

3.2. Geologia e Geomorfologia

Neste capítulo são apresentadas as características do meio físico da área do Parque Estadual da Campina do Encantado e de seu entorno, com uma descrição das unidades geomorfológicas e geológicas.

3.2.1. Geomorfologia

Almeida (1964) divide a província costeira em duas zonas: Serrania Costeira e a Baixada Litorânea. A Baixada Litorânea compreende terrenos com elevação não superior a 70 metros acima do nível médio do mar, dispostos à beira-mar.

Fúlfaro & Coimbra (1972) dividem o litoral paulista em duas áreas morfologicamente distintas, separadas por uma zona de transição. A área norte, situada entre a Ponta da Boracéia até a divisa com o Estado do Rio de Janeiro, caracteriza-se por praias tipo “de bolso” (pocket beaches) com comprimentos variando de 2 a 4 km, separadas por pontões do embasamento cristalino. Já a região ao sul da Ponta da Boracéia é caracterizada por planícies costeiras mais contínuas, separadas por pequenos pontões do embasamento cristalino. Posteriormente, Fúlfaro *et al.* (1974), valendo-se de critérios de compartimentação tectônica atribuída a alinhamentos oblíquos ou transversais à costa, subdividiram o litoral paulista nas planícies de Cananéia/Iguape, Itanhaém, Santos, Bertioga e Caraguatatuba.

Usando critérios geomorfológicos, Suguio & Martin (1976) identificaram no litoral paulista morfologia de emersão a sul e submersão a norte, onde o embasamento cristalino atinge quase continuamente o mar. Os autores justificam a diferenciação entre a parte norte e sul por diferenças na dinâmica sedimentar e/ou influência tectônica.

Segundo Ross & Moroz (1997), na área de estudos predominam regiões rebaixadas das bacias sedimentares cenozóicas/depressões tectônicas, em contraste com poucas áreas elevadas do Cinturão Orogênico do Atlântico. A compartimentação do relevo segundo Ross & Moroz (1997) na área pode ser vista nas figuras 8 e 9.

Dentro do compartimento das bacias sedimentares cenozóicas/depressões tectônicas os autores reconheceram colinas aplainadas da Depressão Tectônica do Baixo Ribeira e terrenos planos de natureza sedimentar quaternária das Planícies Fluviais e litorâneas. Já na porção do Cinturão orogênico do Atlântico, reconheceram na área o Planalto Atlântico, que pode ser subdividido nos Morros Altos do Planalto do Ribeira/Turvo e nas escarpas e cristas da Serra do Mar e Morros Litorâneos.

O Parque Estadual da Campina do Encantado encontra-se essencialmente nos compartimentos das Planícies Fluviais e litorâneas.

Ross (2002) identificou 5 unidades dos Sistemas Ambientais na escala 1:250.000, baseadas na geomorfologia, mapeamento do uso da terra na bacia hidrográfica, unidades de conservação, aspectos sócio-econômicos e comportamento hidroclimático:

- I Sistema da Planície Costeira Cananéia-Iguape (Zonas de Unidades de Conservação);
- II Sistema das Planícies e Terraços Fluviais do Ribeira;
- III Sistema de Colinas e Morrotes da Depressão Tectônica do Baixo Ribeira;
- IV Sistema de Morros e Escarpas das Serras do Mar e Paranapiacaba (Zonas de Unidade de Conservação);
- V Sistema de Morros e Superfícies de Cimeira dos Planaltos do Alto Ribeira.

Neste conceito, o PE da Campina do Encantado encontra-se essencialmente na unidade do Sistema da Planície Costeira Cananéia-Iguape e Sistema das Planícies e Terraços Fluviais do Ribeira.

Ross (2002) descreve o Sistema da Planície Costeira Cananéia-Iguape como “uma importante região estuarina de grande complexidade biofísica, onde ocorrem os ecossistemas de mangues ao lado das planícies e cordões arenosos marinhos, recortados por planícies fluviais cujos sedimentos marinhos são retrabalhados pelos rios e acrescidos de outros sedimentos procedentes do interior do continente.” O autor descreve solos hidromórficos sobre terrenos planos e arenosos que armazenam grande volume d’água, resultando em lençol freático raso, além de citar a ocorrência de turfeiras neste compartimento. Descreve esta unidade com clima quente e úmido, com chuvas abundantes e freqüentes, ocorrendo variação de 1500 mm/ano, em anos menos chuvosos, a 3500 mm/a, em anos mais chuvosos, sendo os meses de junho, julho e agosto os meses menos chuvosos.

Na unidade do Sistema das Planícies e Terraços Fluviais do Ribeira do Iguape, Ross (2002) descreve terrenos planos que margeiam os cursos fluviais no Baixo Ribeira ou na região da Depressão Tectônica do Ribeira, caracterizada por “densa ramificação de planícies fluviais que apresenta diferenciação significativa entre os trechos à montante de Registro, no Rio Ribeira, e nas bacias dos rios Juquiá e Jacupiranga” (Fig. 10). Segundo os autores, “enquanto nos trechos mais à montante prevalecem planícies e terraços mais estreitos e com o canal principal do rio mais entalhado e com perfil longitudinal de declividade pouco mais acentuada, nos trechos à jusante, as planícies são mais largas, originadas predominantemente a partir de vales afogados pela sedimentação marinha, com muito baixo gradiente topográfico e, conseqüentemente, as águas encontram maiores dificuldades para escoar na direção do mar.”

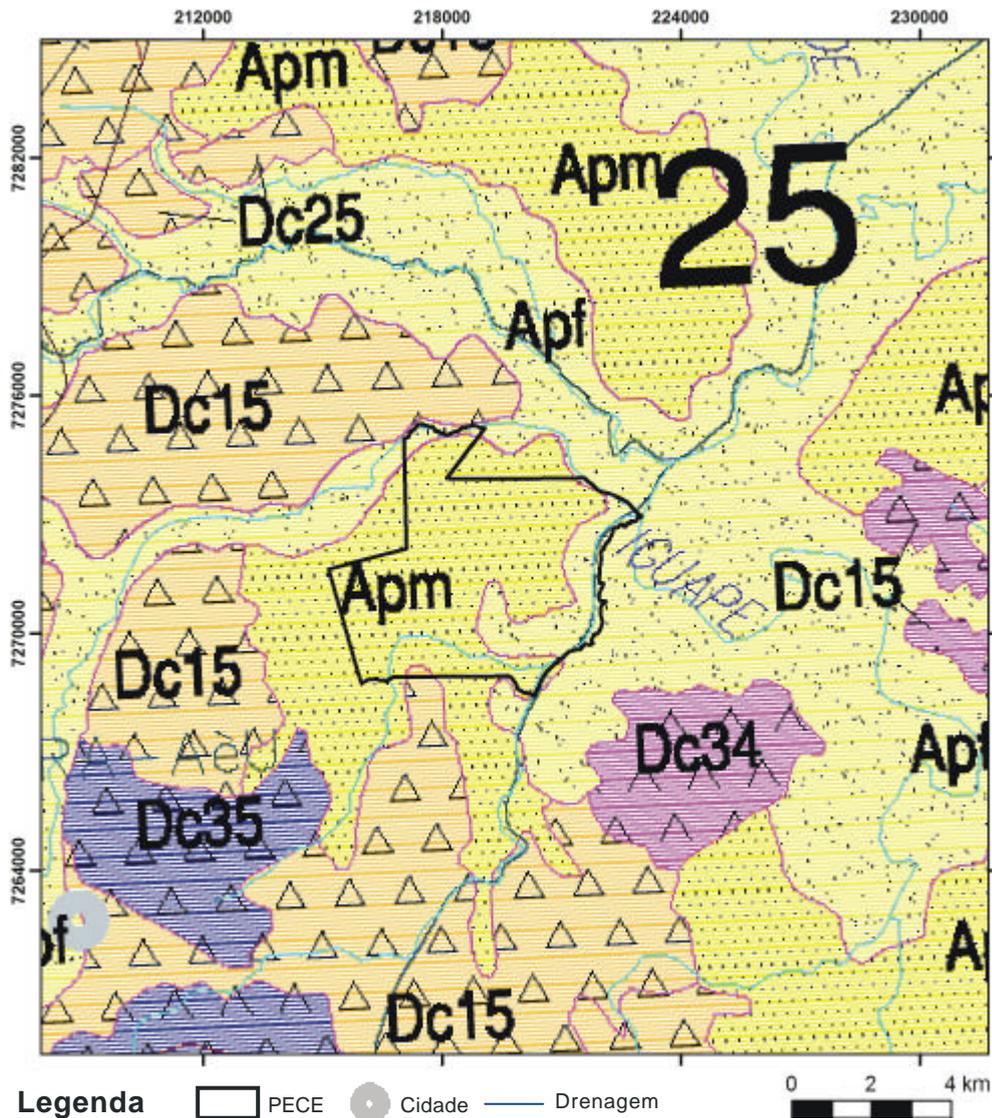


Figura 8. Unidades geomorfológicas que ocorrem no Parque Estadual da Campina do Encantado, baseado em Ross & Moroz (2002)

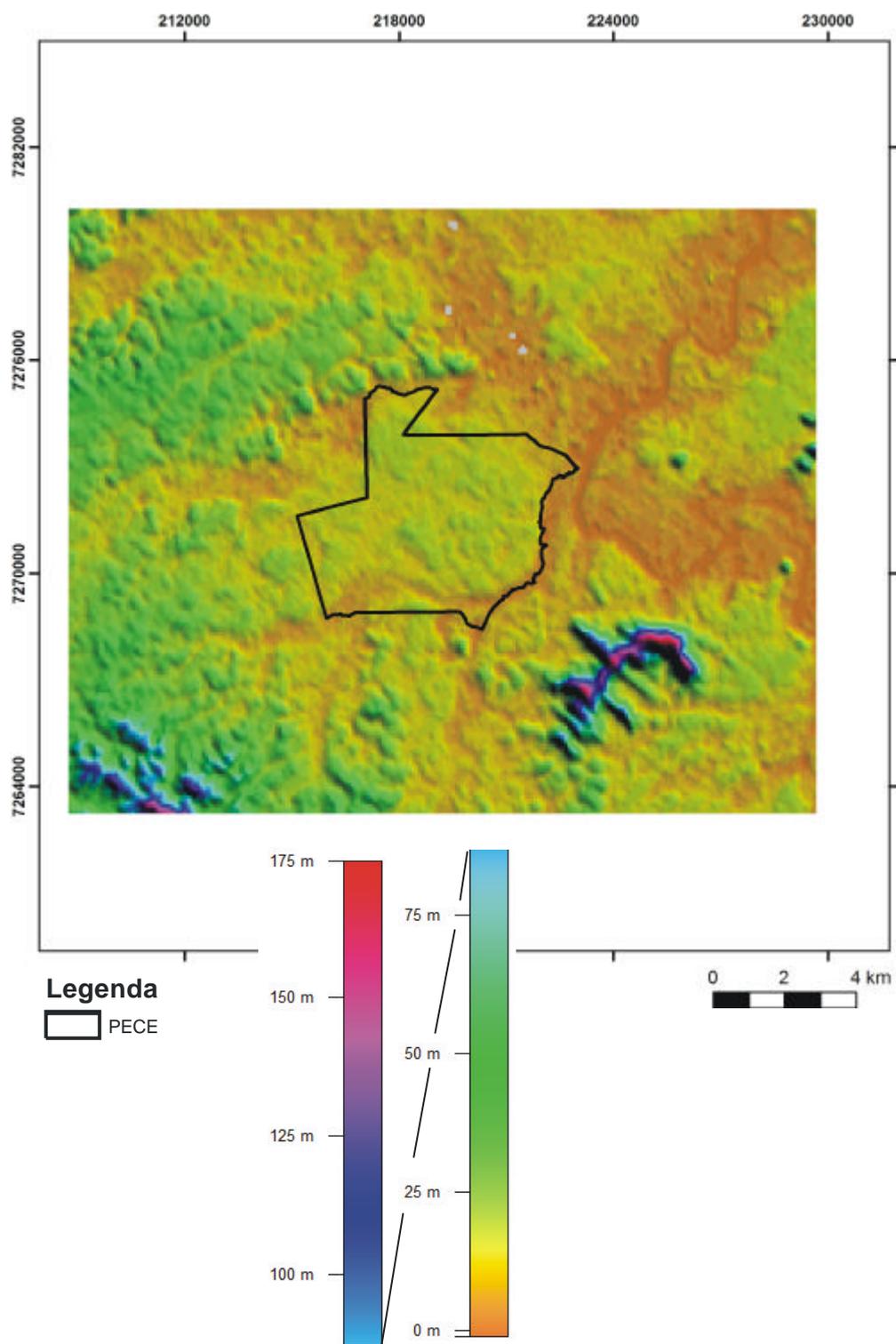


Figura 9. Modelo Digital de Terreno (MDTs) do Parque Estadual da Campina do Encantado e seu entorno com base nos dados SRTM (2004)

