GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL

LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

2010

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

CASA CIVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Ministra-Chefe Dilma Rousseff

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTRO DE ESTADO
Edison Lobão

SECRETÁRIO EXECUTIVO
Márcio Pereira Zimmermann

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
Cláudio Scliar

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente
Giles Carriconde Azevedo

Vice-Presidente
Agamenon Sergio Lucas Dantas

Conselheiros
Benjamim Bley de Brito Neves
Cláudio Scliar
Luiz Gonzaga Baião
Jarbas Raimundo de Aldano Matos

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente
Agamenon Sergio Lucas Dantas

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial
José Ribeiro Mendes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais
Manoel Barretto da Rocha Neto

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento
Fernando Pereira de Carvalho

Diretor de Administração e Finanças
Eduardo Santa Helena da Silva

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE SÃO PAULO

Superintendente
José Carlos Garcia Ferreira

Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial
Armando Teruo Takahashi

Supervisão de Gestão Territorial
Antonio Theodorovicz

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

ORGANIZAÇÃO

Carlos Augusto Brasil Peixoto

São Paulo, Brasil

2010

CRÉDITOS TÉCNICOS

LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO

COORDENAÇÃO NACIONAL

Departamento de Gestão Territorial
Cassio Roberto da Silva

Coordenação de Geoprocessamento e da Base de Dados de Geodiversidade
Maria Angélica Barreto Ramos
Maria Adelaide Mansini Maia

Coordenação Regional
Antonio Theodorovicz

Execução Técnica
Carlos Augusto Brasil Peixoto

Organização do Livro Geodiversidade do Estado de São Paulo
Carlos Augusto Brasil Peixoto

Sistema de Informação Geográfica e Leiaute do Mapa
Carlos Augusto Brasil Peixoto
Marina das Graças Perin

Apoio banco de dados, SIG e desenvolvimento da base geodiversidade
Divisão de Geoprocessamento (DIGEOP)
João Henrique Gonçalves
Antônio Rabello Sampaio
Leonardo Brandão Araújo
Elias Bernard da Silva do Espírito Santo
Patricia Duringer Jacques
Gabriela Figueiredo de Castro Simão

Colaboração
Edgar Shinzato
Jorge Pimentel
Léo Teixeira
Marcelo Eduardo Dantas
Mônica Mazzini Perrotta
Nelize Lima dos Santos (estagiária)
Regina Célia Gimenez Armesto
Roylane Barbosa
Valter José Marques

Revisão Linguística
André Luis de Oliveira Mendonça

Projeto Gráfico/Editoração/Multimídia

Departamento de Relações Institucionais (DERID)
Divisão de Marketing e Divulgação (DIMARK)
(padrão capa/embalagem)
Ernesto von Sperling
José Marcio Henriques Soares
Traço Leal Comunicação

Departamento de Apoio Técnico (DEPAT)
Divisão de Editoração (DIEDIG)
(projeto de editoração/diagramação)
Valter de Alvarenga Barradas
Andréia Amado Continentino
Agmar Alves Lopes

(supervisão de editoração)
Andréia Amado Continentino

Superintendência Regional de Manaus (SUREG-MA)
Gerência de Relações Institucionais e Desenvolvimento (GERIDE)
(projeto de multimídia)
Maria Tereza da Costa Dias
Aldenir Justino de Oliveira

Superintendência Regional de São Paulo (SUREG-SP)
Gerência de Relações Institucionais e Desenvolvimento (GERIDE)
(editoração e multimídia)
Marina das Graças Perin

FOTOS DA CAPA:

1. Potencial turístico: vista parcial da estância hidromineral Águas de Lindóia.
2. Agricultura: uso da técnica de terraceamento nas propriedades rurais da região de Franca.
3. Recursos hídricos: Lago da represa Caconde no rio Pardo (município de Caconde).
4. Obras de engenharia: túnel na rodovia SP-123 km 31, município de Pindamonhangaba.

Peixoto, Carlos Augusto Brasil.
Geodiversidade do estado de São Paulo/ Organização
Carlos Augusto Brasil Peixoto. – São Paulo: CPRM, 2010.
176 p.; 30 cm + 1 DVD-ROM

Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

1. Geodiversidade – Brasil – São Paulo. 2. Meio ambiente – Brasil – São Paulo. 3. Planejamento territorial – Brasil – São Paulo. 4. Geologia ambiental – Brasil – São Paulo. I. Título.

CDD 551.098161

Este produto pode ser encontrado em www.cprm.gov.br e seus@cprm.gov.br

APRESENTAÇÃO

Uma das realizações mais marcantes da atual gestão do Serviço Geológico do Brasil, em estreita sintonia com a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia (SGM/MME), tem sido a consolidação do conceito de ***geodiversidade*** e, consequentemente, do desenvolvimento de métodos e tecnologia para geração de um produto de altíssimo valor agregado, que rompe o estigma de uso exclusivo das informações geológicas por empresas de mineração.

A primeira etapa no caminho dessa consolidação foi a elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (escala 1:2.500.000), que sintetiza os grandes geossistemas formadores do território nacional. Além de oferecer à sociedade uma ferramenta científica inédita de macroplanejamento do ordenamento territorial, o projeto subsidiou tanto a formação de uma cultura interna com relação aos levantamentos da geodiversidade quanto os aperfeiçoamentos metodológicos.

A receptividade ao Mapa Geodiversidade do Brasil, inclusive no exterior, mostrando o acerto da iniciativa, incentivou-nos a dar prosseguimento à empreitada, desta feita passando aos mapas de geodiversidade estaduais, considerando que nos últimos cinco anos o Serviço Geológico atualizou a geologia e gerou sistemas de informações geográficas de vários estados brasileiros.

É nesse esforço que se insere o ***LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO*** aqui apresentado. Trata-se de um produto concebido para oferecer aos diversos segmentos da sociedade paulista uma tradução do conhecimento geológico-científico estadual, com vistas a sua aplicação ao uso adequado do território. Destina-se a um público-alvo variado, desde empresas mineradoras tradicionais, passando pela comunidade acadêmica, gestores públicos da área de ordenamento territorial e gestão ambiental, organizações não-governamentais até a sociedade civil.

Dotado de uma linguagem de compreensão universal, tendo em vista seu caráter multiuso, o produto compartimenta o território paulista em unidades geológico-ambientais, destacando suas limitações e potencialidades, considerando-se a constituição litológica da supraestrutura e da infraestrutura geológica. São abordadas, também: características geotécnicas; coberturas de solos; migração, acumulação e disponibilidade de recursos hídricos; vulnerabilidades e capacidades de suporte à implantação de diversas atividades antrópicas dependentes dos fatores geológicos; disponibilidade de recursos minerais essenciais ao desenvolvimento social e econômico do estado. Nesse particular, em função de fatores estratégicos, são propostas Áreas de Relevante Interesse Mineral (ARIMs), constituindo-se em valioso subsídio às tomadas de decisão conscientes sobre o uso do território.

O Mapa Geodiversidade do Estado de São Paulo foi gerado a partir dos SIGs do Mapa Geológico do Estado de São Paulo (2006) e do Mapa Geodiversidade do Brasil (2006), escala 1:2.500.000, bem como de informações agregadas obtidas por meio de trabalho de campo, consulta bibliográfica e dados de instituições públicas e de pesquisa.

As informações técnicas produzidas pelo levantamento da Geodiversidade do Estado de São Paulo – na forma de mapa, SIG e texto explicativo – encontram-se disponíveis no portal da CPRM/SGB (<http://www.cprm.gov.br>) para pesquisa e *download*, por meio do GeoBank, o sistema de bancos de dados geológicos corporativo da Empresa, e em formato impresso e digital (DVD-ROM), para distribuição ao público em geral.

Com este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil dá mais um passo fundamental, no sentido de firmar os mapas de geodiversidade como produtos obrigatórios de agregação de valor aos mapas geológicos, na certeza de conferir às informações geológicas uma inusitada dimensão social, que, em muito, transcende sua reconhecida dimensão econômica. E, como tal, permite maior inserção dos temas geológicos nas políticas públicas governamentais, a bem da melhoria da qualidade de vida da população brasileira.

Agamenon Sergio Lucas Dantas
Diretor-Presidente
CPRM/Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 09
Pedro A. dos Santos Pfaltzgraff, Carlos Augusto Brasil Peixoto

2. METODOLOGIA E ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA 15
Maria Angélica B. Ramos, Marcelo E. Dantas, Antônio Theodorovicz, Valter J. Marques, Vitório O. Filho, Maria Adelaide M. Maia, Pedro A. S. Pfaltzgraff

3. GEODIVERSIDADE: ADEQUABILIDADES/POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES FRENTE AO USO E À OCUPAÇÃO 31
Carlos Augusto Brasil Peixoto

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 137
Carlos Augusto Brasil Peixoto

APÊNDICES

I . UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

II . BIBLIOTECA DE RELEVO DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

NOTA SOBRE OS AUTORES

Instrumento
de Planejamento, Gestão
e Ordenamento Territorial
Prevenção de Desastres Naturais
Saúde
Meio Ambiente
Evolução da Terra e da Vida
Mudanças Climáticas
Levantamento Geológico
e Pesquisa Mineral
Disponibilidade
e Adequada Utilização
dos Recursos Hídricos
Agricultura
Obras de Engenharia
Políticas Públicas
Educação
Geoconservação e Geoturismo
GEODIVERSIDADE

1

INTRODUÇÃO

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (*pedro.augusto@cprm.gov.br*)
Carlos Augusto Brasil Peixoto (*carlos.peixoto@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Geodiversidade 11
Aplicações 12
Referências 13

GEODIVERSIDADE

O planeta Terra se comporta como um sistema vivo, por meio de um conjunto de grandes engrenagens que se movimenta, que se modifica, acolhe e sustenta uma imensidade de seres vivos em sua superfície. A sua "vida" se expressa pelo movimento do planeta no entorno do Sol e de seu eixo de rotação, assim como por seu movimento interno por meio das correntes de convecção que se desenvolvem abaixo da crosta terrestre. Em decorrência, tem-se, em superfície, a deriva dos continentes, vulcões e terremotos, além do movimento dos ventos e diversos agentes climáticos que atuam na modelagem das paisagens.

Embora seja o sustentáculo para o desenvolvimento da vida na superfície terrestre, o substrato tem recebido menos atenção e estudo que os seres que se assentam sobre ele. Partindo dessa afirmação, são mais antigos e conhecidos o termo e o conceito de biodiversidade que os referentes a **geodiversidade**.

O termo "geodiversidade" foi empregado pela primeira vez em 1993, na Conferência de Malvern (Reino Unido) sobre "Conservação Geológica e Paisagística". Inicialmente, o vocábulo foi aplicado para gestão de áreas de proteção ambiental, como contraponto a "biodiversidade", já que havia necessidade de um termo que englobasse os elementos não-bióticos do meio natural (SERRANO e RUIZ FLAÑO, 2007). Todavia, essa expressão havia sido empregada, na década de 1940, pelo geógrafo argentino Federico Alberto Daus, para diferenciar áreas da superfície terrestre, com uma conotação de Geografia Cultural (ROJAS citado por SERRANO e RUIZ FLAÑO, 2007, p. 81).

Em 1997, Eberhard (citado por SILVA *et al*, 2008a, p. 12) definiu geodiversidade como *a diversidade natural entre aspectos geológicos, do relevo e dos solos.*

O primeiro livro dedicado exclusivamente à temática da geodiversidade foi lançado em 2004. Trata-se da obra de Murray Gray (professor do Departamento de Geografia da Universidade de Londres) intitulada "Geodiversity: Valuying and Conserving Abiotic Nature". Sua definição de geodiversidade é bastante similar à de Eberhard.

Owen *et al*. (2005), em seu livro "Gloucestershire Cotswolds: Geodiversity Audit & Local Geodiversity Action Plan", consideram que:

Geodiversidade é a variação natural (diversidade) da geologia (rochas minerais, fósseis, estruturas), geomorfologia (formas e processos) e solos. Essa variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos faz com que essas rochas, minerais, fósseis e solos sejam o substrato para a vida na Terra. Isso inclui suas relações, propriedades, interpretações e sistemas que se inter-relacionam com a paisagem, as pessoas e culturas.

Galopim de Carvalho (2007), em seu artigo "Natureza: Biodiversidade e Geodiversidade", assume esta definição:

Biodiversidade é uma forma de dizer, numa só palavra, diversidade biológica, ou seja, o conjunto dos seres vivos. É, para muitos, a parte mais visível da natureza, mas não é, seguramente, a mais importante. Outra parte, com idêntica importância, é a geodiversidade, sendo esta entendida como o conjunto das rochas, dos minerais e das suas expressões no subsolo e nas paisagens. No meu tempo de escola ainda se aprendia que a natureza abarcava três reinos: o reino animal, o reino vegetal e o reino mineral. A biodiversidade abrange os dois primeiros e a geodiversidade, o terceiro.

Geodiversidade, para Brilha *et al*. (2008), é a *variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos activos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra.*

No Brasil, os conceitos de geodiversidade se desenvolveram praticamente de forma simultânea ao pensamento internacional, entretanto, com foco direcionado para o planejamento territorial, embora os estudos voltados para geoconservação não sejam desconsiderados (SILVA *et al*., 2008a).

Na opinião de Veiga (2002), *a geodiversidade expressa as particularidades do meio físico, abrangendo rochas, relevo, clima, solos e águas, subterrâneas e superficiais.*

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) define geodiversidade como:

O estudo da natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico (CPRM, 2006).

Já autores como Xavier da Silva e Carvalho Filho (citados por SILVA *et al*., 2008a, p. 12) apresentam definições diferentes da maioria dos autores nacionais e internacionais, definindo geodiversidade a partir da *variabilidade das características ambientais de uma determinada área geográfica.*

Embora os conceitos de geodiversidade sejam menos conhecidos do grande público que os de biodiversidade, esta é dependente daquela, conforme afirmam Silva *et al*. (2008a, p. 12):

A biodiversidade está assentada sobre a geodiversidade e, por conseguinte, é dependente direta desta, pois as rochas, quando intemperizadas, juntamente com o relevo e o clima, contribuem para a formação dos solos, disponibilizando, assim, nutrientes e micronutrientes, os quais são absorvidos pelas plantas, sustentando e desenvolvendo a vida no planeta Terra. Em síntese, pode-se considerar que o conceito de geodiversidade abrange a porção abiótica do geossistema (o qual é constituído pelo tripé que envolve a análise integrada de fatores abióticos, bióticos e antrópicos) (Figura 1.1).

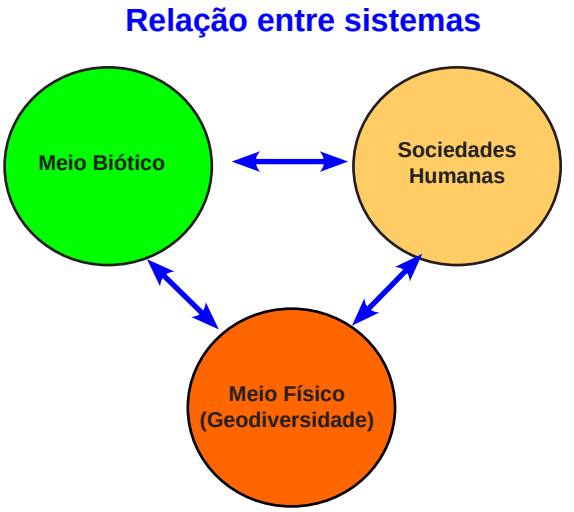


Figura 1.1 – Relação de interdependência entre os meios físico, biótico e a sociedade.

APLICAÇÕES

O conhecimento da geodiversidade nos leva a identificar, de maneira melhor, as aptidões e restrições de uso do meio físico de uma área, bem como os impactos advindos de seu uso inadequado. Além disso, ampliam-se as possibilidades de melhor conhecer os recursos minerais, os riscos geológicos e as paisagens naturais inerentes a uma determinada região composta por tipos específicos de rochas, relevo, solos e clima. Dessa forma, obtém-se um diagnóstico do meio físico e de sua capacidade de suporte para subsidiar atividades produtivas sustentáveis.

Exemplos práticos da importância do conhecimento da geodiversidade de uma região para subsidiar o aproveitamento e a gestão do meio físico são ilustrados a seguir.

Figura 1.2 – Principais aplicações da geodiversidade.
Fonte: Silva *et al*. (2008b, p. 182).

Em determinada região, formada por rochas ígneas e metamórficas, relevo montanhoso, solos pouco espessos, próxima a cidades com grande expansão urbana, como São Paulo, o que seria possível fazer para promover o seu aproveitamento econômico (Figura 1.3)?

O conhecimento da geodiversidade da região implicaria o conhecimento de suas rochas, portanto, nesse caso específico, os tipos rochosos mostrariam aptidões para aproveitamento como agregados para a construção civil, em uma área intensamente urbanizada e com forte demanda de mercado, devido ao reaquecimento da indústria da construção civil.

O relevo montanhoso e a fina espessura do solo seriam outros fatores para auxiliar no desenvolvimento dessa atividade, levando-se em conta que esses tipos de solo e relevo mostram que a área seria pouco propícia, ou com restrições, à instalação de atividades agrícolas, por exemplo.

Figura 1.3 - Pedreira em franca produtividade para uso direto na sempre crescente indústria da construção civil (distrito de Perus, município de São Paulo).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Em outro exemplo, tem-se uma área plana (planície de inundação de um rio), cujo terreno é constituído por areias e argilas, com possível presença de turfas e argilas moles. Nessa situação, os espessos pacotes de areia viabilizam a explotação desse material para a construção civil; as argilas moles e turfas, além da suscetibilidade a inundações periódicas, tornam a área inadequada para ocupação urbana ou industrial; e a presença de solos mais férteis torna a área propícia à agricultura de ciclo curto.

Observa-se, entretanto, que justamente em várzeas e planícies de inundação é que se instalou a maior parte das cidades no Brasil, cuja população sofre periodicamente os danos das cheias dos rios.

Em São Paulo, temos exemplos de grandes bairros – como o Jardim Pantanal – periodicamente inundados

durante a época de cheia dos rios e em cujas áreas inundáveis crescem as invasões e construções irregulares (Figuras 1.4 e 1.5).

O uso e o manejo inadequados do solo são fatores importantes na instalação de processos erosivos que levam à crescente formação de sulcos, ravinas e voçorocas.

Figura 1.4 – Vista parcial do Jardim Pantanal, São Paulo (SP) (jan. 2010).
Disponível em: <http://www.fem.org.br/images/jd%20pantanal.jpg>; acesso em 18 fev. 2010.

Figura 1.5 – Vista aérea do Jardim Pantanal, São Paulo (SP) (jan. 2010).
Disponível em: <http://www.google.com.br/images jardim+pantanal>; acesso em 29 nov. 2010.

O conhecimento e a consideração das características dos materiais geológicos formadores do substrato de uma região auxiliam na indicação das aptidões e restrições de uso desses solos e subsolos, como também apontam alguma forma de prevenção ou, pelo menos, de mitigação da instalação de tais processos erosivos (Figura 1.6).

Figura 1.6 – O talude em solo mostra grandes feições erosivas do tipo ravinas e sulcos, que são de difícil controle e estabilização (São Miguel do Arcanjo, SP).

Importantes projetos nacionais na área de infraestrutura já se utilizam do conhecimento sobre a geodiversidade da área proposta para sua implantação. Como exemplo, o levantamento ao longo do trajeto planejado para as ferrovias Transnordestina, Este-Oeste e Norte-Sul, em que o conhecimento das características da geodiversidade da região se faz importante para escolha não só dos métodos construtivos do empreendimento, como também para o aproveitamento econômico das regiões no entorno desses projetos.

Convém ressaltar que o conhecimento da geodiversidade implica o conhecimento do meio físico no tocante às suas limitações e potencialidades, possibilitando a planejadores e administradores melhor visão do tipo de aproveitamento e do uso mais adequado para determinada área ou região.

REFERÊNCIAS

BRILHA, J.; PEREIRA, D.; PEREIRA, P. **Geodiversidade**: valores e usos. Braga: Universidade do Minho, 2008.

CPRM. **Mapa geodiversidade do Brasil**. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília: CPRM, 2006. 68 p. CD-ROM.

GALOPIM DE CARVALHO, A. M. **Natureza**: biodiversidade e geodiversidade. [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <http://terraquegira.blogspot.com/2007/05/natureza-biodiversidade-e.html>. Acesso em: 25 jan. 2010.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuying and conserving abiotic nature. New York: John Wiley & Sons, 2004. 434 p.

OWEN, D.; PRICE, W.; REID, C. **Gloucestershire cotswolds**: geodiversity audit & local geodiversity action plan. Gloucester: Gloucestershire Geoconservation Trust, 2005.

SERRANO CAÑADAS, E.; RUIZ FLAÑO, P. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial: el caso de Tiermes-Caracena (Soria). **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, La Rioja, n. 45, p. 79-98, 2007.

SILVA, C. R. da; RAMOS, M. A. B.; PEDREIRA, A. J.; DANTAS, M. E. Começo de tudo. In: SILVA, C. R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008a. 264 p. il. p. 11-20.

SILVA, C. R. da; MARQUES, V. J.; DANTAS, M. E.; SHINZATO, E. Aplicações múltiplas do conhecimento da geodiversidade. In: SILVA, C. R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008b. 264 p. il. p. 181-202.

XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Índice de geodiversidade da restinga da Marambaia (RJ): um exemplo do geoprocessamento aplicado à geografia física. **Revista de Geografia**, Recife: DCG/UFPE, v. 1, p. 57-64, 2001.

VEIGA, T. **A geodiversidade do cerrado**. [S.l.: s.n.], 2002. Disponível em: <http://www.pequi.org.br/geologia.html>. Acesso em: 25 jan. 2010.

