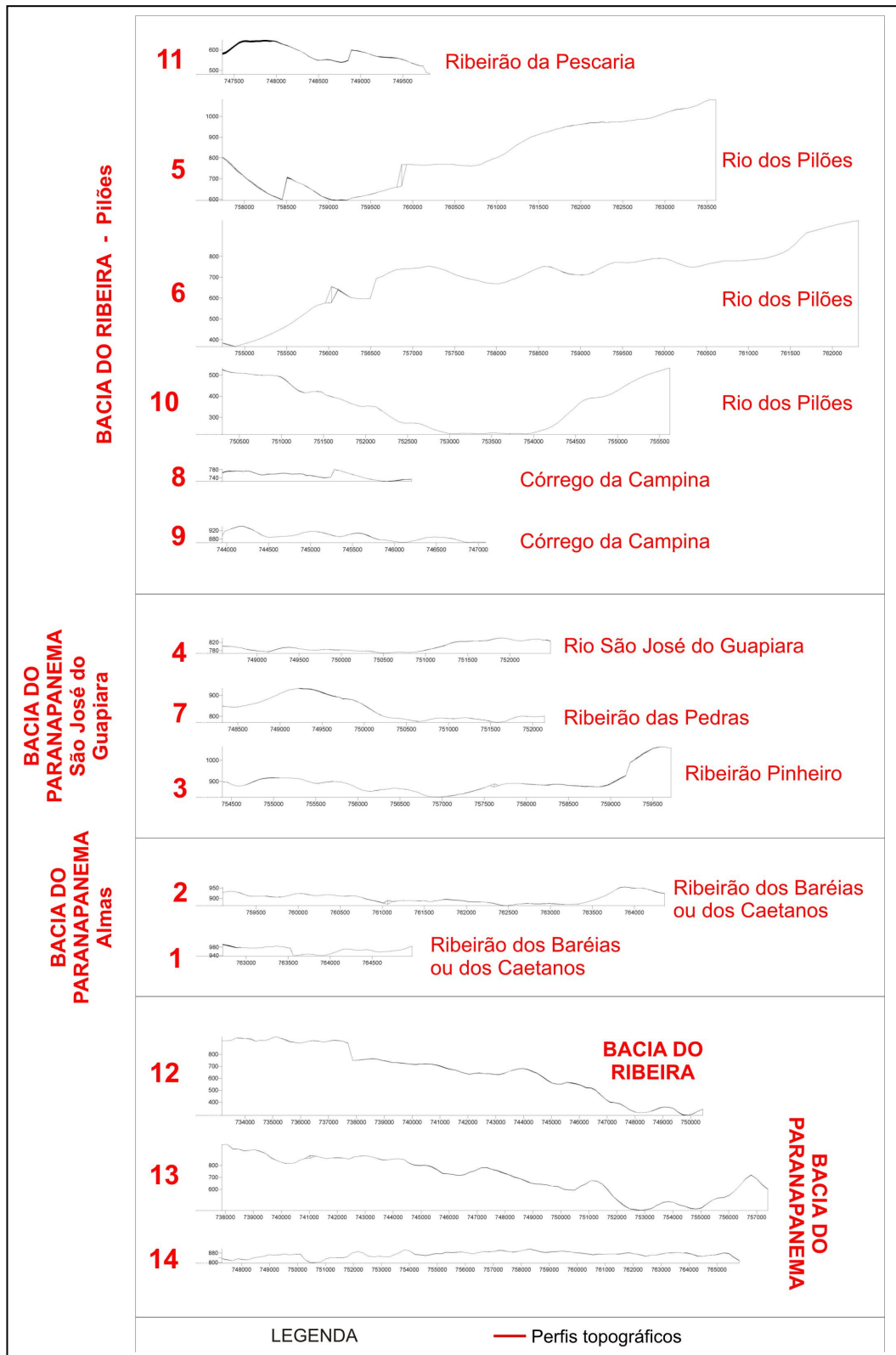


Figura 9. Perfis topográficos de vales fluviais em diversos pontos do PEI e ZA. Perfis de 1 a 11 com exagero vertical de 4,3X e de 12 a 14 de 2,5X.

Os valores de declividade e rugosidade exprimem o contraste morfológico dos dois compartimentos de relevo.

No compartimento dos Morros altos e escarpas da Serra do Mar e Paranapiacaba, na Bacia do Ribeira, existe uma maior freqüência de declividades acima de 24,89 graus, ao contrário do observado no Planalto de Guapiara com declividades mais baixas (Figura 10). Isto é facilmente observado no mapa da textura do relevo (Figura 11).

O mesmo fato é observado com a rugosidade (Figura 12), que no Planalto de Guapiara é baixa, ente 1 e 1,011, enquanto nos Morros altos e escarpas da Serra do Mar e Paranapiacaba é mais alta, entre 1,011 e 1,203.

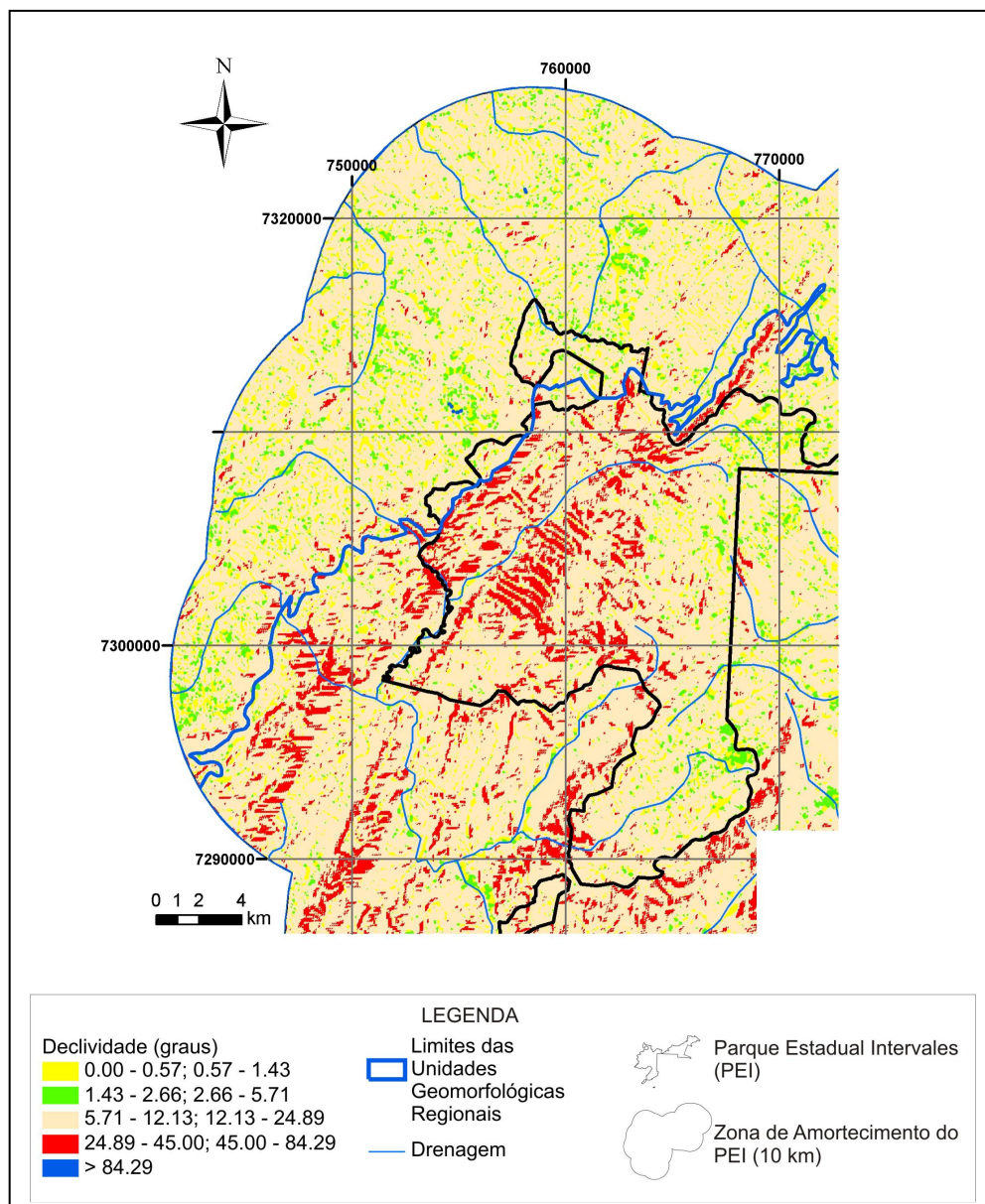


Figura 10. Mapa de declividade do relevo na área cárstica do PEI e ZA.

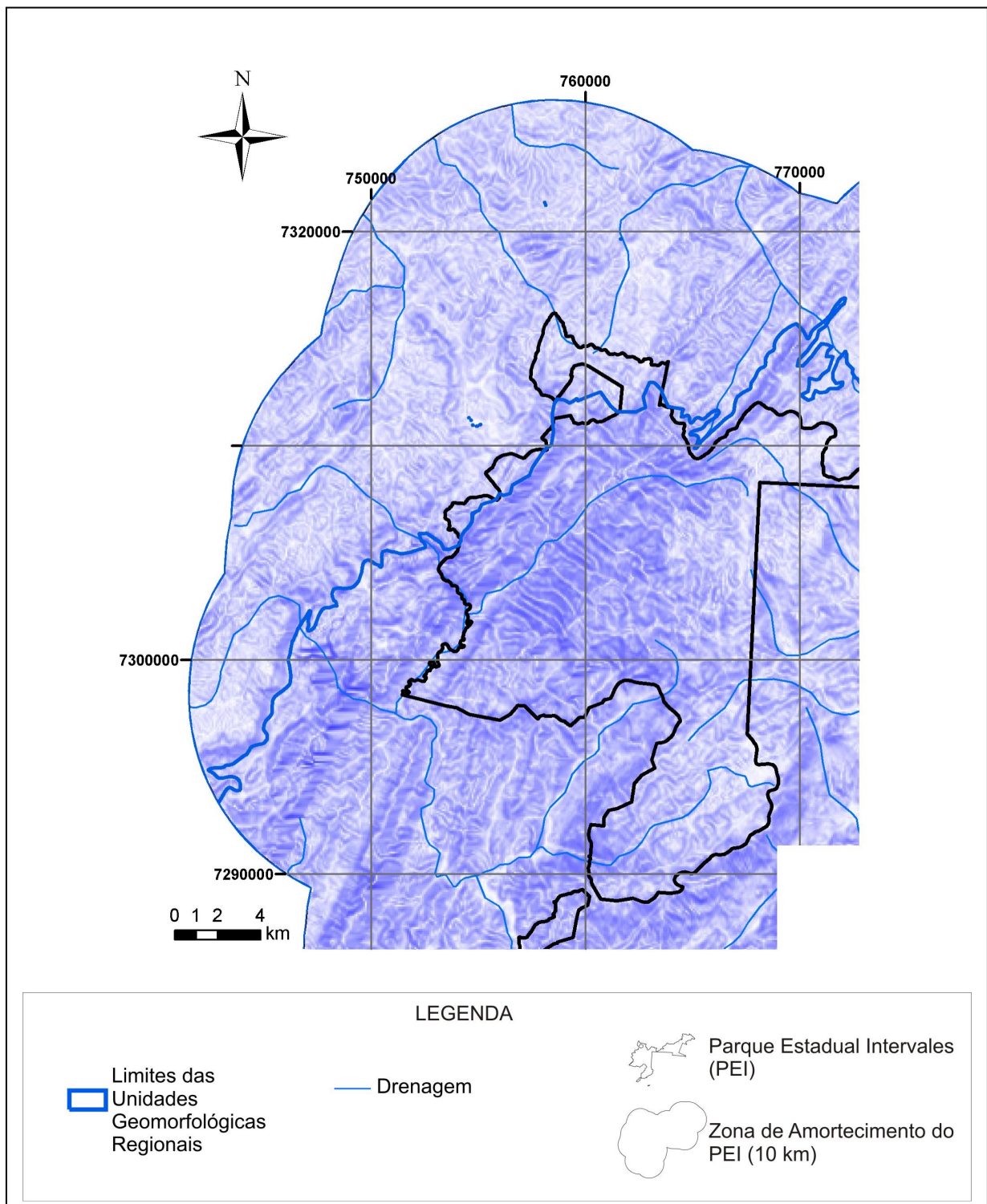


Figura 11. Mapa da textura do relevo na área cárstica do PEI e ZA.