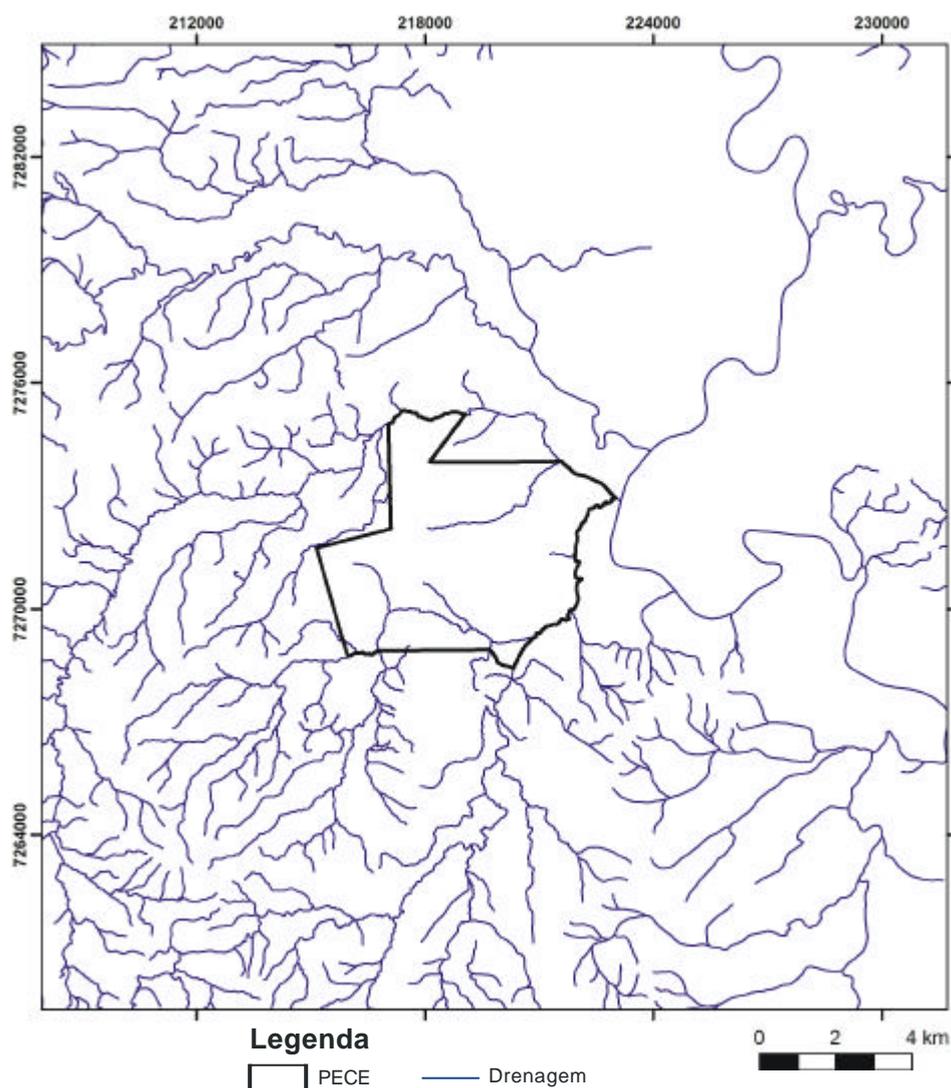


Figura 10. Rede de drenagem do Parque Estadual da Campina do Encantado e seu entorno

3.2.2. Geologia

O Parque Estadual da Campina do Encantado, situado na sub-região da baixada do rio Ribeira, integra o conjunto orográfico da Serra do Mar, na denominada Província Costeira (Almeida 1964), apresentando rochas pré-cambrianas e sedimentos cenozóicos.

Em um contexto geológico amplo, a área do PE da Campina do Encantado está inserida na porção central da Província Mantiqueira (Almeida 1977), na denominada “Faixa de Dobramentos Ribeira” (Hasui et al. 1975) (Fig. 11). 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).

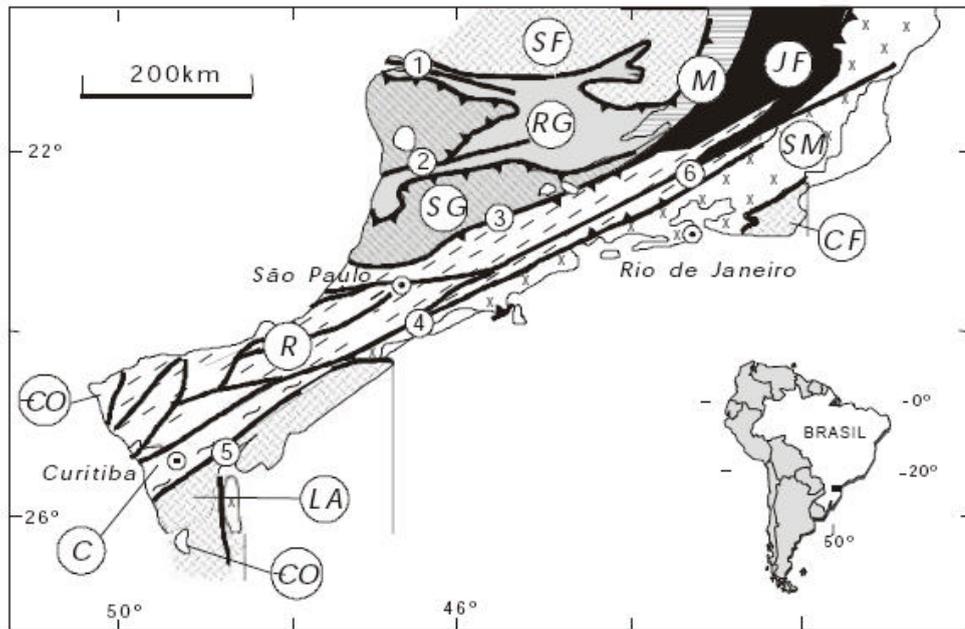


Figura 11. Contexto geológico regional em que está inserida a área do PECE e seu entorno. Blocos e fragmento cratônico: (LA) Luís Alves, (CF) Cabo Frio, (SF) São Francisco; Terrenos arqueanos e paleoproterozóicos: (C) Curitiba, (SM) Serra do Mar, (JF) Juiz de Fora, (M) Mantiqueira; Faixas de dobramento 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, ocorre 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). As rochas do Supergrupo Açungui são intrudidas por um grande número de corpos granitoides de características variadas.

Posteriormente essas rochas sofreram orogenias Brasileira e Rio Doce (650 e 450 Ma) (Campos Neto 1991). Cortando rochas pré-cambrianas ocorrem diques de diabásio associados com a ruptura do Gondwana no Mesozóico (Gimenez Filho *et al.* 1987).

Durante o Cenozóico sucederam-se vários episódios de variações climáticas e movimentações tectônicas acompanhadas por oscilações relativas do nível do mar (Suguio & Martin 1978). Ocorreu erosão remontante da Serra do Mar e pelo seu recuo até a posição atual, e intensa sedimentação neogênica na Bacia de Santos, hoje submersa (Souza & Souza 2004).

Durante o Neógeno as variações paleoclimáticas desempenharam um papel importante na morfogênese e sedimentação litorânea, sendo que a história evolutiva no período apresenta estágios distribuídos entre o Pleistoceno Superior e o fim do Holoceno na costa brasileira, que formaram nas planícies costeiras áreas rebaixadas que apresentam depósitos marinhos, fluviais, lagunares e coluviais (Suguio & Martin 1978). Estes estágios são descritos como os seguintes paleoníveis:

Paleoníveis mais altos do Quaternário: quatro gerações de terraços marinhos, indicativas de paleoníveis do mar acima do atual, foram identificadas como sistemas de ilhas-barreira/lagunas I, II, III e IV, a partir da mais antiga e mais alta para mais recente e mais baixa, embora suas idades absolutas não tenham sido medidas por Villwock *et al.* (1986) e Tomazelli & Villwock (1996, 2000). Desses registros, pelo menos os sistemas de ilhas-barreira/lagunas I e II, quando correlacionadas à curva isotópica de oxigênio de Imbrie *et al.* (1984 *apud* Tomazelli & Villwock 2000), foram interpretados como anteriores a 120.000 anos A.P. (Fig. 12).

Paleonível mais alto de 120.000 anos A.P.: A Transgressão Antiga, referida como ilhas-barreira/lagunas II, foi seguida por um novo evento transgressivo mundialmente conhecido, que teria ocorrido no nível do mar mais alto do Estádio Interglacial Sangamoniano (América do Norte) ou Eemiano (Escandinávia) do Pleistoceno superior (Bloom *et al.* 1974, Chappell 1983), correlacionado ao sistema de ilha-barreira/laguna III do Rio Grande do Sul (Villwock *et al.* 1986) e ao subestágio isotópico de oxigênio 5c. Em grande parte da costa brasileira (nordeste, oriental, sudeste e sul), o nível relativo do mar situava-se 8 ± 2 m acima do atual. Este episódio é conhecido no Estado de São Paulo como Transgressão Cananeense (Suguio & Martin 1978) ou como Penúltima Transgressão nas costas da Bahia, Sergipe, Alagoas e Pernambuco (Bittencourt *et al.* 1979, Suguio *et al.* 2005). Os registros deste nível do mar mais alto são compostos de terraços essencialmente arenosos, que ocorrem pelo menos desde o Rio Grande do Sul (Tomazelli & Villwock 2000) ao Rio Grande do Norte (Suguio *et al.* 2001).

Paleonível mais alto do Holoceno: A última fase transgressiva, conhecida como Transgressão Santista (Suguio & Martin 1978a), denominada Transgressão Flandriana nos Países Baixos teve comportamento bem diferente do Brasil neste intervalo de tempo. Iniciou-se há cerca de 17.500 anos A.P. no auge do U.M.G. No Rio Grande do Sul poderia ser correlacionada ao sistema ilha-barreira/laguna IV.

Suguio & Martin (1978) idealizaram um modelo evolutivo (Fig. 13) apresentando seis estádios entre 123.000 anos A.P. e o tempo atual:

Primeiro estágio: durante o máximo da Transgressão Cananéia, o mar deve ter atingido o sopé da Serra do Mar, quando sedimentos argilo-arenosos transicionais e areias litorâneas transgressivas recobriram parcialmente a Formação Pariqüera-Açu.

Segundo estágio: na fase regressiva subsequente foram formados cordões litorâneos no topo dos depósitos arenosos da Formação Cananéia.

Terceiro estágio: nível relativo do mar mais baixo que o atual (120 a 130 m), há cerca de 18.000 anos A.P., e os rios devem ter erodido parcialmente a Formação Cananéia e eventualmente a Formação Pariqüera-Açu.

Quarto estágio: ao norte e noroeste do Morro da Juréia a Formação Cananéia foi quase completamente erodida no estágio anterior, e a transgressão Santos (pós-glacial) penetrou e atingiu o sopé da Serra do Mar em alguns pontos, formando uma baía. Essa baía desenvolveu vários nichos propícios à proliferação de moluscos, que ensejaram a ocupação por paleo-índios que construíram sambaquis na área.

Quinto estágio: fase subsequente ao nível do máximo holocênico, há 5.150 anos A.P., quando ocorreu a formação de ilha-barreira que transformou a antiga baía em uma ampla laguna. O mar deve ter erodido porções altas da Formação Cananéia, redepositando areias para formar depósitos transicionais e marinhos holocênicos.

Sexto estágio: retorno do paleonível do mar para a situação atual, quando se formaram cristas regressivas holocênicas, enquanto a paleobaía era convertida em paleolaguna, que foi gradualmente perdendo o contato com o oceano aberto e desenvolvendo extenso sistema lagunar, com águas cada vez menos salgadas.

As flutuações de paleoníveis marinhos holocênicos nos últimos 7.000 anos, ao longo da costa brasileira, foram pesquisadas através de indicadores geológico-geomorfológicos, biológicos e pré-históricos (Suguio 1999), desde Santa Catarina até Rio Grande do Norte. Os resultados obtidos por essas pesquisas foram sumariados, pela primeira vez, por Suguio *et al.* (1985) e, posteriormente, por Martin *et al.* (1996) e representados em curvas de variações dos paleoníveis marinhos nos últimos 7.000 anos (Suguio *et al.* 2005).

Figura 12. Quatro sistemas de ilhas-barreira/lagunas registrados na planície costeira do Rio Grande do Sul testemunham fases de ascensão do nível relativo do mar acima do atual (Villwock et al. 1986, Tomazelli & Vilwock 1996)