2

METODOLOGIA E ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Maria Angélica Barreto Ramos (*angelica.barreto@cprm.gov.br*)[1]
Marcelo Eduardo Dantas (*marcelo.dantas@cprm.gov.br*)[1]
Antônio Theodorovicz (*antonio.theodorovicz@cprm.gov.br*)[1]
Valter José Marques (*valter.marques@cprm.gov.br*)[1]
Vitório Orlandi Filho (*vitorioorlandi@gmail.com*)[2]
Maria Adelaide Mansini Maia (*adelaide.maia@cprm.gov.br*)[1]
Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (*pedro.augusto@cprm.gov.br*)[1]

[1]CPRM – Serviço Geológico do Brasil
[2]Consultor

SUMÁRIO

Introdução 17
Procedimentos metodológicos 17
Definição dos domínios e unidades geológico-ambientais 17
Atributos da geologia 18
Deformação 18
Tectônica: dobramentos 18
Tectônica: fraturamento (juntas e falhas)/cisalhamento 18
Estruturas 18
Resistência ao intemperismo físico 18
Resistência ao intemperismo químico 18
Grau de coerência 19
Características do manto de alteração potencial (solo residual) 19
Porosidade primária 20

Característica da unidade lito-hidrogeológica 21
Atributos do relevo 21
Modelo digital de terreno – shutlle radar topography mission (SRTM) 21
Mosaico geocover 2000 23
Análise da drenagem 23
Kit de dados digitais 23
Trabalhando com o *kit* de dados digitais 25
Estruturação da base de dados: geobank 26
Atributos dos campos do arquivo das unidades geológico-ambientais: dicionário de dados 27
Referências 28

INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as diversas etapas que envolveram o tratamento digital dos dados no desenvolvimento do SIG Mapa Geodiversidade do Estado de São Paulo, do Programa Geologia do Brasil (PGB) da CPRM/SGB, integrante do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC 2009), que tem como objetivo a geração de produtos voltados para o ordenamento territorial e o planejamento dos setores mineral, transportes, agricultura, turismo e meio ambiente.

As informações produzidas estão alojadas no GeoBank (sistema de bancos de dados geológicos corporativo da CPRM/SGB), a partir das informações geológicas multiescalares contidas em suas bases Litoestratigrafia e Recursos Minerais, além da utilização de sensores como o Modelo Digital de Terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), do Mosaico GeoCover 2000 e das informações de estruturas e drenagem (SCHOBBENHAUS *et al*., 2004; RAMOS *et al*., 2005; THEODOROVICZ *et al*., 1994, 2001, 2002, 2005; TRAININI e ORLANDI, 200; TRAININI *et al*., 1998, 2001).

Do mesmo modo que na elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (escala 1:2.500.000), também foram utilizadas, para o Mapa Geodiversidade do Estado de São Paulo, informações temáticas de infraestrutura, recursos minerais, unidades de conservação, terras indígenas e áreas de proteção integral e de desenvolvimento sustentável estaduais e federais, dados da rede hidrológica e de água subterrânea, áreas oneradas pela mineração, gasodutos e oleodutos, dados paleontológicos, geoturísticos e paleontológicos.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Assim como para o Mapa Geodiversidade do Brasil e do SIG Geodiversidade ao Milionésimo, os levantamentos estaduais foram elaborados seguindo as orientações contidas em roteiro metodológico preparado para essa fase, apoiados em kits digitais personalizados para cada estado, que contêm todo o material digital (imagens, arquivos vetoriais etc.) necessário ao bom desempenho da tarefa.

A sistemática de trabalho adotada permitiu a continuação da organização dos dados na Base Geodiversidade inserida no GeoBank, desde a fase do recorte ao milionésimo até os estaduais e, sucessivamente, em escalas de maior detalhe (em trabalhos futuros), de forma a possibilitar a conexão dos dados vetoriais aos dados alfanuméricos. Em uma primeira fase, com auxílio dos elementos-chave descritos nas tabelas dos dados vetoriais, é possível vincular facilmente mapas digitais ao GeoBank, como na montagem de SIGs, em que as tabelas das shapefiles (arquivos vetoriais) são produtos da consulta sistemática ao banco de dados.

DEFINIÇÃO DOS DOMÍNIOS E UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS

O estabelecimento de domínios geológico-ambientais e suas subdivisões para o estado de São Paulo se insere nos critérios adotados para a definição dos domínios e unidades geológico-ambientais do Brasil, com o objetivo de se agrupar conjuntos estratigráficos de comportamento semelhante frente ao uso e ocupação dos terrenos. Da mesma forma, o resultado obtido não foi um mapa geológico ou tectônico, mas sim um novo produto, denominado Mapa Geodiversidade do Estado de São Paulo, no qual foram inseridas informações de cunho ambiental, muito embora a matéria-prima para as análises e agrupamentos tenha sido proveniente das informações contidas nas bases de dados de Litoestratigrafia e Recursos Minerais do GeoBank, bem como na larga experiência em mapeamento e em projetos de ordenamento e gestão do território dos profissionais da CPRM/SGB.

Em alguns casos foram agrupadas, em um mesmo domínio, unidades estratigráficas com idades diferentes, desde que a elas se aplicasse um conjunto de critérios classificatórios, como: posicionamento tectônico, nível crustal, classe da rocha (ígnea, sedimentar ou metamórfica), grau de coesão, textura, composição, tipos e graus de deformação, expressividade do corpo rochoso, tipos de metamorfismo, expressão geomorfológica ou litotipos especiais. Se, por um lado, agruparam-se, por exemplo, quartzitos friáveis e arenitos friáveis, por outro foram separadas formações sedimentares muito semelhantes em sua composição, estrutura e textura, quando a geometria do corpo rochoso apontava no sentido da importância em distinguir uma situação de extensa cobertura de uma situação de pacote restrito, limitado em riftes.

O principal objetivo para tal compartimentação é atender a uma ampla gama de usos e usuários interessados em conhecer as implicações ambientais decorrentes do embasamento geológico. Para a elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (escala 1:2.500.000), analisaram-se somente as implicações ambientais provenientes de características físico-químicas, geométricas e genéticas dos corpos rochosos. Na escala 1:1.000.000, do recorte ao milionésimo e dos estados, foram selecionados atributos aplicáveis ao planejamento e dos compartimentos de relevo, reservando-se para as escalas de maior detalhe o cruzamento com informações sobre clima, solo e vegetação.

Como a Base Geodiversidade é fruto da reclassificação das unidades litoestratigráficas contidas na Base multiescalar Litoestratigrafia, compondo conjuntos estratigráficos de comportamento semelhante frente ao uso e à ocupação, atualmente essa base possui a estruturação em domínios e unidades geológico-ambientais apresentada no Apêndice I (Unidades Geológico-Ambientais do Território Brasileiro). Tal estruturação é dinâmica e, na medida do detalhamento das escalas, novos domínios e unidades podem ser inseridos.

ATRIBUTOS DA GEOLOGIA

Desde a etapa do recorte ao milionésimo, para melhor caracterizar as unidades geológico-ambientais, foram selecionados atributos da geologia que permitem uma série de interpretações na análise ambiental, os quais são descritos a seguir.

Deformação

Relacionada à dinâmica interna do planeta. Procede-se à interpretação a partir da ambiência tectônica, litológica e análise de estruturas refletidas nos sistemas de relevo e drenagem.

Tectônica: dobramentos

- Ausente: sedimentos inconsolidados (aluviões, dunas, terraços etc.).
- Não-dobrada: sequências sedimentares, vulcanossedimentares e rochas ígneas não-dobradas e não-metamorfizadas.
- Pouco a moderadamente dobrada: a exemplo das sequências sedimentares ou vulcanossedimentares do tipo Bambuí, por exemplo.
- Intensamente dobrada: a exemplo das sequências sedimentares ou vulcanossedimentares complexa e intensamente dobradas (por exemplo, grupos Açungui, Minas, dentre outros) e das rochas granito-gnaisse migmatíticas.

Tectônica: fraturamento (juntas e falhas)/ cisalhamento

- Não-fraturada: caso das coberturas sedimentares inconsolidadas.
- Pouco a moderadamente fraturada: sequências sedimentares moderadamente consolidadas, a exemplo da Formação Barreiras.
- Intensamente fraturada: caso das coberturas proterozoicas e vulcânicas mesozoicas (ex.: Bacia do Paraná).
- Zonas de cisalhamento: caso das faixas de concentração de deformação dúctil (cinturões de deformação).

Estruturas

De acordo com Oliveira e Brito (1998), as rochas podem apresentar as seguintes características reológicas (comportamento frente a esforços mecânicos):
- Isotrópica: aplica-se quando as propriedades das rochas são constantes, independentemente da direção observada.
- Anisotrópica: as propriedades variam de acordo com a direção considerada.

As bibliotecas para o atributo "Estruturas" são:
- Isotrópica
- Anisotrópica Indefinida
- Anisotrópica Estratificada
- Anisotrópica Estratificada/Biogênica
- Anisotrópica Maciça/Vesicular
- Anisotrópica Maciça/Acamadada
- Anisotrópica Maciça/Laminada
- Anisotrópica Acamadada
- Anisotrópica Acamadada/Filitosa
- Anisotrópica Acamadada/Xistosa
- Anisotrópica Xistosa/Maciça
- Anisotrópica Filitosa/Xistosa
- Anisotrópica Acamadamento Magmático
- Anisotrópica Gnáissica
- Anisotrópica Bandada
- Anisotrópica Concrecional
- Anisotrópica Concrecional/Nodular
- Anisotrópica Biogênica
- Anisotrópica com Estruturas de Dissolução
- Anisotrópica com Estruturas de Colapso

Resistência ao Intemperismo Físico

Procede-se à dedução a partir da análise da composição mineral da rocha ou das rochas que sustentam a unidade geológico-ambiental.

Se for apenas um tipo de litologia que sustenta a unidade geológico-ambiental ou se forem complexos plutônicos de várias litologias, são definidas as seguintes classificações para esse atributo:
- Baixa: rochas ricas em minerais ferromagnesianos, arenitos, siltitos, metassedimentos argilosos, rochas ígneas ricas em micas, calcários, lateritas, rochas ígneas básico-ultrabásico-alcalinas efusivas.
- Moderada a alta: ortoquartzitos, arenitos silicificados, leucogranitos e outras rochas pobres em micas e em minerais ferromagnesianos, formações ferríferas, quartzitos e arenitos impuros.
- Não se aplica: sedimentos inconsolidados.

Se forem várias litologias que sustentam a unidade geológico-ambiental, a classificação será:
- Baixa a moderada na vertical: caso de coberturas pouco a moderadamente consolidadas.
- Baixa a alta na vertical: unidades em que o substrato rochoso é formado por empilhamento de camadas horizontalizadas, não-dobradas, de litologias de composição mineral e com grau de consolidação muito diferentes, como as intercalações irregulares de calcários, arenitos, siltitos, argilitos etc.
- Baixa a alta na horizontal e na vertical: sequências sedimentares e vulcanossedimentares dobradas e compostas de várias litologias; rochas gnáissico-migmatíticas e outras que se caracterizam por apresentar grande heterogeneidade composicional, textural e deformacional lateral e vertical.

Resistência ao Intemperismo Químico

Procede-se à dedução a partir da análise da composição mineral da rocha ou das rochas que sustentam a unidade geológico-ambiental.

Se for só um tipo de litologia que sustenta a unidade geológico-ambiental ou se forem complexos plutônicos de várias litologias, são definidas as seguintes classificações para esse atributo:

- Baixa: calcários, rochas básicas, ultrabásicas, alcalinas etc.

- Moderada a alta: ortoquartzitos, leucogranitos e outras rochas pobres em micas e em minerais ferromagnesianos, quartzitos e arenitos impuros, granitos ricos em minerais ferromagnesianos e micáceos etc.

- Não se aplica: aluviões.

Entretanto, se forem várias litologias que sustentam a unidade geológico-ambiental, a classificação será:

- Baixa a moderada na vertical: unidades em que o substrato rochoso é formado por empilhamento de camadas horizontalizadas, não-dobradas, de composição mineral e grau de consolidação semelhantes a ligeiramente diferentes e mesma composição mineralógica.

- Baixa a alta na vertical: unidades em que o substrato rochoso é formado por empilhamento de camadas horizontalizadas, não-dobradas, de litologias de composição mineral e grau de consolidação muito diferentes, como as intercalações irregulares de calcários, arenitos, siltitos, argilitos etc.

- Baixa a alta na horizontal e na vertical: sequências sedimentares e vulcanossedimentares dobradas e compostas de várias litologias; rochas gnáissico-migmatíticas e outras que se caracterizam por apresentar grande heterogeneidade composicional, textural e deformacional lateral e vertical.

Grau de Coerência

Refere-se à resistência ao corte e à penetração. Mesmo em se tratando de uma única litologia, deve-se prever a combinação dos vários tipos de grau de coerência, a exemplo dos arenitos e siltitos (Figura 2.1). Para o caso de complexos plutônicos com várias litologias, todas podem ser enquadradas em um único grau de coerência.

As classificações utilizadas neste atributo são:

- Muito brandas
- Brandas
- Médias
- Duras
- Muito brandas a duras

Entretanto, se forem várias litologias, esta será a classificação:

- Variável na horizontal
- Variável na vertical
- Variável na horizontal e vertical
- Não se aplica.

Características do Manto de Alteração Potencial (Solo Residual)

Procede-se à dedução a partir da análise da composição mineral das rochas. Por exemplo, independentemente de outras variáveis que influenciam as características

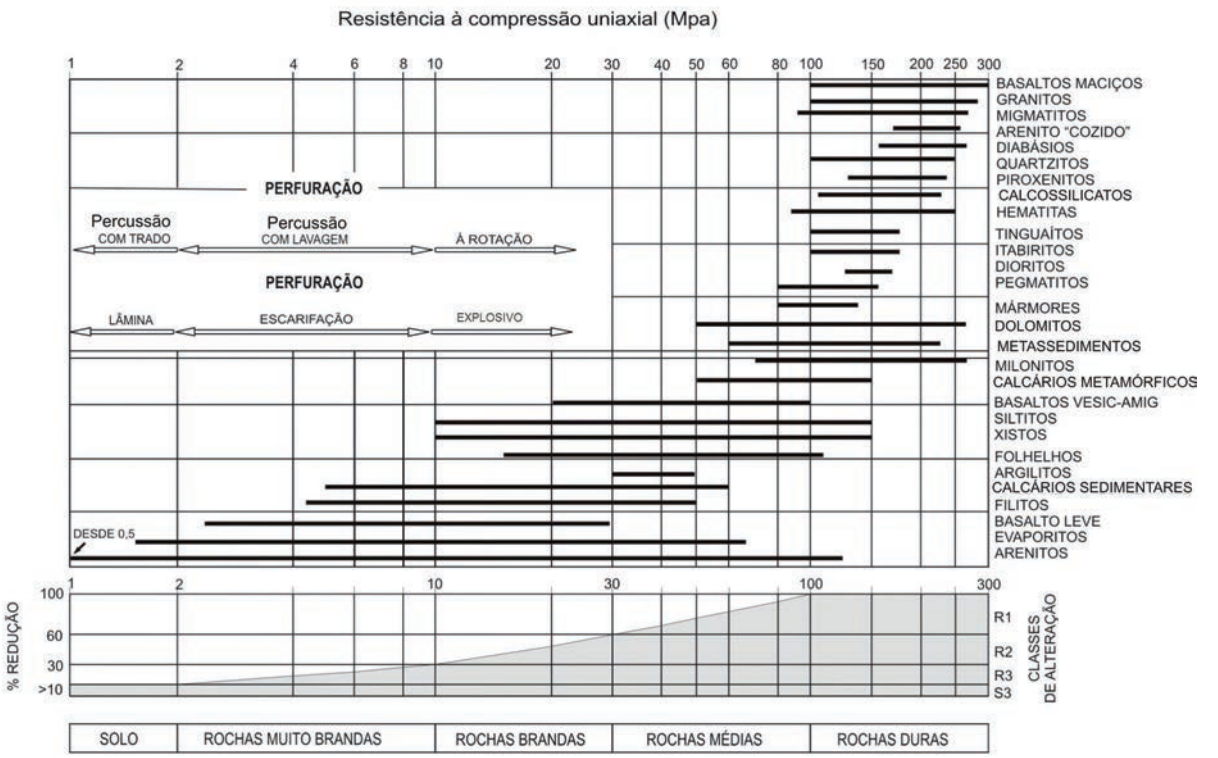


Figura 2.1 – Resistência à compressão uniaxial e classes de alteração para diferentes tipos de rochas.
Fonte: Modificado de Vaz (1996).

do solo, como clima, relevo e evolução do solo, o manto de alteração de um basalto será argiloso e, o de um granito, argilo-síltico-arenoso.

- Predominantemente arenoso: substrato rochoso sustentado por espessos e amplos pacotes de rochas predominantemente arenoquartzosas.

- Predominantemente argiloso: predominância de rochas que se alteram para argilominerais, a exemplo de derrames basálticos, complexos básico-ultrabásico-alcalinos, terrenos em que predominam rochas calcárias etc.

- Predominantemente argilossiltoso: siltitos, folhelhos, filitos e xistos.

- Predominantemente argilo-síltico-arenoso: rochas granitoides e gnáissico-migmatíticas ortoderivadas.

- Variável de arenoso a argilossiltoso: sequências sedimentares e vulcanossedimentares compostas por alternâncias irregulares de camadas pouco espessas, interdigitadas e de composição mineral muito contrastante, a exemplo das sequências em que se alternam, irregularmente, entre si, camadas de arenitos quartzosos com pelitos, calcários ou rochas vulcânicas.

- Predominantemente siltoso: siltitos e folhelhos.

- Não se aplica

Porosidade Primária

Relacionada ao volume de vazios em relação ao volume total da rocha. O preenchimento deverá seguir os procedimentos descritos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Tabela de porosidade total dos diversos materiais rochosos.

Material		Porosidade Total % m					Porosidade Eficaz % m_e			Obs.
Tipo	Descrição	Média	Normal		Extraordinária		Média	Máx.	Mín.	
			Máx.	Mín	Máx.	Mín				
Rochas maciças	Granito	0,3	4	0,2	9	0,05	<0,2	0,5	0,0	A
	Calcário maciço	8	15	0,5	20		<0,5	1	0,0	B
	Dolomito	5	10	2			<0,5	1	0,0	B
Rochas metamórficas		0,5	5	0,2			<0,5	2	0,0	A
Rochas vulcânicas	Piroclasto e turfas	30	50	10	60	5	<5	20	0,0	C, E
	Escórias	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pedra-pome	85	90	50			<5	20	0,0	D
	Basaltos densos, fonólitos	2	5	0,1			<1	2	0,1	A
	Basaltos vesiculares	12	30	5			5	10	1	C
Rochas sedimentares consolidadas (ver rochas maciças)	*Pizarras* sedimentares	5	15	2	30	0,5	<2	5	0,0	E
	Arenitos	15	25	3	30	0,5	10	20	0,0	F
	Creta blanda	20	50	10			1	5	0,2	B
	Calcário detrítico	10	30	1,5			3	20	0,5	
Rochas sedimentares inconsolidadas	Aluviões	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Cascalho	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Loess	45	55	40			<5	10	0,1	E
	Areias	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos glaciais	25	35	15			15	30	5	
	Silte	40	50	25			10	20	2	E
	Argilas não-compactadas	45	60	40	85	30	2	10	0,0	E
	Solos superiores	50	60	30			10	20	1	E

Fonte: Modificado de Custodio e Llamas (1983).

Nota: Alguns dados, em especial os referentes à porosidade eficaz (m_e), devem ser tomados com precauções, segundo as circunstâncias locais. **A** = Aumenta m e me por meteorização; **B** = Aumenta m e m_e por fenômenos de dissolução; **C** = Diminui m e m_e com o tempo; **D** = Diminui m e pode aumentar m_e com o tempo; **E** = m_e muito variável segundo as circunstâncias do tempo; **F** = Varia segundo o grau de cimentação e solubilidade

Caso seja apenas um tipo de litologia que sustenta a unidade geológico-ambiental, observar o campo "Descrição", da Tabela 2.1. Entretanto, se forem complexos plutônicos de várias litologias, a porosidade é baixa.
- Baixa: 0 a 15%
- Moderada: de 15 a 30%
- Alta: >30%

Para os casos em que várias litologias sustentam a unidade geológico-ambiental, observar o campo "Tipo", da Tabela 2.1.

Variável (0 a >30%): a exemplo das unidades em que o substrato rochoso é formado por um empilhamento irregular de camadas horizontalizadas porosas e não-porosas.

Característica da Unidade Lito-Hidrogeológica

São utilizadas as seguintes classificações:
- Granular: dunas, depósitos sedimentares inconsolidados, planícies aluviais, coberturas sedimentares etc.
- Fissural
- Granular/fissural
- Cárstico
- Não se aplica

ATRIBUTOS DO RELEVO

Com o objetivo de conferir uma informação geomorfológica clara e aplicada ao mapeamento da geodiversidade do território brasileiro e dos estados federativos em escalas de análise muito reduzidas (1:500.000 a 1:1.000.000), procurou-se identificar os grandes conjuntos morfológicos passíveis de serem delimitados em tal tipo de escala, sem muitas preocupações quanto à gênese e evolução morfodinâmica das unidades em análise, assim como aos processos geomorfológicos atuantes. Tais avaliações e controvérsias, de âmbito exclusivamente geomorfológico, seriam de pouca valia para atender aos propósitos deste estudo. Portanto, termos como: depressão, crista, patamar, platô, *cuesta, hog-back*, pediplano, peneplanos, etchplano, escarpa, serra e maciço, dentre tantos outros, foram englobados em um reduzido número de conjuntos morfológicos.

Portanto, esta proposta difere, substancialmente, das metodologias de mapeamento geomorfológico presentes na literatura, tais como: a análise integrada entre a compartimentação morfológica dos terrenos, a estrutura subsuperficial dos terrenos e a fisiologia da paisagem, proposta por Ab'Saber (1969); as abordagens descritivas em base morfométrica, como as elaboradas por Barbosa *et al*. (1977), para o Projeto RadamBrasil, e Ponçano *et al*. (1979) e Ross e Moroz (1996) para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); as abordagens sistêmicas, com base na compartimentação topográfica em bacias de drenagem (MEIS *et al*., 1982); ou a reconstituição de superfícies regionais de aplainamento (LATRUBESSE *et al*., 1998).

O mapeamento de padrões de relevo é, essencialmente, uma análise morfológica do relevo com base em fotointerpretação da textura e rugosidade dos terrenos a partir de diversos sensores remotos.

Nesse sentido, é de fundamental importância esclarecer que não se pretendeu produzir um mapa geomorfológico, mas um mapeamento dos padrões de relevo em consonância com os objetivos e as necessidades de um mapeamento da geodiversidade do território nacional em escala continental.

Com esse enfoque, foram selecionados 28 padrões de relevo para os terrenos existentes no território brasileiro (Tabela 2.2), levando-se, essencialmente, em consideração:
- Parâmetros morfológicos e morfométricos que pudessem ser avaliados pelo instrumental tecnológico disponível nos kits digitais (imagens LandSat GeoCover e Modelo Digital de Terreno (MDT) e Relevo Sombreado (SRTM); mapa de classes de hipsometria; mapa de classes de declividade).
- Reinterpretação das informações existentes nos mapas geomorfológicos produzidos por instituições diversas, em especial os mapas desenvolvidos no âmbito do Projeto RadamBrasil, em escala 1:1.000.000.
- Execução de uma série de perfis de campo, com o objetivo de aferir a classificação executada.