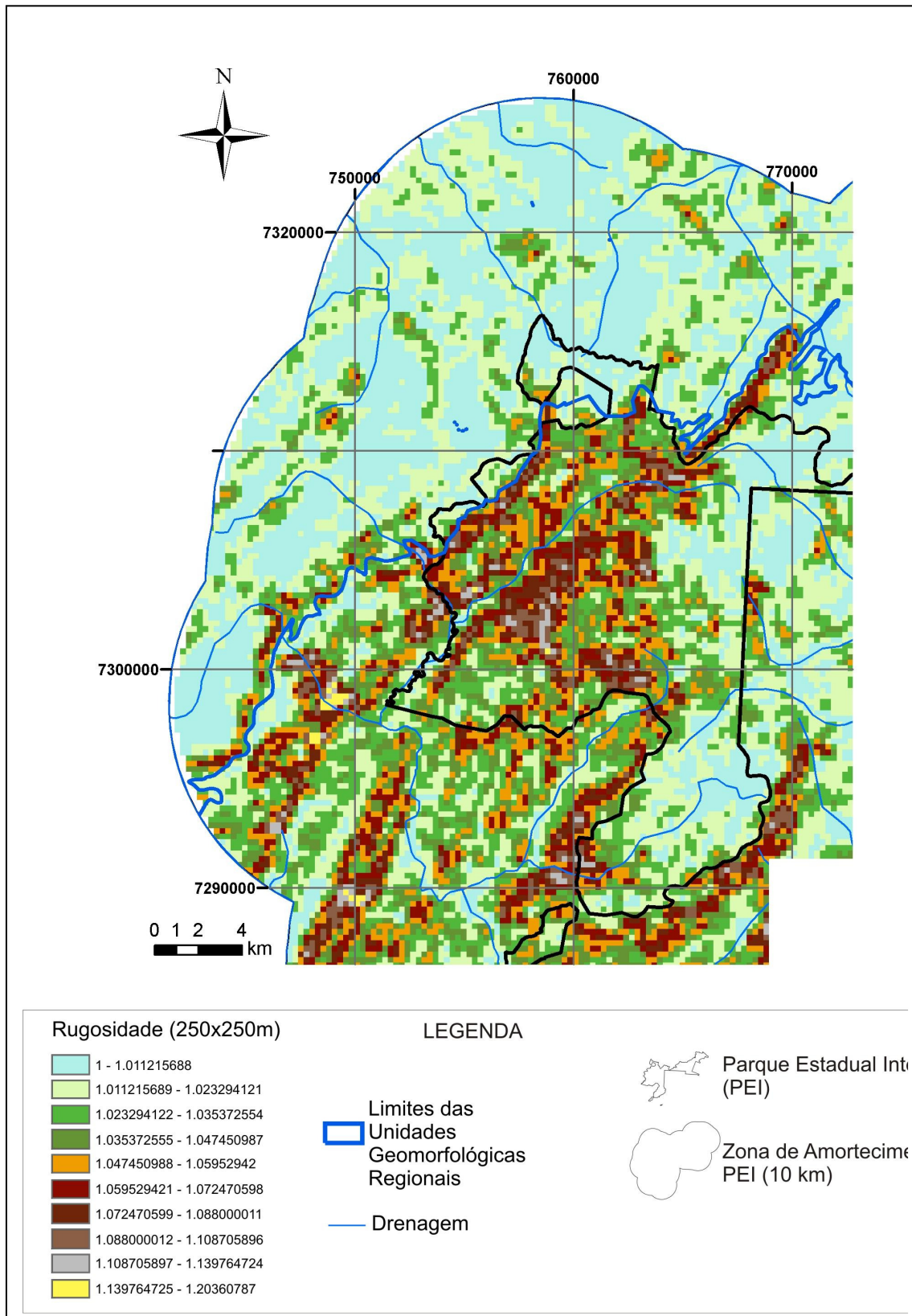


Figura 12. Mapa de rugosidade do relevo na área cárstica do PEI e ZA.

A análise integrada desses dois índices, juntamente com as amplitudes dos vales e o gradiente dos rios, denotam a maior dissecação e entalhamento do relevo no compartimento dos Morros altos e escarpas da Serra do Mar e Paranapiacaba. Isto reflete diretamente no desenvolvimento do carste e das cavernas.

A Foto 1 evidencia um relevo cárstico menos dissecado na Bacia do Rio Paranapanema, na área do Bairro Carioca, com uma grande depressão cárstica de baixa amplitude e fundo plano. Já a Foto 2 denota a maior dissecação do relevo cárstico na Bacia do Rio Ribeira, com vales, depressões e cones cársticos de grande amplitude.



Foto 1. Grande depressão autóctone de baixa amplitude e fundo plano, na Bacia do Rio Paranapanema, área do Bairro Carioca (Ponto N 7318387,989 / E 763531,085).

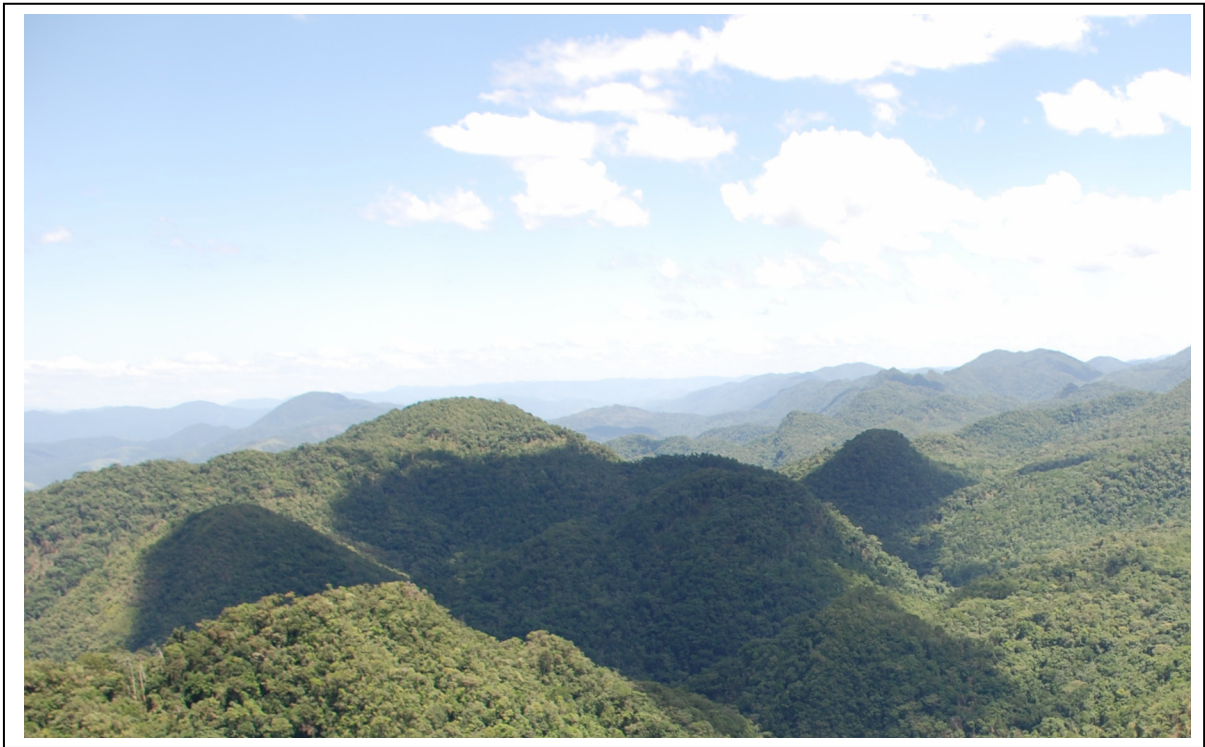


Foto 2. Vales, depressões e cones cársticos de grande amplitude, na Bacia do Rio Ribeira, região de Bulhas D'água, PETAR (Ponto N 7306455,711 / E 753409,941).

Podemos considerar, de uma maneira sintética, que o sistema cárstico é um produto da litologia, precipitação, descontinuidades e relevo (gradiente).

Como já observado, o relevo nos dois compartimentos é bastante distinto, em especial no entalhamento.

A precipitação não tem variações significativas ao longo da área cárstica, para afetar o grau de carstificação (ver **Capítulo 3.1.4 Clima**).

As rochas carbonáticas apresentam diferenças composicionais, conforme já discutido no **Capítulo 3.1.1 Geologia**. Apresentam composições de CaO e MgO, bem como variações na fração siliciclástica (Impurezas - SiO<sub>2</sub>), que condicionam em parte a compartimentação do Sistema Cárstico, especialmente no grau de carstificação. Uma grande amostragem com análise química de rochas carbonáticas foi realizada durante o Projeto Calcário para Cimento (CPRM/DNPM 1972) (Figura 13). Deste projeto foram extraídos e utilizados para a análise do carste para o Plano de Manejo. Apesar de não serem dados muito precisos são os únicos existentes em escala regional, e são utilizáveis para a finalidade proposta.

Estudos demonstram que a calcita é mais solúvel que a dolomita (Chou et al. 1989; Appelo & Postma 1993) da mesma forma que os calcários em relação aos dolomitos (Rauch & White 1977). Desta forma, uma rocha com maior proporção de CaO em relação ao MgO favoreceria a carstificação. Além da quantidade de CaO e MgO, outros fatores que aumentam a solubilidade



são a menor granulação e uma menor quantidade de impurezas (Rauch & White 1977). Assim, um menor teor de impurezas (sílica principalmente) favoreceria a carstificação.

As rochas carbonáticas da região apresentam, de maneira geral, maiores teores de CaO em relação a MgO e SiO<sub>2</sub> (Figuras 14, 15 e 16), principalmente na área da Zona de Amortecimento do PEI localizada em áreas sem restrição ambiental.

CPRM/DNPM (1972) identificou os tipos de aplicação industrial mineral das unidades geológicas carbonáticas do Vale do Ribeira a partir da composição geoquímica (Tabela 16). 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 3 e Figura 16). Esta não é uma classificação litológica, e sim uma classificação quanto à utilização, mas que reflete a composição química das rochas carbonáticas.

A partir destes dados verifica-se que na área NW da faixa carbonática do PEI e ZA, na região do Planalto de Guapiara ocorrem rochas com teores um pouco mais elevados de MgO e impurezas (SiO<sub>2</sub>), constituindo calcários dolomíticos e dolomitos para cal, segundo CPRM/DNPM (1972).

De acordo com a classificação proposta por Leighton & Pendexter (1962), onde são consideradas as quantidades de dolomita, calcita e impurezas. A maioria das rochas carbonáticas da região são calcários, seguidos de calcários dolomíticos e dolomitos, no geral com baixos teores de impurezas (Gráfico 1).

**Tabela 3 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%

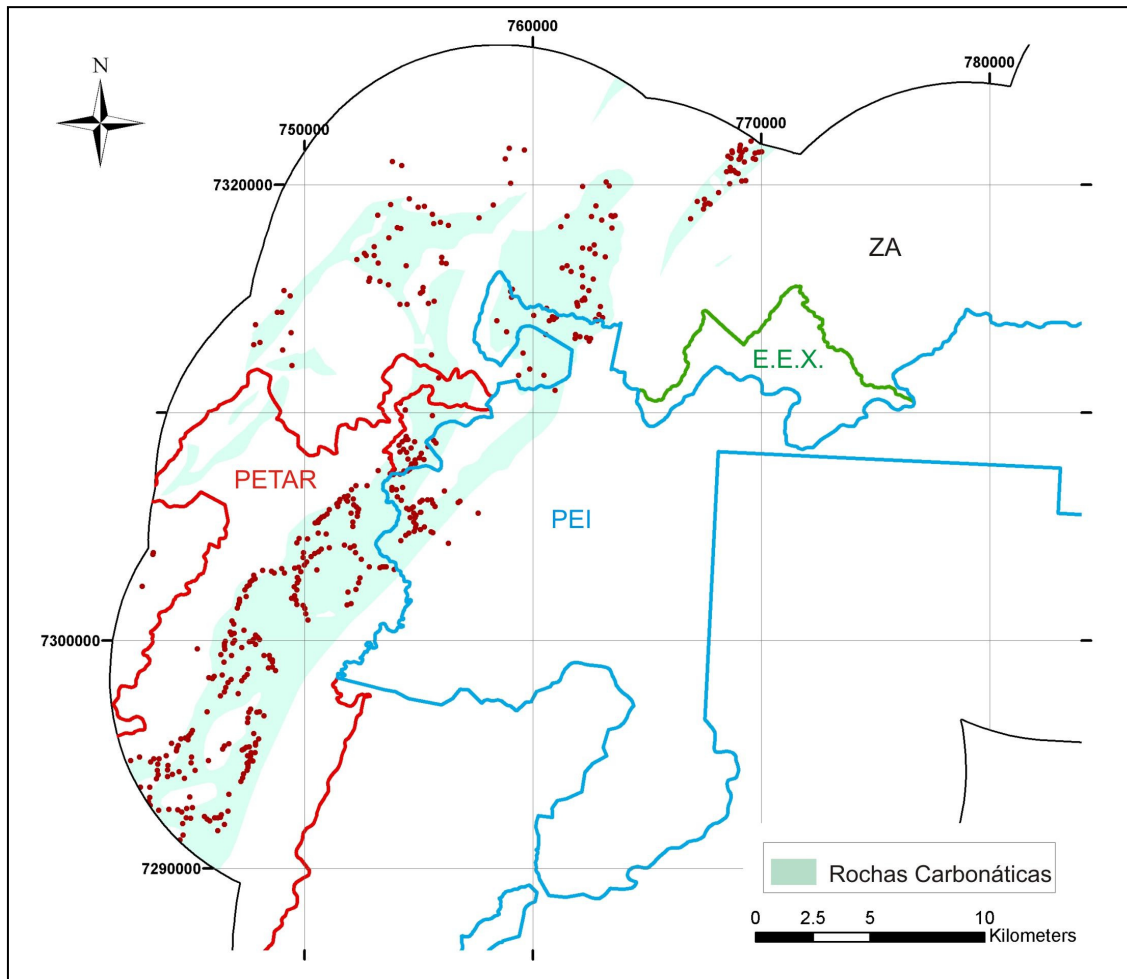


Figura 13. Localização dos pontos com análise química das unidades geológicas carbonáticas que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento, incluindo áreas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e Estação Ecológica Xitú (E.E.X.) (fonte: CPRM/DNPM 1972).