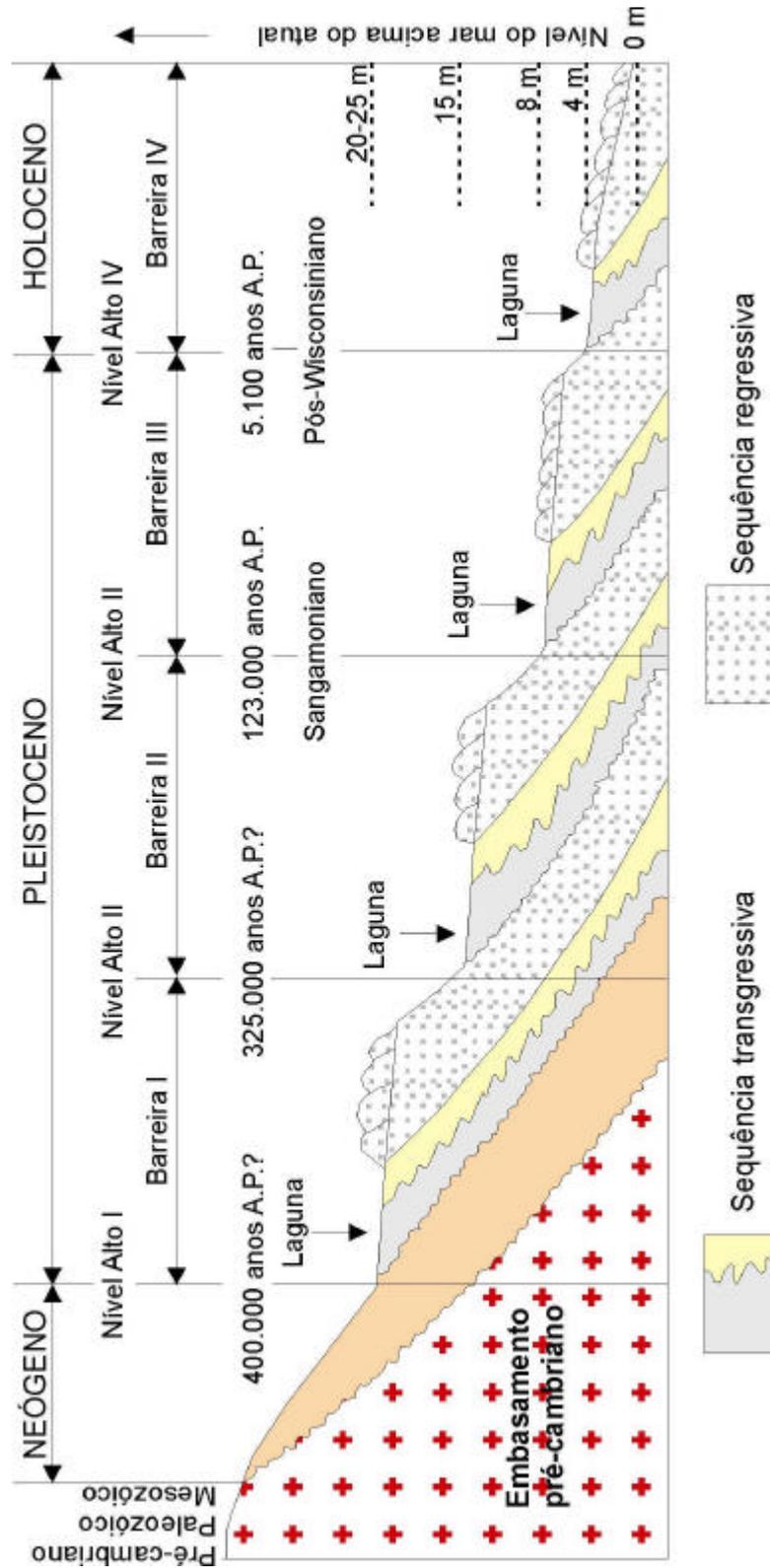
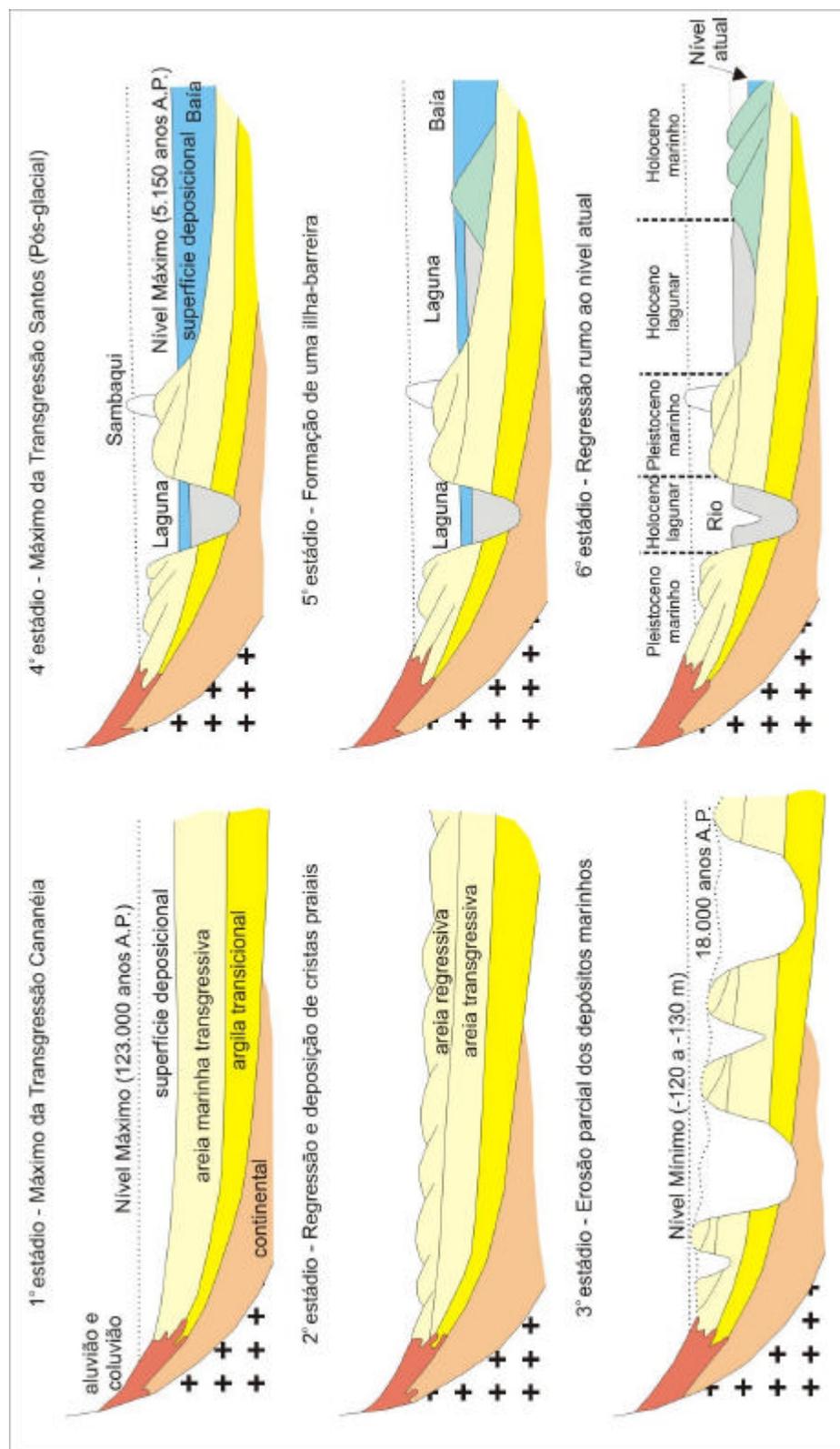


Figura 13. Estádios de evolução geológica durante o Quaternário tardio (Suguio & Martin 1978)



3.2.2.1. Unidades Geológicas

Na área do entorno do Parque Estadual da Campina do Encantado ocorrem rochas das seguintes unidades geológicas: Supergrupo Açungui (Complexo Turvo-Cajati), Milonitos, Complexo Atuba, Formação Rio das Cobras, Diques Básicos, Intrusões Alcalinas, Formação Pariquera-Açu, Formação Cananéia, Depósitos Detríticos Indiferenciados e Depósitos Aluvionares (Figuras 14 e 15).

Na área do Parque Estadual da Campina do Encantado litologicamente predominam rochas granito-gnáissicas (Complexo Atuba), conglomerados, lamitos e arenitos (Formação Pariquera-Açu), areias finas (Formação Cananéia), e areias, cascalheiras, siltes, argilas e turfas (depósitos aluvionares quaternários) (Tabela 5).

Tabela 5. Unidades litológicas que ocorrem na área do Parque Estadual da Campina do Encantado, a partir do mapa geológico de Suguio & Martin (1978) e CPRM (2006)

Unidade Geológicas	Km ²	% em área
▪ Complexo Atuba	0,17	0,50%
▪ Formação Pariquera-Açu	0,24	0,76%
▪ Formação Cananéia	23,02	73,70%
▪ Depósitos Aluvionares	7,83	25,04%

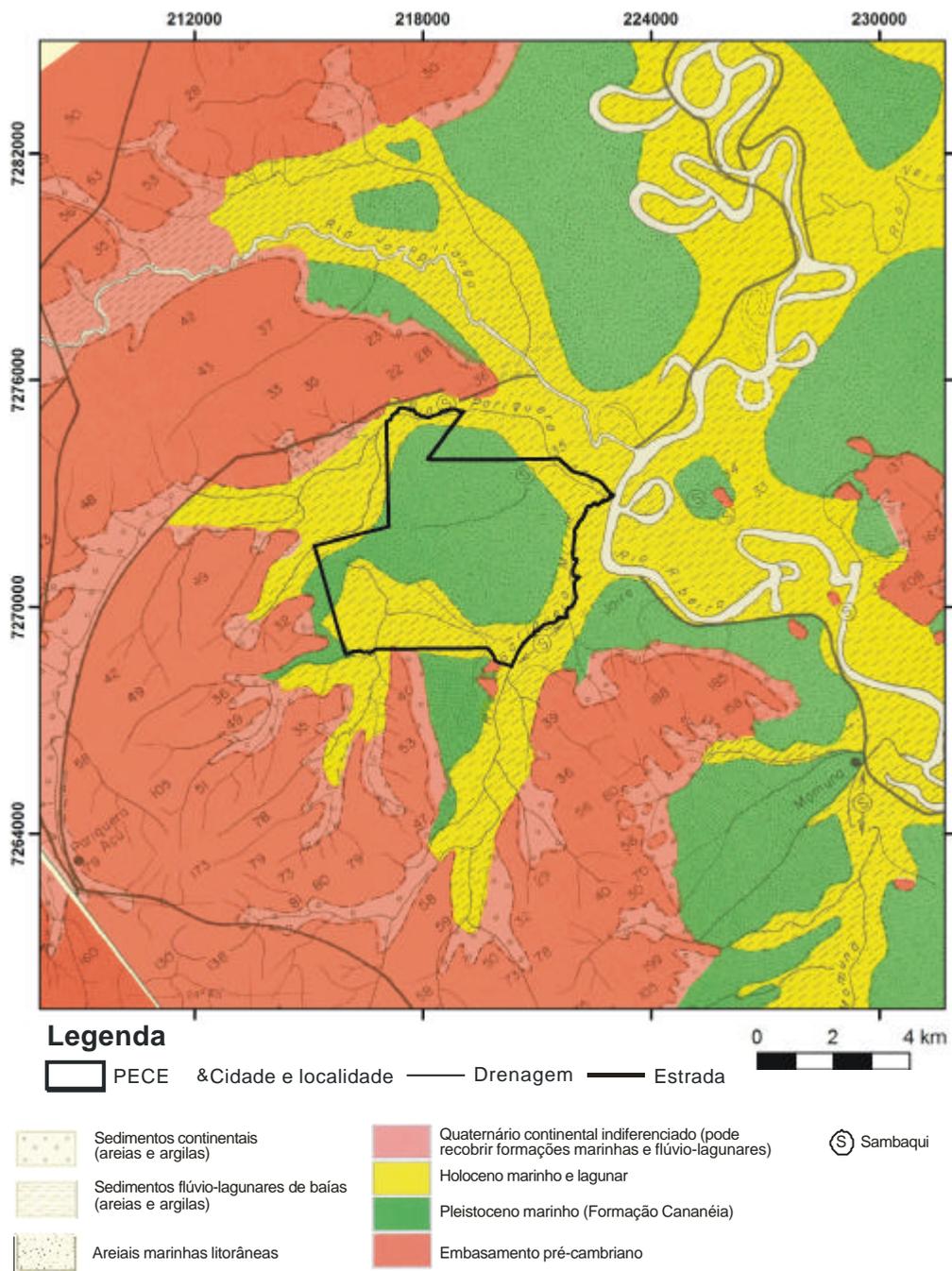
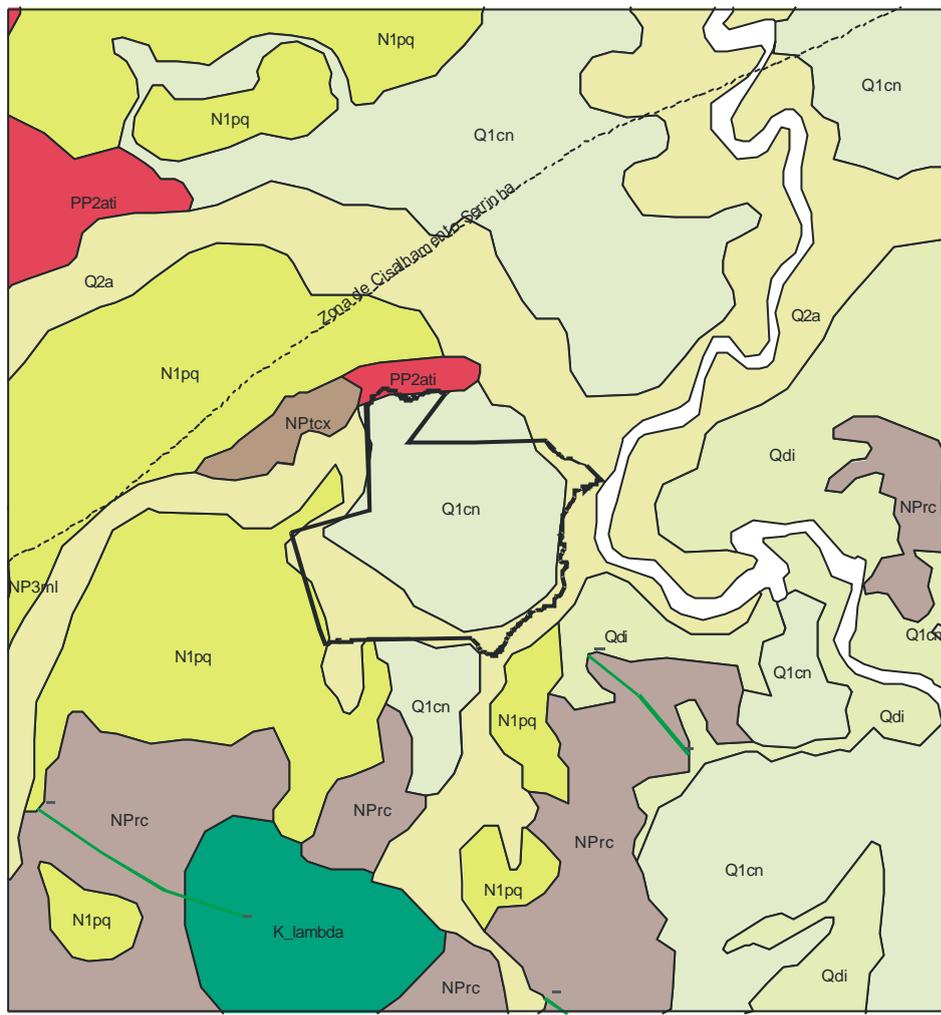


Figura 14. Mapa geológico simplificado da área do Parque Estadual da Campina do Encantado e seu entorno, mostrando as principais unidades geológicas que ocorrem em superfície (baseado em Suguio & Martin 1978)



Legenda PECE



Quaternário

- Coberturas detríticas indiferenciadas
- Depósitos aluvionares
- Formação Cananéia

Neógeno

- Formação Pariquera-Açu

Cretáceo

- K_lambda
- Dique de diabásio

Neoproterozóico

- Rochas miloníticas
- Zona de cisalhamento
- Formação Rio das Cobras
- Complexo turvo-Cajati, unidade de xistos

Paleoproterozóico

- Complexo Atuba, Gnaiss Itapeúna

Figura 15. Mapa geológico simplificado da área do Parque Estadual da Campina do Encantado e seu entorno, mostrando as principais unidades geológicas que ocorrem em superfície (baseado em CPRM 2006)

Supergrupo Açungui: Complexo Turvo-Cajati

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, ocorrendo na área em estudo o Grupo Setuva ou Complexo Turvo-Cajati (Campanha & Sadowski 1999). As rochas do Grupo Setuva ou Complexo Turvo-Cajati são compostas por associações variadas, destacando-se principalmente os xistos, quartzitos e mármore, além de migmatitos variados e gnaiesses. Dentre os xistos, ocorrem micaxistos, quartzo xistos, granada xistos com intercalações quartzíticas e presença subordinada de metassiltitos, ardósias, filitos, mármore, metabasitos e metaultrabasitos, além de biotita gnaiesses bandados com intercalações subordinadas de mármore, calcossilitadas, anfíbolitos, entre outras.