Para cada um dos atributos de relevo, com suas respectivas bibliotecas, há uma legenda explicativa (Apêndice II – Biblioteca de Relevo do Território Brasileiro) que agrupa características morfológicas e morfométricas gerais, assim como informações muito elementares e generalizadas quanto à sua gênese e vulnerabilidade frente aos processos geomorfológicos (intempéricos, erosivos e deposicionais).

Evidentemente, considerando-se a vastidão e a enorme geodiversidade do território brasileiro, assim como seu conjunto diversificado de paisagens bioclimáticas e condicionantes geológico-geomorfológicas singulares, as informações de amplitude de relevo e declividade, dentre outras, devem ser reconhecidas como valores-padrão, não aplicáveis indiscriminadamente a todas as regiões. Não se descartam sugestões de ajuste e aprimoramento da Tabela 2.2 e do Apêndice II apresentados nesse modelo, as quais serão benvindas.

MODELO DIGITAL DE TERRENO – SHUTLLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM)

A utilização do Modelo Digital de Terreno ou Modelo Digital de Elevação ou Modelo Numérico de Terreno, no contexto do Mapa Geodiversidade do Estado de São Paulo, justifica-se por sua grande utilidade em estudos de análise ambiental.

Tabela 2.2 – Atributos e biblioteca de padrões de relevo do território brasileiro.

Símbolo	Tipo de Relevo	Declividade (graus)	Amplitude Topográfica (m)
R1a	Planícies Fluviais ou Fluviolacustres	0 a 3	zero
R1b1	Terraços Fluviais	0 a 3	2 a 20
R1b2	Terraços Marinhos	0 a 3	2 a 20
R1b3	Terraços Lagunares	0 a 3	2 a 20
R1c1	Vertentes recobertas por depósitos de encosta	5 a 45	Variável
R1c2	Leques Aluviais	0 a 3	2 a 20
R1d	Planícies Fluviomarinhas	0° (plano)	zero
R1e	Planícies Costeiras	0 a 5	2 a 20
R1f1	Campos de Dunas	3 a 30	2 a 40
R1f2	Campos de Loess	0 a 5°	2 a 20
R1g	Recifes	0	zero
R2a1	Tabuleiros	0 a 3	20 a 50
R2a2	Tabuleiros Dissecados	0 a 3	20 a 50
R2b1	Baixos Platôs	0 a 5	0 a 20
R2b2	Baixos Platôs Dissecados	0 a 5	20 a 50
R2b3	Planaltos	0 a 5	20 a 50
R2c	Chapadas e Platôs	0 a 5	0 a 20
R3a1	Superfícies Aplainadas Conservadas	0 a 5	0 a 10
R3a2	Superfícies Aplainadas Degradadas	0 a 5	10 a 30
R3b	*Inselbergs*	25 a 60	50 a 500
R4a1	Domínio de Colinas Amplas e Suaves	3 a 10	20 a 50
R4a2	Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos	5 a 20	30 a 80
R4a3	Domos em Estrutura Elevada	3 a 10	50 a 200
R4b	Domínio de Morros e de Serras Baixas	15 a 35	80 a 200
R4c	Domínio Montanhoso	25 a 60	300 a 2000
R4d	Escarpas Serranas	25 a 60	300 a 2000
R4e	Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos	10 a 45	50 a 200
R4f	Vales Encaixados	10 a 45	100 a 300

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é um modelo contínuo da superfície terrestre, ao nível do solo, representado por uma malha digital de matriz cartográfica encadeada, ou raster, onde cada célula da malha retém um valor de elevação (altitude) do terreno. Assim, a utilização do MDT em estudos geoambientais se torna imprescindível, uma vez que esse modelo tem a vantagem de fornecer uma visão tridimensional do terreno e suas inter-relações com as formas de relevo e da drenagem e seus padrões de forma direta. Isso permite a determinação do grau de dissecação do relevo, informando também o grau de declividade e altimetria, o que auxilia grandemente na análise ambiental, como, por exemplo, na determinação de áreas de proteção permanente, projetos de estradas e barragens, trabalhos de mapeamento de vegetação etc.

A escolha do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [missão espacial liderada pela NASA, em parceria com as agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI), realizada durante 11 dias do mês de fevereiro de 2000, visando à geração de um modelo digital de elevação quase global] foi devida ao fato de os MDTs disponibilizados por esse sensor já se encontrarem disponíveis para toda a América do Sul, com resolução espacial de aproximadamente 90 x 90 m, apresentando alta acurácia e confiabilidade, além da gratuidade (CCRS, 2004 citado por BARROS *et al*., 2004).

Durante a realização dos trabalhos de levantamento da geodiversidade do território brasileiro, apesar de todos os pontos positivos apresentados, os dados SRTM, em algumas regiões, acusaram problemas, tais como: valores espúrios (positivos e negativos) nas proximidades do mar

e áreas onde não são encontrados valores. Tais problemas são descritos em diversos trabalhos do SRTM (BARROS *et al*., 2004), sendo que essas áreas recebem o valor -32768, indicando que não há dado disponível.

A literatura do tema apresenta diversas possibilidades de correção desses problemas, desde substituição de tais áreas por dados oriundos de outros produtos – o GTOPO30 aparece como proposta para substituição em diversos textos – ao uso de programas que objetivam diminuir tais incorreções por meio de edição de dados (BARROS *et al*., 2004). Neste estudo, foi utilizado o software ENVI 4.1 para solucionar o citado problema.

MOSAICO GEOCOVER 2000

A justificativa para a utilização do Mosaico GeoCover 2000 é o fato de este se constituir em um mosaico ortorretificado de imagens ETM+ do sensor LandSat 7, resultante do *sharpening* das bandas 7, 4, 2 e 8. Esse processamento realiza a transformação RGB-IHS (canais de cores RGB-IHS / vermelho, verde e azul – Matiz, Saturação e Intensidade), utilizando as bandas 7, 4 e 2 com resolução espacial de 30 m e, posteriormente, a transformação IHS-RGB utilizando a banda 8 na Intensidade (I) para aproveitar a resolução espacial de 15 m. Tal procedimento junta as características espaciais da imagem com resolução de 15 m às características espectrais das imagens com resolução de 30 m, resultando em uma imagem mais "aguçada". As imagens do Mosaico GeoCover LandSat 7 foram coletadas no período de 1999/2000 e apresentam resolução espacial de 14,25 m.

Além da exatidão cartográfica, o Mosaico GeoCover possui outras vantagens, como: facilidade de aquisição dos dados sem ônus, âncora de posicionamento, boa acurácia e abrangência mundial, o que, juntamente com o MDT, torna-o imprescindível aos estudos de análise ambiental (ALBUQUERQUE *et al*., 2005; CREPANI e MEDEIROS, 2005).

ANÁLISE DA DRENAGEM

Segundo Guerra e Cunha (2001), o reconhecimento, a localização e a quantificação das drenagens de uma determinada região são de fundamental importância ao entendimento dos processos geomorfológicos que governam as transformações do relevo sob as mais diversas condições climáticas e geológicas. Nesse sentido, a utilização das informações espaciais extraídas do traçado e da forma das drenagens é indispensável na análise geológico-ambiental, uma vez que são respostas/resultados das características ligadas a aspectos geológicos, estruturais e a processos geomorfológicos, os quais atuam como agentes modeladores da paisagem e das formas de relevo.

Dessa forma, a integração de atributos ligados às redes de drenagem – como tipos de canais de escoamento, hierarquia da rede fluvial e configuração dos padrões de drenagem – a outros temas trouxe respostas a várias questões relacionadas ao comportamento dos diferentes ambientes geológicos e climáticos locais, processos fluviais dominantes e disposição de camadas geológicas, dentre outros.

KIT DE DADOS DIGITAIS

Na fase de execução dos mapas de geodiversidade estaduais, o *kit* de dados digitais constou, de acordo com o disponível para cada estado, dos seguintes temas:

- Geodiversidade: arquivo dos domínios e unidades geológico-ambientais
- Estruturas: arquivo das estruturas geológicas
- Planimetria: cidades, vilas, povoados, rodovias etc.
- Áreas Restritivas: áreas de parques estaduais e federais, terras indígenas, estações ecológicas etc.
- Hidrografia: drenagens bifilar e unifilar
- Bacias Hidrográficas: recorte das bacias e sub-bacias de drenagem
- Altimetria: curvas de nível espaçadas de 100 m
- Campos de óleo: campos de óleo e gás
- Gasodutos e Oleodutos: arquivos de gasodutos, refinarias etc.
- Pontos Geoturísticos: sítios geológicos, paleontológicos etc.
- Quilombolas: áreas de quilombolas
- Recursos Minerais: dados de recursos minerais
- Assentamento: arquivo das áreas de assentamento agrícola
- Áreas de Desertificação: arquivo das áreas de desertificação
- Paleontologia: dados de paleontologia
- Poços: dados de poços cadastrados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) criado pela CPRM/SGB
- MDT_SRTM: arquivo *Grid* pelo recorte do estado
- Declividade: arquivo *Grid* pelo recorte do estado
- GeoCover: arquivo *Grid* pelo recorte do estado
- Simbologias ESRI: fontes e arquivos **style* (arquivo de cores e simbologias utilizadas pelo programa ArcGis).

As figuras 2.2 a 2.4 ilustram parte dos dados do *kit* digital para o Mapa Geodiversidade do Estado de São Paulo.

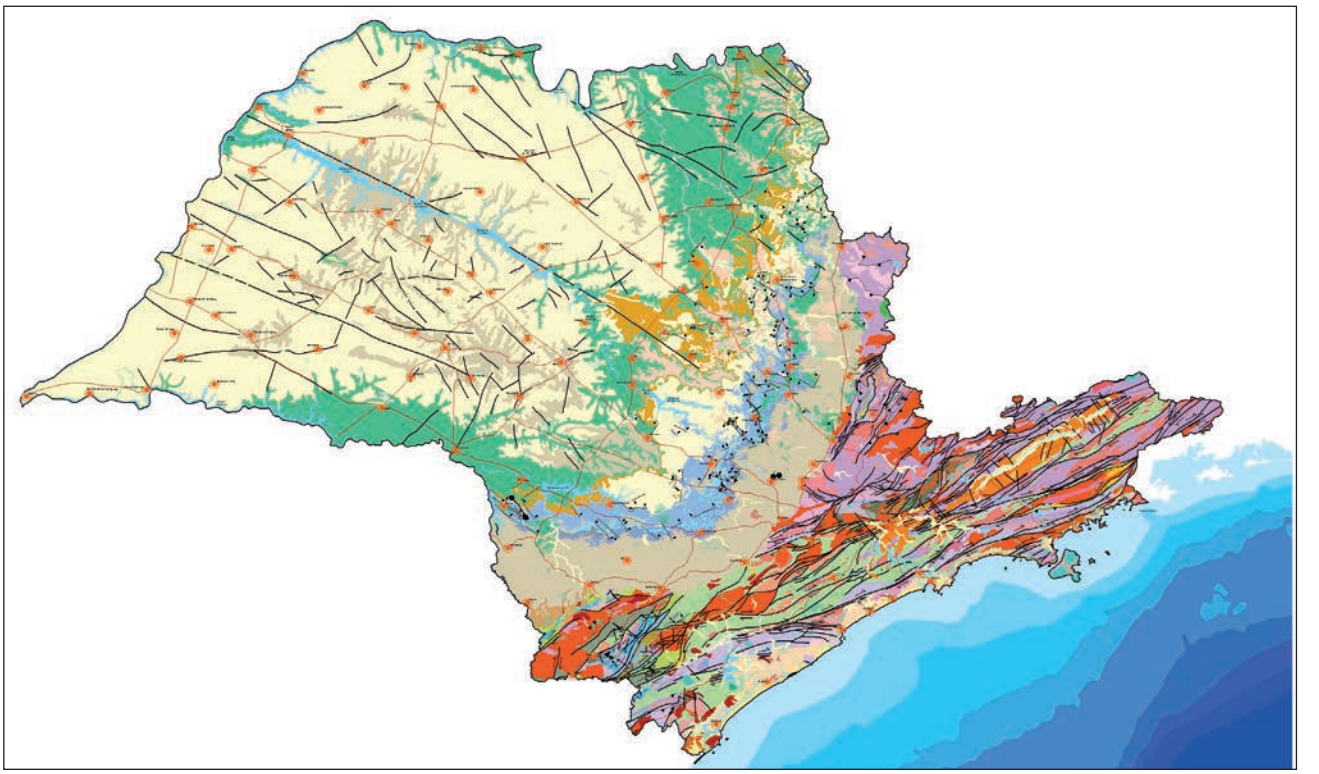


Figura 2.2 - Exemplo de dados do *kit* digital para o estado de São Paulo: unidades geológico-ambientais *versus* infraestrutura, recursos minerais e áreas de proteção ambiental.

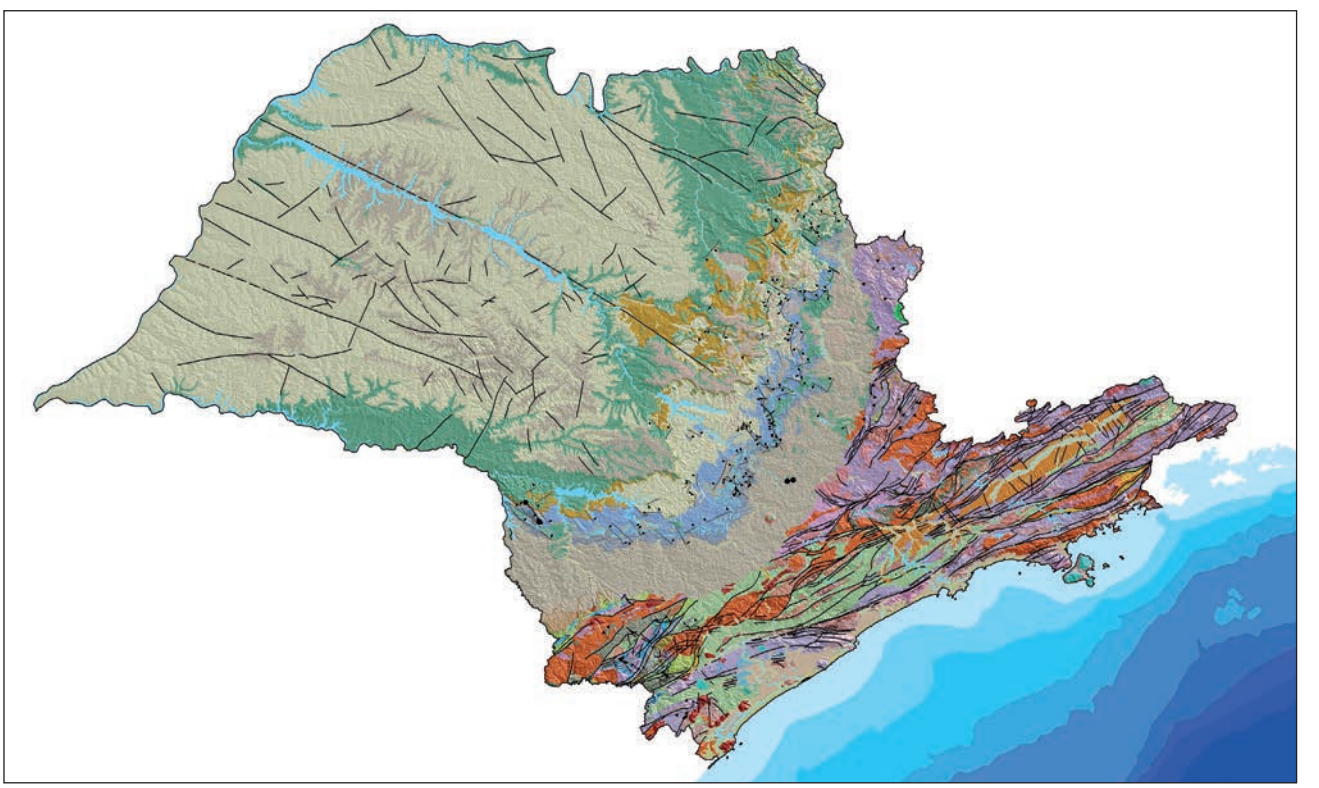


Figura 2.3 - Exemplo de dados do *kit* digital para o estado de São Paulo: unidades geológico-ambientais *versus* relevo sombreado (MDT_SRTM).

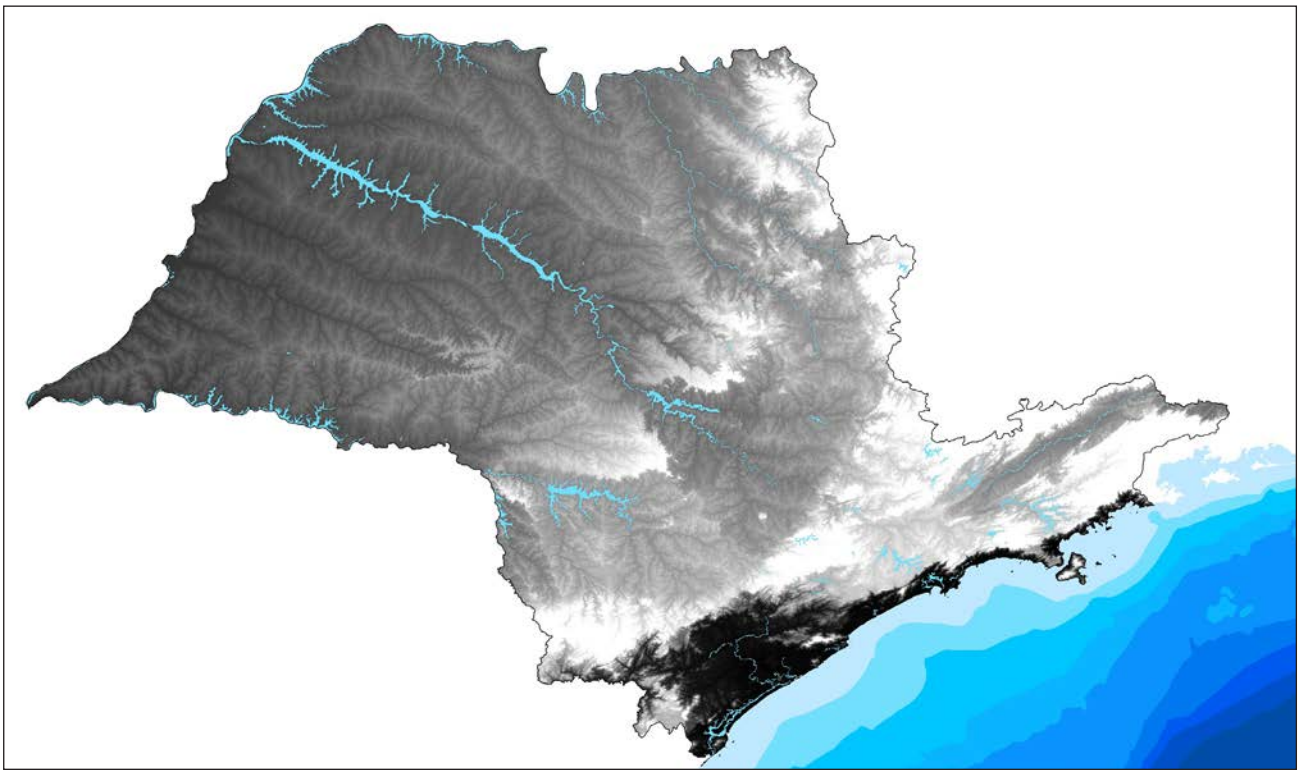


Figura 2.4 – Exemplo de dados do *kit* digital para o estado de São Paulo: modelo digital de elevação (SRTM) *versus* drenagem bifilar.

Os procedimentos de tratamento digital e processamento das imagens *geotiff* e *MrSid* (SRTM e GeoCover, respectivamente), dos *Grids* (declividade e hipsométrico), bem como dos recortes e *reclass* dos arquivos vetoriais (litologia, planimetria, curvas de nível, recursos minerais etc.) contidos no *kit* digital foram realizados em ambiente SIG, utilizando os *softwares* ArcGis9 e ENVI 4.4.

Trabalhando com o *Kit* de Dados Digitais

Na metodologia adotada, a unidade geológico-ambiental, fruto da reclassificação das unidades geológicas (*reclass*), é a unidade fundamental de análise, na qual foram agregadas todas as informações da geologia possíveis de serem obtidas a partir dos produtos gerados pela atualização da cartografia geológica dos estados, pelo SRTM, mosaico GeoCover 2000 e drenagem.

Com a utilização dos dados digitais contidos em cada DVD-ROM foram estruturados, para cada folha ou mapa estadual, um **Projeto.mxd** (conjunto de *shapes* e leiaute) organizado no *software* ArcGis9.

No diretório de trabalho havia um arquivo *shapefile*, denominado **geodiversidade_estado.shp**, que correspondia ao arquivo da geologia onde deveria ser aplicada a reclassificação da geodiversidade.

Após a implantação dos domínios e unidades geológico-ambientais, procedia-se ao preenchimento dos parâmetros da geologia e, posteriormente, ao preenchimento dos campos com os atributos do relevo.

As informações do relevo serviram para melhor caracterizar a *unidade geológico-ambiental* e também para subdividi-la. Porém, essa subdivisão, em sua maior parte, alcançou o nível de polígonos individuais.

Quando houve necessidade de subdivisão do polígono, ou seja, quando as variações fisiográficas eram muito contrastantes, evidenciando comportamentos hidrológicos e erosivos muito distintos, esse procedimento foi realizado. Nessa etapa, considerou-se o relevo como um atributo para subdividir a unidade, propiciando novas deduções na análise ambiental.

Assim, a nova unidade geológico-ambiental resultou da interação da unidade geológico-ambiental com o relevo.

Finalizado o trabalho de implementação dos parâmetros da geologia e do relevo pela equipe responsável, o material foi enviado para a Coordenação de Geoprocessamento, que procedeu à auditagem do arquivo digital da geodiversidade para retirada de polígonos espúrios, superposição e vazios, gerados durante o processo de edição. Paralelamente, iniciou-se a carga dos dados na Base Geodiversidade – APLICATIVO GEODIV (VISUAL BASIC) com posterior migração dos dados para o GeoBank.

ESTRUTURAÇÃO DA BASE DE DADOS: GEOBANK

A implantação dos projetos de levantamento da geodiversidade do Brasil teve como objetivo principal oferecer aos diversos segmentos da sociedade brasileira uma tradução do conhecimento geológico-científíco, com vistas a sua aplicação ao uso adequado para o ordenamento territorial e planejamento dos setores mineral, transportes, agricultura, turismo e meio ambiente, tendo como base as informações geológicas presentes no SIG da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CPRM, 2004).