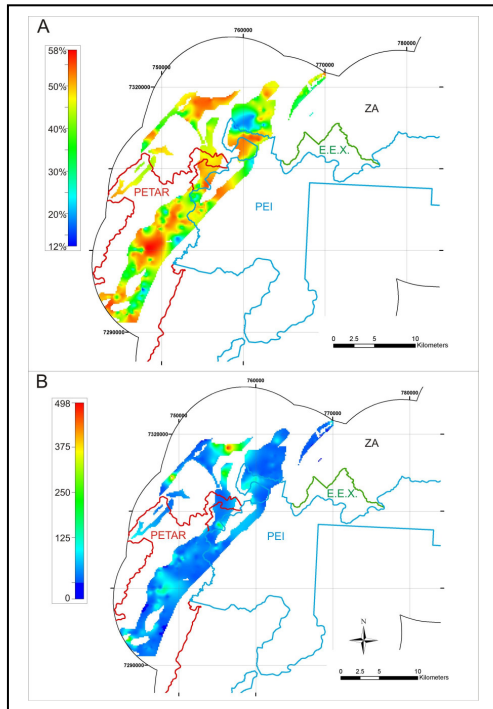
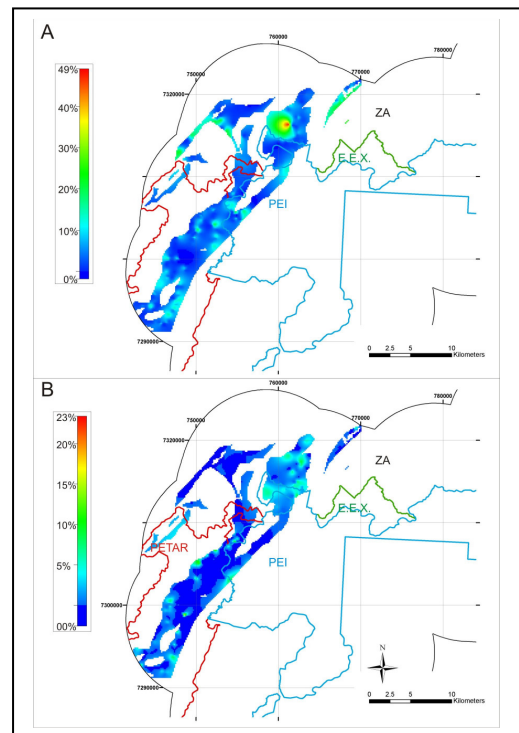


Figura 14. Distribuição da porcentagem na composição CaO e CaO/MgO das unidades geológicas carbonáticas que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento, incluindo áreas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e Estação Ecológica Xitué: (A) CaO e (B) CaO/MgO (fonte: CPRM/DNPM 1972).

Figura 15. Distribuição da porcentagem na composição MgO e SiO<sub>2</sub> 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) MgO e (B) SiO<sub>2</sub> (fonte: CPRM/DNPM 1972).



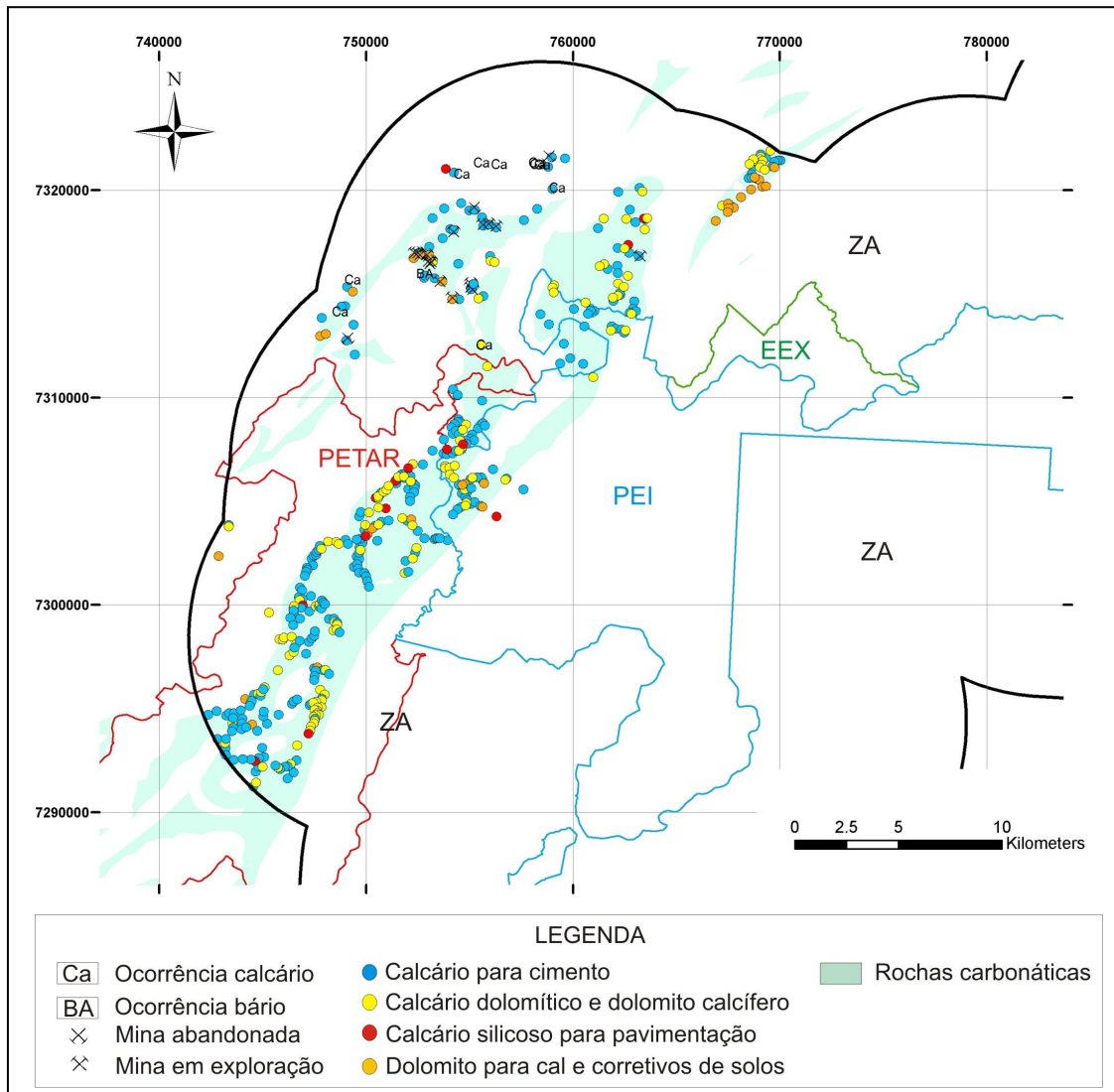


Figura 16. Classificação segundo CPRM/DNPM (1972) baseada na composição geoquímica das unidades geológicas carbonáticas que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento (CPRM/DNPM 1972), para tipo de aplicação mineral.

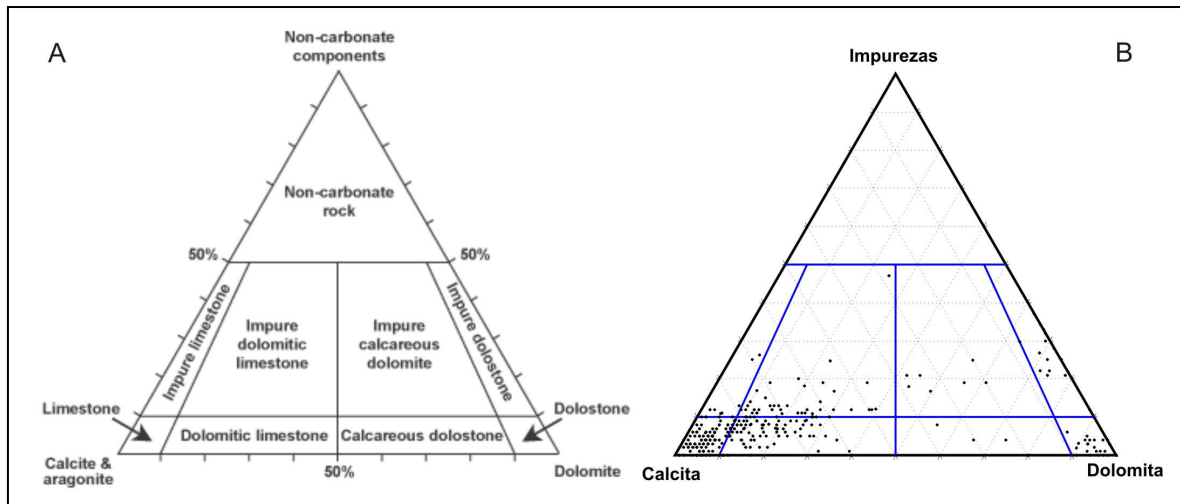


Gráfico 1. Diagrama triangular de Leighton & Pendexter (1962) da composição das rochas carbonáticas em relação a Calcita/Dolomita/Impurezas ( $\text{SiO}_2$ ) (A) para a área do PEI e ZA (B).

A partir do exposto acima verifica-se que as condições para carstificação são mais favoráveis nos terrenos carbonáticos do compartimento dos Morros altos e escarpas da Serra do Mar e Paranapiacaba, na Bacia do Ribeira, do que no Planalto de Guapiara. As áreas do PEI e PETAR estariam inseridas em áreas de maior carstificação, enquanto que a ZA (excluindo o PETAR), não.

No carste existe uma interação entre o relevo e a evolução do aquífero. Nestas paisagens a água subterrânea é um importante agente geomórfico, ocorre um feedback positivo, a evolução da drenagem subterrânea influi na evolução do relevo e a evolução do relevo influi na evolução da drenagem subterrânea. Assim, a ocorrência de depressões fechadas é indicadora da existência de aquíferos de condutos (aquíferos carstificados). Desta forma, pode testar a hipótese da maior carstificação no compartimento dos Morros altos e escarpas da Serra do Mar e Paranapiacaba, na Bacia do Ribeira, a partir da incidência de feições cársticas.

Considerando o mapa de depressões cársticas de Hiruma et al. (2007) nota-se uma maior carstificação na área da bacia do Ribeira. No Planalto de Guapiara, ocorrem menos depressões de forma geral, em especial, as autóctones. Já as depressões que representam bacias com contribuição de recarga alóctone, seguem o padrão geral do escoamento superficial da região, com as drenagens vindas do planalto para os terrenos mais baixos, injetando água de outras rochas para o calcário. Isto ocorre principalmente na borda oeste do PEI e na porção norte do PETAR. Na porção norte do PEI isto ocorre com menor intensidade. Esta injeção alóctone a partir de drenagens em grandes bacias permite a entrada de grandes volumes de água agressiva no sistema cárstico, aumentando ainda mais a carstificação na borda oeste do PEI e na porção norte do PETAR.

Nota-se também, pelo mapa de depressões de Hiruma et al. (2007) (Figura 17) que uma área bastante extensa de rochas carbonáticas na porção N-NW da ZA, no Planalto de Guapiara, é

praticamente desprovida de depressões fechadas autóctones e alóctones, denotando menor carstificação. As depressões que existem nesta área também são menos expressivas em área.

Associados às depressões ocorrem cones cársticos e sumidouros alóctones. Ambos são mais freqüentes no PEI e PETAR; na área norte e oeste da ZA são pouco comuns (Figura 18).

Quanto às cavernas, considera-se como os componentes da dinâmica atual ou passada de aquíferos cársticos, acessível aos seres humanos. Como uma regra geral, calcula-se que as cavernas representam uma pequena porção do que existe na realidade de condutos freáticos em profundidade.

Segundo a SBE (Sociedade Brasileira de Espeleologia) em fevereiro de 2006, haviam 135 cavernas cadastradas no PEI e ZA, incluindo o PETAR (Figura 19). O cadastro da SBE reúne informações enviadas por diversos grupos de espeleologia, pesquisadores e exploradores de cavernas e foram obtidas de diversas formas e com diferentes graus de precisão. Desta forma, existem problemas, principalmente quanto à precisão das coordenadas de localização de entradas de cavernas, o dado mais fundamental do cadastro. O mesmo acontece com os dados antigos dos cadastros do IBAMA e da REDESPELEO.

Por isso, foram re-localizadas 34 cavernas pelo GGEO (Grupo da Geo de Espeleologia - Universidade de São Paulo) para o Plano de Manejo (Figura 20), cujos dados e informações são apresentados por Domingues et al.

Neste capítulo são apresentadas 83 cavernas (Tabela 4) cujas informações encontram-se mais consolidadas. As informações de desenvolvimento e desnível também são provenientes do cadastro da SBE. Algumas cavernas mais distantes do PEI não foram consideradas, especialmente algumas do PETAR.

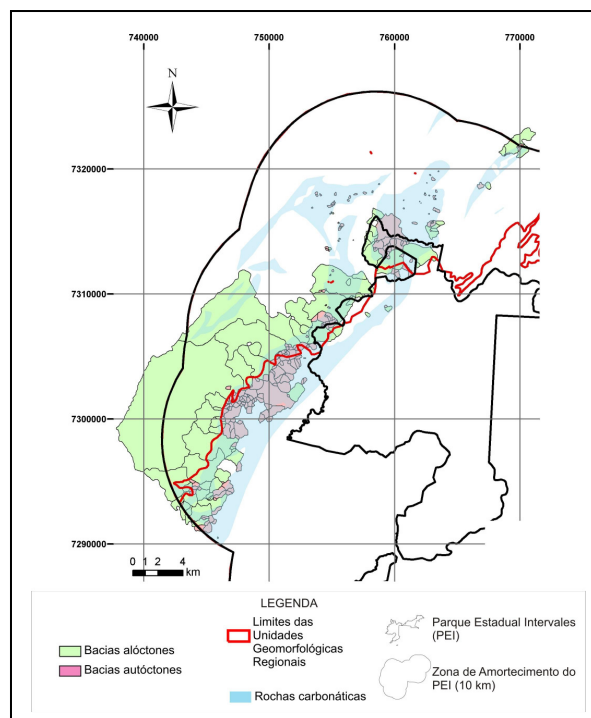


Figura 17. Distribuição das depressões fechadas no PEI e ZA, segundo Hiruma et al. (2007).