Dois conjuntos podem ser estabelecidos e estão em contato aparentemente normal. Em um primeiro conjunto ocorrem leitos metassedimentares imaturos basais, de metarritmitos com turmalina, alternando para metassiltitos arcoseanos, muscovita-biotita-quartzo xisto, quartzito fino e metagrauvasas quartzosas. Um segundo conjunto engloba leitos metassedimentares maturados superiores de ortoquartzitos alternados com anfíbolitos e clorita xistos; no topo afloram filitos sedosos com níveis carbonosos e rítmicos sericita quartzosos. A estratificação primária sedimentar pode estar preservada e nos níveis rítmicos, observa-se alternância de leitos de quartzitos finos e/ou metassiltitos com metapelitos. A xistosidade, subparalela à estratificação, é a superfície planar mais evidente (Campos Neto 1983 b).

A unidade de xistos é representada por dois grandes corpos, alongados na direção NE-SW, na região sudoeste de SP. O menor é limitado a norte pela zona de cisalhamento Lancinha-Itariri (Basei *et al.* 2000) que traça seu contato com rochas da unidade metapelítica (MPsap) da Sequência Serra das Andorinhas.

A sedimentação, para todo o Complexo, ocorreu em ambiente marinho onde os primeiros ciclos de sedimentação tiveram início com a formação da plataforma carbonática de águas rasas com restritas faixas arenosas litorâneas. Este quadro, progressivamente, evoluiu para sedimentação terrígena pelítica, onde o ambiente tectônico é de difícil caracterização (Vasconcelos *et al.* 1999).

Milonitos

Rochas miloníticas são descritas na região associadas às principais zonas de cisalhamento, destacando-se as de Cubatão, Itariri e Serrinha. No sistema de cisalhamento Cubatão-Itariri predominam rochas granitóides, localmente metassedimentares, miloníticas e protomiloníticas, por vezes ultramiloníticas. Os protomilonitos de rochas granitóides apresentam porfiroclastos de feldspato em matriz fina rica em biotita. A lineação mineral é caracterizada pelo estiramento dos porfiroclastos e cristais de quartzo. Foram ainda descritos biotita gnaiesses miloníticos, localmente ultramiloníticos, de composição granodiorítica a monzogranítica e biotita granitos porfiroclásticos (Passarelli 2001).

Foram identificadas duas fases de deformação principais no sistema de cisalhamento Cubatão-Itariri, seguidas por reativações tardias rúpteis. A primeira, dúctil, está relacionada a uma movimentação sinistral com uma componente de abatimento para NNW, com geração de boudins e dobras associadas ao cisalhamento. Representa a fase metamórfica principal da zona de cisalhamento Itariri, atingindo a fácies xisto verde alto, possivelmente anfibolito. A segunda fase de movimentação, dúctil/dúctil-rúptil, refere-se a uma compressão E-W, com movimentações dextrais e sinistrais associadas. Esta fase, possivelmente, não ultrapassou a fácies xisto verde (Passarelli 2001).

Análises U-Pb em zircões extraídos de gnaisses protomiloníticos do sistema de cisalhamento Cubatão-Itariri forneceram idade máxima de movimentação de 596 Ma. Na zona de cisalhamento Serrinha são sugeridas idades entre 570 e 580 Ma a partir de dados obtidos de datações U-Pb em monazitas de protomilonito granítico (Passarelli *et al.* 2004).

Complexo Atuba

Predominam rochas granito-gnáissicas, de composição granodiorítica a monzogranítica, com diques dioríticos, às vezes rompidos como enclaves. Onde as rochas estão mais misturadas, predomina material gnáissico bandado muito segregado, com intercalações centimétricas de faixas máficas e bandas decimétricas definidas pela intercalação de filmes máficos com faixas félsicas. As rochas encontram-se bastante deformadas e próximo da Zona de Cisalhamento Itariri, mostram-se mais foliadas, com enclaves mais deformados, até porções totalmente miloníticas, apresentando texturas protomiloníticas. A foliação milonítica tem orientação E-W/75N com estiramento mineral (feldspatos) N80W/25°. Nos locais onde a rocha está mais deformada, a foliação se caracteriza por um bandamento gnáissico de direção principal N40E/42NW. A foliação principal se mostra subvertical e as faixas miloníticas se apresentam sub-horizontais. Essas rochas foram englobadas sob a denominação Complexo Atuba por Siga Jr. *et al.* (1995).

Análises U-Pb em zircões de biotita monzogranito indicaram, como idade mínima de formação destas rochas, 2151 ± 62 Ma. A idade máxima, 2197 ± 41 Ma, foi resultado da análise U-Pb em zircões de biotita monzogranito mesocrático protomilonítico (Passarelli 2001). Vasconcelos *et al.* (1999) obtiveram a idade de 634 ± 26 Ma, pelo método U-Pb, em zircões, interpretada como idade de anatexia.

Análises U-Pb em zircões extraídos de gnaisses protomiloníticos do sistema de cisalhamento Cubatão-Itariri forneceram idade máxima de movimentação de 596 Ma. Na zona de cisalhamento Serrinha são sugeridas idades entre 570 e 580 Ma a partir de dados obtidos de datações U-Pb em monazitas de protomilonito granítico (Passarelli *et al.* 2004).

Formação Rio das Cobras

Esta unidade é formada pela associação de mica xistos representada, geralmente, por muscovita-biotita-quartzo xistos. Podem ocorrer, em quantidades diversas, granada, sillimanita (fibrolita), cianita, andaluzita, turmalina, plagioclásio, estauroлита, clorita e tremolita (Lopes e Lima 1985, Vasconcelos *et al.* 1999). São descritos localmente, intercalações de quartzitos, cálcio xistos, biotita gnaisses, por vezes granatíferos, e anfibolitos, que podem se apresentar migmatíticos em diferentes graus de anatexia (Siga

Jr. 1995). De modo restrito, foram identificadas metagrauvascas, por vezes calcíferas, intercalações de metarcóseos e, mais raramente, de gonditos (Vasconcelos *et al.* 1999). Na região sudoeste do Estado de São Paulo, ocorre como metassedimentos de baixo grau metamórfico, compreendendo metarritmitos caracterizados pela alternância de metarenitos finos e metassiltitos (Weber 1998, Passarelli 2001).

Diques Básicos

Diques básicos 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).

Intrusões Alcalinas

Ocorrem intrusões associadas a três complexos de rochas alcalinas, próximas entre si: Jacupiranga, Juiquá e Pariquera-Açu (Spinelli 2007). O Complexo Alcalino Pariquera-Açu situa-se a cerca de 4,8 km dos limites do PE da Campina do Encantado.

Estes complexos alcalinos possuem cerca de 130 Ma e estão associados ao Lineamento de Guapiara e ao Arco de Ponta Grossa (Spinelli 2007). A intrusão alcalina de Pariquera-Açu possui afinidade com magmas teralíticos (Spinelli 2007).

Formação Pariquera-Açu

A Formação Pariquera-Açu (Bigarella & Mousinho 1965) ocorrem principalmente na área da cidade de Pariquera-Açu e, de forma descontínua, no vale do Rio Jacupiranga e nas proximidades de Registro (Melo 1990).

A Formação Pariquera-Açu compreende depósitos fanglomeráticos de leques aluviais coalescentes que gradam lateralmente para depósitos de planície fluvial meandrante e de lagos. Os leques aluviais são constituídos de paraconglomerados, lamitos e, subordinadamente, ortoconglomerados e arenitos com estratificações cruzadas tabulares. A planície de inundação do sistema fluvial meandrante, com barras de pontal, depósitos de rompimento de diques marginais e inunditos é caracterizada por depósitos em forma de bancos com granodecrescência ascendente, variando de ortoconglomerados a areias, areias e argilas laminadas e argilas sem estratificação. Os depósitos lacustres são constituídos por argilas e argilas siltosas com intercalações arenosas subordinadas (Melo 1990) (Figuras 16 e 17).

A geração dos sedimentos da Formação Pariquera-Açu, bem como sua preservação, estariam associadas à reativação de falhas normais relacionadas ao alinhamento de Guapiara, sugerindo atividade tectônica sinsedimentar (Melo 1990).

Formação Cananéia

A Formação Cananéia (Suguio & Petri 1973, Martin *et al.* 1978) ocorre em todo litoral do estado de São Paulo, ocorrendo de forma descontínua, sobrejacente a rochas mais antigas diversas, com depósitos associados a um evento transgressivo pleistocênico, denominado Transgressão Cananéia (Suguio & Tessler 1985).

A porção basal da Formação Cananéia é representada por sedimentos arenosos finos, com níveis de minerais pesados e intercalações argilosas com estratificações onduladas e cruzadas de baixo ângulo, intensa bioturbação e estruturas de sobrecarga.

Sua deposição estaria associada a um ambiente transicional, correspondente à face praias superior. No topo ocorrem sedimentos arenosos finos, com estratificações plano-paralelas e níveis de gretas de contração. Estes sedimentos estariam relacionados, segundo Suguio & Tessler (1985), a uma deposição marinha em ambiente de antepraia.



Figura 16. Afloramento da Formação Pariqüera-Açu na área do entorno do Parque Estadual da Campina do Encantado(PECE) (UTM 211923N/7271210E)



Figura 17. Detalhe de afloramento da Formação Pariqüera-Açu na área do entorno do PE da Campina do Encantado (UTM 211923N/7271210E)

Depósitos Detríticos Indiferenciados

Os depósitos sedimentares detríticos compreendem diversas unidades geológicas não diferenciadas de idade quaternária, 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 que podem formar terraços argilo-arenosos com cascalhos dispersos e níveis de material transportado e ferruginoso.

Depósitos Aluvionares

Os depósitos sedimentares aluvionares 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

Constituem depósitos nas margens, fundos de canal e planícies de inundação de rios, as areias, cascalheiras, siltes, argilas e, localmente turfas, resultantes dos processos de erosão, transporte e deposição a partir de áreas-fonte diversas.

3.2.2.2. 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).

O Lineamento Ribeira se desenvolve segundo a direção geral NE/SW, colocando em contato o Supergrupo Açungui e o Complexo Turvo-Cajati.

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 18).

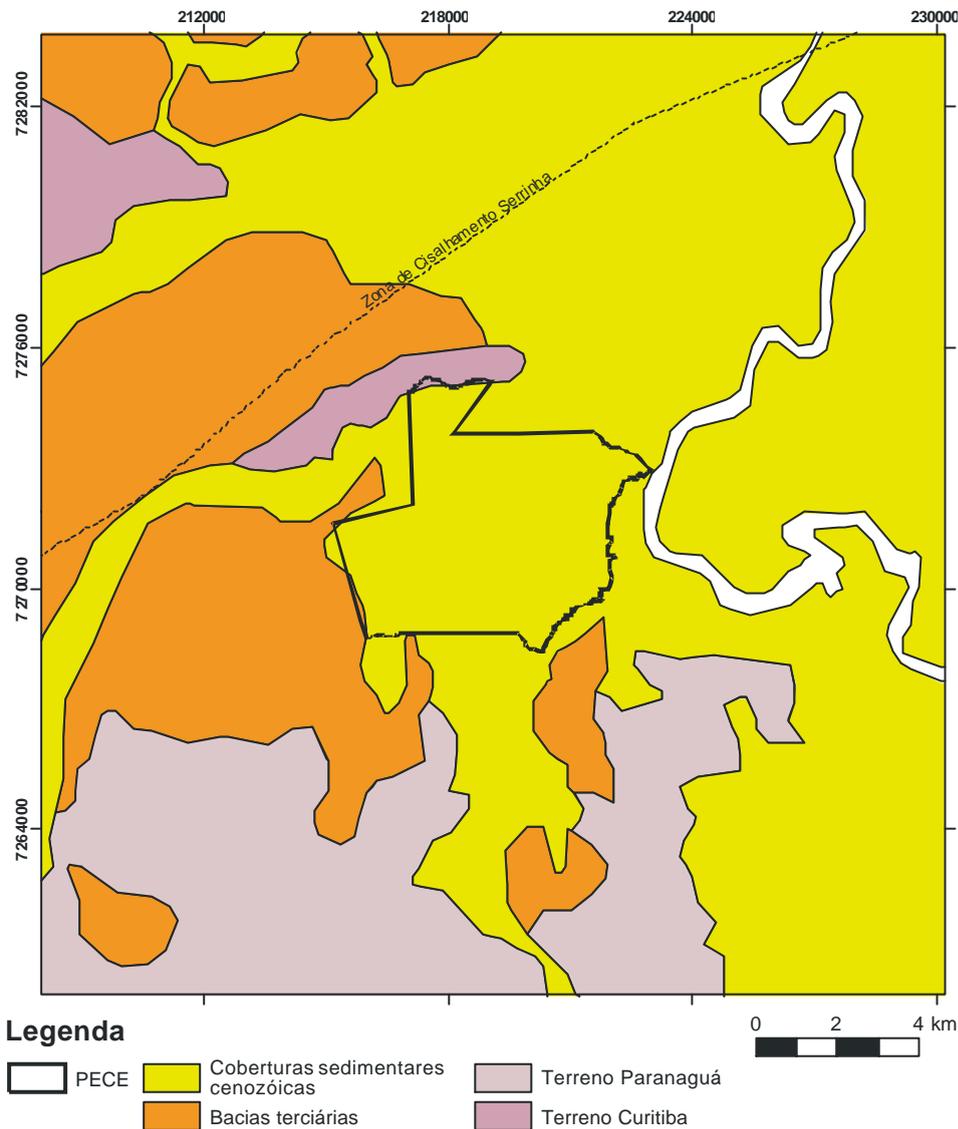


Figura 18. Principais compartimentos geotectônicos da área do Parque Estadual da Campina do Encantado e seu entorno (fonte: CPRM 2006)

3.2.3. Turfeiras e Sambaquis do Parque Estadual da Campina do Encantado

No Parque Estadual da Campina do Encantado está preservado um conjunto de indicadores paleoambientais em área continental que indicam padrões de mudanças ambientais de escalas milenares correlacionáveis com os estágios marinhos isotópicos e variações relativas do nível do mar reconhecidos mundialmente. A Campina do Encantado abriga uma grande turfeira, com mais de 6 m de espessura, que contém gás metano estocado no subsolo passível de ser canalizado para a superfície e entrar em combustão naturalmente (Sallun *et al.* 2008) (Figura 19).