Com essa premissa, a Coordenação de Geoprocessamento da Geodiversidade, após uma série de reuniões com as Coordenações Temáticas e com as equipes locais da CPRM/SGB, estabeleceu normas e procedimentos básicos a serem utilizados nas diversas atividades dos levantamentos estaduais, com destaque para:

- Definição dos domínios e unidades geológico-ambientais com base em parâmetros geológicos de interesse na análise ambiental, em escalas 1:2.500.000, 1:1.000.00 e mapas estaduais.
- A partir da escala 1:1.000.000, criação de atributos geológicos aplicáveis ao planejamento e informações dos compartimentos do relevo.
- Acuidade cartográfica compatível com as escalas adotadas.
- Estruturação de um modelo conceitual de base para o planejamento, com dados padronizados por meio de bibliotecas.
- Elaboração da legenda para compor os leiautes dos mapas de geodiversidade estaduais.
- Criação de um aplicativo de entrada de dados local desenvolvido em Visual Basic 6.0 Aplicativo GEODIV.
- Implementação do modelo de dados no GeoBank (Oracle) e migração dos dados do Aplicativo GEODIV para a Base Geodiversidade.
- Entrada de dados de acordo com a escala e fase (mapas estaduais).
- Montagem de SIGs.
- Disponibilização dos mapas na Internet, por meio do módulo Web Map do GeoBank (<http://geobank.sa.cprm.gov.br>), onde o usuário tem acesso a informações relacionadas às unidades geológico-ambientais (Base Geodiversidade) e suas respectivas unidades litológicas (Base Litoestratigrafia).

A necessidade de prover o SIG Geodiversidade com tabelas de atributos referentes às unidades geológico-ambientais, dotadas de informações para o planejamento, implicou a modelagem de uma Base Geodiversidade, intrinsecamente relacionada à Base Litoestratigrafia, uma vez que as unidades geológico-ambientais são produto de reclassificação das unidades litoestratigráficas.

Esse modelo de dados foi implantado em um aplicativo de entrada de dados local desenvolvido em Visual Basic 6.0, denominado GEODIV. O modelo do aplicativo apresenta seis telas de entrada de dados armazenados em três tabelas de dados e 16 tabelas de bibliotecas. A primeira tela recupera, por escala e fase, todas as unidades geológico-ambientais cadastradas, filtrando, para cada uma delas, as letras-símbolos das unidades litoestratigráficas (Base Litoestratigrafia) (Figura 2.5).

Posteriormente, de acordo com a escala adotada, o usuário cadastra todos os atributos da geologia de interesse para o planejamento (Figura 2.6).

Na última tela, o usuário cadastra os compartimentos de relevo (Figura 2.7).

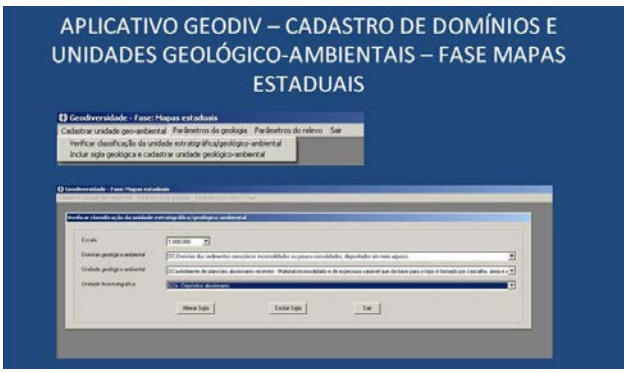


Figura 2.5 – Tela de cadastro das unidades geológico-ambientais para os mapas estaduais de geodiversidade (aplicativo GEODIV).

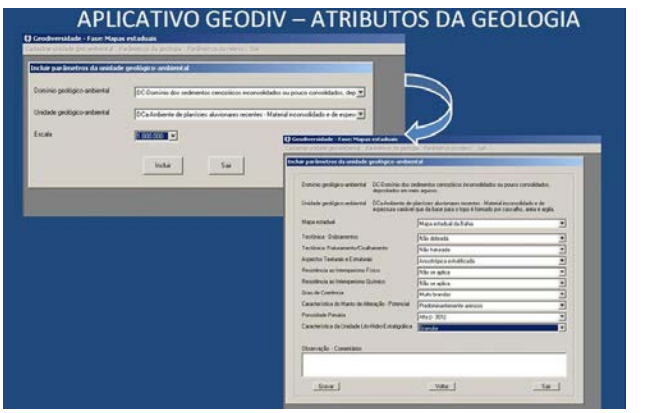


Figura 2.6 – Tela de cadastro dos atributos da geologia (aplicativo GEODIV).

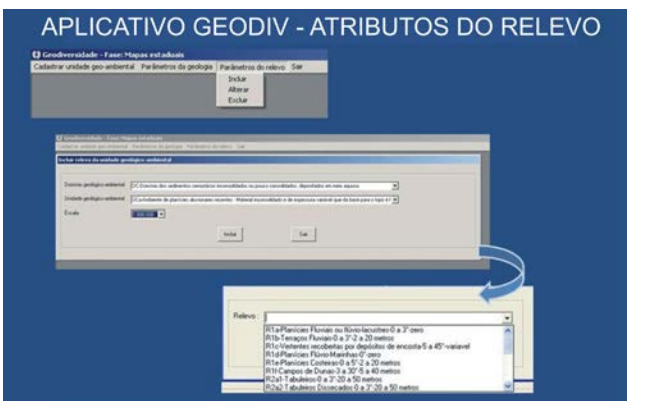


Figura 2.7 – Tela de cadastro dos atributos do relevo (aplicativo GEODIV).

Todos os dados foram preenchidos pela equipe da Coordenação de Geoprocessamento e inseridos no aplicativo que possibilita o armazenamento das informações no GeoBank (Oracle), formando, assim, a Base Geodiversidade (Figura 2.8).

O módulo da Base Geodiversidade, suportado por bibliotecas, recupera, também por escala e por fase (quadrícula ao milionésimo, mapas estaduais), todas as informações das unidades geológico-ambientais, permitindo a organização dos dados no GeoBank de forma a possibilitar a conexão dos dados vetoriais com os dados alfanuméricos. Em uma primeira fase, com auxílio dos elementos-chave descritos nas tabelas, é possível vincular, facilmente, mapas digitais ao GeoBank, como na montagem de SIGs, em que as tabelas são produtos da consulta sistemática ao banco de dados.

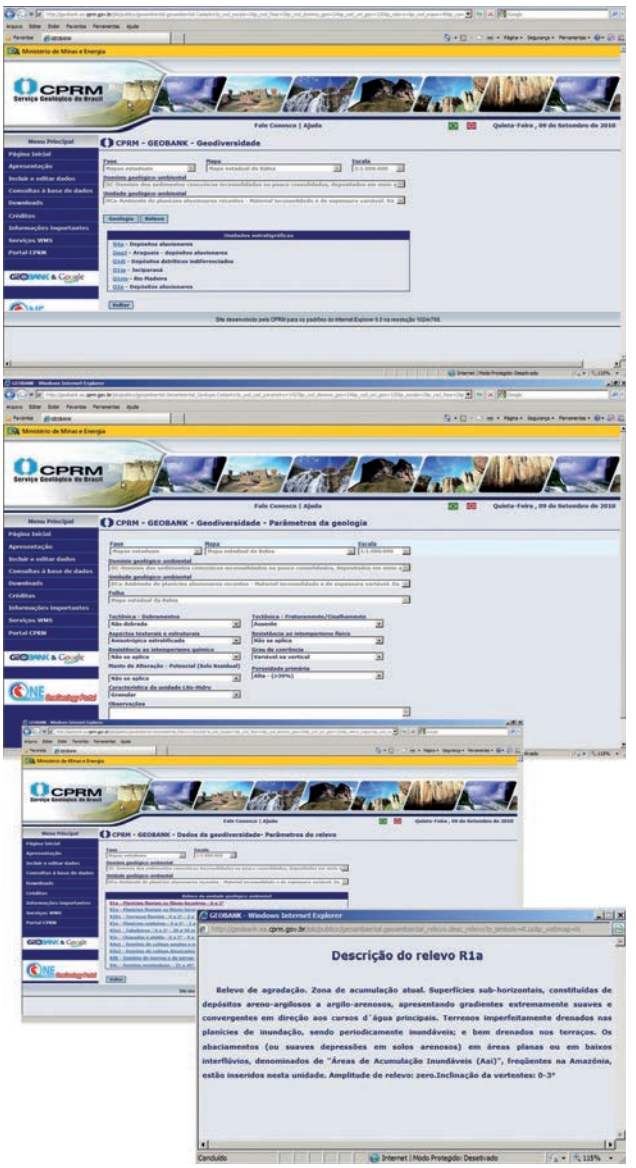


Figura 2.8 – Fluxograma simplificado da base Geodiversidade (GeoBank).

Outra importante ferramenta de visualização dos mapas geoambientais é o módulo Web Map do GeoBank, onde o usuário tem acesso a informações relacionadas às unidades geológico-ambientais (Base Geodiversidade) e suas respectivas unidades litológicas (Base Litoestratigrafia), podendo recuperar as informações dos atributos relacionados à geologia e ao relevo diretamente no mapa (Figura 2.9).

Figura 2.9 – Módulo Web Map de visualização dos arquivos vetoriais/base de dados (GeoBank).

ATRIBUTOS DOS CAMPOS DO ARQUIVO DAS UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS: DICIONÁRIO DE DADOS

São descritos, a seguir, os atributos dos campos que constam no arquivo *shapefile* da unidade geológico-ambiental.

COD_DOM (CÓDIGO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – Sigla dos domínios geológico-ambientais.

DOM_GEO (DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – Reclassificação da geologia pelos grandes domínios geológicos.
COD_UNIGEO (CÓDIGO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – Sigla da unidade geológico-ambiental.
UNIGEO (DESCRIÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL) – As unidades geológico-ambientais foram agrupadas com características semelhantes do ponto de vista da resposta ambiental a partir da subdivisão dos domínios geológico-ambientais e por critérios-chaves descritos anteriormente.
DEF_TEC (DEFORMAÇÃO TECTÔNICA/DOBRAMENTOS) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.
CIS_FRAT (TECTÔNICA FRATURAMENTO/CISALHAMENTO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.
ASPECTO (ASPECTOS TEXTURAIS E ESTRUTURAIS) – Relacionado às rochas ígneas e/ou metamórficas que compõem a unidade geológico-ambiental.
INTEMP_F (RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO FÍSICO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas sãs que compõe a unidade geológico-ambiental.
INTEMP_Q (RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO QUÍMICO) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas sãs que compõe a unidade geológico-ambiental.
GR_COER (GRAU DE COERÊNCIA DA(S) ROCHA(S) FRESCA(S)) – Relacionado à rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.
TEXTURA (TEXTURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO) – Relacionado ao padrão textural de alteração da rocha ou ao grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.
PORO_PRI (POROSIDADE PRIMÁRIA) – Relacionado à porosidade primária da rocha ou do grupo de rochas que compõe a unidade geológico-ambiental.
AQUÍFERO (TIPO DE AQUÍFERO) – Relacionado ao tipo de aquífero que compõe a unidade geológico-ambiental.
COD_REL (CÓDIGO DOS COMPARTIMENTOS DO RELEVO) – Siglas para a divisão dos macrocompartimentos de relevo.
RELEVO (MACROCOMPARTIMENTOS DO RELEVO) – Descrição dos macrocompartimentos de relevo.
GEO_REL (CÓDIGO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL + CÓDIGO DO RELEVO) – Sigla da nova unidade geológico-ambiental, fruto da composição da unidade geológica com o relevo. Na escala 1:1.000.000, é o campo indexador, que liga a tabela aos polígonos do mapa e ao banco de dados (é formada pelo campo **COD_UNIGEO + COD_REL)**.
OBS (CAMPO DE OBSERVAÇÕES) – Campo-texto onde são descritas todas as observações consideradas relevantes na análise da unidade geológico-ambiental.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.

ALBUQUERQUE, P. C. G.; SANTOS, C. C.; MEDEIROS, J. S. **Avaliação de mosaicos com imagens LandSat TM para utilização em documentos cartográficos em escalas menores que 1/50.000**. São José dos Campos: INPE, 2005. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/09.28.16.52/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2009.
BARBOSA, G. V.; FRANCO, E. M. S.; MOREIRA, M. M. A. Mapas geomorfológicos elaborados a partir do sensor radar. **Notícia Geomorfológica,** Campinas, v. 17, n. 33, p. 137-152, jun. 1977.

BARROS, R. S. *et al*. Avaliação do modelo digital de elevação da SRTM na ortorretificação de imagens Spot 4. Estudo de caso: Angra dos Reis – RJ. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO, 1., 2004, Recife. **Anais**… Recife: UFPE, 2004. CD-ROM.

BERGER, A. Geoindicators: what are they and how are they being used? In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 32., 2004, Florence. **Abstracts**… Florence, Italy: IUGS, 2004. v. 2, abs. 209-1, p. 972.

BIZZI, L. A. *et al*. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. 674 p. il. DVD-ROM anexo.

CCRS. **Natural resources Canada**, 2004. Disponível em: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/index_e.php>. Acesso em: 21 dez. 2009.

CPRM. **Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas**: Sistema de Informações Geográficas (SIG). Escala 1: 1:000.000. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. CD-ROM. Programa Geologia do Brasil: integração, atualização e difusão de dados da geologia do Brasil. Mapas geológicos estaduais.

CPRM. **Instruções e procedimentos de padronização no tratamento digital de dados para projetos de mapeamento da CPRM**: manual de padronização. Rio de Janeiro: CPRM, 2005. v. 2.

CPRM. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: sistema de informações geográficas (SIG). Brasília: CPRM, 2004. 41 CD-ROMs. Programa Geologia do Brasil.

CPRM. **Mapa geoambiental & mapa de domínios geoambientais/zonas homólogas [da] bacia do rio Gravataí**: escala 1:100.000. Porto Alegre: CPRM, 1998. 2 mapas. Programa PRÓ-GUAÍBA.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Imagens CBERS + imagens SRTM + mosaicos GeoCover Landsat. Ambiente Spring e TerraView: sensoriamento remoto e geoprocessamento gratuitos aplicados ao desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais**… São José dos Campos: INPE, 2005. 1CD-ROM.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia**. São José dos Campos: INPE, 2004.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: UNICAMP, 1992. 170p.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. 2 ed. Corrigida. Barceleno: Omega, 1983. Tomo I. 1157 p. il.

DINIZ, N. C.; DANTAS, A.; SCLIAR, C. Contribuição à política pública de mapeamento geoambiental no âmbito do levantamento geológico. In: OFICINA INTERNACIONAL DE ORDENAMENTO TERRITORIAL E MINEIRO: subsídios ao mapeamento geoambiental, no contexto do LGB e do patrimônio geomineiro, 2005, Rio de Janeiro. **Anais**… Rio de Janeiro: CPRM, 2005.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

LATRUBESSE, E.; RODRIGUES, S.; MAMEDE, L. Sistema de classificação e mapeamento geomorfológico: uma nova proposta. **GEOSUL**, Florianópolis, v. 14, n. 27, p. 682-687, 1998.

LIMA, M. I. C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico**. Belém: [s.n.], 2006. CD-ROM.

MEIS, M. R. M.; MIRANDA, L. H. G; FERNANDES, N. F. Desnivelamento de altitude como parâmetros para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982. **Anais**... Salvador: SGB, 1982, v. 4, p. 1459-1503.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. 587 p.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA M. A.; PIRES NETO, A. G.; ALMEIDA, F. F. M. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. **Atas**... Rio Claro: SBG/NS, 1979, v. 2, p. 253-262.

RAMOS, M. A. B. *et al*. Procedimentos no tratamento digital de dados para o projeto SIG geologia ambiental do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais**... Aracaju: SBG, 2006. 1 CD-ROM.

RAMOS, M. A. B. *et al*. Proposta para determinação de atributos do meio físico relacionados àss unidades geológicas, aplicado à análise geoambiental. In: OFICINA INTERNACIONAL DE ORDENAMENTO TERRITORIAL E MINEIRO: subsídios ao mapeamento geoambiental, no contexto do LGB e do patrimônio geomineiro, 2005, Rio de Janeiro. **Anais**... Rio de Janeiro: CPRM, 2005.

RODRIGUES, C.; COLTRINARI, L. Geoindicators of urbanization effects in humid tropicalenvironment: São Paulo (Brazil) metropolitan area. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 32nd, 2004, Florence. **Abstracts**… Florence, Italy: IUGS, 2004, v. 2, abs. 209-27, p. 976.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**, São Paulo, v. 10, p. 41-59, 1996.

THEODOROVICZ, A. *et al*. **Projeto paisagens geoquímicas e geoambientais do vale do Ribeira**. São Paulo: CPRM/UNICAMP/FAPESP, 2005.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G.; CANTARINO, S. de C. **Estudos geoambientais e geoquímicos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo**. São Paulo: CPRM, 2002. 1 CD-ROM.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, M. G.; CANTARINO, S. C. **Projeto Mogi-Guaçu/Pardo**: atlas geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo – SP: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental. São Paulo: CPRM, 2000. il. color.

THEODOROVICZ, A. *et al*. **Projeto médio Pardo**. São Paulo: CPRM, 2001.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G.; CANTARINO, S. da C. **Projeto Curitiba**: informações básicas sobre o meio físico – subsídios para o planejamento territorial. Curitiba: CPRM, 1994. 109 p. 1 mapa, escala 1:100.000, color.

TRAININI D. R. *et al*. **Carta geoambiental da região hidrográfica do Guaíba**. Porto Alegre: CPRM/FEPAM/PRÓ-GUAÍBA, 2001.

TRAININI, D.R.; ORLANDI FILHO, V. **Mapa geoambiental de Brasília e entorno**: ZEE-RIDE. Porto Alegre: CPRM/EMBRAPA/Consórcio ZEE Brasil/Ministério da Integração, 2003.

VAZ, L. F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. **Revista Solos e Rochas**, v. 19, n. 2, p. 117-136, 1996.

3

GEODIVERSIDADE: ADEQUABILIDADES/ POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES FRENTE AO USO E À OCUPAÇÃO

Carlos Augusto Brasil Peixoto (*carlos.peixoto@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Introdução 33
Domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso (DC) 35
Domínio dos sedimentos indiferenciados cenozoicos relacionados ao retrabalhamento de outras rochas, geralmente associados a superfícies de aplainamento (DCSR) 42
Domínio dos sedimentos cenozoicos semiconsolidados fluviais (DCF)..... 46
Domínio dos sedimentos cenozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a pequenas bacias continentais do tipo *rift* (DCMR)..... 50
Domínio das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas, pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise (ambientes deposicionais: continental, marinho, desértico, glacial e vulcânico) (DSVMP) 56
Domínio do vulcanismo fissural mesozoico do tipo *plateau* (DVM)..... 71
Domínio dos complexos alcalinos intrusivos e extrusivos, diferenciados do terciário, mesozoico e proterozoico (DCA) 78
Domínio das sequências sedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a médio grau (DSP2)..... 83
Domínio das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a alto grau (DSVP2)..... 93

Domínio dos corpos máfico-ultramáficos (suítes komatiiticas, suítes toleíticas, complexos bandados), básicas e ultrabásicas alcalinas e vulcanismo associado (DCMU) 102
Domínio dos complexos granitoides não-deformados (DCGR1) 107
Domínio dos complexos granitoides deformados (DCGR2) 113
Domínio dos complexos granitoides intensamente deformados: ortognaisses (DCGR3)..... 122
Domínio dos complexos granito-gnaisse migmatítico e granulitos (DCGMGL) 127
Referências..... 136

INTRODUÇÃO

O Levantamento da Geodiversidade do Estado de São Paulo, desenvolvido na escala 1:750:000, apresenta a superfície territorial do estado – 248.209,426 km² – compartimentada em 14 domínios, que, por sua vez, foram subdivididos em 50 unidades geológico-ambientais.

Na descrição de cada domínio e de suas unidades formadoras serão abordados os elementos de definição e as áreas de ocorrência do domínio, exemplos de litologias formadoras de cada unidade geológico-ambiental, formas de relevo e suas características.

As etapas de trabalhos de campo, consulta à bibliografia especializada e edição do memorial fotográfico subsidiaram a análise técnica e a interpretação para descrever as potencialidades, adequabilidades e limitações específicas de cada unidade geológico-ambiental.

As descrições dos domínios ambientais foram ilustradas com mapas, quadros e fotografias legendadas, apresentando a localização espacial das unidades, dados de relevo e potencial mineral, sendo que as imagens registram os aspectos ambientais relevantes que foram observados nos trabalhos de campo.

Em cada domínio – mais especificamente em suas unidades – serão analisadas as características, adequabilidades e limitações frente ao uso e à ocupação referentes aos temas obras de engenharia, agricultura, recursos hídricos superficiais e subterrâneos, locação de fontes poluidoras, assim como serão dadas informações sobre potencial mineral, aspectos ambientais e potencial turístico.

Em cada tema serão descritas, primeiramente, as adequabilidades e limitações comuns a todo o domínio e, em seguida, as adequabilidades e limitações específicas (intrínsecas) de cada unidade geológico-ambiental.

No Quadro 3.1 são apresentados os quantitativos de área de cada domínio e de suas unidades geólogico-ambientais e o percentual de ocorrência em relação à área territorial total do estado de São Paulo.

A distribuição espacial dos 14 domínios ambientais e das 50 unidades geológico-ambientais é apresentada, respectivamente, nas figuras 3.1 e 3.2, enquanto na Figura 3.3 são mostradas as 13 formas de relevo que ocorrem no estado de São Paulo.