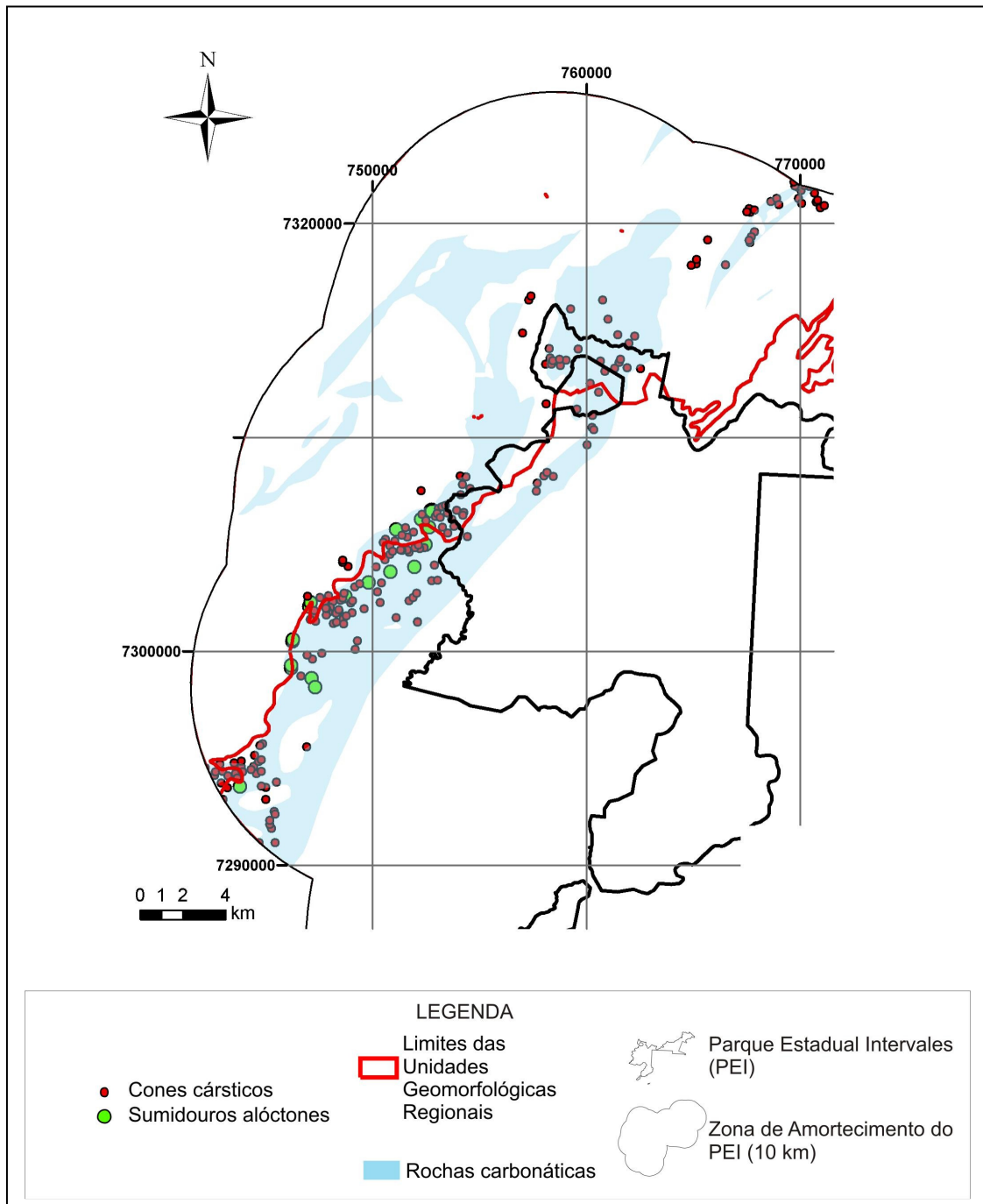


Figura 18. Distribuição de cones cársticos e sumidouros alóctones no PEI e ZA, segundo Hiruma et al. (2007).

Tabela 4. Cavernas existentes na área do PEI e ZA, incluindo norte do PETAR.

Código CNC*	Long.*	Lat.*	Nome*	Desenv. (m)*	Desnvel (m)*	Mapa*	Coord.obtidas pelo GGEO (Cap. Espeleo)	Uso Turístico**	N° de turistas de 1998 a 2007**
SP-42	759628	7312714	Gruta dos Paiva	3692	51	X	X	X	23280
SP-43	757409	7307856	Gruta da Figueira	156	15	-----	-----	X	-----
SP-65	752595	7306713	Gruta do Jerivazal	60	17	-----	-----	-----	-----
SP-68	752192	7306288	Gruta Buenos I (PETAR)	1590	17	X	-----	-----	-----
SP-69	752661	7305825	Gruta Buenos II (PETAR)	33	0	X	-----	-----	-----
SP-123	752384	7306251	Gruta do Furo 30 (PETAR)	350	20	X	-----	-----	-----
SP-129	761908	7313315	Gruta Colorida	765	25	-----	X	X	27831
SP-138	752656	7305548	Caverna Ribeirãozinho III (PETAR)	1355	174	X	-----	-----	-----
SP-143	753714	7307923	Gruta dos Pilões	230	9	-----	-----	-----	-----
SP-144	751881	7306515	Abismo do Paredão	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SP-152	751881	7306515	Caverna Ribeirãozinho I (PETAR)	80	0	-----	-----	-----	-----
SP-156	752656	7305548	Gruta Maravilha	80	4	-----	-----	-----	-----
SP-166	752656	7305548	Gruta da Capela (PETAR)	145	9	-----	-----	-----	-----
SP-209	760198	7313686	Gruta da Santa	49	0	-----	X	X	4090
SP-210	757635	7307974	Gruta da Aegla	385	38	X	-----	-----	-----
SP-211	759482	7310117	Gruta do Zé Maneco	129	0	-----	-----	X	166
SP-233	762183	7313291	Gruta do Tatu	32	4	X	X	X	968
SP-234	761614	7313908	Abismo da Chuva	100	30	-----	-----	-----	-----
SP-235	762337	7313867	Toca dos Meninos	30	9	X	X	X	1012
SP-236	760835	7313793	Gruta do Fogo	126	15	X	X	X	5546
SP-237	759457	7313784	Gruta Jane Mansfield	324	10	X	X	X	103
SP-238	759112	7313196	Gruta da Mãozinha	54	7	X	X	X	3849
SP-239	759113	7313176	Gruta do Fendão	820	40	X	X	X	6521

SP-240	759229	7313464	Toca da Boquinha	16	0	-----	-----	-----	-----
SP-241	759258	7313430	Gruta do Bocão	-----	-----	X	-----	-----	-----
SP-246	762166	7313314	Gruta do Fóssil Desconhecido	67	7	X	X	-----	-----
SP-247	758310	7312877	Gruta do Minotauro	400	25	X	X	X	3900
SP-248	756920	7307189	Caverna do Tufo	22	23	X	-----	-----	-----
SP-254	759927	7314404	Gruta do OMorcegovaiomorcegovem	65	6	X	-----	-----	-----
SP-255	759896	7314405	Toca Kifexo	19	3	-----	-----	-----	-----
SP-256	760921	7314182	Toca do Fogo	22	3	-----	-----	-----	-----
SP-257	762270	7313131	Abismo da Pedreira	26	18	X	-----	-----	-----
SP-258	758752	7313495	Gruta do Queijo Suíço	60	6	-----	-----	-----	-----
SP-259	758701	7313496	Gruta do Arco de Pedra	43	21	X	-----	-----	-----
SP-260	758557	7313410	Gruta do Floido	435	16	X	X	-----	-----
SP-261	758459	7313858	Gruta Cabeça de Paca	84	13	X	-----	-----	-----
SP-262	759887	7310224	Gruta do Imbu	63	6	X	X	-----	-----
SP-263	759593	7310066	Gruta do Jair	-----	-----	X	-----	-----	-----
SP-264	758131	7309018	Gruta do Moquéim I	254	25	X	-----	-----	-----
SP-264	758131	7308985	Gruta do Moquéim II	-----	-----	X	-----	-----	-----
SP-265	758562	7309254	Gruta da Pedra no Peito	25	0	-----	-----	-----	-----
SP-266	757791	7308747	Toca da Borracha I	17	0	X	-----	-----	-----
SP-267	757822	7308780	Toca da Borracha II	20	0	X	-----	-----	-----
SP-268	757822	7308780	Toca da Borracha III	10	0	X	-----	-----	-----
SP-269	757853	7308801	Toca da Borracha IV	10	0	X	-----	-----	-----
SP-270	757635	7307952	Abismo Buraco da Trilha	5	12	X	-----	-----	-----
SP-271	758105	7313695	Gruta Barra Bonita	135	14	X	-----	-----	-----
SP-272	761988	7313042	Abismo da Colorida	218	50	-----	X	X	-----
SP-273	762236	7313375	Toca Detrás (ou Cipó)	-----	-----	X	X	X	1864

SP-305	762071	7314453	Gruta dos Horrores	27	0	-----	-----	-----	-----
SP-306	758330	7314866	Gruta da Cachoeirinha	24	6	-----	-----	-----	-----
SP-307	759990	7311754	Gruta da Água Luminosa	85	7	-----	-----	-----	-----
SP-308	760302	7311627	Gruta do Arcão	41	20	-----	-----	-----	-----
SP-309	762067	7315872	Gruta Sítio das Cavernas I	35	6	-----	-----	-----	-----
SP-310	762067	7315872	Gruta Sítio das Cavernas II	120	10	-----	-----	-----	-----
SP-312	758086	7313784	Gruta do Bambu	-----	-----	-----	X	-----	-----
SP-313	760131	7310056	Toca da Jararaca de Chocolate	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SP-315	758642	7316238	Gruta da Casa de Pedra	72	8	-----	X	-----	-----
SP-318	758613	7316224	Gruta do Rio Preto	83	5	-----	-----	-----	-----
SP-322	754668	7317788	Gruta dos Pianos	277	20	-----	X	-----	-----
SP-440	759198	7312877	Gruta dos Rodrigues	375	44	-----	-----	-----	-----
SP-451	767964	7319146	Gruta Passagem	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SP-464	770029	7320998	Gruta Xaro (ressurgência)	80	0	-----	X	-----	-----
SP-465	767260	7318546	Gruta Xaro II	130	0	-----	-----	-----	-----
SP-471	763545	7317746	Caverna do Carioca	73	4	X	X	-----	-----
SP-472	762772	7319420	Caverna Carioca 2	73	3	X	-----	-----	-----
Sem n°	762148	7316607	Caverna Zé Bento II	-----	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	768682	7320993	Complexo Ouro Fino	-----	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	758429	7316061	Gruta Minotauro II	-----	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	758863	7313471	Buraco do Beto	-----	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	762180	7316587	Caverna Zé Bento I	80	8,39	-----	X	-----	-----
Sem n°	769024	7321109	Fenda das Almas	-----	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	762876	7315406	Gruta Araçapiranga	70	-----	X	X	-----	-----
Sem n°	762413	7315474	Gruta do Paiol (ressurgência)	47	5	-----	-----	-----	-----
Sem n°	759830	7317228	Caverna Fama I	-----	-----	-----	X	-----	-----



Sem n°	759886	7317285	Caverna Fama II	-----	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	755688	7315449	Caverna Sabara	-----	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	769512	7320691	Abismo	-----	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	762696	7315540	Gruta da Represa	100	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	762431	7315418	Gruta Monjolo	173	4	-----	X	-----	-----
Sem n°	762493	7315264	Gruta do Betinho	70	-----	-----	X	-----	-----
Sem n°	762421	7315440	Buraco da Lontra	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Sem n°	761757	7313938	Toca do Graxim	-----	-----	-----	-----	-----	-----

\* Fontes: Cadastro SBE; Gnaspini & Trajano (1992); GPME; Grupo Bambuí; UPE; CEU; Domingues et al. - Capítulo 4.1.3 Cavernas.

\*\* Fontes: ING-ONG (2003); Passold (2007).

Das 83 cavernas listadas acima, existem dados de desenvolvimento e desnível em apenas 59. Foram calculados alguns parâmetros espeleométricos para elas (Tabela 3.1.2-5 e Gráfico 3.1.2-2).

O desenvolvimento médio é de 243 metros, variando entre 3692 e 5 metros, e o desnível médio é de 15 metros, variando entre 174 e 0 metros. Pode-se dizer que o desenvolvimento médio das cavernas da região é baixo. Destas 59 cavernas que apresentam dados, apenas 3 (5%) atingem desenvolvimento maior que 1000 metros; 63% tem menos de 100 metros.

Porém vale destacar que a Gruta dos Paiva (ZA) está entre as 50 maiores cavernas do Brasil, segundo levantamento de Auler et al. (2001), o que é bastante significativo.

Tabela 5. Classes de frequência de desenvolvimento para 59 cavernas.