Figura 19. Afluente do córrego do Braço Preto, na Trilha da Brejaúva do PECE, drenando turfeira (UTM 215638N /7271581E) (Sallun *et al.* 2008).

3.2.3.1. “Turfa”

Turfa é um sedimento carbonoso moderno, acumulado em ambiente redutor (Eh negativo) e/ou em locais onde as taxas de atividade de microorganismos (bactérias e fungos) sejam diminuídas pela baixa temperatura, como em regiões de clima frio (Suguio 2003). Depósitos de turfas são encontrados no mundo associados com a última glaciação do Holoceno, através da redução das áreas permanentemente geladas que produziram depressões topográficas ou lagos rasos, com chuvas abundantes e bem distribuídas, onde as baixas temperaturas retardam a decomposição de plantas rasteiras e arbustos. Destacam-se os depósitos de turfa da Sibéria, Finlândia, Canadá e Alaska (Suguio 2003).

No Brasil, em regiões tropicais de clima quente, as atividades dos microrganismos são intensas e causam a oxidação da matéria orgânica de efeito superficial sob condições aeróbias (ricas em oxigênio). Quando a matéria orgânica chega a maiores profundidades e, portanto, com menos ou isentas de oxigênio, há condições anaeróbias, quando o efeito da oxidação é retardado ou mesmo inexistente.

Esse sedimento carbonoso é gerado por processos bioquímicos que atuam sobre restos de tecidos vegetais (arbustos, material lenhoso, musgos e líquens) acumulados em condições anaeróbias em regiões pantanosas (ou paludiais), em condições de excessiva umidade. Os depósitos paludiais ou de pântanos são formados quando uma área inundada torna-se suficientemente rasa para suportar vegetação. Os pântanos de vegetação de maior porte (*swamp*) são de água doce e situam-se mais para o interior dos continentes, gerando depósitos de turfa com proporções variáveis de substâncias inorgânicas (argila, silte e areia muito fina).

A turfa é um sedimento carbonoso de origem vegetal, que se distribui nos depósitos sedimentares de idades quaternárias, estando ainda em processo de formação. São em geral compostas de plantas herbáceas (principalmente musgos e ciperáceas), mas também podem ser constituídas predominantemente por plantas lenhosas arborescentes, como nos pântanos da costa oriental dos Estados Unidos. Existem turfas de diferentes composições que variam em função das condições climáticas vigentes durante a acumulação desses sedimentos. Dessa maneira, as propriedades físicas e químicas das turfas são bastante diferenciadas, segundo os tipos de plantas. A densidade é, em geral, muito baixa e situada ao redor de 1 g/cm³, e o teor em carbono total varia de 55% a 65% do peso a seco. O teor de umidade varia entre 65 a 95%. O poder calorífico é baixo, sendo de 3.000 a 5.000 calorias grama em estado seco.

Quando restos vegetais (como folhas e galhos) são acumulados em ambientes pantanosos ou paludiais, a decomposição anaeróbia (oxidação) das primeiras fases consome o oxigênio dissolvido na água, os organismos aeróbios morrem e os microrganismos anaeróbios (fungos e bactérias) tomam seu lugar. Esses microrganismos atuam na ausência de oxigênio, mas também são capazes de decompor a matéria orgânica (biodegradação), assim como as formas aeróbias. Desse modo, desenvolvem-se estádios de maturação sucessivos, que modificam os conteúdos de carbono, hidrogênio e oxigênio (Forsman & Hunt 1958, IPT 1978). A turfa representa o primeiro estágio de maturação de uma seqüência de crescente maturação diagenética de sedimentos carbonosos denominados "série do carvão": turfa-linhito-hulha-antracito. O parâmetro mais importante no processo de incarbonização é a temperatura, além da profundidade e idade dos sedimentos.

Em função do material de origem e grau de decomposição, a turfa varia em seu aspecto estrutural desde uma pasta gelatinosa preta (alto grau de decomposição em camadas mais profundas) até uma condição fibrosa marrom clara nas camadas mais superficiais.

A maioria das turfas apresenta um pH entre 3 e 6, portanto um ambiente ácido. Quanto menos decompostas são as turfas, mais ácido é o ambiente. A natureza e composição da turfa são diversificadas em função de diferentes condições climáticas onde se originaram e dos diferentes tipos de vegetação responsáveis pela sua gênese. As turfeiras resultantes do preenchimento de lagos e lagoas possuem baixo teor de cinzas, pois a água é semi-parada no seu ambiental original. No caso dos charcos, localizados nas planícies próximas de rios e baixadas que, além de sofrerem inundação, recebem também correntes de chuvas dos morros próximos, as turfeiras sofrem contribuição de material mineral, o que geralmente eleva muito seu teor de cinzas, como as turfeiras do Vale do Paraíba, no Estado de São Paulo (IPT 1978).

A composição química básica da turfa pode ser expressa em termos dos elementos carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), Nitrogênio (N) e enxofre (S) e cinzas. No Brasil, os teores de cinzas são geralmente altos em função de adiantado estágio de decomposição normalmente encontrado em função das condições climáticas predominantes.

Possivelmente ocorrem mais ocorrências de turfa de dimensões reduzidas, tanto na várzea do rio como ao longo de seus afluentes, porém a prospecção das mesmas é dificultada pelo fato de não serem as características do solo subjacente tão peculiares como nas ocorrências de maior extensão.

A turfa, combustível natural, é uma mistura heterogênea de matéria orgânica vegetal parcialmente decomposta e substâncias minerais, acumulados em ambiente saturado de água. Nesse ambiente aquoso há retenção de carbono devido à baixa atividade biológica (Alpern 1981), proporcionando concentração de matéria orgânica. Na fase inicial a turfa contém alto conteúdo de umidade, que varia de 80 a 95% e apresenta pequena quantidade de carbono fixo.

3.2.3.2. Turfeiras da Campina do Encantado

O Parque Estadual da Campina do Encantado (PECE) abriga uma turfeira com mais de 6 m de espessura que contém gás metano estocado no subsolo, passível de ser canalizado para a superfície e entrar em combustão naturalmente devido as mudanças químicas que acompanham a carbonização (maturação do carvão) e enriquecimento relativo em carbono, que envolvem a produção de CO₂ e CH₄ enquanto se processa a desidratação da matéria orgânica vegetal (Figuras 29 e 30).

A turfeira ocupa uma área de cerca de 28 km², sobre sedimentos da Formação Pariquera-Açu e depósitos paleolagunares da Formação Ilha Comprida e marinhos da Formação Cananéia (Suguió 2004). São classificadas como turfeiras limínicas, porque são formadas no interior do continente, constituídas de fauna lacustre e flora continental.

As turfeiras do Parque Estadual da Campina do Encantado foram formadas pela inundação constante e formação de pântano em uma área baixas de vale, com conseqüente acúmulo de plantas mortas, folhas, galhos, frutos silvestres, flores e outros. Estas turfeiras situam-se nas planícies de inundação do rio Ribeira de Iguape, que desemboca no Oceano Atlântico a SE e de seus distributários, sem nenhuma cobertura pedológica (Sallun *et al.* 2008).

Análises químicas da água intersticial de diferentes tipos de florestas turfosas do PECE (distantes cerca de 1,5 km) realizadas por Sztutman (2002) demonstraram haver diferenças marcantes em suas composições nutricionais, provavelmente relacionadas a processos de oxidação-redução de diferentes intensidades. Os autores ainda demonstraram de forma muito evidente que apesar da proximidade geográfica entre os tipos de florestas turfosas do PE da Campina do Encantado (floresta turfosa profunda, floresta turfosa rasa e floresta sobre morrete), as diferenças florísticas e estruturais estão relacionadas ao substrato.

Podem ser observadas três tipos morfológicos de turfás na subsuperfície da Campina do Encantado, de acordo com testemunhos de sondagens executadas por Sallun *et al.* (2008) com vibrotestemunhador (Figuras 20, 21, 22 e 23):

Turfa leve ou fibrosa: localizada nas porções mais superficiais da turfeira em ambiente ácido, pouco decomposta de cor marrom avermelhada, com a maior porção orgânica contendo fibras vegetais ainda passíveis de reconhecimento e, o restante, decompostos além do reconhecimento (Figura 24). Estas turfas superficiais constituem o meio mais poroso da turfeira, com maior percolação de água.

Turfa escura ou hêmica: localizada em maiores profundidades do que a “turfa leve”, representando um grau intermediário entre a “turfa leve” e a “turfa preta”, em relação ao estágio de decomposição, conteúdo de cinzas (Figura 25). Apresentam tonalidades marrom escura a preta, com menor quantidade de fibras reconhecíveis, e saturadas em água.

Turfa preta ou sáprica: turfa de cor preta, apresentando material de forma amorfa e composição gelatinosa. Aparentemente ocorrem a partir da acentuada decomposição da “turfa escura” e “turfa leve”, e saturadas em água (Figura 25 e 28).

Os depósitos dessas turfeiras são autóctones, formados no local onde viveram as plantas que lhe deram origem, demonstrado pela presença de muitas raízes de plantas, que cortam camadas de turfa e penetram nas camadas basais (*underclays*), de natureza argilosa e cor clara, com propriedades refratárias por serem compostas de caulinita muito pura devido a lixiviação proporcionada pela formação das turfas (Figuras 26 e 27).



Figura 20. Sondagem com vibrotestemunhador na Trilha da Campina do Parque Estadual da Campina do Encantado para coleta de amostras de turfeira para pesquisa científica do Instituto Geológico (IG/SMA-SP) (S01-UTM 215638N/7271581E) (Sallun *et al.* 2008)



Figura 21. Sondagem com vibrotestemunhador na Trilha da Campina do PECE para coleta de amostras de turfeira para pesquisa científica do Instituto Geológico (IG/SMA-SP) (S02-UTM 218320N/7272114E) (Sallun *et al.* 2008)



Figura 22. Transporte do testemunho de sondagem com vibrotestemunhador em área de floresta turfosa rasa na Trilha da Campina do PECE



Figura 23. Transporte do testemunho de sondagem com vibrotestemunhador em área com floresta sobre morrote na Trilha da Campina do PECE

0,0m



0,40m

Figura 24. Turfa "leve ou fibrosa" a "escura ou hêmica" em testemunho coletado em sondagem com vibrotestemunhador no PECE (S01-UTM 215638N/7271581E) (Sallun *et al.* 2008)

0,50m



Figura 25. Turfa "preta ou sáprica" em testemunho coletado em sondagem com vibrotestemunhador no PECE (S01-UTM 215638N/7271581E) (Sallun *et al.* 2008)

1,00m

1,55m



Figura 26. Turfa em testemunho coletado em sondagem com vibrotestemunhador no PECE (S01-UTM 215638N/7271581E) em contato com sedimentos argilosos paleolagunares (Sallun *et al.* 2008)

2,00m

3,45m



Figura 27. Sedimentos argilosos paleolagunares com fragmentos vegetais bem preservados, que ocorre abaixo da turfeira em testemunho coletado em sondagem com vibrotestemunhador no PECE (S01-UTM 215638N/7271581E) (Sallun *et al.* 2008)

3,74m

0,0



Figura 28. Turfa "preta ou sáprica" em testemunho coletado em sondagem com vibrotestemunhador no PECE (S02-UTM 218320N/7272114E) (Sallun *et al.* 2008)

0,45

A turfeira apresenta idades máximas de 3560 a 3380 cal. anos A.P. (antes do presente). Pelos resultados obtidos da composição de $\delta^{13}\text{C}$ da turfeira, conclui-se que os sedimentos têm muita contribuição de plantas do ciclo fotossintético C3 (arbóreas) durante todo o registro obtido exibindo valores de -24.5‰ (3,65 m de profundidade) até -29.3‰ (0 m de profundidade) (Tabela 6).

Além de sua importância ambiental, o PECE apresenta importantes vestígios arqueológicos e interesse histórico-cultural. No entorno da turfeira ocorrem vários sambaquis, vinculados pelas suas posições geográficas e idades, à evolução geológica holocênica da paleolaguna (Suguio *et al.* 1992). Sambaquis são utilizados na reconstrução de antigos níveis marinhos e paleolinhas de praia em diversos locais no mundo, associados a indicadores geológicos e biológicos.