Quadro 3.1 - Quantitativo de área e percentual para cada domínio e suas unidades geológico-ambientais

COD_DOM	Área		COD_UNIGEO	Área	
	Km²	%		Km²	%
DC	8.940	3,6	DCa	6.000	2,4
			DCmc	1.040	0,42
			DCm	1.900	0,78
DCSR	6.200	2,5	DCSR	6.200	2,5
DCF	230	0,1	DCFa	230	0,1
DCMR	2.530	1	DCMRa	2.400	0,95
			DCMRcsa	130	0,05
DSVMP	140.434	56,6	DSVMPa	580	0,23
			DSVMPae	5.700	2,3
			DSVMPasaf	35.000	14,10
			DSVMPsaa	202	0,08
			DSVMPaef	91.200	36,74
			DSVMPsaacv	2.000	0,8
			DSVMPsaca	4.650	1,9
			DSVMPsabc	1.102	0,45
DVM	33.500	13,5	DVMb	33.500	13,5
DCA	516	0,2	DCAin	40	0,01
			DCAtbr	104	0,02
			DCAsbalc	7	0,008
			DCAalc	400	0,16
			DCAganc	5	0,002
DSP2	4.081	1,7	DSP2mqmtc	1.800	0,75
			DSP2mqsafmg	261	0,1
			DSP2msa	530	0,2
			DSP2sag	890	0,4
			DSP2mcsaa	600	0,25
DSVP2	11.675	4,7	DSVP2	790	0,3
			DSVP2q	550	0,2
			DSVP2x	8.700	3,5
			DSVP2csa	1.015	0,4
			DSVP2gratv	470	0,2
			DSVP2bu	150	0,1
DCMU	40	0,02	DCMUbu	40	0,02
DCGR1	2.246	1	DCGR1palc	780	0,4
			DCGR1alc	740	0,3
			DCGR1salc	150	0,1
			DCGR1pal	341	0,1
			DCGR1in	235	0,1
DCGR2	14.040	5,7	DCGR2alc	40	0,1
			DCGR2salc	9.500	3,8
			DCGR2pal	3.000	1,2
			DCGR2in	1.500	0,6
DCGR3	2.050	0,9	DCGR3ch	1.100	0,5
			DCGR3salc	950	0,4
DCGMGL	21.510	8,5	DCGMGLmo	4.000	1,7
			DCGMGgnp	10.000	4
			DCGMGLmgi	500	0,2
			DCGMGLgli	10	0,01
			DCGMGLgno	5.000	2,0
			DCGMGLgni	1.500	0,6
Área Total do Estado de São Paulo				248.209,426 km²	

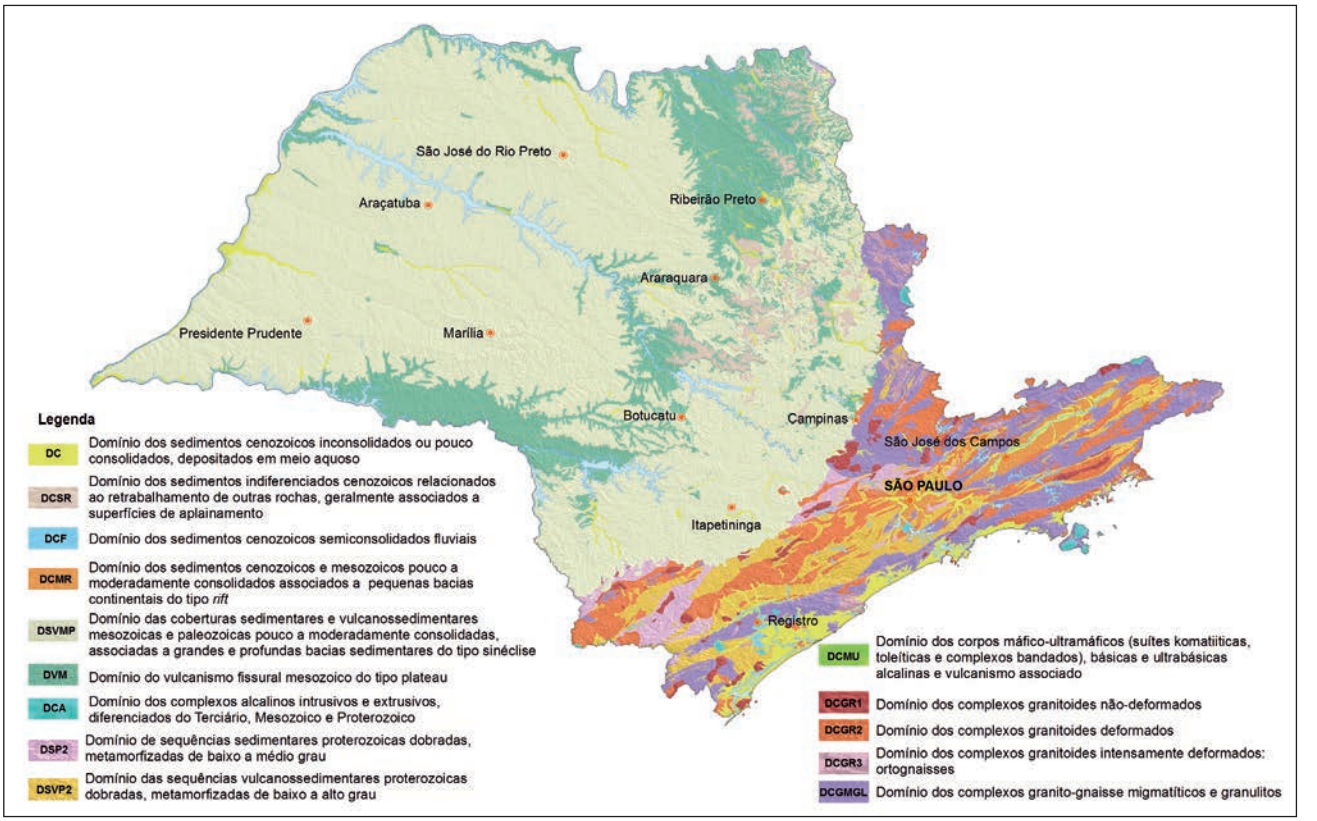


Figura 3.1 - Distribuição espacial dos domínios geológico-ambientais no estado de São Paulo.

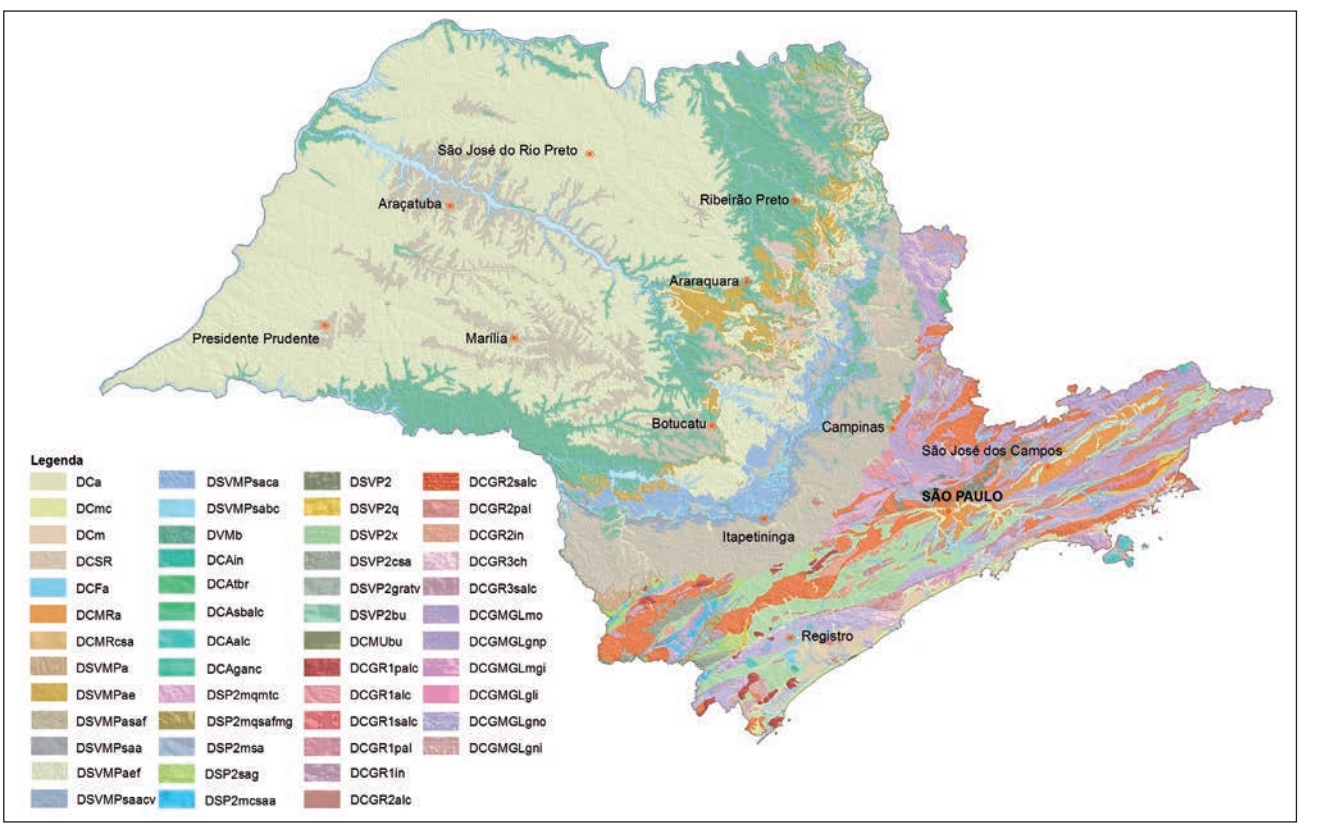


Figura 3.2 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais no estado de São Paulo.

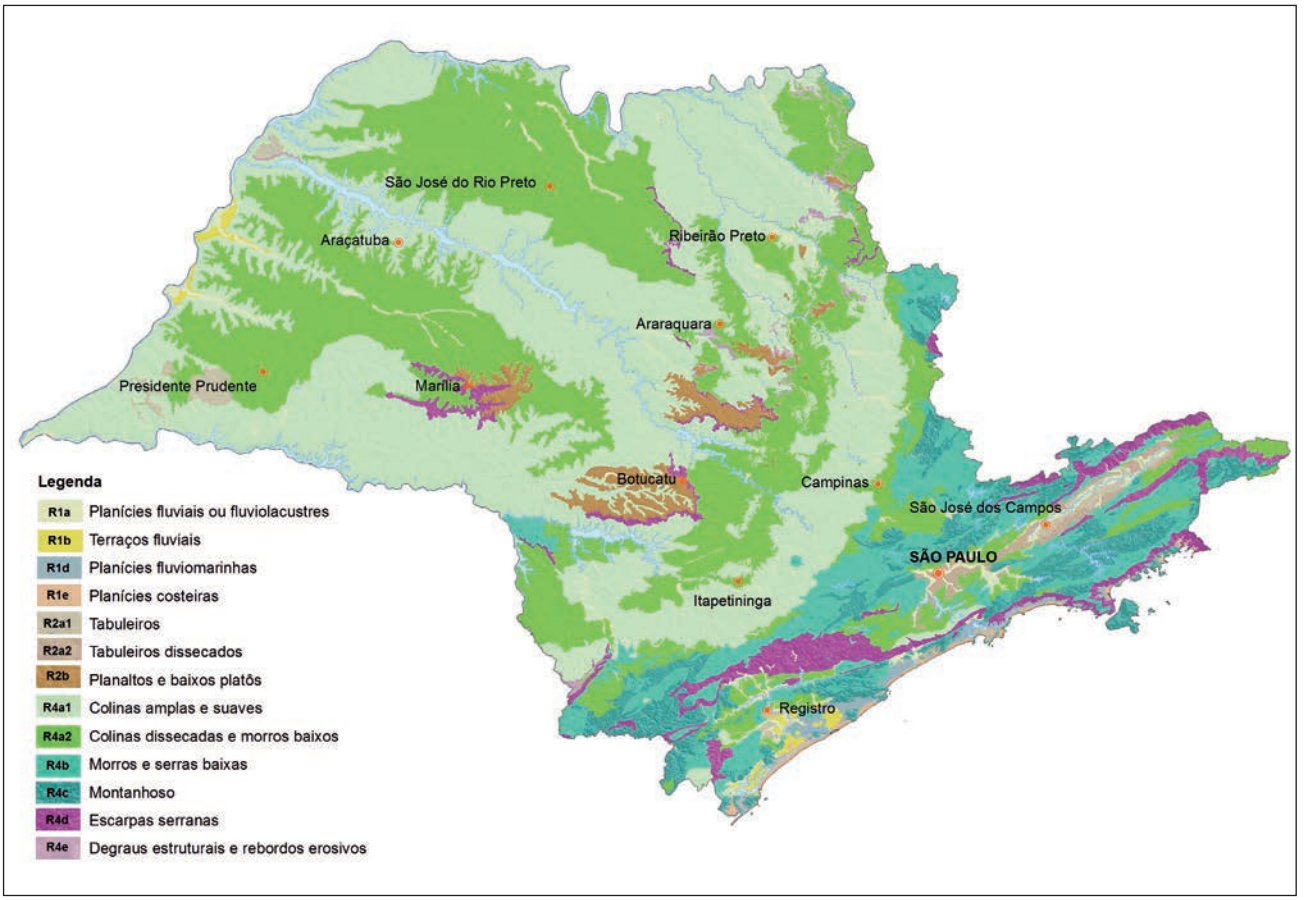


Figura 3.3 - Distribuição espacial das formas de relevos que ocorrem no estado de São Paulo.

DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS OU POUCO CONSOLIDADOS DEPOSITADOS EM MEIO AQUOSO (DC)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso (DC), ocorre em uma área de 8.940 km^2, significando 3,6% do território total do estado de São Paulo.

As regiões em que predomina o domínio DC têm o substrato formado por pacotes pouco espessos de sedimentos inconsolidados, representados por vários tipos de silte, argilas, areias e cascalho, gerados no atual ciclo de erosão e em vários tipos de ambientes deposicionais (marinho, misto e fluvial/lacustre).

Com tal variedade de ambientes de sedimentação, compartimentou-se o domínio DC em três unidades geológico-ambientais, que apresentam as seguintes áreas: DCa – 6.000 km^2; DCmc – 1.040 km^2; DCm – 1.900 km^2 (Figura 3.4).

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DC apresentam as seguintes características geológicas:

- DCa: Ambiente de planície aluvionar recente, constituído por sedimentos inconsolidados e de espessura variável. Da base para o topo é formado por cascalho, areia e argila. Exemplo: Unidade Depósitos Aluvionares.

- DCmc: Ambiente marinho costeiro, com predomínio de sedimentos arenosos. Exemplo: Unidade Depósitos Litorâneos Indiferenciados.

- DCm: Ambiente misto (marinho/continental), formado por intercalações irregulares de sedimentos arenosos, argilosos, ricos em matéria orgânica (mangues). Exemplo: Formação Cananeia.

Formas de Relevo

A geomorfologia apresenta-se favorável a que os solos sejam do tipo transportado e com características extremamente variadas, assim como são influenciados pelas litologias existentes nas regiões altas do entorno (Figura 3.5).

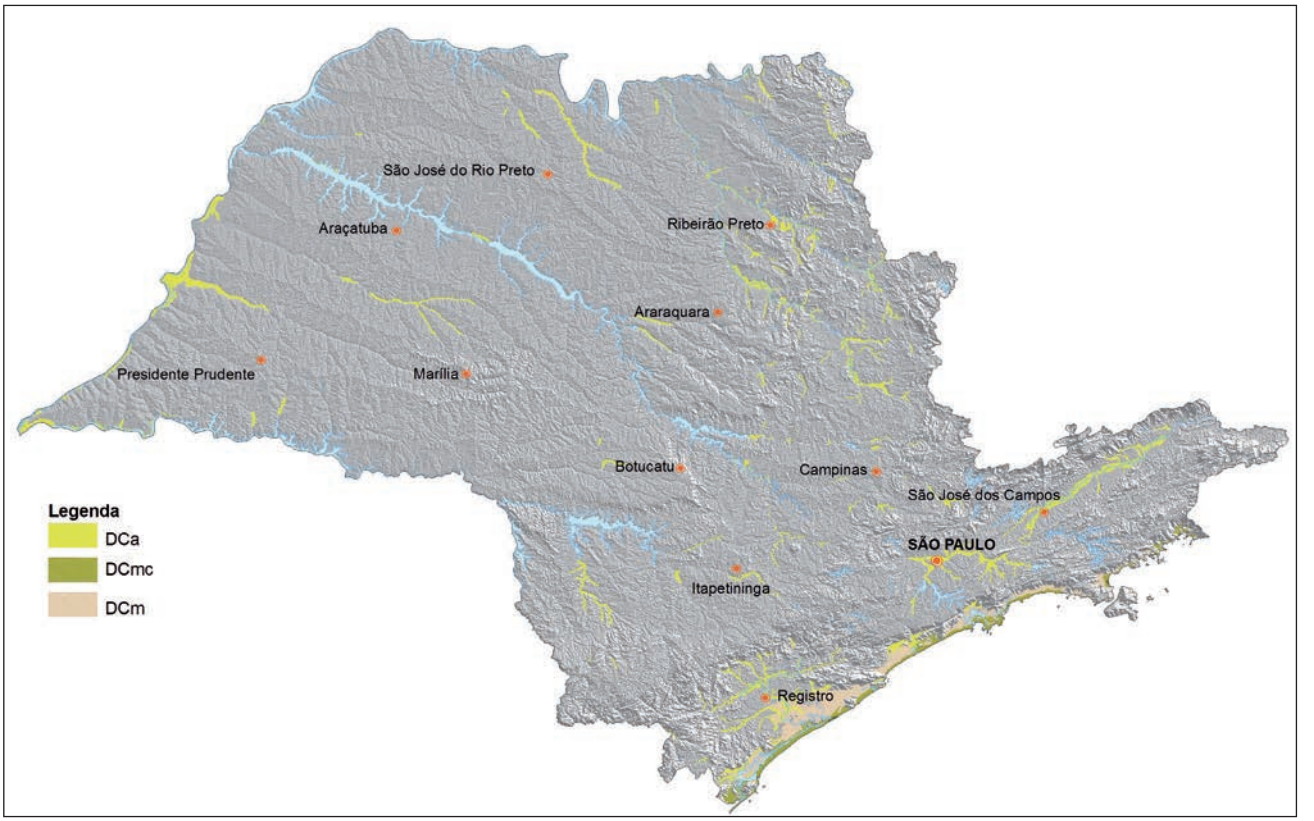


Figura 3.4 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DC no estado de São Paulo.

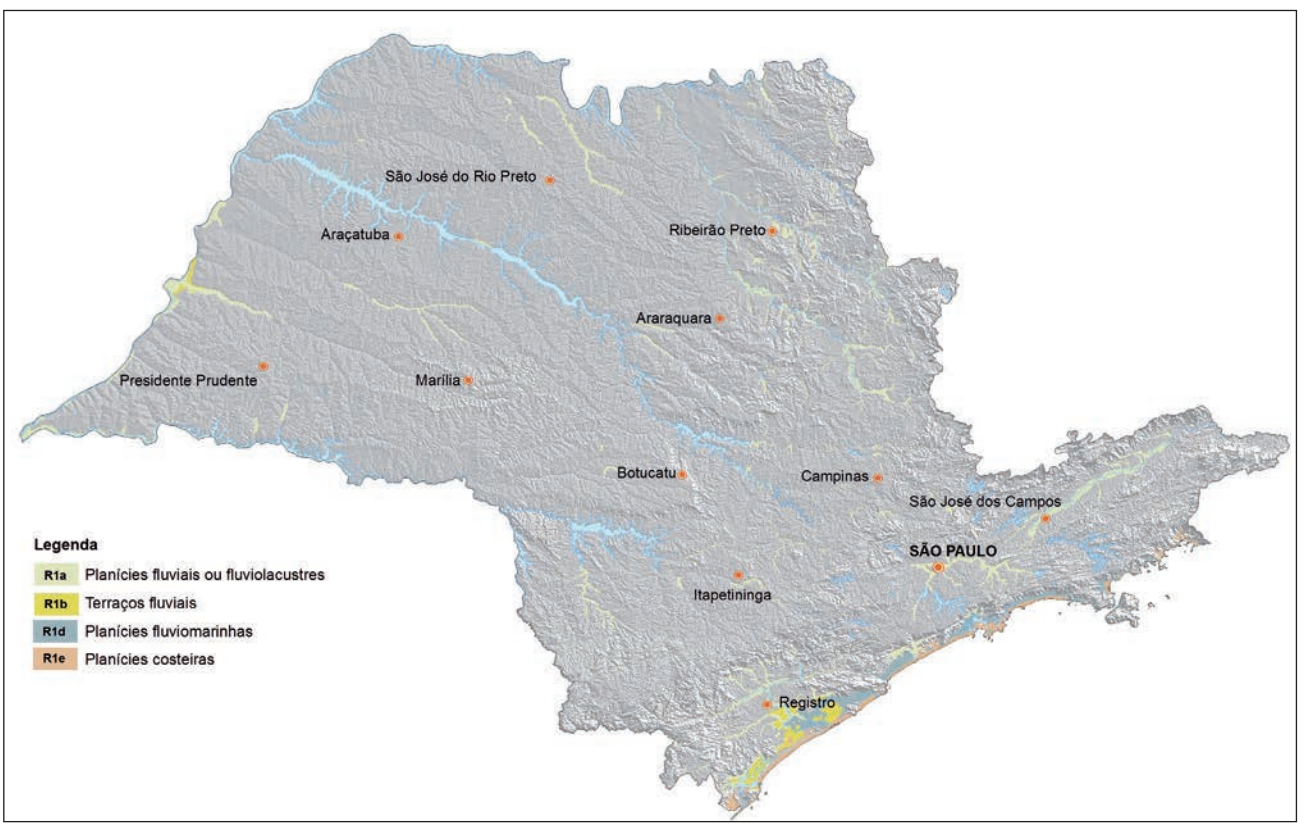


Figura 3.5 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DC.

Nas áreas em que o relevo é plano ou quase plano e com declividades próximas a zero, os escoamentos superficial e subsuperficial mostram-se lentos. Em função desse tipo de relevo, o lençol freático é aflorante ou se situa próximo à superfície, com o sistema de drenagem apresentando como características padrões mais concentradores que dispersores das águas superficiais.

As formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes são apresentadas no Quadro 3.2.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

O domínio DC mostra forte potencial para mineração de areia, argila e cascalho. Em toda a sua extensão, predominam solos e sedimentos inconsolidados de baixa resistência ao corte e à penetração. Devido à gênese de formação dessas litologias, as camadas se apresentam horizontalizadas e com boa homogeneidade geomecânica e hidráulica lateral.

• Limitações

O domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados depositado em meio aquoso tem substrato formado por sedimentos com baixo grau de consolidação, com predomínio de solos moles, ocorrendo em muitos setores das unidades a saturação de água. Tais solos têm baixa capacidade de suporte.

As obras apoiadas nessas litologias sedimentares estarão sujeitas a problemas estruturais, como trincas, rachaduras e inclinações. Nos setores em que o relevo favorece a concentração de água, podem ocorrer fenômenos do tipo "corrida de lama" e detritos associados a intervenções por obras civis sem critério técnico.

O substrato do domínio é formado por uma sucessão de camadas de sedimentos de características geotécnicas diferentes, que mudam bruscamente de um tipo para outro, constituindo-se em descontinuidades geomecânicas que favorecem as desestabilizações e os processos erosivos em obras de terraplanagem que gerem áreas escavadas.

Nessas regiões, as declividades são muito baixas e os escoamentos superficial e subsuperficial mostram-se lentos; assim, em muitos locais a água se acumula durante os períodos chuvosos, ocasionando inundações e enchentes.