Classe	Frequência	
	N° de cavernas	%
0-100	37	63%
101-300	11	19%
301-600	6	10%
601-1000	2	3%
1001-3692	3	5%

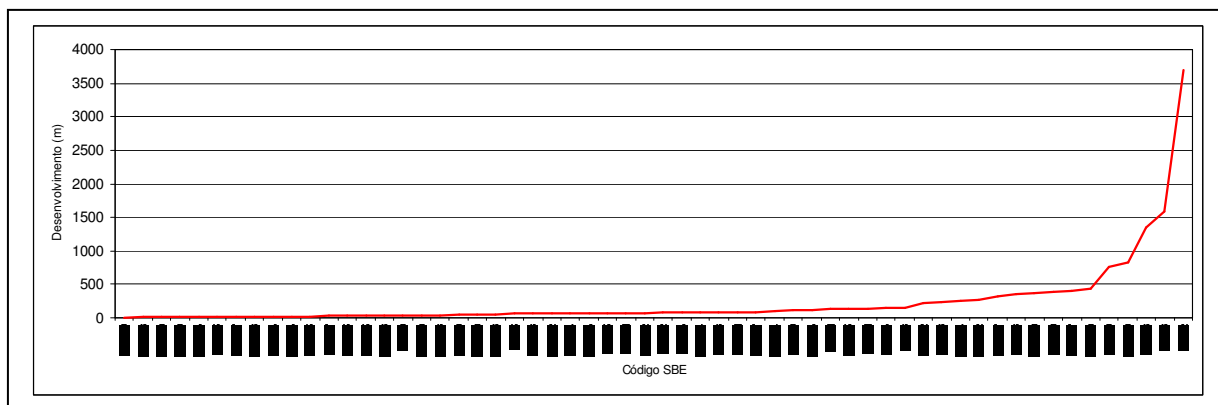


Gráfico 2. Distribuição do desenvolvimento das 59 cavernas do PEI e ZA, incluindo norte do PETAR.

Conclui-se que existe uma maior frequência de cavernas na Bacia do Ribeira, e menor no Planalto de Guapiara, lembrando das limitações desta afirmação. As maiores cavernas (acima de 500 metros - 5 cavernas) ocorrem na região na transição do planalto para as áreas mais rebaixadas (Figuras 21). Na região mais rebaixada do PETAR, a sul, como no vale do Betari, encontramos sistemas de maior desenvolvimento.

Por outro lado, podemos classificar as cavernas em termos de seu desenvolvimento. Nos setores onde as cavernas tendem a possuir maior desenvolvimento, associa-se um aquífero cárstico mais desenvolvido. Considerando que as cavernas fazem parte do aquífero cárstico, regiões com grande concentração de cavernas são indicadoras de aquíferos bem carstificados.

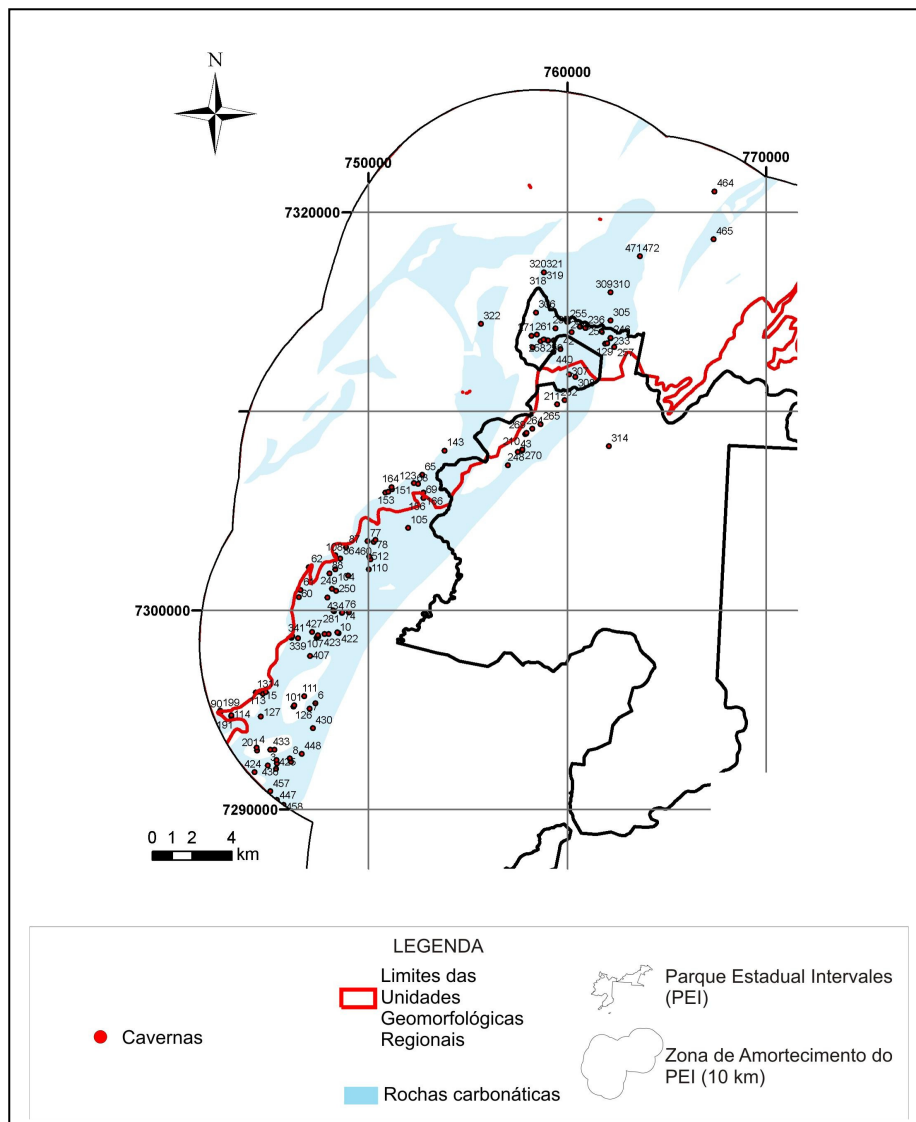


Figura 19. Distribuição das cavernas segundo o cadastro da SBE (dados de fevereiro de 2006).

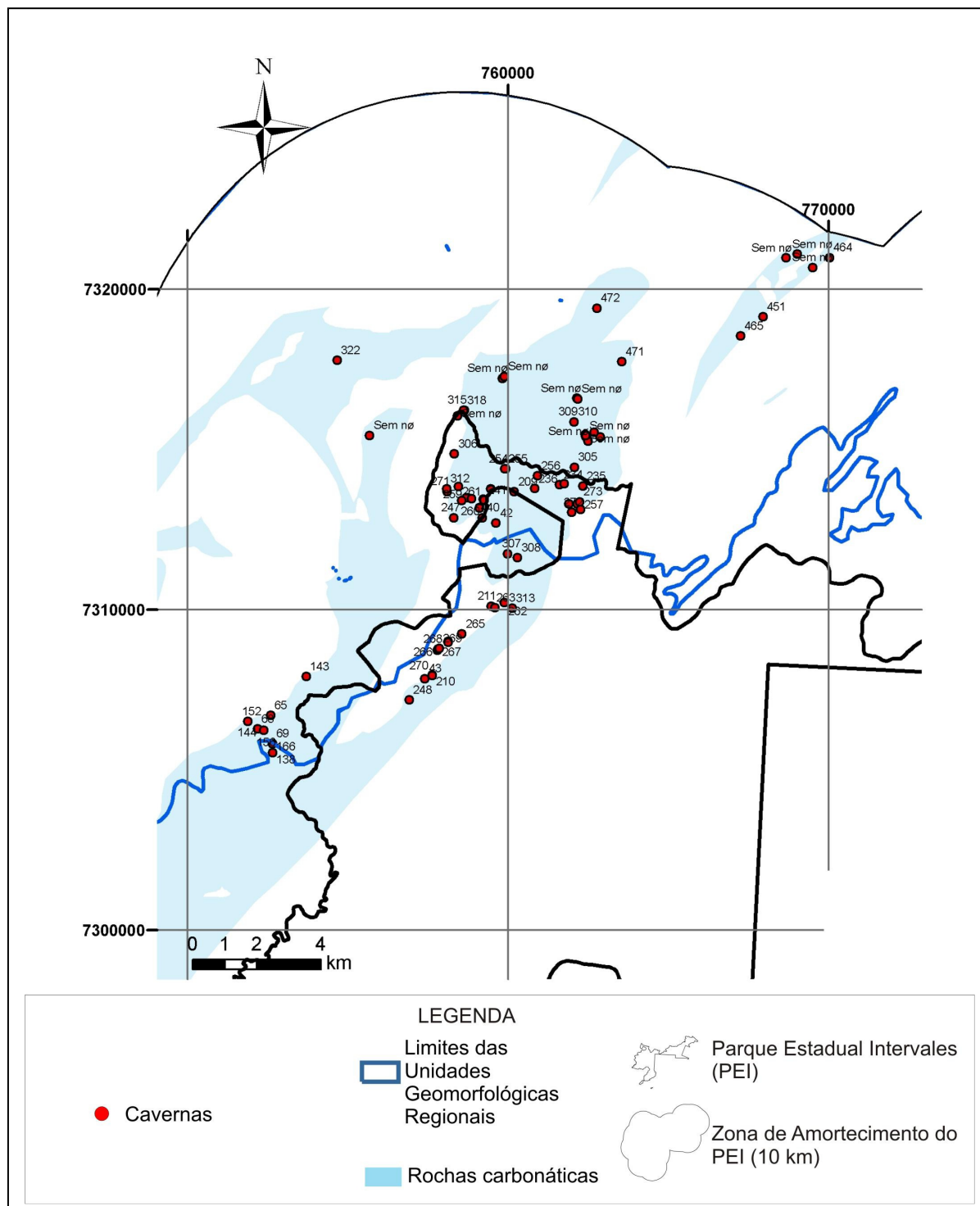


Figura 20. Localização das cavernas com as coordenadas levantadas pelo GGEO

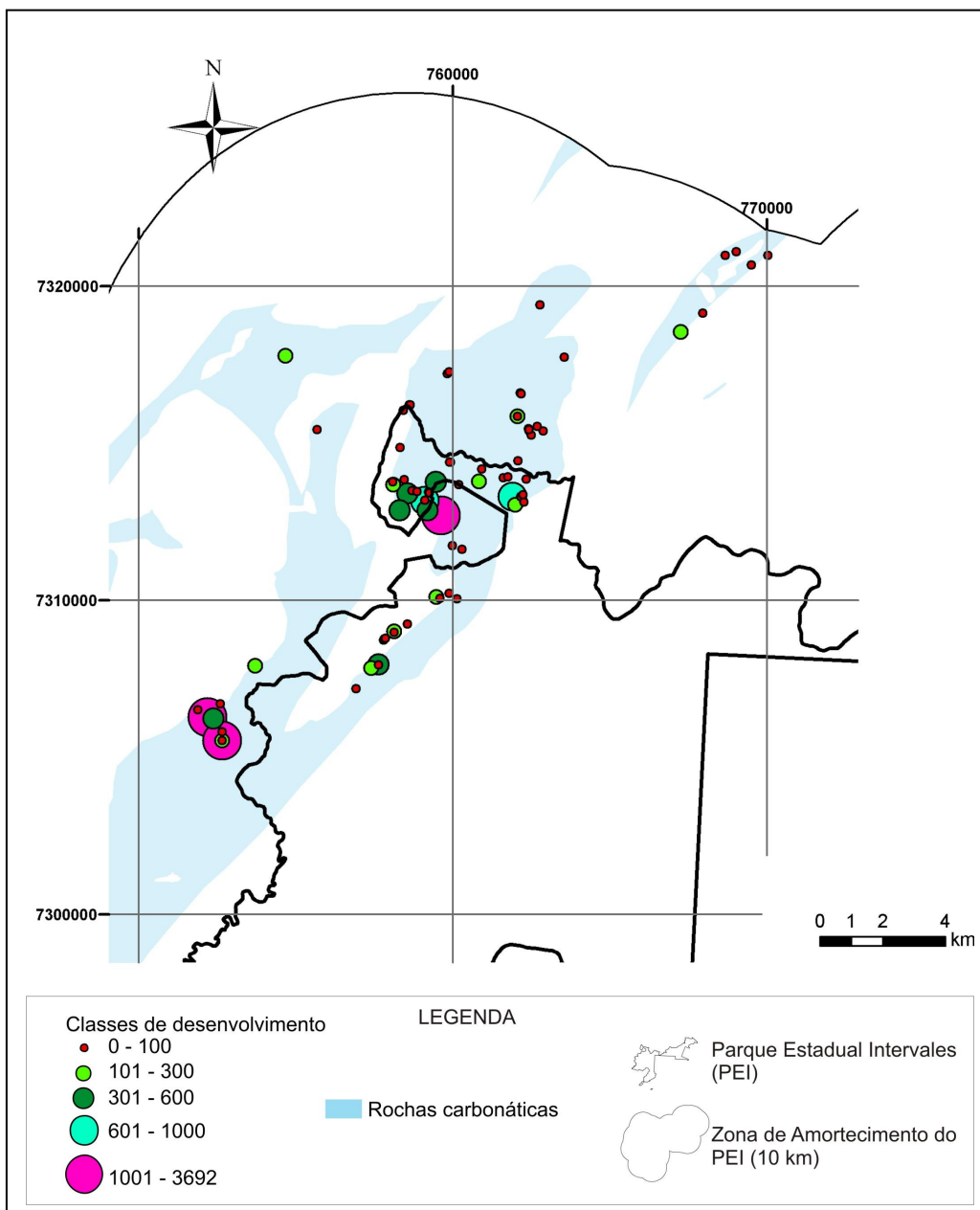


Figura 21. Distribuição das cavernas e seu desenvolvimento (50 cavernas).

### 3.1.2.4 INTERFERÊNCIA DE PROCESSOS ANTRÓPICOS NO CARSTE

A agricultura, a mineração, atividades industriais, o turismo e a ocupação urbana podem impactar a paisagem cárstica, acelerando processos morfodinâmicos e ou contaminando o aquífero.

Neste item será analisada especificamente a vulnerabilidade intrínseca do aquífero cárstico, levando em conta apenas, as características hidrogeológicas do sistema, que são por definição, independentes das propriedades específicas dos contaminantes. A abordagem para mapear a vulnerabilidade intrínseca do aquífero é baseada no modelo origem - trajeto - alvo: A origem do risco está na superfície; o alvo é a água subterrânea na parte superior do aquífero; o trajeto inclui as camadas entre a superfície e o topo do aquífero.