Adjacente a turfeira, os sambaquis apresentam idades de 5870 a 5600 cal. anos A.P., 5923 a 5.272 cal. anos A.P. e 5670 a 4974 cal. anos A.P (Figura 31). Para as amostras de conchas de ostras (*Crassostrea*) provenientes de sambaquis os valores de $\delta^{13}\text{C}$ oscilam entre -3.00‰ a -3.66‰. As idades radiocarbono de sambaquis e turfeira, localizados a uma distância de 25 a 19 km da linha de praia atual e com elevação de 8 a 7 m acima do nível relativo do mar atual, sugerem padrões de mudanças ambientais de escalas milenares correlacionáveis com os estágios marinhos isotópicos e variações relativas do nível do mar reconhecidas mundialmente.

Tabela 6. Datações por radiocarbono de turfeiras e sambaquis. Os intervalos de idade estão em ano calendário antes do presente (cal. anos A.P.), que correspondem aos valores máximo e mínimos (Sallun *et al.* 2008) admitidos

Amostra	Idade ^{14}C (anos A.P.)	$\delta^{13}\text{C}$	Cal. anos A.P.*	Elev(m)
▪ S01A 0 m**	1110±40	-29.3	1080 to 940	8,00
▪ S01A 3,65 m**	2210±40	-24.5	2340 to 2120	4,35
▪ S02B 0 m**	112.2±0.5 pMC	-29.1	pMC	7,00
▪ S02B 5,80 m**	3240±40	-28.6	3.560 a 3.380	1,00
▪ Lombada Grande**	5360±50	-3.0	5.870 a 5.600	8,00
▪ Jataituba*** A137	5235±150	-3.26	5.923 a 5.272	-
▪ Pariquera-Açu*** A140	5035±140	-3.66	5.670 a 4.974	-

pMC: resultado reportado como % da referencia padrão moderna, indicando que o material estava vivendo nos últimos 50 anos; Elev: elevação em relação ao nível relativo do mar.

* idades calibradas com base em Stuiver *et al.* (1998) e Talma & Vogel (1993), considerando um erro de 2 sigma na medição de radiocarbono, com erro multiplicado por 1.0; cal. = calibrada.

**Sallun *et al.* (2008)

***conchas de sambaquis datadas por Martin *et al.* (1978)

Quando o nível marinho em ascensão atingiu o presente nível, entre 7000 e 6500 anos A.P. (no Brasil denominada de Transgressão Santos) formou-se um sistema lagunar muito extenso, com máxima extensão em 5.100 anos A.P., com desenvolvimento de sambaquis que hoje estão há mais de 20 km da linha de praia. Mais tarde, o nível relativo do mar desceu mais ou menos regularmente, com duas importantes flutuações negativas, entre 4100 e 3600 anos A.P. e 3000 e 2500 anos A.P., que favoreceu a deposição da turfeira da Campina do Encantado, francamente continental.

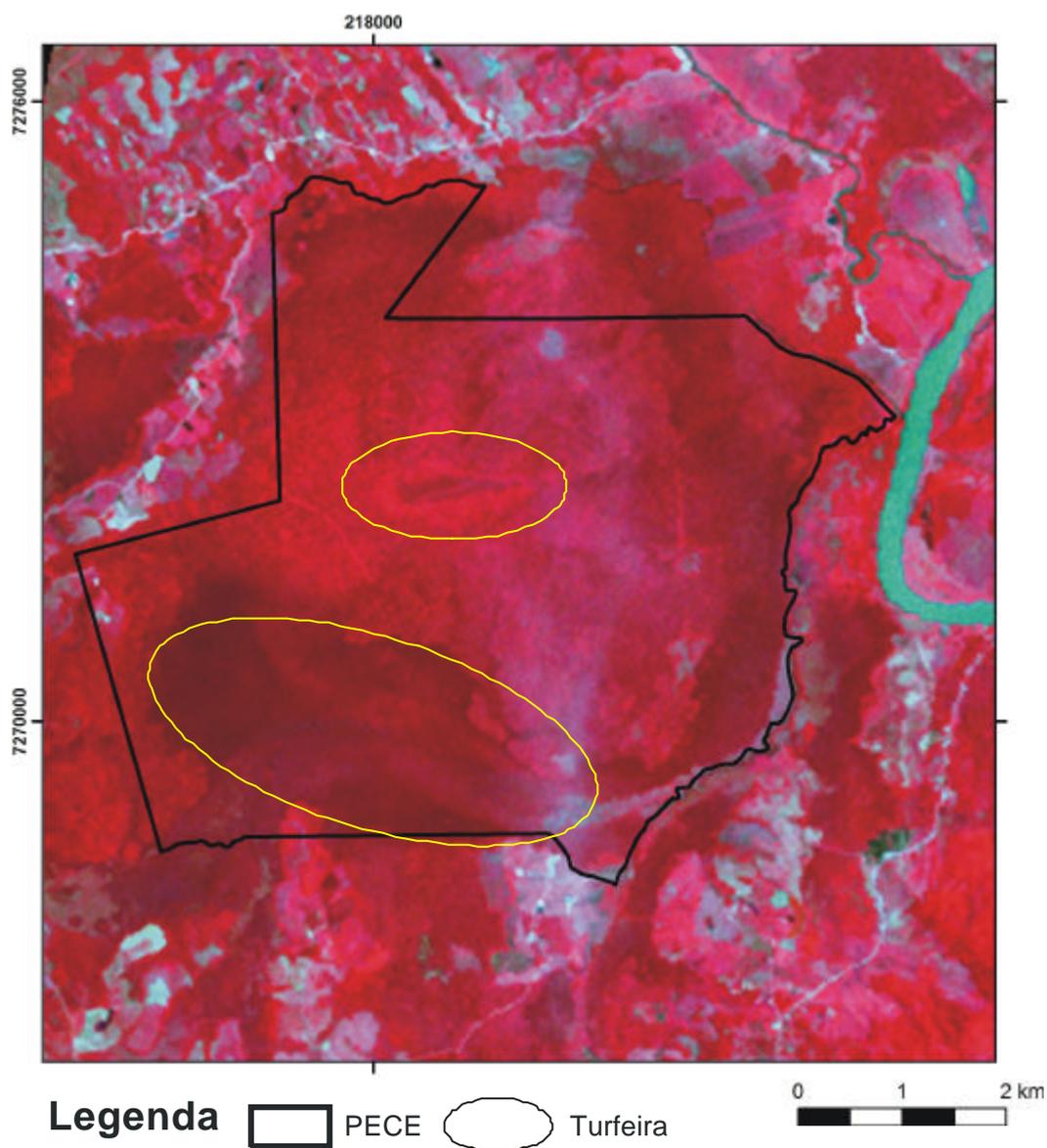


Figura 29. Imagem LANDSAT-7 com composição R4G3B2 da área do Parque Estadual da Campina do Encantado e seu entorno, com a localização de áreas com desenvolvimento de espessos depósitos de turfa

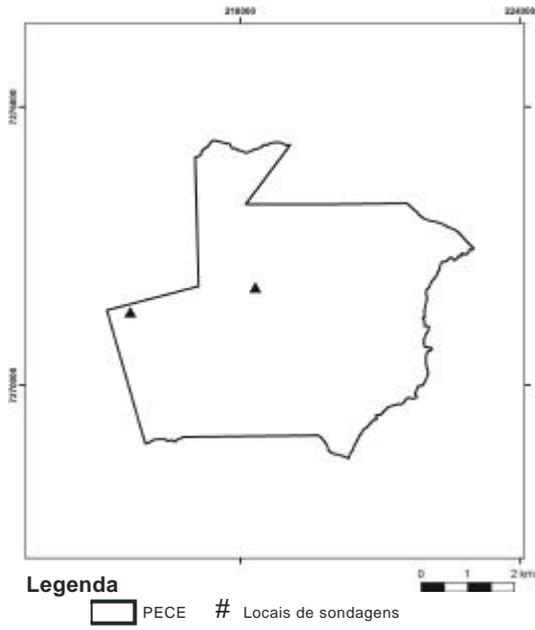


Figura 30. Localização das sondagens com vibrotestemunhador executadas na área do Parque Estadual da Campina do Encantado por Sallun *et al.* (2008)

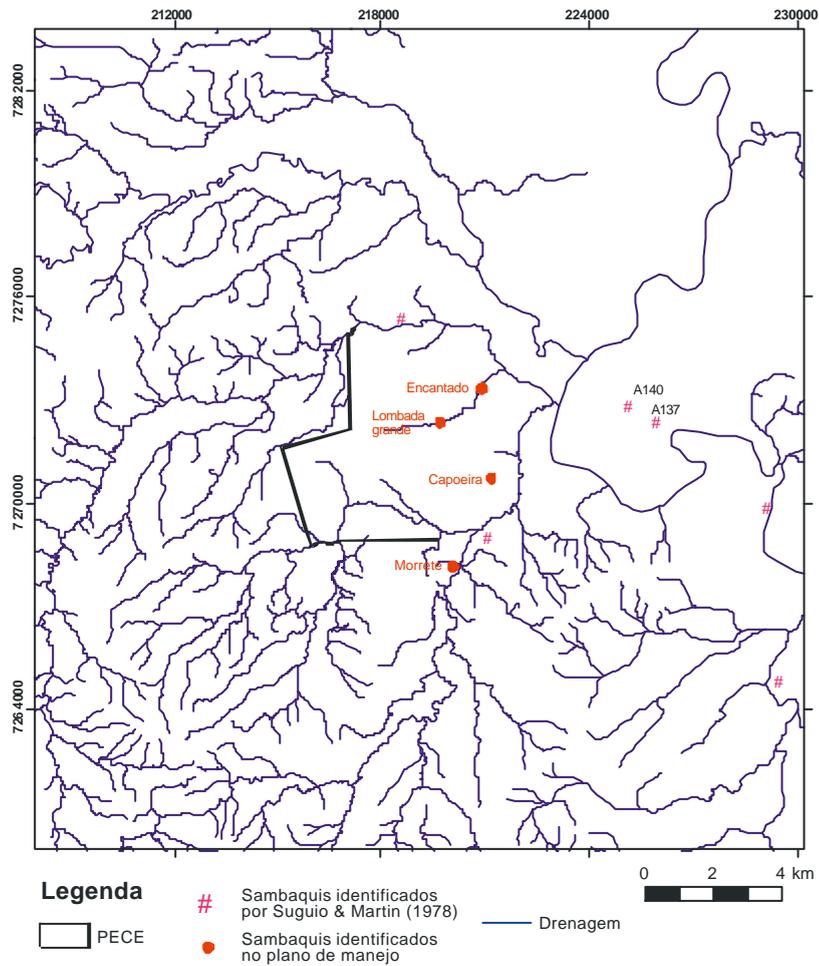


Figura 31. Localização dos sambaquis que ocorrem no PECE e seu entorno, aonde foram obtidas idades mínimas por Martin *et al.* (1978) e Sallun *et al.* (2008)

3.2.3.3. Fragilidade das turfeiras: mudanças climáticas

Ao longo do ano o nível d'água subterrâneo contido nas turfeiras oscila por variações climáticas sazonais. Em períodos de maior seca, podem ocorrer incêndios de origem natural, porque com o rebaixamento do nível d'água subterrâneo, a turfeira fica sem oxigênio e entra em combustão espontânea, ou seja, ocorre um incêndio subterrâneo (*ground fire*). Esta combustão vai liberar para a atmosfera monóxido de carbono e enxofre, provocando além do incêndio um forte odor, com pequenas chamas e grandes quantidades de fumaça.

Em muitas partes do mundo, o estoque de carbono em turfeiras vem sendo reduzido devido a constantes incêndios. Nas últimas décadas, mais casos de áreas queimadas em turfa vem sendo documentados. Essas queimadas são atribuídas a condições mais secas em algumas regiões que contêm turfeiras, devido a recentes mudanças climáticas ou atividades antropogênicas. Devido às mudanças climáticas, algumas turfeiras irão emitir mais CO₂ para a atmosfera, enquanto outras turfeiras irão apresentar maior sequestro de CO₂ devido à elevação do nível d'água subterrâneo (Strack 2008). Em termos de estabilidade das turfeiras em relação ao armazenamento de carbono, em turfeiras como do PECE, o risco de incêndio é maior, porque as turfas podem liberar mais CO₂ devido à oxidação da turfa em condições mais secas.

Segundo estudos recentes realizados pela Universidade de Harvard, Worcester State College e Japan Agency for Marine Earth Science and Technology (Ise et al. 2008), temperaturas mais elevadas irão produzir redução do nível d'água subterrâneo, que irá interferir nos processos de decomposição das turfeiras. Durante vários séculos, cerca de 40% de carbono pode ter sido emitido de porções superficiais de turfeiras, enquanto as perdas totais poderiam ser de até 86% nas porções de maior profundidades nas turfeiras. Os autores avaliaram que estão estocadas de 200 a 450 bilhões de toneladas métricas de carbono captado, representando 65 anos das atuais emissões globais de carbono oriundas da queima de combustível fóssil.

No Estado de São Paulo, podemos citar os incêndios subterrâneos ocorridos todos os anos nas turfeiras do município de São José dos Campos, que chegam a queimar por até dois meses.

Devido à fragilidade ambiental de turfeiras frente a mudanças no nível d'água subterrâneo, nenhuma atividade que envolva o uso de fogo deve ser utilizado no Parque Estadual da Campina do Encantado.