Na região da Baixada Santista e Litoral Norte, dutos instalados (óleo e gás) podem apresentar problemas de deficiência de fluxo, rompimento e entupimentos, devido à erosão, a deslizamentos ou à movimentação dos solos.

A execução de obras viárias nessa região poderá interferir de forma negativa no escoamento natural das águas superficiais, que mostra baixa velocidade de fluxo.

Assim, intervenções em áreas baixas e planas devem ser projetadas sobre aterros altos, com instalação de densas obras de drenagens, ou sobre viadutos. Entretanto, tais soluções de engenharia implicam custos significativos para execução da obra.

Há, na região do domínio DC, grande potencial para formação de enchentes de longa duração, pois os sistemas de drenagem estão em franco e acelerado processo de assoreamento causado por uma série de fatores, como: ocupação territorial com loteamentos, abertura de grandes áreas para agricultura e supressão vegetal excessiva nas áreas de preservação permanente (APPs).

Quadro 3.2 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica(m)
DCa	R1a	Planícies fluviais ou fluviolacustres	0 a 3	0
	R1b	Terraços fluviais	0 a 3	2 a 20
	R1e	Planícies costeiras	0 a 5	2 a 20
DCmc	R1d	Planícies fluviomarinhas	0	0
	R1e	Planícies costeiras	0 a 5	2 a 20
DCm	R1b	Terraços fluviais	0 a 3	2 a 20
	R1d	Planícies fluviomarinhas	0	0
	R1e	Planícies costeiras	0 a 5	2 a 20

Esses ambientes deposicionais são favoráveis à existência de áreas com grandes concentrações de matéria orgânica, passíveis de liberar gás metano. Esse gás, altamente inflamável e volátil, pode ocasionar infiltração, caso tubulações de obras sejam enterradas próximas ou sobre as camadas de matéria orgânica (por exemplo, em sistemas de esgotos e drenagens).

O metano também apresenta o risco de provocar incêndios e explosões em áreas urbanizadas, além de afetar a saúde: quando inalado, o gás pode causar asfixia, parada cardíaca, inconsciência e até mesmo danos no sistema nervoso central.

Outro aspecto negativo do metano é que ele participa da formação do efeito estufa, colaborando, dessa forma, para o aquecimento global.

As áreas desse domínio são limitadas para intervenções de engenharia, tais como obras de escavações, instalação de dutos ou de rede de esgoto. Existe o risco de, na fase de escavação, essas áreas sofrerem alagamentos rápidos e as obras ficarem mergulhadas na água. Em áreas com solos ricos em matéria orgânica, a corrosão poderá danificar as estruturas instaladas, como, por exemplo, dutos.

• Limitações específicas

A unidade geológico-ambiental DCa corresponde às planícies aluviais e ocorre, geralmente, às margens dos rios.

Na unidade DCmc, há predomínio de areias inconsolidadas de diversas granulometrias, depositadas junto à linha de costa, que estão expostas à influência da ação erosiva das ondas e aos efeitos da maré, com registros de ocorrência na região de Bertioga.

Essa unidade ocorre ao longo do litoral, mas é na porção sul que estão as maiores áreas de ocorrência, principalmente no município de Ilha Comprida.

A unidade DCm é constituída quase que exclusivamente de areia friável, muito fina, excessivamente erosiva e sujeita ao fenômeno de liquefação, tipo areia movediça, que pode dificultar a trafegabilidade em certas áreas de ocorrência, como na região de Iguape.

Essa unidade ocorre em quase todo o litoral, entretanto, com maior exposição na região sul, como nos municípios de Cananeia, Iguape e Peruíbe.

No litoral sul, ocorrem áreas bem preservadas de mangues formados por intercalações irregulares de areia muito fina a fina, silte, argila e matéria orgânica com teores relativamente baixos. São tipos de solos limitados para qualquer tipo de ocupação urbana ou viária.

A acelerada expansão urbana na região de Ilha Comprida causa problemas ambientais, como a geração de resíduos sólidos e líquidos sem forma adequada de deposição e a escassez na disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos (Figura 3.6).

Em contrapartida, a área de mangue no município de Cananeia está bem preservada e serve de proteção contra a erosão e o assoreamento (Figura 3.7).

Figura 3.6 - Vista parcial da região de Ilha Comprida, em que ocorre acelerada expansão urbana.

Figura 3.7 - Área de mangue preservada, às margens do rio Ribeira de Iguape.

Agricultura

• Limitações

O padrão de relevo predominante no domínio DC mostra-se favorável a que, em épocas de chuvas intensas, ocorra acúmulo de água nas cotas baixas e nas áreas planas. Nessas regiões, há setores onde se registra baixa drenagem, devido à composição textural do solo, o que favorece a formação de áreas úmidas.

A associação de fatores do meio físico – como relevo, solo e hidrologia – proporciona a formação de lagoas indicativas de que o lençol freático está aflorante ou situado a baixas profundidades. Tal condição hidrogeológica limita o uso dessas áreas para uso urbano ou agrícola.

Essas áreas, em se tratando de agricultura, mostram-se inadequadas ao plantio de espécies de raízes profundas, pois estas podem apodrecer ou ter dificuldade de crescimento.

A questão do clima, com predomínio de chuva, limita a mecanização e o uso de defensivos agrícolas, pois as máquinas podem sofrer dificuldades para operar. Também há grande possibilidade de ocorrer contaminação do lençol freático e das drenagens superficiais pelo excesso de pluviosidade lixiviando os produtos químicos utilizados.

Uma solução para melhorar a drenabilidade do solo existente nesse domínio é a abertura de profundas valas, porém, tal procedimento interfere negativamente na dinâmica das águas superficiais e subterrâneas, que tem como impacto indireto influenciar, em longo prazo, a regularidade da umidade do ar do microclima da região.

A umidade dos solos mantém-se alta na maior parte do ano nessas regiões de relevo plano. Tal característica favorece a proliferação de fungos, bactérias e insetos. Algumas dessas espécies são consideradas pragas e/ou causadoras de doenças.

Ha predomínio de solos com teor elevado de matéria orgânica; por isso, bastante ácidos, necessitando de correção continuada com calcário dolomítico, ou seja, a calagem é uma pratica eficiente para a correção da acidez.

• Adequabilidades específicas

A unidade DCa tem o relevo predominantemente plano, apresentando baixa densidade de canais de drenagem e baixo potencial de erosão hídrica.

Ocorrem nessa unidade terrenos favoráveis à existência de muitas manchas de solos com a fertilidade natural periodicamente renovada pela enchente dos rios.

Os solos ricos em matéria orgânica são bastante porosos, com boa fertilidade natural e alta capacidade de reter e fixar nutrientes. São solos que respondem bem à adubação e à correção por apresentarem boas características físico-químicas para o desenvolvimento das lavouras.

A região de Mogi das Cruzes apresenta extensas áreas planas com plantação de hortaliças, devido à qualidade dos solos formados sobre depósitos aluvionares das margens do rio Tietê (Figuras 3.8 e 3.9).

As unidades DCmc e DCm têm padrão de relevo variando de plano a suave ondulado, com declividade de valores entre 0 a 5º e amplitudes de 0 a 20 m, apresentando baixa densidade de canais de drenagem. Tais características classificam essas regiões como de baixíssimo potencial de erosão hídrica laminar.

Nas épocas de seca, os solos existentes nessas regiões podem ser manejados com máquinas e implementos agrícolas mecanizados e de grande porte.

• Limitações específicas

Na unidade DCa, observa-se alto potencial de alagamentos, inundações e enchentes cíclicas de longa duração nas áreas próximas às margens de rios, riachos, córregos e lagoas.

Há maior possibilidade de assoreamento devido às práticas agrícolas inadequadas e à supressão de mata ciliar que ocorre nas margens do rio do Peixe, no município de Dracena (Figura 3.10).

Figura 3.8 - Região plana, com rico solo orgânico de origem aluvionar, utilizado para plantação de hortaliças.

Figura 3.9 - Extensas áreas planas em preparação para o cultivo de hortaliças e frutas.

Figura 3.10 - Assoreamento do rio do Peixe, por práticas agrícolas inadequadas.

Nas unidades DCmc e DCm, há predomínio de cobertura arenoquartzosa que se mostra bastante friável e erosiva. Tais coberturas são excessivamente permeáveis e de capacidade hídrica muito baixa, perdendo água de forma rápida.

Os solos são ácidos, de fertilidade natural reduzida e com baixa capacidade de reter e fixar nutrientes; consequentemente, a adubação não aumenta a produtividade agrícola.

Nas duas unidades, as áreas localizadas próximas à linha de costa podem apresentar solos com problemas de salinidade elevada.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

O domínio DC apresenta bom potencial para aproveitamento de água subterrânea, pela facilidade de perfuração e escavação, em investigações de baixo custo e em menor tempo.

Os aquíferos porosos são encontrados em locais onde a posição do nível d'água é pouca profunda, com bombeamento de baixo recalque.

Os aquíferos estão situados em áreas muito favoráveis à recarga, devido à proximidade de rios, riachos e lagos e à grande capacidade de infiltração, onde a porosidade e a permeabilidade mostram valores altos em depósitos sedimentares inconsolidados ou pouco consolidados, como aluviões, dunas e alguns depósitos coluviais.

• Limitações

No domínio DC há inúmeros locais em que o lençol freático aflora ou se situa próximo à superfície. Por isso, são mais vulneráveis à contaminação, tanto por fontes difusas (denominadas assim por não terem um ponto de lançamento específico ou por não advirem de um ponto preciso de geração, tornando-se de difícil controle e identificação; são, geralmente, ativadas pelas chuvas) como por fontes pontuais (lançamentos individualizados, como rede de esgotos sanitários ou de efluentes industriais, em um ponto específico de um rio).

Esse domínio apresenta drenabilidade restrita, em que o sistema de drenagem tem baixa velocidade, o que torna as águas superficiais lentas e com baixo poder de oxigenação, reduzindo o potencial de autodepuração.

Tal característica hídrica, associada ao padrão de relevo, torna o sistema da região com potencial para concentração de contaminantes e não para dispersão de forma natural.

Nesse domínio, onde os sedimentos cenozoicos são formados em ambientes do tipo planícies aluvionares recentes, marinho costeiro ou misto (marinho/continental), obras civis do tipo lineares, destinadas à circulação de poluentes, como oleodutos, ou obras para instalação de tanques de armazenamento de combustíveis, não podem ficar enterradas em locais permanentemente úmidos ou ricos em matéria orgânica.

Em tais áreas, as camadas de solos orgânicos, devido à liberação de ácidos com forte poder agressivo e corrosivo, poderão causar danos e de forma rápida a estruturas enterradas, como o seu rompimento, explosões ou o derramamento de substâncias que podem contaminar o solo e o lençol freático.

• Limitações específicas

Na unidade DCa, predominantemente formada por sedimentos aluvionares, se depositadas em várzeas ou terraços aluviais, as camadas de argilas podem conter matéria orgânica de forma localizada. O lençol freático, ao circular por essas camadas argilosas, poderá apresentar acidez elevada e odor característico.

Também pode ocorrer, na unidade DCm, devido à ocorrência de argilas ricas em matéria orgânica, depositadas em ambientes de mangue ao longo do litoral paulista (Baixada Santista – área de 100 km^2), água do lençol freático com acidez elevada e odor característico.

Nessa unidade, como é um ambiente com influência marinha, com proximidade da linha de costa, as águas subterrâneas podem ter sabor salobro, em razão da interferência da água do mar (Intrusão Salina).

Potencial mineral

As três unidades formadoras do domínio DC têm grande potencial mineral para extração de areia e de turfa, cuja exploração, entretanto, é restrita, pois podem estar dentro ou lindeiras a áreas de preservação permanente (APP) ou de unidades de conservação (UC), onde a legislação ambiental tem caráter restritivo ao desenvolvimento de atividade econômica do tipo exploração mineral (Quadro 3.3).

O estado de São Paulo é o maior produtor de areia quartzosa do Brasil, respondendo por 75% da produção bruta em nível nacional.

Na unidade DCa, o ambiente é favorável para explorar tipos variados de areia, argila comum, plástica e de cascalhos. Ocorrem nessa unidade áreas com potencial para depósitos de pláceres de minerais pesados, inclusive ouro em sedimentos aluvionares.

Na unidade DCm, o potencial mineral é para areia essencialmente quartzosa, com características granulométricas favoráveis para utilização na fabricação de vidros.

Quadro 3.3 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DC	DCa	Ouro (Au)	Diamante	Areia Argila comum Argila plástica Cascalho Seixo	Água mineral
	DCmc	ND	ND	Areia Turfa	ND
	DCm	ND	ND	Areia	ND

Obs.: ND = Não-Detectado.

Aspectos ambientais e potencial turístico

No domínio DC, os sistemas de relevo e de drenagem predominantes na região são mais favoráveis à concentração que à dispersão de poluentes hídricos e atmosféricos. Tal sistema de drenagem está depositando mais sedimentos que erodindo, sendo considerado um ambiente de sedimentação em franco e acelerado processo de assoreamento.

Ocorrem em todo o domínio ambientes de grande importância hídrica, como banhados e lagoas permanentes ou temporárias, que contribuem para a manutenção da umidade relativa do ar.

São ecossistemas estratégicos para reprodução de peixes e habitat de vários animais e aves aquáticas e terrestres. Associada a esses corpos d'água há uma vegetação típica, adaptada às áreas úmidas.

• Adequabilidades específicas

A unidade DCa é classificada como um ambiente de domínio de rios e córregos, constituindo-se um ecossistema de transição de ambientes terrestres e aquáticos.

As planícies aluvionares, associadas às áreas serranas, são muito quentes no verão e muito frias no inverno, sujeitas à formação de geadas.

Essa unidade está associada a rios onde há construção de barragens e hidrelétricas. Tais barramentos formam imensos reservatórios, que criam novas áreas de lazer com pequenas praias (Figura 3.11).

As unidades DCmc e DCm são formadas por ambientes litorâneos, onde existem lagoas de água doce e banhados, considerados habitats importantes para reprodução de peixes e nidificação de aves.

Nessa região existem importantes unidades de conservação, como a APA Cananeia-Iguape-Peruíbe e a Estação Ecológica Jureia-Itatins, com vegetação e rios bem preservados (Figura 3.12).

Há potencial para ocorrência de águas subterrâneas, nessas unidades, com qualidades medicinais, enriquecidas em enxofre e levemente salinas.

Também existem rios com vales afogados pela sedimentação marinha, em decorrência dos movimentos eustáticos (por exemplo, a porção do Baixo Ribeira de Iguape). São planícies fluviais sujeitas à ação das marés, com mistura de águas doce e salgada.

Figura 3.11 - Lago com multiusos, como essa praia utilizada para lazer, foi gerado pela construção da Represa de Ilha Solteira, no rio Paraná.

Figura 3.12 - Margem do rio Una da Aldeia, com mata ciliar bem preservada, próximo à APA Cananeia-Iguape-Peruíbe.

Os deltas e estuários são importantes ecossistemas para reprodução de peixes e crustáceos, com áreas junto à linha de costa sob influência dos movimentos das ondas e marés.

Ao longo do litoral paulista há grande número de ocorrências de sambaquis (acumulação pré-histórica de moluscos marinhos, fluviais ou terrestres realizada por índios, em que frequentemente se encontram ossos humanos, objetos de pedra, chifre e cerâmica). Na região do vale do rio Ribeira ocorrem destacadas áreas de sambaquis fluviais.

Nessa região, há cidades com potencial turístico histórico, como Iguape e Cananeia, que exibem construções do início da colonização no Brasil, assim como parte do cais por onde era embarcado o ouro minerado na região do Vale do Ribeira (Figura 3.13).

Figura 3.13 - Parte de um antigo cais por onde eram embarcados para Portugal o ouro extraído da região do vale do Ribeira, junto as margens do rio de Iguape (Iguape, SP).

DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS INDIFERENCIADOS CENOZOICOS RELACIONADOS AO RETRABALHAMENTO DE OUTRAS ROCHAS, GERALMENTE ASSOCIADOS A SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO (DCSR)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos sedimentos indiferenciados cenozoicos relacionados ao retrabalhamento de outras rochas, geralmente associados a superfícies de aplainamento, ocorre em 6.200 km^2 de área, o que representa 2,5% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio é composto apenas por uma unidade geológico-ambiental (DCSR), que engloba as coberturas sedimentares existentes na zona continental, originadas da erosão de variadas rochas que sofreram apenas uma fase de retrabalhamento, através de um pequeno transporte em meio não ou pouco aquoso (Figura 3.14).

São sedimentos formados principalmente a partir da erosão de arenitos conglomerados que ocorrem nas regiões do entorno, cuja composição das camadas é areia fina e grossa, não ou pouco estratificada, contendo níveis subordinados de cascalho e materiais argiloarenosos e ferruginosos.

Ocorrem no domínio, de forma localizada, esparsas e aleatórias lateritas sob a forma de blocos e fragmentos soltos sobre a superfície topográfica.

Características da Unidade Geológico-Ambiental

A unidade geológico-ambiental que compõe o domínio DCSR apresenta as seguintes características geológicas:

- DCSR: Unidade relacionada a sedimentos retrabalhados de outras rochas. São coberturas de composição arenoconglomerática e/ou síltico-argilosa, associadas a superfícies de aplainamento. Exemplo: Formação Itaqueri.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área de ocorrência da unidade geológico-ambiental DCSR são apresentadas na Figura 3.15. Já as formas de relevo associadas que ocorrem na unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.4.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

- Adequabilidades

Como há predomínio de sedimentos de baixa resistência ao corte e à penetração até profundidades superiores a 10 m, estes podem ser escavados utilizando-se ferramentas e maquinários de corte leves.

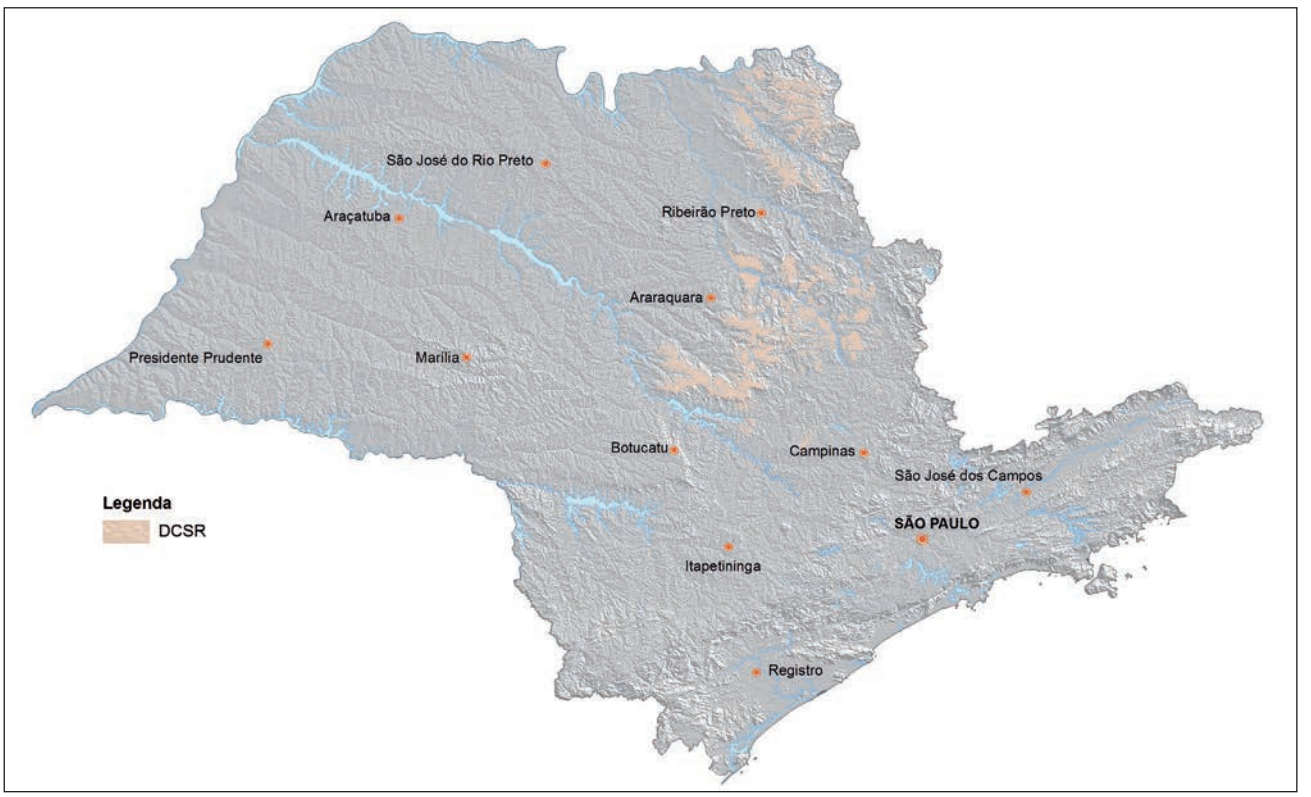


Figura 3.14 - Distribuição espacial da unidade geológico-ambiental formadora do domínio DCSR no estado de São Paulo.