Dependendo das propriedades do trajeto (características do material de cobertura e do calcário), o alvo será mais ou menos protegido. Por exemplo, coberturas espessas que inibem o escoamento superficial, sobrepostas a topos rochosos pouco fraturados protegem mais o aquífero que coberturas delgadas de mesma natureza, recobrindo calcários extremamente fraturados. No primeiro caso, a possibilidade de retardo e degradação do contaminante é mais alta.

No entanto, o fator protetor da cobertura só é eficiente, se a precipitação infiltra no solo sem gerar escoamento concentrado (coisa rara na área de estudo). Isso ocorre, pois no carste, a infiltração concentrada de fluxos perenes ou intermitentes em sumidouros é comum. Neste caso, a cobertura protetora é completamente ignorada e o fluxo pode carrear poluentes diretamente para o aquífero.

De acordo com as premissas apresentadas anteriormente, é possível obter diferentes gradações de vulnerabilidade do aquífero considerando propriedades da cobertura vegetal, da topografia, dos solos, de coberturas sedimentares, de camadas rochosas, da estrutura e química dos calcários e até mesmo da intensidade das chuvas.

Levando em conta a complexidade do tema e a falta de controle de alguns dos parâmetros citados, nesta proposta, a vulnerabilidade do aquífero cárstico na área do parque, dependerá do tipo de infiltração. Assim, as regiões que permitem a injeção de fluxos concentrados diretamente no aquífero são as mais vulneráveis; as regiões carbonáticas onde a recarga se dá exclusivamente por infiltração difusa e o escoamento superficial converge para rios de superfície, possuem vulnerabilidade intermediária, e as regiões onde o escoamento não converge para regiões cársticas não oferecem risco para a contaminação do aquífero. Na Tabela 6 os índices são apresentados.

**Tabela 6. Graus de vulnerabilidade natural estabelecidos para impactos antrópicos no sistema cársticos.**

Grau de Vulnerabilidade	Características
3	Áreas de depressões autóctones ou alóctones - recarga difusa por infiltração no solo e recarga concentrada em sumidouros, com grande incidência de feições cársticas como sumidouros, ressurgências, cones cársticos e cavernas
2	Áreas carbonáticas com baixa incidência de feições cársticas, com infiltração difusa nos solos (com pouco desenvolvimento bacias autóctones), o escoamento superficial é drenado para rios superficiais ou áreas não carbonáticas fora do PEI.
1	Áreas não carbonáticas - a infiltração e o escoamento superficial nestas áreas não convergem para o carste

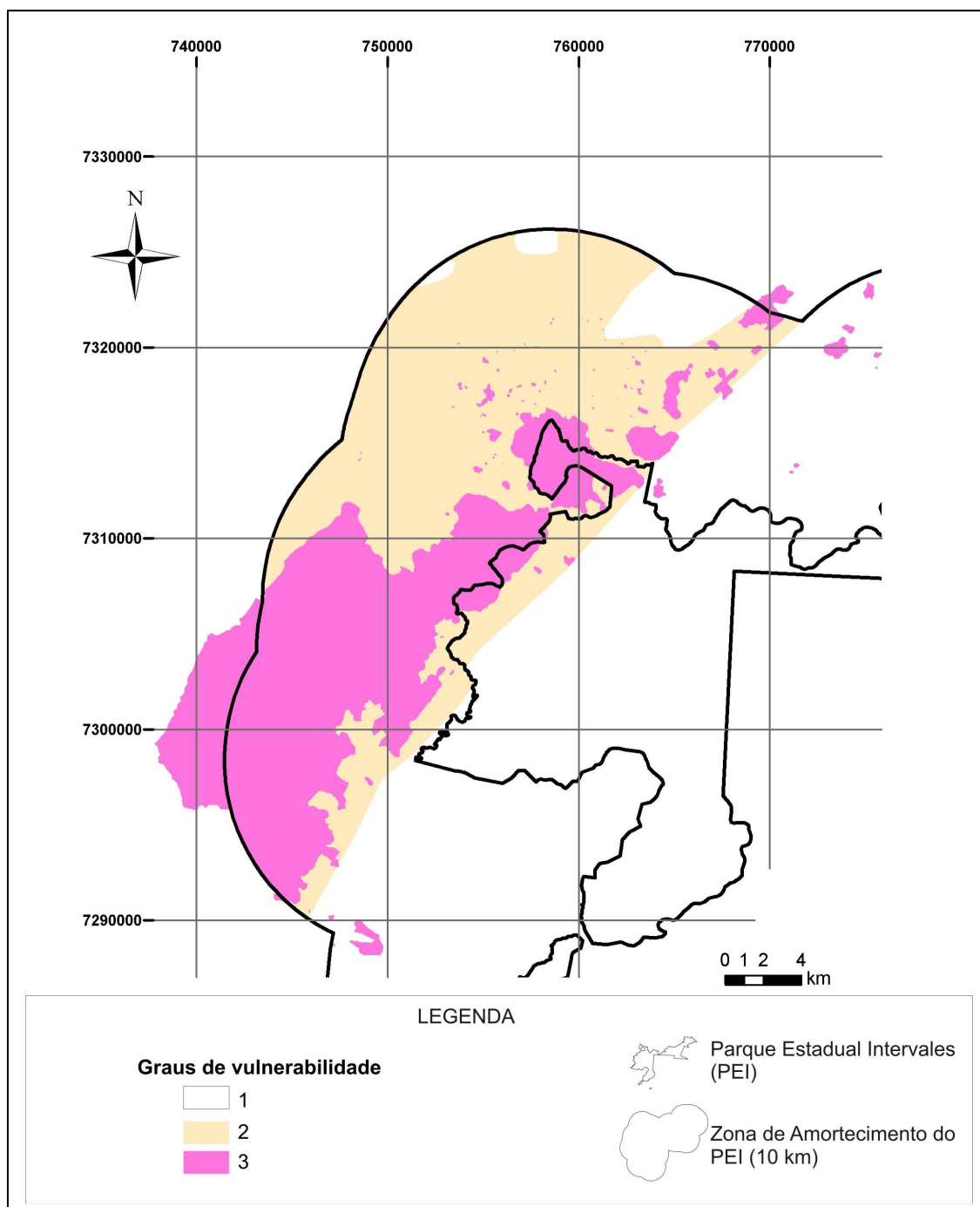


Figura 22. Graus de vulnerabilidade natural do carste do PEI e ZA.

A mineração pode acarretar diversos impactos no carste.

Segundo Shimada *et al.* (2004) os impactos causados no carste na mineração são representados atualmente por supressão da vegetação, alteração do relevo, alteração de cursos d'água, disposição inadequada de estéril, destruição de cavidades naturais, deslocamento de fauna e alteração do regime hidrológico subterrâneo.

A mineração tem se instalado e buscado novos empreendimentos na ZA, por razões legais. Estas áreas serão mais impactadas. Destaca-se a área a norte e oeste do PEI, onde a concentração de empreendimentos é mais significativa. Segundo Shimada *et al.* (2004) as rochas carbonáticas da região têm sido utilizados pelos mineradores para a produção de cal, cimento e corretivo de solo, desde 1947, com a Sabará Indústria e Comércio Ltda. Segundo estes autores com a criação do PETAR e PEI, em 1958 e 1995, a maior parte das exposições de rochas carbonáticas da região, já com concessões de lavra anteriores aos parques, ficaram nos parques. Devido a isto as rochas carbonáticas que restaram fora desses limites têm sido objeto de crescente pressão dos mineradores para a instalação de novos empreendimentos. Atualmente, oito empresas de mineração operam na região, sendo quatro no entorno do PETAR e quatro no entorno de Intervales, e, dessas, duas são de grande porte (Shimada *et al.* 2004).

Apesar dos impactos da mineração, pelo menos no norte do PEI, sendo uma área menos carstificada, considerando a densidade de feições cársticas, os empreendimentos minerários não tem muito impacto no carste de uma forma geral. O impacto mais evidente é o rebaixamento do nível d'água, que pode afetar todo o sistema, inclusive no interior do parque. Este impacto deve ser considerado em todos os empreendimentos, inclusive aqueles que não tem cavas profundas.

Os impactos de outra natureza, como ruídos, vibrações, emissão de material particulado, entre outros, devem ser minimizados através da aplicação da legislação ambiental vigente.

Além da mineração, outras fontes são potencialmente poluidoras. Áreas urbanas são fontes poluidoras, mas não ocorrem concentrações urbanas significativas na área. A cidade de Ribeirão Grande, a mais próxima, está bastante distante e não está sobre áreas cársticas. Pequenas vilas ocorrem na ZA e devem ter seus esgotos monitorados quando lançados em áreas cársticas. De modo geral estes impactos não tem sido avaliados. Um exemplo disto é a própria sede do PEI, e toda a infra-estrutura existente.

Duas áreas têm potencial para impactos graves de poluição na região W-SW da ZA (e fora da ZA), com rios drenando para o PETAR. São as bacias dos rios Temimina e Campina (Figura 3.1.2-23). Nestas bacias o carste é bastante desenvolvido. São bacias mistas (alóctone e autóctone) com uma grande área de captação alóctone, drenando para dentro do sistema cárstico, inclusive formando sumidouros e grandes cavernas, como Temimina e Ribeirãozinho, entre outras importantes cavernas da região. A Bacia do Córrego Campina está totalmente inserida no PETAR, dentro da ZA do PEI, estando assim protegida. Mas a Bacia do Rio Temimina possui boa parte de suas cabeceiras fora do PETAR, dentro e fora da ZA do PEI, estando assim vulnerável a impactos diversos em diversos locais. Um local potencialmente vulnerável a poluição é a rodovia SP-250, que vai de Guapiara a Apiaí. Nesta rodovia há



tráfego intenso de veículos e transporte de cargas diversas. Além disso, a ocupação nesta área é bem mais intensa.

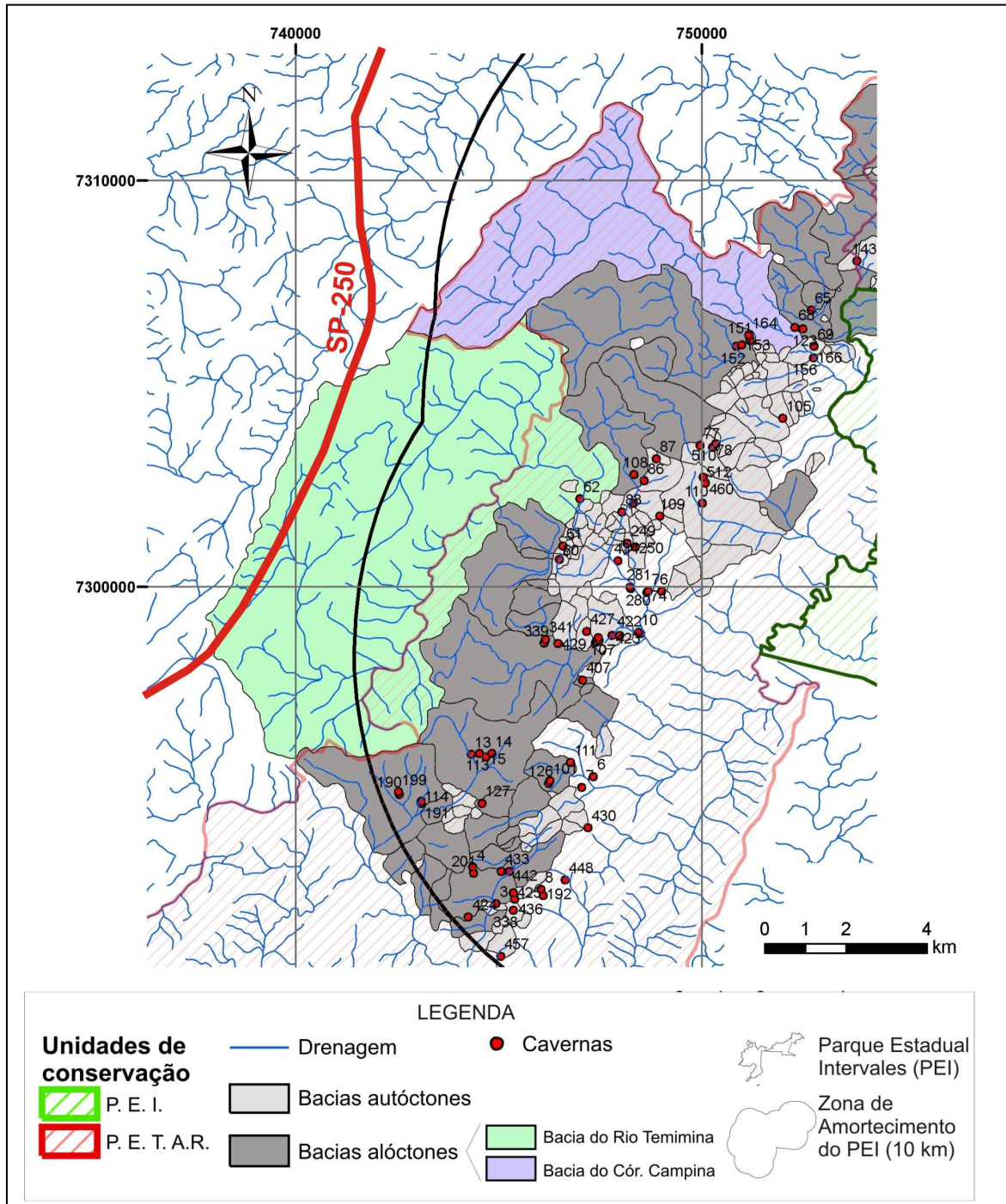


Figura 23. Detalhe das áreas das bacias dos rios Temimina e Campina.