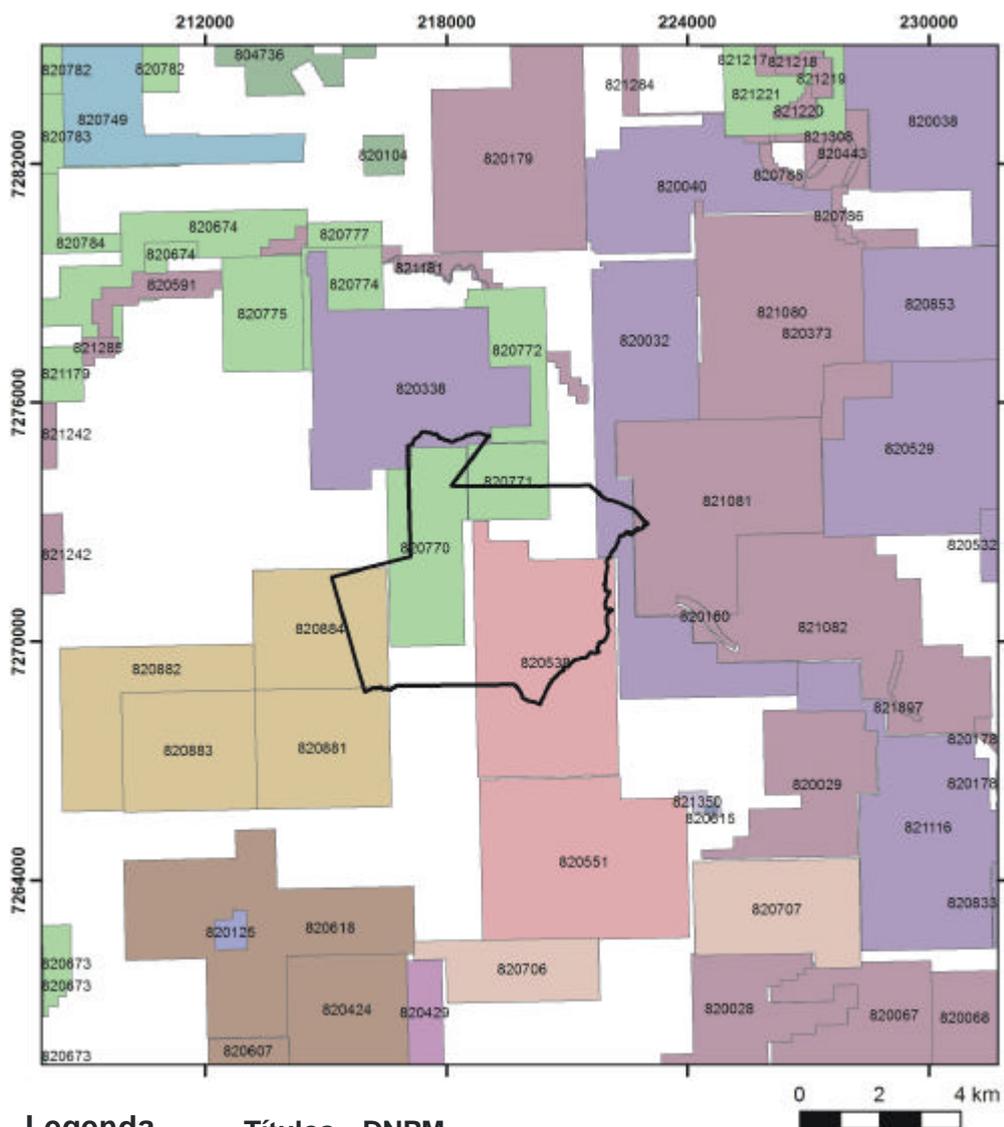
3.2.4. Recursos Minerais

A região do entorno do Parque Estadual da Campina do Encantado é detentora de potencial minerário considerado pouco expressivo, ocorrendo pequena variedade de substâncias minerais, ocorrendo principalmente minerais industriais diversos e materiais naturais destinados à indústria de construção civil (Tabela 7). Existem 76 títulos minerários na área de entorno do PECE (Figura 32).

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) observa-se como bens minerais na região: areia, argila, calcário para brita, carbonatito, cascalho, caulim, fosfato e granito (Figuras 32 e 33). Os depósitos arenosos e cascalheiras podem assumir importância devido a sua utilização na indústria da construção civil e, as áreas de planície de inundação podem fornecer material argiloso para a indústria cerâmica, principalmente as argilas que ocorrem abaixo de turfeiras.

Tabela 7. Distribuição da quantidade de títulos minerários de acordo com a substância mineral no entorno do PECE, segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) de outubro/2008

Substância	Número de títulos minerários
▪ areia	30
▪ argila	21
▪ calcário para brita	1
▪ carbonatito	1
▪ cascalho	2
▪ caulim	1
▪ não informado	2
▪ fosfato	3
▪ granito	1
▪ sapropelito	2
▪ turfa	11



Legenda

PECE

Títulos - DNPM

Substância

- | | |
|--------------------|---------------------|
| AREIA | CAULIM |
| ARGILA | DADO NÃO CADASTRADO |
| ARGILA REFRACTÁRIA | FOSFATO |
| ARGILITO | GRANITO P/ BRITA |
| CALCÁRIO P/ BRITA | SAPROPELITO |
| CARBONATITO | TURFA |
| CASCALHO | |

* Número do processo DNPM no interior do polígono

Figura 32. Mapa com delimitação das principais ocorrências de bens minerais na área do Parque Estadual da Campina do Encantado e seu entorno, a partir dos polígonos delimitados de processos minerários junto ao DNPM (outubro/2008)

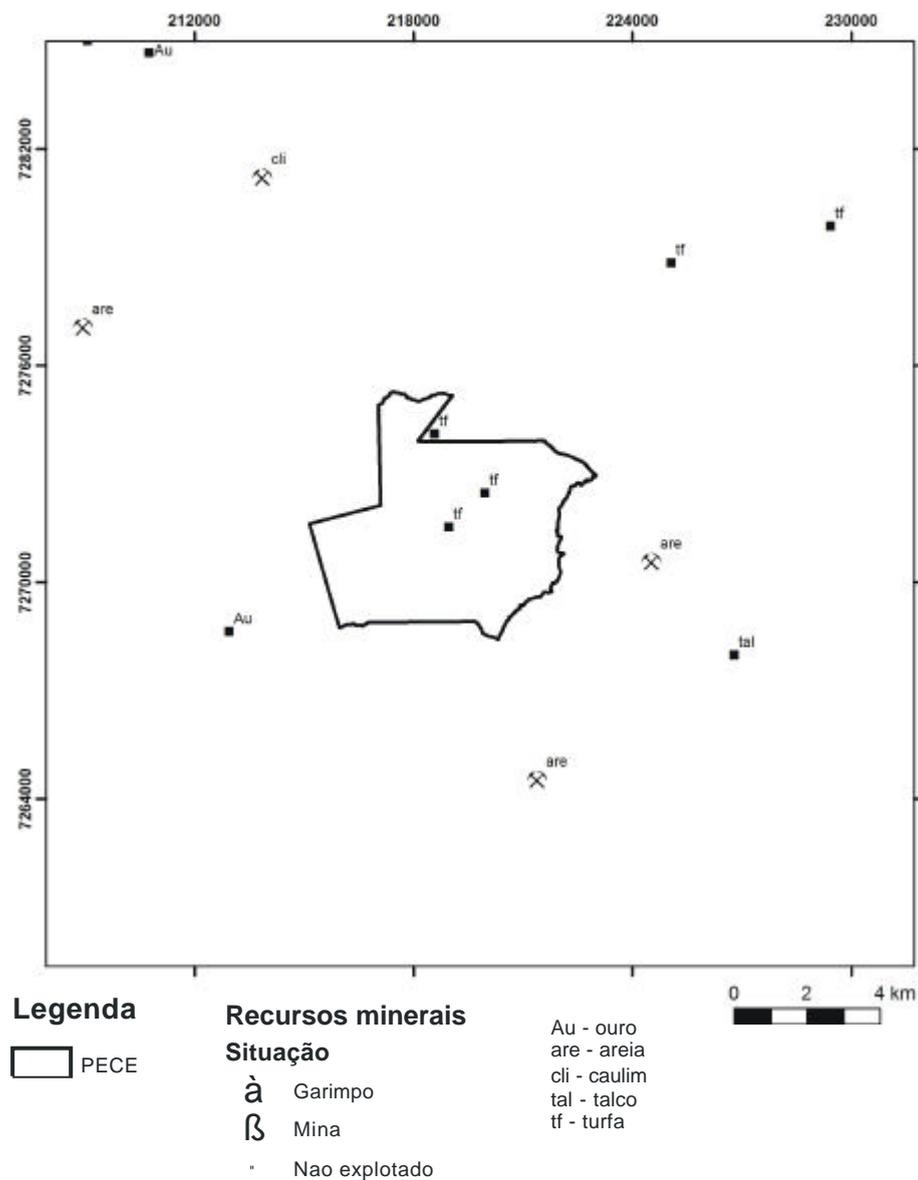


Figura 33. Localização dos pontos de ocorrências minerais identificados pela CPRM (2006) na área do PE da Campina do Encantado e seu entorno

A situação mais crítica identificada refere-se a existência de nove títulos minerários que englobam parcialmente a área do PECE, incluindo as substâncias: Argilito, Sapropelito, Turfa, Areia e Argila (Tabela 7a). Nota-se que alguns títulos encontram-se em fase de solicitação de pesquisa, com autorização de pesquisa autorizada recentemente (09/06/2008) e outros cancelados ou em disponibilidade. Como a atividade minerária não é permitida dentro de Unidades de Conservação, dentro de Unidades de Conservação, deve-se atuar junto ao DNPM para a não-liberação de novas licenças e cancelamento de autorizações de pesquisa mineral na área do PECE. Em relação aos títulos minerários em áreas de entorno do PECE com autorizações, negociar com os titulares um termo de renúncia desse direito.

Tabela 7a. Situação dos títulos minerários que ocorrem dentro do Parque Estadual da Campina do Encantado

Número	Ano	Processo	Fase	Nome	Último evento	Subst.
820881	1993	820881/1993	AP	Duilio de Franco	296 - Aut pesq/título cancelado publicado em 25/01/2006	Argilito
820538	1981	820538/1981	AP	Serrana de Mineração Ltda	251 - Aut pesq/prorrogação prazo exigência solicitado em 15/03/2007	Sapropelito
820032	2003	820032/2003	AP	Terra Mater Partic. e Empreendimentos Ltda	794 - Aut pesq/relatorio pesq positivo apresentado em 09/06/2008	Turfa
821081	1997	821081/1997	AP	Francisco de Barros Pereira	240 - Aut pesq/defesa apresentada em 29/04/2004	Areia
820884	1993	820884/1993	AP	Duilio de Franco	296 - Aut pesq/título cancelado publicado em 25/01/2006	Argilito
820338	1988	820338/1988	D	Edson Rogovschi	687 - Notificação adm pagto débito vistoria em 09/04/2008	Turfa
820770	1997	820770/1997	D	Sociedade de Cimentos do Brasil Ltda	328 - Disponib/área disponível art 26 cm publi em 21/05/2008	Argila
820771	1997	820771/1997	D	Sociedade de Cimentos do Brasil Ltda	328 - Disponib/área disponível art 26 cm publi em 18/02/2008	Argila
820772	1997	820772/1997	D	Sociedade de Cimentos do Brasil Ltda	328 - Disponib/área disponível art 26 cm publi em 21/05/2008	Argila

AP: Autorização de Pesquisa; D: Disponibilidade;

Nota: Ressalta-se a Autorização de Pesquisa Mineral recentemente expedida em área dentro do PECE pela Terra Mater Participações e Empreendimentos Ltda, e o pedido de Autorização de Pesquisa Mineral em tramitação no DNPM em área do PECE pela Serrana Mineração Ltda.

Tabela 7b. Situação dos títulos minerários que ocorrem no entorno do Parque Estadual da Campina do Encantado

Numero	Ano	Processo	Fase	Nome	Último evento	Subst.
820544	1983	820544/1983	AP	Serrana de Mineração Ltda	282 - Aut pesq/transf direitos -cessão total efetivada em 17/11/1993	Turfa
820674	1987	820674/1987	AP	Naoyuki Gyotoku	666 - Pcto parcela débito multa efetuada em 30/05/2008	Argila
820160	1997	820160/1997	CL	José Augusto La Ferreira - Me	2 - Documento diverso protocolizado em 04/06/2008	Areia
820785	1997	820785/1997	CL	Piramide Extração e Comércio de Areia Ltda	661 - Conc lav/comprova pagto emol imissão posse em 26/10/2007	Areia
820178	1998	820178/1998	CL	José Augusto La Ferreira - Me	2 - Documento diverso protocolizado em 24/07/2008	Areia

Numero	Ano	Processo	Fase	Nome	Último evento	Subst.
821218	1996	821218/1996	CL	Piramide Extração e Comércio de Areia Ltda	661 - Conc lav/comprova pagto emol imissão posse em 11/09/2007	Areia
820591	2008	820591/2008	RP	Vale do Paititi Ltda - Me	2 - Documento diverso protocolizado em 31/07/2008	Areia
820529	1981	820529/1981	CL	Serrana de Mineração Ltda	2 - Documento diverso protocolizado em 23/05/2007	Turfa
820615	2001	820615/2001	L	Prefeitura Municipal da Estancia de Iguape	700 - Req licen/requerimento licenciamento protoco em 24/05/2001	Granito p/ brita
821350	2001	821350/2001	RP	Momuna Mineração e Terraplanagem Ltda	131 - Req pesq/exigência publicada em 09/06/2008	Cascalho
820607	2002	820607/2002	AP	Bunge Fertilizantes S/A	264 - Aut pesq/pagamento tah efetuado em 31/07/2008	Fosfato
821284	2000	821284/2000	AP	Pirâmide Extração eComércio de Areia Ltda	794 - Aut pesq/relatorio pesq positivo apresentado em 24/04/2007	Areia
820443	2008	820443/2008	RP	Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda	100 - Req pesq/req pesquisa completo protocoli em 12/06/2008	Areia
820068	2007	820068/2007	RP	Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda	132 - Req pesq/solicita prorrog prazo exigenci em 05/06/2007	Areia
821116	2002	821116/2002	RP	Terra Mater Partic. e Empreendimentos Ltda	119 - Req pesq/averb incorpor/cessão efetivada em 16/09/2004	Turfa
820040	2003	820040/2003	AP	Terra Mater Partic. e Empreendimentos Ltda	794 - Aut pesq/relatorio pesq positivo apresentado em 09/06/2008	Turfa
821350	2001	821350/2001	RP	Momuna Mineração e Terraplanagem Ltda	131 - Req pesq/exigência publicada em 09/06/2008	Cascalho
820618	2002	820618/2002	AP	Bunge Fertilizantes S/A	264 - Aut pesq/pagamento tah efetuado em 31/07/2008	Fosfato
820104	1999	820104/1999	RL	Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda	362 - Req lav/prorrogação prazo exigência solicitado em 11/09/2006	Caulim
821242	1999	821242/1999	AP	Francisco de Barros Pereira	666 - Pgto parcela débito multa efetuada em 26/04/2007	Areia
820883	1993	820883/1993	AP	Duilio De Franco	296 - Aut pesq/titulo cancelado publicado em 25/01/2006	Argilito
821082	1997	821082/1997	AP	José Augusto La Ferreira	264 - Aut pesq/pagamento tah efetuado em 31/07/2008	Areia
821217	1996	821217/1996	RL	Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda	362 - Req lav/prorrogação prazo exigência solicitado em 20/10/2006	Areia
821220	1996	821220/1996	AP	Eduardo Rodrigues Machado Luz	290 - Aut pesq/relatorio pesq final apresentado em 04/01/2002	Areia
820674	1987	820674/1987	AP	Naoyuki Gyotoku	666 - Pgto parcela débito multa efetuada em 30/05/2008	Argila
820029	2005	820029/2005	AP	Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda	264 - Aut pesq/pagamento tah efetuado em 08/07/2008	Areia
820373	2004	820373/2004	RP	Eduardo Rodrigues Machado Luz	100 - Req pesq/req pesquisa completo protocoli em 22/06/2004	Areia