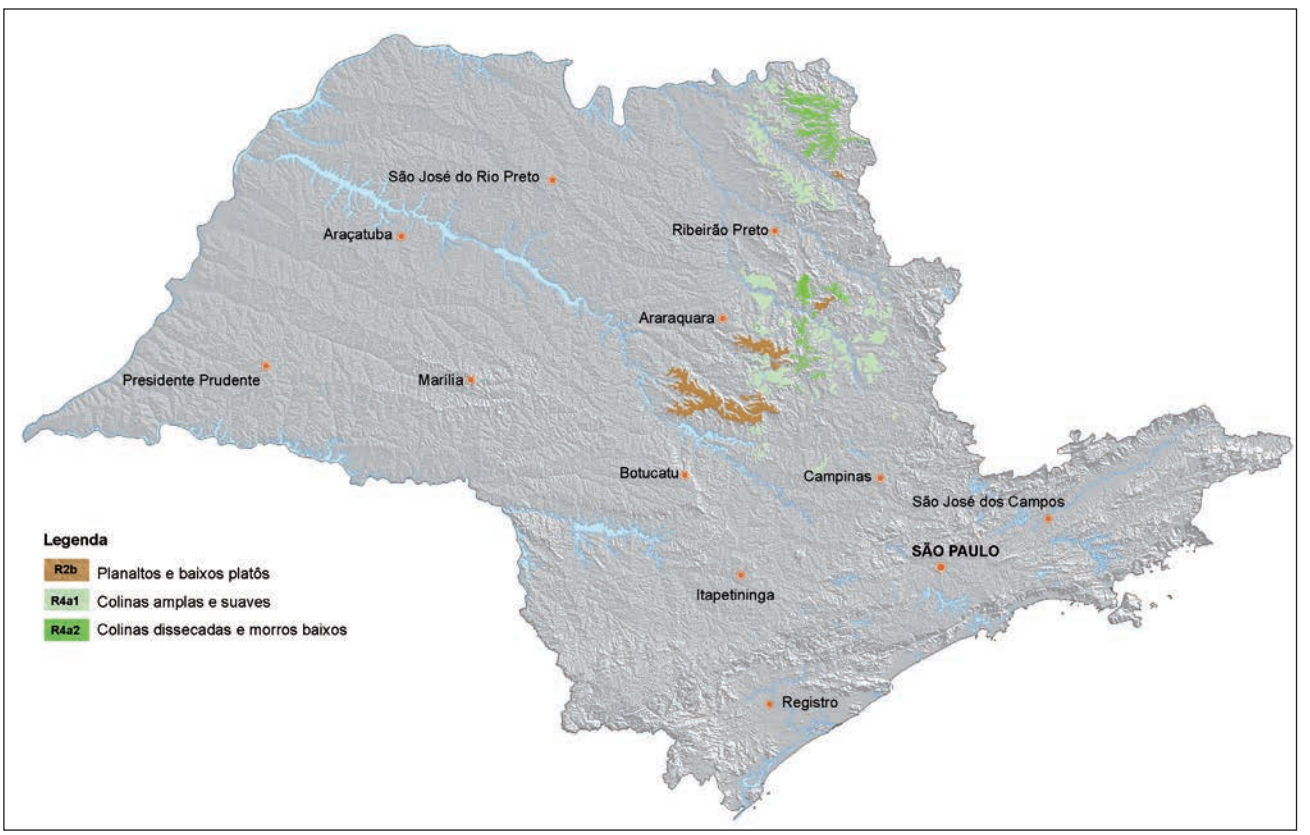


Figura 3.15 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência da unidade geológico-ambiental do domínio DCSR.

Quadro 3.4 - Unidade geológico-ambiental e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica(m)
DCSR	R2b	Planaltos e baixos platôs	2 a 5	20 a 50
	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80

Nas regiões em que o relevo altera de colinas amplas e suaves a planaltos e baixos platôs, observa-se fraca densidade de canais de drenagem. Mesmo com essa variação, o potencial para ocorrência de erosão laminar e de movimentos naturais de massa é baixo, podendo essas áreas ser utilizadas para agricultura ou pastagens, construção de estradas e loteamentos.

O manto de intemperismo mostra ser profundo e formado por camadas sedimentares pouco consolidadas que apresentam alto grau de escavabilidade, facilitando a instalação de sistemas de irrigação, drenagens ou transporte de água e esgotos, no caso de urbanização com loteamentos.

Na implantação de obras de infraestrutura, como estradas ou gasodutos, não há necessidade de executar cortes profundos nem instalação de muitas obras de transposição de drenagens.

• Limitações

As coberturas sedimentares são predominantemente arenosas, inconsolidadas, bastante friáveis e erosivas. Assim, taludes de corte construídos devido a obras civis do tipo estradas podem apresentar alto grau de instabilização (Figuras 3.16 e 3.17).

Figura 3.17 - Forte processo erosivo, devido ao padrão construtivo não avaliar a fragilidade dos solos que ocorrem no domínio DCSR.

Nessas formações sedimentares, há muitos níveis descontínuos de cascalhos e de seixos que apresentam diversos tamanhos e composições diferentes; às vezes, podem ser de composição quartzosa ou laterítica (Figura 3.18).

Figura 3.16 - Talude de corte em solo formado por sedimentos indiferenciados, com forte processo erosivo em evolução.

Figura 3.18 - Talude formado por camada superior de cascalhos de variados tamanhos e areia mal selecionada, indicativo de sedimentos que sofreram curto e rápido transporte em meio aquoso.

Essa composição variada pode dificultar, nas obras civis, os procedimentos de cravação de estacas e execução de perfuração com sondas rotativas.

A ocorrência de sedimentos ferruginosos à base de goetita e hematita e de blocos e matacões de lateritas endurecidas de forma localizada ou aleatória na superfície ou subsuperfície do terreno também se constitui em características limitadoras à execução de escavações. Tais fragmentos de rochas nas encostas de morros podem se instabilizar e provocar acidentes geotécnicos (Figura 3.19).

Figura 3.19 - Matacões e blocos junto a vertentes de morros baixos, sujeitos à instabilização e a rolamento.

Por se tratar de camadas geralmente pouco espessas, em escavações e perfurações profundas será possível alcançar unidades geológicas com diferentes características geotécnicas.

Nas regiões em que predomina relevo de colinas dissecadas e morros baixos, em função de a declividade e a amplitude serem mais pronunciadas, o escoamento superficial é rápido, favorecendo a erosão laminar e concentrada, o que pode originar a formação de ravinas e sulcos (Figura 3.20).

Figura 3.20 - Forte expansão urbana sobre área rural sem planejamento adequado, causando redução da cobertura vegetal e gerando forte processo erosivo laminar do tipo voçorocas (Franca, SP).

Agricultura

• Adequabilidades

Em relevos dos tipos planaltos e baixos platôs e no de colinas amplas e suaves, devido à baixa declividade e amplitude, há baixa densidade de canais de drenagem, o que reflete no fraco potencial de erosão hídrica.

As regiões com predomínio de relevo quase plano mostram-se favoráveis à ocorrência de processos pedogenéticos, que geram perfis profundos com baixa pedregosidade, sendo classificados como solos de alta escavabilidade.

Em áreas com esse padrão de relevo, o solo pode ser aproveitado para agricultura de forma mecanizada (Figura 3.21).

Figura 3.21 - Área com relevo suave e plano, apresentando grande potencial agrícola para uso intensivo.

• Limitações

Nessa unidade há predomínio de sedimentos que se alteram para solos arenoquartzosos, classificados como erosivos, ácidos, de baixa fertilidade natural, excessivamente permeáveis e de baixa capacidade hídrica, pois perdem água rapidamente, além de muito suscetíveis a processos de arenização.

São solos considerados inadequados para plantas de raízes curtas (por exemplo, hortaliças como alface, ou bananeiras, cana-de-açúcar etc.), possuem baixa capacidade de reter e fixar nutrientes e assimilar matéria orgânica e, consequentemente, a adubação não aumentará a produtividade agrícola.

O relevo apresenta extensas áreas planas, onde os solos são expostos à lixiviação e à deflagração do processo de arenização, formando grandes áreas denominadas areais. Isso ocorre por questões climáticas, como chuva, ventos, variação da temperatura, e também pelo desmatamento, para uso e ocupação do solo com a monocultura da cana-de-açúcar.

Nas regiões onde o relevo é do tipo morros baixos e as declividades variam de 5º a 20°, há predomínio de processos de erosão laminar e concentrada, que varia de moderada a alta, ocasionando sulcos, ravinas e voçorocas de grandes extensões.

A inclinação das vertentes em relevos de morros baixos pode ser uma característica limitadora para a agricultura intensiva e que necessite do uso de maquinários motorizados para melhor manejo e trato do solo.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

Nesse domínio, os tipos de relevo, solos e de sedimentos são favoráveis a que os aquíferos subterrâneos sejam permanentemente recarregados com bom volume de água.

Nas áreas em que as características topográficas favorecem a retenção de águas das chuvas, é possível a existência de aquíferos subterrâneos próximos à superfície com boa homogeneidade e hidrodinâmica lateral, fácil acesso e de baixo custo para explotação.

• Limitações

Há, nesse domínio, predomínio de solos arenoquartzosos altamente permeáveis, com muito baixa capacidade de reter e eliminar poluentes, devido à alta porosidade e permeabilidade das camadas superficial e subsuperficial.

As áreas em que o relevo é do tipo plano e suave ondulado, associado a solo e subsolo com granulometria grosseira, são favoráveis a que defensivos agrícolas, sejam os utilizados em áreas agrícolas ou aqueles provenientes de vazamentos acidentais, alcancem rapidamente o lençol de água subterrânea.

A configuração geomorfológica mais movimentada pode ser desfavorável a que as águas subterrâneas se armazenem nos sedimentos arenosos, migrando para camadas mais profundas e planas do substrato rochoso existente na região.

Onde o relevo é do tipo planaltos e baixos platôs e no de colinas amplas e suaves, o sistema de drenagem está em franco processo de assoreamento.

Potencial mineral

No domínio DCSR, ocorrem áreas favoráveis à exploração de materiais de uso direto na construção civil, como areia, argilas e cascalhos, sendo que areias e argilas poderão ser utilizadas como refratários na indústria de vidros e porcelanas. Há relatos de ocorrência de diamantes em depósitos aluvionares que drenam esse domínio, como no rio Ponte Nova, no município Jeriquara (Quadro 3.5).

Aspectos ambientais e potencial turístico

Nesse domínio, o excesso de supressão vegetal, com a finalidade de aumentar a área agrícola, ocasionou uma exposição maior de áreas formadas por solos arenosos a fatores climáticos, tais como ventos, variações de temperatura e chuvas, gerando alta incidência de focos de diferentes tipos de erosão.

Assim, nas áreas em que predominam os relevos do tipo suave ondulado, associados a solos com textura francamente arenosa mostram-se suscetíveis a processos de arenização. E, nas áreas com relevos de forte ondulação, onde as declividades das vertentes são acentuadas, mostram-se suscetíveis a instalação de processos erosivos intensos, gerando feições do tipo voçorocas (Figura 3.20).

Quadro 3.5 - Unidade geológico-ambiental e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DCSR	**DCSR**	ND	Diamantes	Areia Argila Cascalho	Água mineral

Obs.: ND = Não-Detectado.

DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS SEMICONSOLIDADOS FLUVIAIS (DCF)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos sedimentos cenozoicos semiconsolidados fluviais ocorre em uma área de 230 km², o que significa 0,1% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio está subdividido em apenas uma unidade geológico-ambiental: DCFa (Figura 3.22).

Como característica principal do domínio DCF, os pacotes de sedimentos apresentam espessura variando entre 30 e 50 m, com intercalações irregulares de camadas e lentes horizontalizadas de argila, areia e cascalho semiconsolidados.

Ocorrem exposições dessa unidade principalmente nos vales dos rios Ribeira do Iguape, Jacupiranga, Pariquera-Açu e Cauvi, assim como no entorno das cidades de Registro e Pariquera-Açu.

Características da Unidade Geológico-Ambiental

A unidade geológico-ambiental que compõe o domínio DCF apresenta as seguintes características geológicas:

Figura 3.22 - Distribuição espacial da unidade geológico-ambiental formadora do domínio DCF no estado de São Paulo.

- DCFa: Unidade formada por depósitos fluviais antigos, com intercalações de níveis arenosos, argilosos, siltosos e cascalhos semiconsolidados. Exemplo: Formação Pariquera-Açu.

Formas de Relevo

São sedimentos depositados em ambiente fluvial e que aparecem sustentando terrenos baixos, quase no nível das planícies aluviais, e nos topos de colinas dissecadas e morros baixos (Figura 3.23).

As formas de relevo associadas que ocorrem na unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.6.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

Nas porções da unidade em que o padrão de relevo mostra-se mais suavizado, o terreno apresenta baixo potencial erosivo e reduzida ocorrência de movimentos naturais de massa.

A unidade tem, nas regiões com influência dos vales fluviais, excelentes áreas-fonte para exploração de argila, areia e cascalho.

Os sedimentos semiconsolidados podem ser escavados utilizando-se apenas ferramentas e maquinários de corte, devido à variabilidade granulométrica.

Em obras rodoviárias, os taludes de corte com pouca altura mostram boa estabilidade e um perfil de solo com composição argiloarenosa (Figuras 3.24 e 3.25).

• Limitações

Nas áreas formadoras do domínio DCF, o substrato apresenta grande heterogeneidade litológica na vertical, com mudanças abruptas entre camadas de litologia de características composicionais e granulométricas muito diferentes, constituindo-se em descontinuidades geomecânicas que facilitam as desestabilizações em taludes de corte.

Ocorre alta incidência de camadas de sedimentos à base de argilominerais expansivos rijas, excessivamente plásticas, de cerosidade elevada e muito aderentes e escorregadias quando úmidas. Essas camadas oferecem resistência à escavação e à perfuração com sondas rotativas.

Essas camadas de argila estão sujeitas ao fenômeno do tipo colapsividade. Caso expostas na superfície do terreno e sob efeito da oscilação do grau de umidade, podem sofrer processos de fendilhamento, desagregando e desestabilizando com certo grau esses estratos.

Nas áreas onde o relevo favorece a retenção de águas das chuvas, pode haver camadas de argilas moles, saturadas em água e sujeitas ao fenômeno da "corrida de lama", no caso de sofrerem descompressão devido a obras de escavação.

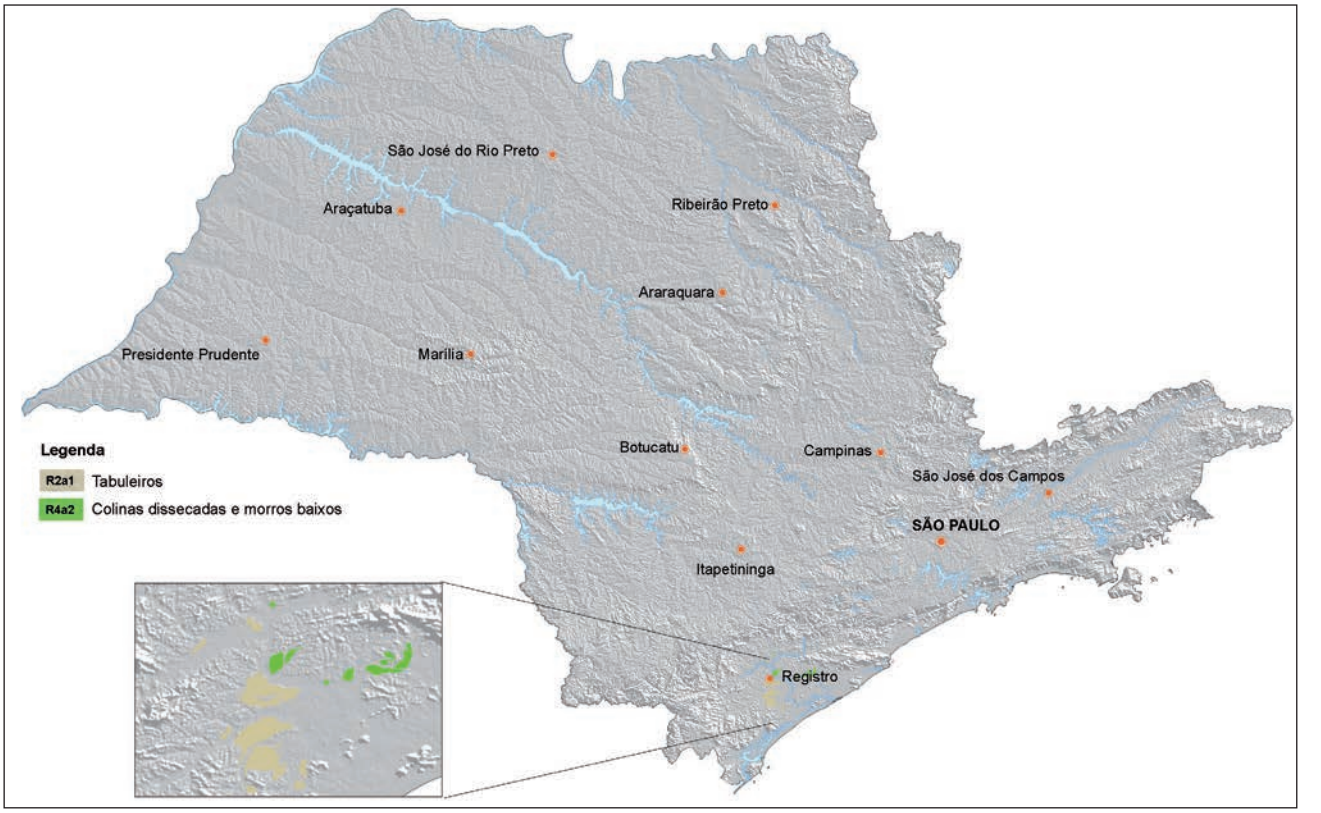


Figura 3.23 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência da unidade geológico-ambiental do domínio DCF.

Quadro 3.6 - Unidade geológico-ambiental e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DCFa	R2a1	Tabuleiros	0 a 3	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80

Figura 3.24 - Talude em solo predominantemente arenoso, bem estabilizado, às margens da rodovia.

Figura 3.25 - Perfil de solo argiloarenoso mostra boa estruturação para sofrer cortes e gerar taludes, mas com altura reduzida.

A unidade tem camadas expressivas de conglomerados (orto- e paraconglomerados) que são formados por blocos, pequenos matacões de quartzo e quartzito e de cascalhos e seixos de outras rochas duras e abrasivas.

São materiais de características geotécnicas bastantes heterogêneas, difíceis de cravar estacas e de perfurar com sondas rotativas, pois as brocas sofrem desgaste rápido e/ou quebram.

O relevo é favorável à existência de solos transportados, do tipo coluvionar, formados por uma mistura caótica das frações argila, areia, blocos e matacões, material naturalmente instável e de características geotécnicas muito heterogêneas.

As áreas de cotas mais baixas estão sujeitas a sofrer os efeitos negativos das enxurradas de alto potencial erosivo, provenientes das cotas mais alta e com potencial destruidor de estruturas urbanas, como estradas e pontes.

Nas proximidades das planícies aluviais, há grande possibilidade de que o lençol freático esteja situado próximo à superfície topográfica do terreno.

Agricultura

• Adequabilidades

Em solos mais arenosos e nos topos de morros baixos, há pequenos setores com plantação de chá-da-índia, como no município de Pariquera-Açu (Figuras 3.26 e 3.27). Já nas áreas com pequenos declives e mais planas, cultiva-se banana.

Figura 3.26 - O relevo é de colinas baixas e dissecadas, onde o topo e a meia-encosta são ocupados com pequenas plantações de chá-da-índia (Pariquera-Açu, SP).

• Limitações

Há predomínio de sedimentos síltico-argilosos que se alteram liberando poucos nutrientes, gerando solos com baixa fertilidade natural e com excesso de alumínio, elemento tóxico às plantas.

Nas áreas onde predominam solos transportados, formados basicamente por sedimentos conglomeráticos, o índice de pedregosidade é elevado, o que se constitui em fator limitante ao uso agrícola.

Figura 3.27 - A unidade mostra baixo potencial para agricultura, mas ocorrem pequenas áreas com plantação de chá-da-índia nos topos das colinas dissecadas e dos morros baixos (Pariquera-Açu, SP).

Nessa unidade, ocorrem áreas excessivamente planas, com escoamento superficial deficiente, ocasionando acúmulo de água, o que dificulta o uso para pastagens e agrícola.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

A unidade é formada por pacotes sedimentares pouco a moderadamente consolidados, compostos por frações de areias, argilas e cascalhos. Constituem-se em estratos com grande potencial armazenador e circulador de águas e possuem boa homogeneidade e hidrodinâmica lateral.

Como parte do relevo da unidade está interdigitada topograficamente ou até no mesmo nível das planícies aluviais, esta é uma configuração geomorfológica favorável à existência de aquíferos próximos à superfície com boa qualidade e bom volume de água.

• Limitações

O relevo predominante de colinas dissecadas e morros baixos, associado ao tipo litológico formado por intercalações de estratos arenosos e conglomeráticos semiconsolidados, apresenta elevada permeabilidade e porosidade, o que aumenta o grau de vulnerabilidade do risco de contaminação dos aquíferos.

Caso nessas regiões o lençol freático esteja posicionado a baixas profundidades, na hipótese de acidente com cargas perigosas, há forte risco de ocorrer rápida infiltração nas camadas sedimentares e consequente contaminação do aquífero subterrâneo.

Potencial mineral

Na unidade DCFa, há possibilidade de ocorrer ouro associado às camadas de areia e cascalho, consideradas depósitos sedimentares clásticos do tipo secundário pláceres (Quadro 3.7).

Quadro 3.7 - Unidade geológico-ambiental e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DCF	**DCFa**	Ouro (Au)	ND	Areia Argila Cascalho	ND

Obs.**:** ND = Não-Detectado.

Aspectos ambientais e potencial turístico

O rio Ribeira de Iguape, que está margeando a unidade DCFa, tem potencial turístico para a prática de pesca amadora e passeios de barco, utilizando-se a cidade de Registro como ponto de apoio para as atividades náuticas.

Os sedimentos da unidade que estão associados às planícies aluviais do rio Ribeira de Iguape estão nas bordas dos relevos tipo tabuleiros existentes ao longo da região do Vale do Ribeira, sendo de difícil demarcação e separação devido à gênese de formação desses dois tipos de unidades geomorfológicas ser resultante de dissecação fluvial.

A unidade de origem fluvial ocorre em pequenas áreas dentro dos limites dos municípios de Pariquera-Açu, Registro, Sete Barras e Iguape e está associada a depósitos sedimentares inconsolidados das unidades geológico-ambientais DCa (de origem fluvial) e DCm, formada em ambiente misto do tipo continental com influência marinha.

DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A PEQUENAS BACIAS CONTINENTAIS DO TIPO *RIFT* (DCMR)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos sedimentos cenozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a pequenas bacias continentais do tipo *rift*, ocorre em uma área de 2.530 km^2, o que representa 1% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio está subdividido em duas unidades geológico-ambientais: DCMRa, com 2.400 km^2 de área, e DCMRcsa, com 130 km^2 de área (Figura 3.28).

O substrato é formado por intercalações irregulares de camadas sedimentares horizontalizadas ou sub-horizontalizadas das mais diversas espessuras, formadas por granulometria de tamanhos silte, argila e areia, e conglomerados depositados em pequenas bacias sedimentares pouco profundas.

As pequenas bacias continentais do tipo *rift* como, por exemplo, a Bacia de Taubaté, foram formadas por falhas geológicas que movimentaram blocos da crosta continental, soerguendo e rebaixando, refletindo na profundidade das bacias e, por consequência, na espessura muito irregular dos pacotes sedimentares.

Esse domínio aflora ao longo do Vale do Paraíba, na Bacia de Taubaté, e no Vale do Tietê, na Bacia de São Paulo.

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DCMR apresentam as seguintes características geológicas:

- DCMRa: Unidade com predomínio de sedimentos arenosos associados a pequenas bacias continentais do tipo *rift*. Exemplo: Formação São Paulo.