Quanto ao turismo, o impacto é mais pontual, praticamente restrito às cavernas e trilhas.

Apesar do PEI desenvolver turismo nas cavernas como uma forma de aproveitamento econômico sustentável, ele também causa impacto. Da mesma forma nas cavernas da ZA. Observa-se na Tabela 7 que o fluxo de turistas no PEI é intenso. Boa parte destes visitantes procura as cavernas como atrativo.

O impacto da visitação em cavernas é inevitável. Porém as medidas de minimização dos impactos são possíveis. Uma delas são as visitas monitoradas, que são praticadas no PEI, e em alguns locais da ZA. Sem dúvida as cavernas na ZA estão mais vulneráveis.

**Tabela 7. Número de visitantes em relação ao número de hóspedes no PEI, de 1998 a 2006 (Passold 2007).**

Ano	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	TOTAIS
Nº visitantes	9.907	12.557	12.665	11.892	9.119	7.322	8.724	8.677	7.900	88.763

Pelos dados obtidos, cerca de 14 cavernas são utilizadas para turismo na região, em maior ou menor grau, desde turismo esporádico a mais intenso (Tabelas 4 e 8).

Das cavernas com visitação apenas 2 respondem por 35% do fluxo de turistas: Gruta Colorida e Gruta dos Paiva. As outras cavernas apresentam menor visitação.

**Tabela 8. Número de visitantes, médias anuais e porcentagem de visitantes nas cavernas em relação ao total nos atrativos do PEI, de 1998 a 2007 (Passold 2007).**

Roteiros utilizados - 1998 a 2007	Nº de pessoas	Média anual	% em relação ao total de pessoas*
GRUTA COLORIDA	27831	2783	19%
GRUTA DOS PAIVA	23280	2328	16%
GRUTA DO FENDÃO	6521	652	5%
GRUTA DO FOGO	5546	555	4%
GRUTA DA SANTA	4090	409	3%
GRUTA DO MINOTAURO	3900	390	3%
GRUTA DA MÃOZINHA	3849	385	3%
GRUTA DO CIPÓ	1864	186	1%
GRUTA DOS MENINOS	1012	101	1%
GRUTA DO TATU	968	97	1%
GRUTA JANE MANSFIELD	603	60	0%
GRUTA ZÉ MANECO	166	17	0%
GRUTA MONJOLO	44	4	0%

\* O número zero refere-se à utilização com menos de 1% de frequência

Considerando o grau de vulnerabilidade e as áreas legalmente protegidas, foi estabelecido um zoneamento das áreas cársticas. A ZA não foi considerada como uma unidade de proteção efetiva ao carste (mesmo as APA's), visto que diversas atividades são desenvolvidas dentro dela.

A Tabela 9 resume este zoneamento, que pode ser visualizado na Figura 24.

**Tabela 8. Zoneamento das áreas cársticas com base na vulnerabilidade e áreas legalmente protegidas. 1= menos susceptíveis e 5= mais susceptíveis.**

ZONA	CARACTERÍSTICAS	PEI	PETAR	ZA
1	Áreas não carbonáticas, que não constituem recargas alóctones.	Indiferente	Indiferente	Indiferente
2	Áreas cársticas, que constituem áreas de recarga alóctones e autóctones, em bacias que drenam para sistemas dentro do PEI.	Dentro	Dentro	Dentro
3	Áreas cársticas, que constituem áreas de recarga alóctones e autóctones, em bacias que drenam para sistemas fora do PEI.	Fora	Fora	Dentro
4	Áreas carbonáticas, que constituem recargas autóctones.	Fora	Fora	Dentro
5	Áreas não-carbonáticas e carbonáticas, que constituem áreas de recarga para dentro do PEI e PETAR	Fora	Fora	Dentro/Fora

Como já discutido acima duas áreas foram identificadas como mais vulneráveis a impactos, a da Bacia do Córrego Campina e a Bacia do Rio Temimina. A Bacia do Córrego Campina foi considerada pelo zoneamento como pouco susceptível a impactos, pois se encontra dentro do PETAR, estando protegida. Já a Bacia do Rio Temimina considerada muito susceptível a impactos, pois está fora do PETAR, do PEI e da ZA do PEI.

Outras duas áreas foram identificadas como potencialmente susceptíveis por não estarem dentro do PEI e PETAR. São as áreas da Gruta dos Paiva (Bacia do Córrego do Lajeado) e a área entre o PEI e o PETAR (Figura 24). Atualmente estas áreas não estão em situação de risco a impactos diretos.

A primeira, na região da Gruta dos Paiva é mais vulnerável pois é uma área de recarga mista, bastante carstificada e que drena para bacias dentro do PEI. Além disso, nesta área encontra-se a Gruta dos Paiva que representa uma caverna importante, pois é uma das maiores do Estado e uma das 50 maiores cavernas do Brasil, segundo levantamento de Auler *et al.* (2001). A segunda, entre o PEI e o PETAR, é uma área isolada entre as duas UC's, o que lhe confere relativa proteção. Mesmo assim, encontra-se bastante desmatada com ocupação de pequenas propriedades (Foto 4). É uma importante área de captação mista para o carste do PETAR e PEI, com cavernas associadas.

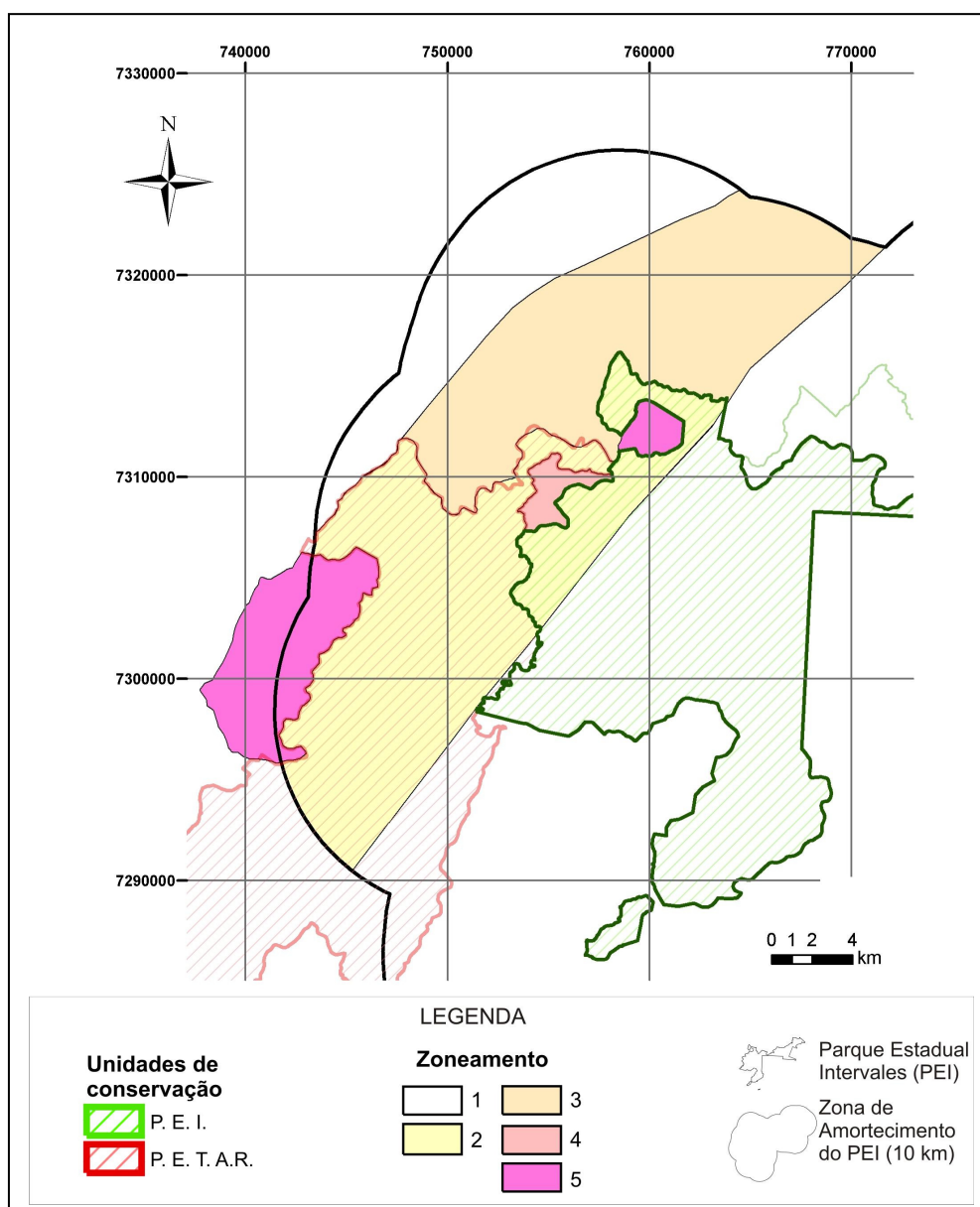


Figura 24. Zoneamento estabelecido para as áreas cársticas do PEI e ZA.





Foto 2. Região da Bacia do Córrego Lajeado na área da Gruta dos Paiva (Ponto N 7312030,161 / E758774,985).



Foto 3. Região entre o PEI e o PETAR (Ponto N7310438,165 / E754828,763).

### 3.1.2.5 RECOMENDAÇÕES PARA O SISTEMA CÁRSTICO

De forma a atender a legislação vigente e permitir o uso sustentável na área de ocorrência do Sistema Cárstico na área do PEI e sua Zona de Amortecimento, são propostas a seguir algumas recomendações. Os dados coletados até o momento são considerados ainda insuficientes para a tomada de decisões quanto à adequada gestão sustentável no PEI e sua Zona de Amortecimento do Sistema Cárstico (Tabela 5.1). Estas recomendações têm por objetivo indicar direções para o estabelecimento de política de uso dos recursos espeleológicos na área em estudo, cujo modelo foi adaptado de National Park Service (2007). As principais recomendações neste plano de ação para a área do PEI e sua Zona de Amortecimento são:

- proposição para aumentar a área de abrangência do PEI, englobando importantes áreas do Sistema Cárstico;
- diagnóstico das condições atuais em detalhe do Sistema Cárstico, integrando dados de superfície e subsuperfície, especialmente no que se refere à localização de feições, garantindo que o Sistema Cárstico esteja adequadamente protegido de atividades desenvolvidas em subsuperfície;
- estabelecimento de política de manejo do Sistema Cárstico e os tipos apropriados de uso, com o estabelecimento de métodos de proteção de cavidades naturais, do carste e de seu sistema hidrogeológico;
- proporcionar oportunidades educativas e recreativas para visitantes com o intuito de descobrir, explorar, estudar, respeitar e apreciar as cavidades naturais, definidas pelo respectivo Plano de Manejo Espeleológico, de modo a minimizar os impactos degradantes do uso antrópico;
- estabelecer sistemas para monitorar a degradação do Sistema Cárstico com o uso turístico.



Tabela 5.1: Resumo do nível de informações obtidos sobre os recursos naturais do Sistema Cárstico no PEI e sua Zona de Amortecimento adaptado de National Park Service (2007): Nível I - falta de dados mínimos, insuficientes para tomada de decisões quanto à adequada gestão; Nível II - Base de dados suficiente para tomada de decisões básicas quanto à adequada gestão; Nível III - projetos de investigações com dados completos, suficientes para a tomada da maioria de decisões quanto à adequada gestão. Podem ser exigidos ainda projetos de investigação adicionais.

Componentes do Inventário	Nível I	Nível II	Nível III
Mapa do Sistema Cárstico		x	
Mapeamento das cavernas		x	
Inventário das feições cársticas e cavidades naturais		x	
Mapa geológico		x	
Mapa de microbacias cársticas		x	
Hidrogeologia	x		
Dados climatológicos das cavidades naturais	x		
Estudos de impacto antrópica de visitação	x		

#### 1) Incorporação de novas áreas ao PEI

Neste estudo foram identificadas áreas no Sistema Cárstico que devem ter alta restrição ambiental (ver item 4 - Figuras 4.1, 4.2 e 4.3). Essas áreas encontram-se contíguas ao PEI e PETAR e apresentam importantes feições cársticas, tanto no contexto municipal, como no estadual. A preservação deste Sistema Cárstico e cavidades naturais associadas torna-se um ponto importante no planejamento ambiental integrado da região, representando um considerável potencial ecoturístico e de educação ambiental.

A primeira área para possível incorporação ao PEI é a área da Gruta dos Paiva descrita acima (Foto 3). Na Figura 5.1 vemos um detalhe desta área. Apresenta cerca de 6.099.618 m<sup>2</sup> de área.

A segunda área localiza-se entre o PEI e o PETAR (Foto 4). É uma área isolada que não foi abrangida pelas UC's. Possui cerca de 7.207.016 m<sup>2</sup> de área.

Estas áreas deveriam ser incorporadas ao PEI e PETAR a partir da compra das áreas por compensações ambientais, por exemplo, pois são importantes áreas de carste e cavernas importantes (turísticas inclusive) desprotegidas pelas UC's.