Numero	Ano	Processo	Fase	Nome	Último evento	Subst.
821181	2002	821181/2002	RP	Álvaro Freitas Tulha	100 - Req pesq/req pesquisa completo protocoli em 23/12/2002	Areia
820039	2003	820039/2003	AP	Terra Mater Partic. e Empreendimentos Ltda	794 - Aut pesq/relatorio pesq positivo apresentado em 09/06/2008	Turfa
820749	1993	820749/1993	AP	Sérgio Magalhães Freitas	178 - Aut pesq/notificação adm l pgto débito tah em 01/10/2007	Argila refratária
820882	1993	820882/1993	AP	Duilio de Franco	296 - Aut pesq/titulo cancelado publicado em 25/01/2006	Argilito
820686	1996	820686/1996	CL	Vera Aparecida de Pauli Silva-Me	403 - Conc lav/imissão de posse requerida em 28/02/2007	Areia
821216	1996	821216/1996	AP	Eduardo Rodrigues Machado Luz	290 - Aut pesq/relatorio pesq final apresentado em 04/01/2002	Areia
821219	1996	821219/1996	AP	Eduardo Rodrigues Machado Luz	290 - Aut pesq/relatorio pesq final apresentado em 04/01/2002	Areia
820125	1983	820125/1983	CL	Mineração Estrela do Vale Ltda	2 - Documento diverso protocolizado em 19/03/2008	Calcário p/ brita
820853	1985	820853/1985	AP	Serrana de Mineração Ltda	257 - aut pesq/relatorio art 43 constit protoc em 05/10/1989	Turfa
804736	1977	804736/1977	RL	Brasclay Empresa de Mineração Ltda	362 - req lav/prorrogação prazo exigência solicitado em 17/12/1998	Caulim
820067	2007	820067/2007	RP	Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda	132 - req pesq/solicita prorrog prazo exigenci em 05/06/2007	Areia
820028	2005	820028/2005	AP	Pirâmide Extração eComércio de Areia Ltda	264 - aut pesq/pagamento tah efetuado em 08/07/2008	Areia
820309	2004	820309/2004	AP	Terra Mater Partic. e Empreendimentos Ltda	264 - aut pesq/pagamento tah efetuado em 29/01/2008	Areia
820038	2003	820038/2003	AP	Terra Mater Partic. e Empreendimentos Ltda	794 - aut pesq/relatorio pesq positivo apresentado em 09/06/2008	Turfa
821069	2001	821069/2001	RL	José Augusto La Ferreira - ME	365 - req lav/cumprimento exigência protocoliz em 17/07/2008	Areia
820250	2001	820250/2001	AP	Extração de Areia Riomar Ltda-Me	2 - documento diverso protocolizado em 20/08/2007	Areia
820786	1997	820786/1997	CL	Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda.	403 - conc lav/imissão de posse requerida em 11/09/2007	Areia
821285	1998	821285/1998	RL	Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda	362 - req lav/prorrogação prazo exigência solicitado em 11/09/2006	Areia
821897	1998	821897/1998	AP	Extração de Areia Riomar Ltda-Me	2 - documento diverso protocolizado em 20/08/2007	Areia
820673	1995	820673/1995	AP	Mineração Matheus Leme Ltda	291 - aut pesq/relatorio pesq aprov c/reduc área pub em 30/04/2007	Argila
821179	1996	821179/1996	AP	Mineração Baruel Ltda	181 - req pesq/pedido reconsid negada publicad em 09/04/1999	Argila
821221	1996	821221/1996	AP	Eduardo Rodrigues Machado Luz	264 - aut pesq/pagamento tah efetuado em 31/07/2002	Argila

Numero	Ano	Processo	Fase	Nome	Último evento	Subst.
820532	1981	820532/1981	AP	Serrana de Mineração Ltda	291 - aut pesq/relatorio pesq aprov c/reduc área pub em 20/12/2000	Turfa
820551	1981	820551/1981	AP	Serrana de Mineração Ltda	251 - aut pesq/prorrogação prazo exigência solicitado em 15/03/2007	Sapropelito
820833	1981	820833/1981	AP	Serrana de Mineração Ltda	236 - aut pesq/documento diverso protocolizado em 18/12/2003	Turfa
820707	2008	820707/2008	RP	Jorcal - José Redis Calcário Ltda.	Dado não cadastrado	Não cadastrado
820424	2003	820424/2003	RP	Bunge Fertilizantes S/A	132 - req pesq/solicita prorrog prazo exigenci em 30/08/2004	Fosfato
821080	1997	821080/1997	RP	Karl Heinz Bauermeister	2 - documento diverso protocolizado em 01/02/2007	Areia
820706	2008	820706/2008	RP	Jorcal - José Redis Calcário Ltda	Dado não cadastrado	não cadastrado
820774	1997	820774/1997	D	Sociedade de Cimentos do Brasil Ltda	328 - disponib/área disponível art 26 cm publi em 21/05/2008	Argila
820775	1997	820775/1997	D	Sociedade de Cimentos do Brasil Ltda	328 - disponib/área disponível art 26 cm publi em 21/05/2008	Argila
820777	1997	820777/1997	D	Sociedade de Cimentos do Brasil Ltda	328 - disponib/área disponível art 26 cm publi em 21/05/2008	Argila
820782	1997	820782/1997	D	Sociedade de Cimentos do Brasil Ltda	328 - disponib/área disponível art 26 cm publi em 21/05/2008	Argila
820783	1997	820783/1997	D	Sociedade de Cimentos do Brasil Ltda	328 - disponib/área disponível art 26 cm publi em 21/05/2008	Argila
820784	1997	820784/1997	D	Sociedade de Cimentos do Brasil Ltda	328 - disponib/área disponível art 26 cm publi em 21/05/2008	Argila
820179	1998	820179/1998	D	Karl Heinz Bauermeister	328 - disponib/área disponível art 26 cm publi em 20/04/2006	Areia
821308	1999	821308/1999	D	Pirâmide Extração e Comércio de Areia Ltda	312 - disponib/habilit edital disponibi p/pesq em 20/07/2007	Areia
820673	1995	820673/1995	D	Mineração Matheus Leme Ltda	291 - aut pesq/relatorio pesq aprov c/reduc área pub em 30/04/2007	Argila
820673	1995	820673/1995	D	Mineração Matheus Leme Ltda	291 - aut pesq/relatorio pesq aprov c/reduc área pub em 30/04/2007	Argila
820429	2003	820429/2003	D	Fábio Carravieri de Almeida	635 - aut pesq/auto infração multa-tah em 09/07/2008	Carbonatito

AP: Autorização de Pesquisa; D: Disponibilidade; RP: Requerimento de pesquisa; AP: Autorização de pesquisa; RL: Requerimento de lavra; CL: Concessão de lavra; AP: Autorização de Pesquisa; D: Disponibilidade

Na área do entorno do PE da Campina do Encantado há destaque em relação à presença de rochas alcalinas (Tabela 7b). Estas rochas atualmente não são exploradas, mas no futuro a implantação deste empreendimento mineral pode vir a impactar o PECE devido a pouca distância de seus limites, cerca de 4,8 km em superfície.

A turfa é um recurso mineral que pode ser utilizado para diversas finalidades, como ser queimada em caldeiras industriais, combustível, para produção de carvão ativado, açúcar, absorver derrames de petróleo, agricultura, fertilizante, etc. Em regiões lacustres frias, mais abundantes em turfa, a taxa de acumulação tem sido de 5 a 15 cm de espessura por século, caracterizando como um material orgânico não renovável, com uma composição mineral de água (85%), material volátil (6%), outros compostos orgânicos (8%) e material mineral (1%). Quando a turfa se forma em vales planos de rios, sua composição pode apresentar inclusões minerais de aluviões, cuja quantidade na forma seca não ultrapassa 50%. O valor da turfa está associado com o seu tipo, grau de decomposição, conteúdo de cinzas e densidade (IPT 1978).

Shimada et al. (1981) identificaram no Estado de São Paulo alguns setores, de acordo com a possível ocorrência de turfa e condições geológicas favoráveis a sua formação: Moji-Guaçu-Pardo, Itapetininga, Baixo Tietê-Paraná-Aguapeí-Peixe, Baixo Ribeira de Iguape-Litoral Sul; Jacaré-Guaçu-Jacaré-Pepira e Colônia. Os autores identificaram a ocorrência de depósitos de turfas em regiões planas onde os rios tornam-se meandramentos, possibilitando o desenvolvimento de amplas planícies aluvionares. Nas faixas marginais destes aluviões, existiriam condições de deposição e de composição de restos vegetais em águas estagnadas, isoladas da energia do rio e do conseqüente aporte de matéria mineral.

IPT (1986) identificaram no litoral sul de São Paulo turfeiras que ocorrem nos baixios entre cordões arenosos da Formação Cananéia e praias pré-atuais, concentrando-se na planície Iguape-Cananéia, possuidora de reserva geológica superior a 100 milhões de toneladas de turfa in situ. Estas turfas distribuem-se em áreas amplas, baixas e úmidas, e são capeadas por densa vegetação arbórea da Mata Atlântica. Constituem estratos de turfa hêmica a sáprica, marrom-escura a preta, com intercalações de material lenhoso menos decomposto, e possuem espessuras entre de 0,5 a 2,5 m, que podem alcançar até 4,0 m. O conteúdo inorgânico (teor de cinzas) é geralmente inferior a 20%.

3.2.5. Hidrogeologia

Neste estudo tentou-se esboçar o potencial das disponibilidades hídricas subterrâneas na área do Parque Estadual da Campina do Encantado e seu entorno.

A compartimentação dos sistemas aquíferos da área do Parque Estadual da Campina do Encantado 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 dois sistemas de aquíferos distintos: sistema granular ou poroso e sistema fraturado (Tabela 8).

Tabela 8. 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 & Cherry (1979) e Fetter (1994)

Sistema de Aquíferos	Unidade aquífera	Tipo de porosidade	Condutividade hidráulica (cm/s)
Granular ou Poroso	Depósitos sedimentares cenozóicos: Formação Pariqueira-Açu, Formação Cananéia e Depósitos aluvionares	Permeável, porosidade primária: intergranular	10^{-7} a 10^2
Fraturado	Complexo Atuba	Impermeável e porosidade secundária: planos de estratificação, descontinuidades (fratura, falha, xistosidade)	10^{-7} a 10^{-2}

Devido a características hidrogeológicas como heterogeneidade e anisotropia não há condições de separar e quantificar as parcelas que alimentam o sistema granular ou poroso e o sistema fraturado na área de estudo. As maiores dificuldades referem-se à determinação da real espessura saturada do sistema, embora se saiba que a maior densidade de fendas abertas ocorre, 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 provavelmente não apresentar conectividade em profundidade.

3.2.5.1. Sistema Granular ou Poroso

Composto pelos depósitos sedimentares cenozóicos, formando aquíferos aluviais, de coberturas coluviais 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 perfaz cerca de 99,50% da área de recarga do Parque Estadual da Campina do Encantado, e assume grande importância em trechos dos principais rios e distributários da região.

Nos períodos sem chuva, a água percola pelo sistema granular ou poroso de forma lenta e gradativa. 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 tornando a maior parte da área em pântano (área alagada).

Os aquíferos apresentam pequenas espessuras (da ordem de uma dezena de metros), correspondendo a aluviões e turfeiras que ocorrem na 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.

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 e adsorção nas turfeiras e argilas.

3.2.5.2. Sistema Fraturado

Este sistema perfaz cerca de 0,50% da área de recarga do Parque Estadual da Campina do Encantado, assumindo pequena importância.

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 Atuba, que apresenta feições estruturais com maior ou menor incidência e densidade de fraturas responsáveis por variações locais na permeabilidade. Tal comportamento deve-se ao alargamento da abertura de juntas, e ao melhor desenvolvimento das descontinuidades em rochas mais competentes.

A recarga deste aquífero ocorre por meio da infiltração direta em suas descontinuidades através de água meteórica ou infiltração através da cobertura que forma o manto de intemperismo.

3.2.5.3. 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), o Sistema Granular ou Poroso que perfaz a maior parte da área e cujo nível d'água encontra-se com menor profundidade, apresentou vulnerabilidade do aquífero à contaminação Extrema. A tabela 9 apresenta os valores de GOD e o grau de vulnerabilidade calculado para cada sistema aquífero identificado.

Tabela 9. Parâmetros GOD e graus de vulnerabilidade calculados para os sistemas aquíferos identificados

Sistema de Aquíferos	G	O	D	Resultado	Grau de Vulnerabilidade
Granular ou Poroso	1,0	0,9	1,0	0,9	Extrema
Fraturado	0,6	0,6	0,9	0,324	Média