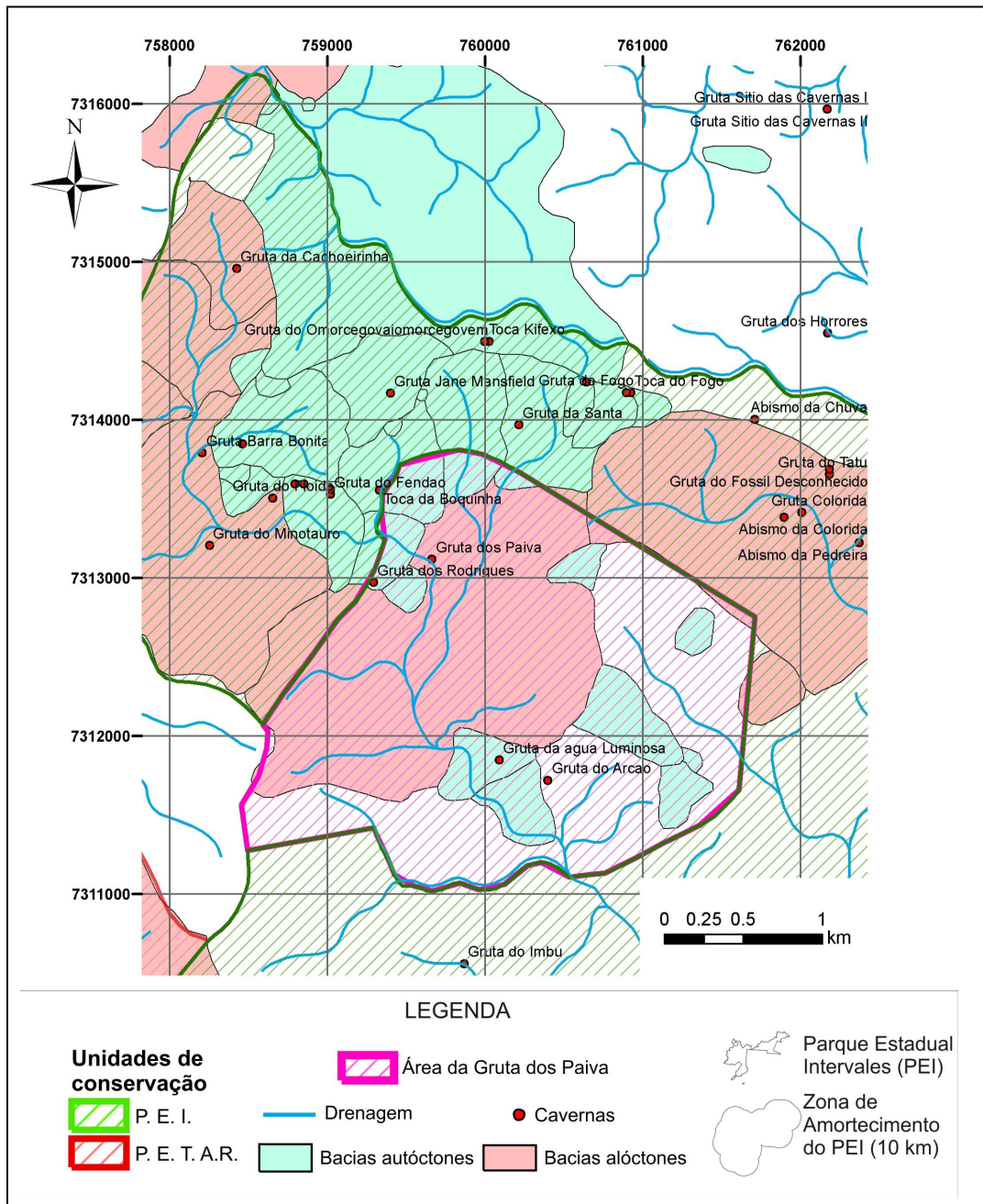


Figura 25. Detalhe da área da Gruta do Paiva.

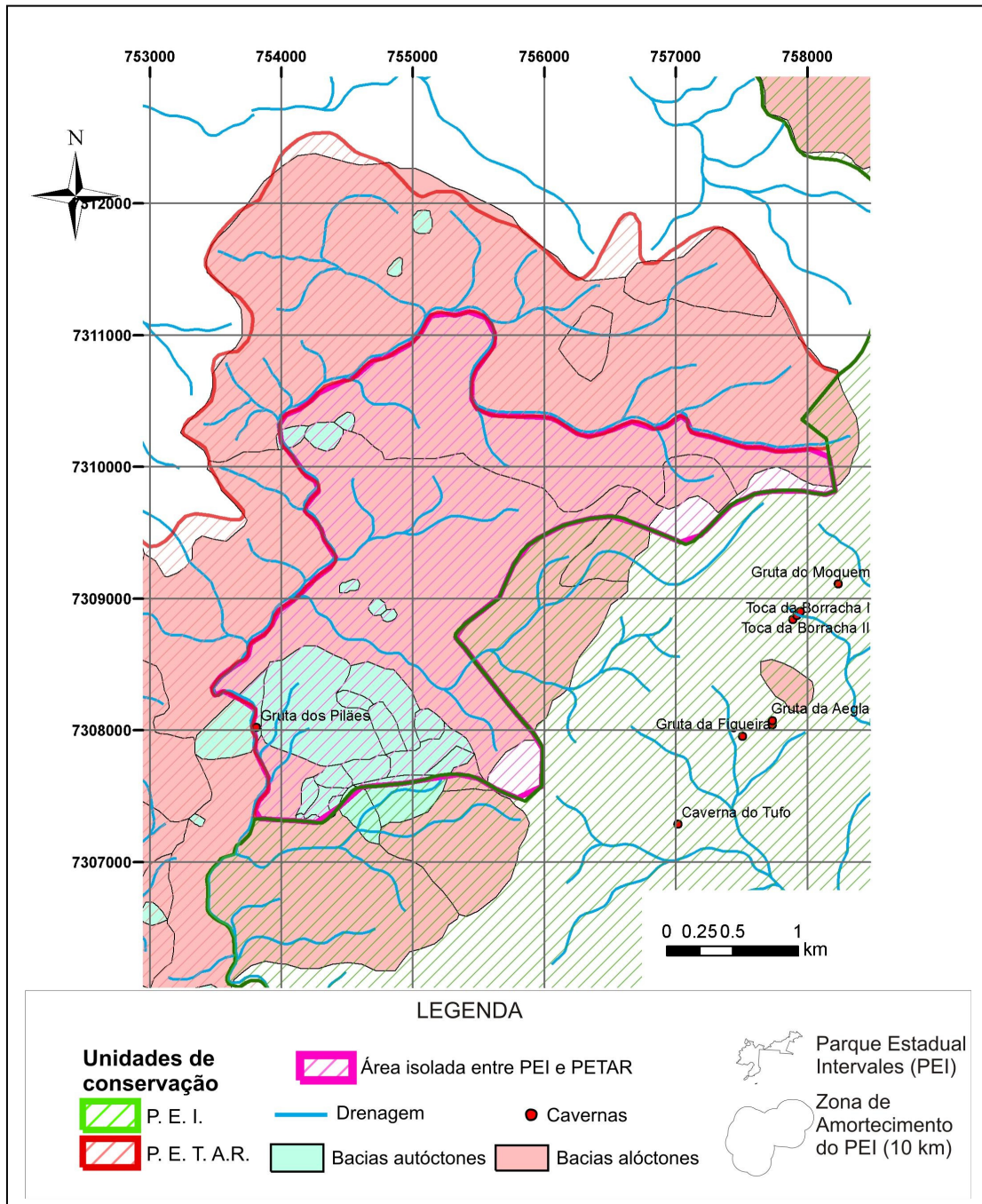


Figura 26. Detalhe da área isolada entre o PEI e PETAR.

## 2) Diagnóstico em detalhe do Sistema Cárstico

Todo sistema cárstico pode representar um perigo natural como qualidade ambiental e danos físicos a construções, que ameaçam a vida humana e o ecossistema. O uso antrópico de um Sistema Cárstico sem uma política ambiental bem definida para o seu adequado gerenciamento, aumenta o perigo natural, resultando em subsidência ou colapso da superfície, inundações em dolinas, contaminações subterrâneas severas, bem como afeta comunidades bióticas. Há uma variedade de espécies de peixes e fauna selvagem sensíveis nos habitats cársticos, que, com a mínima perturbação no delicado equilíbrio destes ecossistemas, pode provocar um impacto significativo sobre esta biota.

Aquíferos cársticos são particularmente sensíveis à contaminação devido à falta de filtração de água no aquífero, pelo fato das águas subterrâneas e superficiais serem conectadas diretamente, o que requer uma especial atenção e planejamento. Contaminantes podem fluir diretamente no aquífero sem diluição ou filtragem. Contaminações comuns no Sistema Cárstico incluem aterros de resíduos, derrames de produtos em vias de transporte, enchentes em rodovias, disposição de materiais em dolinas e operações agrícolas. Além de sua extrema vulnerabilidade à contaminação, os aquíferos cársticos são extremamente difíceis de remediar.

Recomendamos que sejam realizados os seguintes estudos:

**Mapeamento em detalhe do Sistema Cárstico:** é necessário identificar e definir as áreas de influência no Sistema Cárstico. Deve-se incluir localização, distribuição e avaliação da qualidade das águas subterrâneas e identificação de padrão de fluxos subterrâneos. O mapeamento em detalhe deve ser realizado em escala mínima de 1:10.000, identificando diferentes feições do relevo, caminhamentos de campo, fotografias áreas de diferentes épocas e produtos de sensoriamento remoto. Este mapeamento deve originar um banco de informações em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) que incluem feições anômalas como vales cegos (rios com sumidouros), drenagens interrompidas e afundamentos do terreno (dolinas), nascentes cársticas, densidades de cavidades naturais, processos de erosão acelerada e instabilização de encostas. Devem ser realizados estudos hidrológicos de detalhe com cálculos do balanço hídrico das bacias.

Durante os trabalhos de campo deverão ser realizadas entrevistas com a população local no sentido de obter informações sobre a ocorrência de cavidades naturais.

Os dados gerados neste mapeamento servirão de base para o planejamento de uso e ocupação do solo do Sistema Cárstico. Fontes industriais de poluição, resíduos em lagoas, fossas sépticas, agricultura intensa, tanques de armazenamento de combustíveis podem contaminar o Sistema Cárstico diretamente ou mediante subsidência da superfície. Mudanças no fluxo da água subterrânea, como o bombeamento em poços tubulares, ou nos padrões de drenagem natural podem acelerar processos de subsidência de dolinas e aumentar as inundações em dolinas.

**Zoneamento em detalhe:** deve ser estabelecido um zoneamento em detalhe no sistema cárstico para estabelecer normas de proteção, levando-se em consideração a sua área de recarga. Deve-se definir uma zona de restrição, delineada no entorno do Sistema Cárstico, que pode ser variável de acordo com as suas características mais restritas. Esta estratégia

contribui tanto para reduzir os pontos de poluição, como manter a vegetação, que pode reduzir o risco de subsidência e inundações em dolinamentos. Estes estudos incluem medições para desempenho de quantidade e qualidade de enchentes pluviais, estabelecer normas mais rigorosas para efluentes em sistemas de fossas sépticas bem como áreas de proteção de poços tubulares. As fossas sépticas devem ser mais afastadas do sistema de drenagem e áreas rochosas, além de manutenção periódica obrigatória.

***Estabelecimento de programa em Educação Ambiental:*** a Educação Ambiental é uma ferramenta importante para a proteção e gestão do Sistema Cárstico. Por exemplo, dolinas são utilizadas em zonas rurais para despejar lixo doméstico, produtos químicos e resíduos perigosos, o que leva à contaminação da água subterrânea. Deve ser desenvolvido um programa específico para as áreas de recarga do Sistema Cárstico.

### 3) Planos de Manejo Espeleológicos

O Plano de Manejo Espeleológico é um conjunto de procedimentos que estabelece o Zoneamento Ambiental Espeleológico, as normas que devem presidir o uso de uma caverna e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da cavidade natural subterrânea (Resolução CONAMA Nº 347). O Zoneamento Ambiental Espeleológico representa a setorização espacial do ambiente cavernícola, dividindo-o e o classificando em zonas, com diferentes categorias de utilização (Resolução CONAMA Nº 347).

Dessa forma, deve ser realizado um Plano de Manejo Espeleológico para cada cavidade natural que possui visitação turística conforme a Tabela 3.4.

Cada um dos Planos de Manejo deve ser apresentado segundo o **Termo de Referência para o Plano de Manejo Espeleológico de Cavernas com Atividades Turísticas Implantadas**, estabelecido pelo CECAV- IBAMA (Anexo 1). Além das informações solicitadas no documento, recomenda-se que a topografia subterrânea das cavidades naturais deva seguir os padrões de mapeamento da British Cave Research Association, com precisão correspondente ao grau 5B (BCRA).

O Plano de Manejo Espeleológico com o Zoneamento Ambiental Espeleológico das cavidades naturais com visitação devem ser apresentados ao IBAMA, para obter o licenciamento ambiental, além de autorização/permissão das Secretaria do Patrimônio da União, concernente à utilização turística dos atrativos naturais espeleológicos.

Devem ser interditadas para uso e visitação turística econômica as cavidades naturais subterrâneas que não atendam os critérios determinados pelos Planos de Manejo, ficando restrito o acesso a grupos de espeleologia, espeleólogos e pesquisadores científicos interessados na sua preservação, visando a pesquisa científica e a exploração topográfica, desde que devidamente autorizado pelo CECAV-IBAMA, e não se configure aproveitamento econômico por prática turística.

Durante o Plano de Manejo de cada caverna turística deve ser estudado o número máximo de visitantes para todos os roteiros (capacidade de carga), obedecendo a critérios técnicos consagrados.

Como as cavernas do PEI não possuem ainda Planos de Manejo, foram estabelecidos, em caráter emergencial, através da Portaria Normativa FF nº 057/2008 (Anexo 2), critérios e normas para visitação turística nas cavernas inseridas nos limites do Parque, até os planos estarem consolidados.

Para as cavidades subterrâneas existentes na ZA, tais critérios e normas também são requeridos e deverão ser feitos.