- DCMRcsa: Unidade formada por calcários com intercalações síltico-argilosas. Exemplo: Formação Tremembé.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DCMR são apresentadas na Figura 3.29. Já as formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.8.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

No domínio DCMR ocorre o empilhamento de camadas horizontalizadas ou sub-horizontalizadas, não-deformadas, com boa homogeneidade geotécnica e hidráulica lateral.

Nessas áreas, há predomínio de sedimentos pouco consistentes, com baixa resistência ao corte e à penetração; podendo ser escavados com certo grau de facilidade com máquinas e ferramentas leves.

• Limitações

A variação litológica na vertical e as mudanças abruptas entre camadas de litologia com características composicionais e granulométricas muito diferentes constituem-se em descontinuidades geomecânicas que facilitam as desestabilizações, por exemplo, em taludes de corte.

A alta incidência de camadas de sedimentos à base de argilominerais expansivos, que são bastante rijos, excessivamente plásticos, de cerosidade elevada, aderentes e escorregadios quando úmidos, constitui-se em problema para a escavação e perfuração com sondas rotativas.

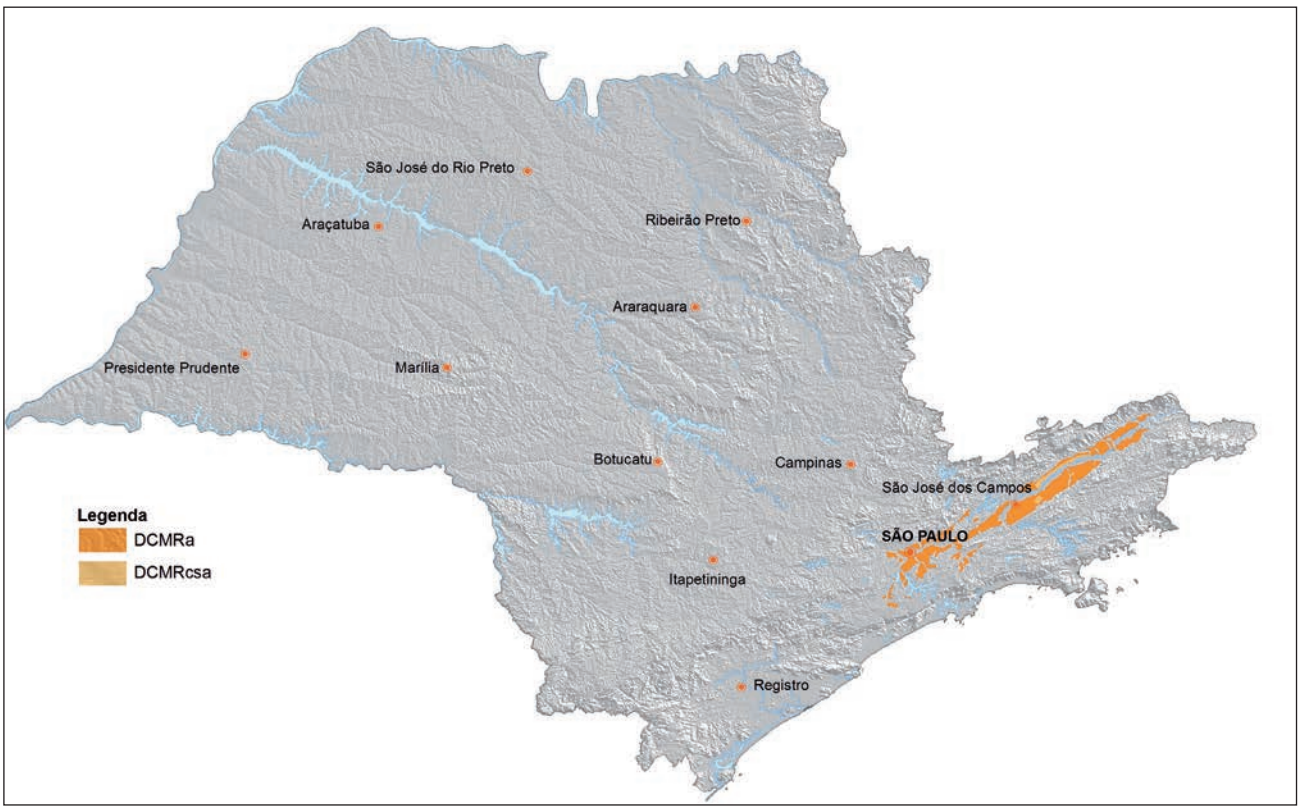


Figura 3.28 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCMR no estado de São Paulo.

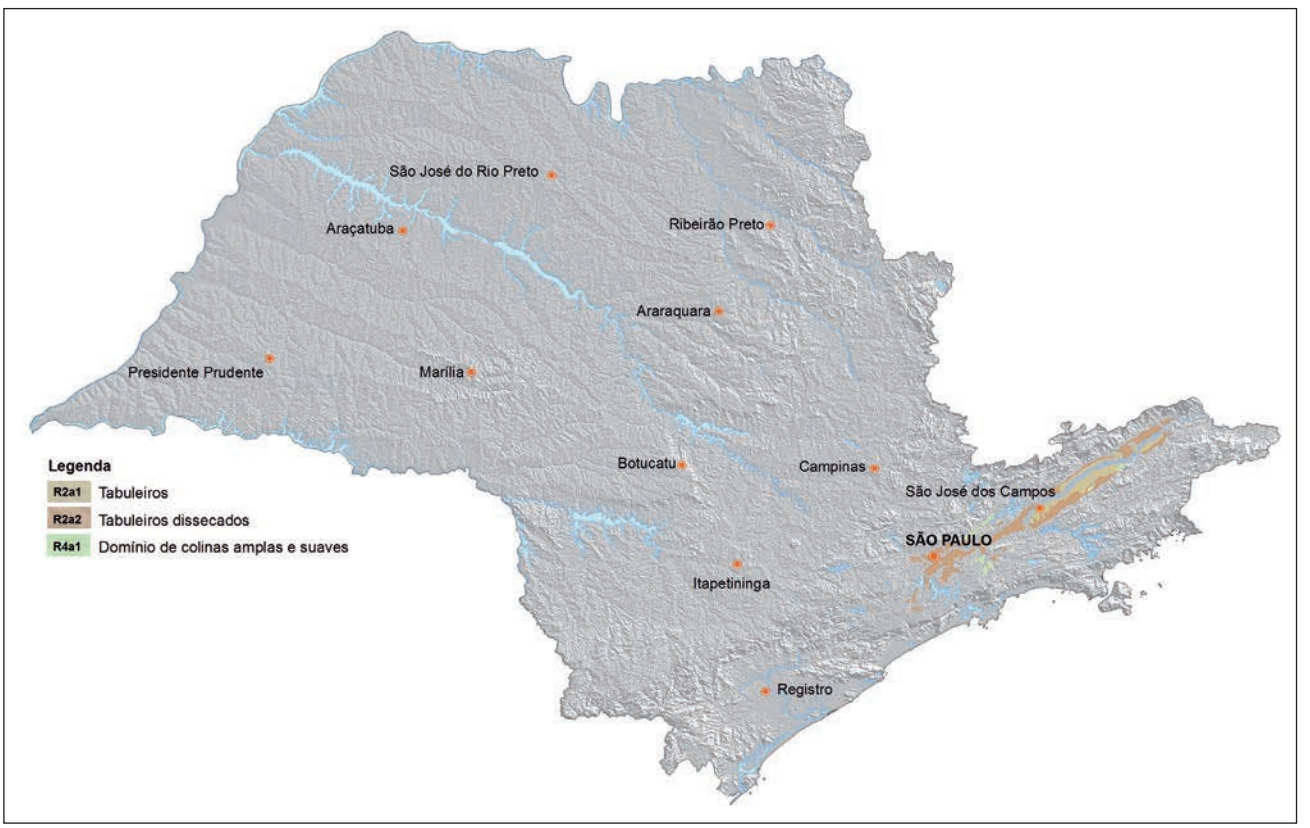


Figura 3.29 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DCMR.

Quadro 3.8 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DCMRa	R2a1	Tabuleiros	0 a 3	20 a 50
	R2a2	Tabuleiros dissecados	0 a 25	20 a 50
	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
DCMRcsa	R2a1	Tabuleiros	0 a 3	20 a 50
	R2a2	Tabuleiros dissecados	0 a 25	20 a 50

Na execução de obras em períodos de chuva, o maquinário utilizado para escavação ou terraplenagem necessita de manutenção contínua, devido ao excesso de argila que adere ao equipamento.

As camadas de argila expansiva desses solos, caso expostas na superfície do terreno e sob efeito da oscilação do grau de umidade, podem sofrer processos de fendilhamento, desagregando e desestabilizando com certo grau esses estratos (Figuras 3.30 e 3.31).

Os solos argilosos apresentam o fenômeno da colapsividade: devido à alta porosidade e ao aumento no teor de umidade, com um aumento na carga esses solos experimentam brusca redução do volume. Tal variação resulta em um colapso, o que causa problemas nas fundações, comprometendo a estabilidade de construções, como casas etc.

Figura 3.30 - Ocorrência de erosão diferenciada pela presença de camadas arenosas e síltico-argilosas intercaladas de forma irregular.
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Figura 3.31 - Erosão diferenciada no talude devido a intercalações irregulares de camadas arenosas e síltico-argilosas e à presença de argilominerais expansivos na camada basal.
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Nesse domínio, a ocorrência de estratos com composição mais conglomerática e características geotécnicas heterogêneas, pode representar dificuldades para a escavação, a perfuração com sondas rotativas ou execução de obras do tipo estaqueamento (Figuras 3.32 e 3.33).

A configuração morfológica é favorável à existência de solos transportados, depositados sobre solos residuais. O fato de os dois tipos possuírem características geotécnicas contrastantes pode dificultar a execução de procedimentos técnicos, como escavações e perfurações.

Em áreas próximas ao rio Paraíba do Sul, pode haver ocorrência de camadas de argilas moles, saturadas, sujeitas ao fenômeno de "corrida de lama", caso sofram descompressão devido a escavações.

Na região desse domínio, corre um dos principais rios do estado de São Paulo, o Paraíba do Sul, com amplas planícies fluviais, que estão sujeitas a inundações, enchentes ou cheias e alagamentos.

Figura 3.32 - Perfil de solo transportado, com o horizonte superior composto por seixos e cascalhos sobre uma camada arenosa, com sinais de erosão.Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Figura 3.33 - Perfil de solo com nível conglomerático espesso, com presença de seixos e grânulos em matriz arenoargilosa com características erosivas.
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

• Adequabilidades específicas

Na unidade DCMRcsa, o manto de alteração das camadas de calcário pode apresentar alta reatividade química, tendo potencial para uso como material de empréstimo. Devido à composição das camadas calcíferas, estas podem servir como barreiras químicas a contaminantes, como alumínio ou metais pesados (chumbo, cádmio etc.).

• Limitações específicas

Nas áreas de ocorrência da unidade DCMRa, há maior possibilidade, em locais escavados, de exposição de camadas de arenitos grossos conglomeráticos intercalados com siltitos e argilitos de origem fluvial, que são sedimentos friáveis, de fácil erodibilidade e erosividade e de difícil estabilização.

Nas figuras 3.34 e 3.35 são apresentados duas situações uma área escavada e um talude onde esta exposto solos residuais predominantemente arenosos, intercalados com camadas síltico-argilosas, com processos erosivos bem marcados por sulcos e ravinas que, devido à falta de estruturas de drenagem para disciplinar a condução das águas pluviais, continuam em acelerada evolução.

Figura 3.34 - Grande área escavada, para construção de casas, com forte processo de erosão laminar provocando sulcos e ravinas.
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

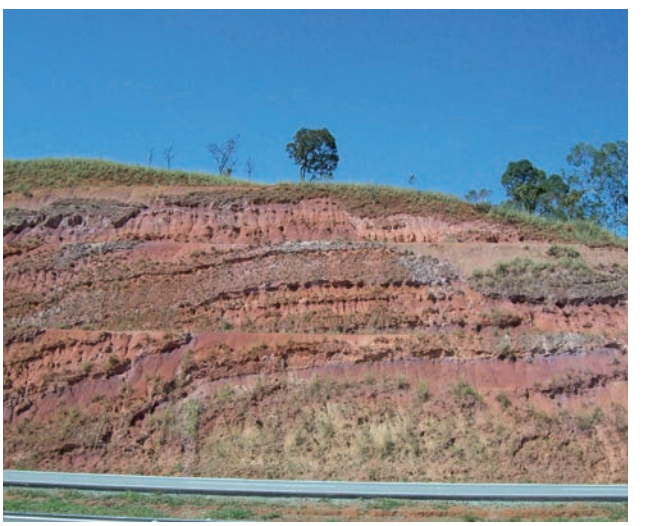


Figura 3.35 - Talude próximo à rodovia, com problemas de estabilização, devido à predominância de solo arenoso e à falta de implantação de sistema de drenagem para melhor condução das águas das chuvas.

Na unidade DCMRcsa, ocorrem sedimentos finamente laminados, portadores de argilominerais expansivos; por isso, são colapsíveis, fendilham-se e se desagregam com facilidade ao serem expostos à variação do grau de umidade e de temperatura (Figura 3.36).

Figura 3.36 - Os taludes junto à rodovia têm problemas de estabilização associados ao tipo de solo, predominantemente síltico-argiloso, à presença de argilas expansivas e à falta de sistema de drenagem para disciplinar o escoamento das águas pluviais.

Em áreas onde se executem escavações de grande porte, estas poderão provocar exposição de camadas calcárias intercaladas a camadas síltico-argilosas, que apresentam espessuras finas e diferente composição mineral, o que determina contrastantes características geotécnicas.

A rocha calcária, predominante nessa unidade, dissolve-se com facilidade pela ação das águas, levando à formação de pequenas cavidades por onde pode ocorrer infiltração de fluidos ou fugas de água, prejudicando obras dos tipos pequenas barragens, lagoas de estabilização e de sedimentação.

Agricultura

• Adequabilidades

No domínio DCMR, os sedimentos síltico-argilosos que afloram formam solos residuais porosos, que armazenam e mantêm boa disponibilidade de água para as plantas por longos períodos, mesmo com a ocorrência de estiagens prolongadas.

Os solos com camadas síltico-argilosas possuem grande capacidade de reter e fixar nutrientes e de assimilar matéria orgânica, apresentando resultados promissores quando adubados, o que resulta em aumento na produtividade agrícola.

A baixa qualidade química do solo é compensada pela boa qualidade física, portanto, desde que corretamente manejados e com condições topográficas favoráveis, apresentam potencial para implantação de áreas para agricultura intensiva.

Como nesse domínio predomina o relevo suavizado, com baixo potencial para erosão hídrica, a declividade favorece o uso de implementos agrícolas motorizados e a mecanização das lavouras.

As áreas de várzeas localizadas no rio Paraíba do Sul e seus afluentes têm excelente potencial para agricultura intensiva do arroz irrigado por inundação. Essa região já foi considerada uma das maiores produtoras de café do estado.

Há grandes áreas com relevos mais suavizados, utilizadas para pastagens de gado leiteiro. Essa região é considerada importante bacia leiteira do estado de São Paulo.

• Limitações

Nesse domínio, há grande variação litológica na vertical dos estratos sedimentares, com reflexo na textura dos solos residuais.

Ocorrem mudanças na composição textural do solo a curtas distâncias, variando de fração arenosa para argilosa, podendo ter composição conglomerática dependendo da litologia que está aflorando.

Em áreas onde sedimentos síltico-argilosos afloram, os solos residuais sofrem maior compactação e impermeabilização, levando a processos de erosão hídrica laminar se, sistematicamente, forem mecanizados com equipamentos pesados e/ou pisoteados de forma intensiva pelo gado.

Os solos residuais são pedogeneticamente pouco evoluídos e têm em sua composição argilominerais expansivos, favorecendo a erosão, caso expostos à alternância dos estados úmido e seco.

Em áreas onde os sedimentos arenosos afloram, estes geram solos residuais à base de areia quartzosa, que são bastante erosivos e permeáveis, de reduzida capacidade hídrica e que perdem água com rapidez.

São solos classificados como ácidos e com baixa fertilidade natural, apresentando dificuldades de reter e fixar nutrientes. Mesmo com práticas agrícolas consorciadas e com o uso de adubação (uso de elementos orgânicos) e fertilização (uso de compostos inorgânicos), o resultado será uma baixa produção agrícola.

• Adequabilidades específicas

A unidade DCMRcsa apresenta, em seu substrato, a ocorrência de rochas calcárias que, alteradas, geram solos básicos. Estes possuem boa fertilidade natural, são ricos em cálcio e magnésio e exibem alta reatividade química, que é a capacidade de reter e fixar nutrientes e de assimilar matéria orgânica. Assim, a adubação realizada nessas áreas apresentou resultados positivos, ocasionando aumento da produção agrícola.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

Nesse domínio, as intercalações de sedimentos de diferentes composições refletem nas características hidrodinâmicas, podendo formar importantes barreiras hidrogeológicas, gerando potencial para existência de aquíferos confinados.

Tais aquíferos são formados por camadas de areia e cascalho, porosos e permeáveis, confinados entre sedimentos síltico-argilosos, que são camadas pouco permeáveis.

Os poços projetados, dependendo da profundidade, podem alcançar as litologias do embasamento da bacia. Devido à irregularidade do fundo da bacia, causada por falhas recentes geradas em regime neotectônico, pode haver aquíferos fraturados com bom potencial armazenador de água nessas rochas.

• Limitações

O pacote sedimentar que forma esse domínio tem, em sua composição estratigráfica, intercalações irregulares de camadas com predominância de sedimentos argilosos pouco permeáveis, com alta capacidade de reter poluentes, com camadas formadas por sedimentos arenosos, com baixa capacidade de reter e eliminar contaminantes.

Esse padrão irregular entre camadas de composições variadas pode aumentar a vulnerabilidade dos aquíferos, caso ocorra, nessas áreas, a instalação de tanques de armazenamento de combustíveis ou produtos químicos.

• Adequabilidades específicas

Ocorre alta incidência, na unidade DCMRa, de camadas arenosas e conglomeráticas com boas características hidrogeológicas, como: permeabilidade, porosidade primária e hidrodinâmica lateral homogênea. Esses estratos arenosos podem se situar entre camadas argilosas pouco permeáveis, sendo classificados como aquíferos porosos confinados.

A unidade DCMRcsa forma solos predominantemente argilosos, onde a fração de argilominerais possui alta atividade e grande capacidade de reter e eliminar poluentes, sendo barreiras naturais para evitar a contaminação dos aquíferos subterrâneos.

• Limitações específicas

Nas áreas de ocorrência da unidade DCMRa, há maior possibilidade de, em locais escavados, haver exposição de camadas de arenitos, que são rochas vulneráveis à contaminação de aquíferos, caso ocorra vazamento ou deposição de contaminantes.

Os solos que a unidade DCMRcsa forma são predominantemente argilosos e profundos, sendo pouco permeáveis e desfavoráveis à ocorrência de volumes de recarga nos lençóis de água subsuperficiais locais, ocasionando baixo potencial na produtividade de poços locados na região.

Potencial mineral

No domínio DCMR há potencial para minerais tanto de uso na construção civil como de uso especial (Quadro 3.9).

Nesse domínio, há ambiência geológica favorável à exploração de areia com diversas granulometrias, argila vermelha, argila plástica e argila refratária.

O Vale do Paraíba é o maior produtor de areia do estado de São Paulo, considerado um dos principais minerais de uso direto na construção civil.

Na região do Vale do Paraíba, situados ao longo das várzeas do rio e entre as cidades de Jacareí e Pindamonhangaba, existem atualmente 50 portos de areia legalmente em operação.

Na unidade DCMRa, ocorrem camadas de areia pouco consolidadas, exploradas para uso na construção civil. Esse tipo de atividade, mesmo com sua grande importância econômica para a indústria da construção civil, causa impactos ao meio ambiente, como alteração da topografia e processos erosivos (Figuras 3.37 e 3.38). Essas áreas devem ser recuperadas com a implantação de projetos tipo PRAD (Plano de Recuperação de Área Degradada).

Na unidade DCMRcsa, há ambiência geológica favorável à ocorrência de argila, calcário, turfa e folhelho betuminoso.

Nessa unidade, mais especificamente nas camadas de folhelho betuminoso da Formação Tremembé, há um rico conteúdo fossilífero. Essas rochas afloram próximo à cidade de Tremembé.

Quadro 3.9 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DCMR	DCMRa	ND	ND	Areia Argila Argila bentonítica Cascalho	Água mineral
	DCMRcsa	ND	ND	Argila Argila bentonítica Calcário	Folhelhos betuminosos com presença de fósseis Turfa

Obs.: ND = Não-Detectado.

Figura 3.37 - Porto de areia em operação, que causa modificação na topografia da área.
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Figura 3.38 - Área de mineração de areia, em que se verificam mudanças no relevo e sinais de erosão.
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Aspectos ambientais e potencial turístico

O sistema de drenagem que compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul está sujeito a sofrer mudanças rápidas de nível e vazão, em consequência de pluviosidade intensa nas áreas a montante (cotas mais altas) localizadas na região de serra.

Nos meses de novembro a fevereiro, rios, riachos e córregos existentes nessas regiões sofrem forte influência das chuvas intensas que ocorrem sistematicamente na estação de verão.

O sistema de drenagem principal tem como características hidrológicas águas lentas, pouco turbulentas, pouco oxigenadas e de baixa capacidade de depurar poluentes, depositando mais que escavando sedimentos, o que ocasiona um franco e acelerado processo de assoreamento do leito principal do rio.

O relevo da região do rio Paraíba tem padrão complexo, mas predominam amplas planícies de inundação e terraços ao longo do canal principal, que estão sujeitos a cheias e inundações cíclicas.

A região tem como potencial turístico o uso das águas do rio Paraíba e de seus afluentes, principalmente onde há lagos formados por barragens. São locais de uso múltiplos como: balneário, navegação turística e pesca amadora.

Após a estátua de Nossa Senhora da Conceição Aparecida ter sido encontrada no leito das águas do rio Paraíba do Sul por pescadores, o turismo religioso tornou-se importante para a economia de todas as cidades existentes na região. E ficou mais evidenciado nas últimas décadas, devido à inauguração, em 4 de julho de 1980, da Basílica do Santuário Nacional de Nossa Senhora da Conceição Aparecida, na cidade de Aparecida.

DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES MESOZOICAS E PALEOZOICAS, POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS, ASSOCIADAS A GRANDES E PROFUNDAS BACIAS SEDIMENTARES DO TIPO SINÉCLISE (AMBIENTES DEPOSICIONAIS: CONTINENTAL, MARINHO, DESÉRTICO, GLACIAL E VULCÂNICO) (DSVMP)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas, pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise (ambientes deposicionais: continental, marinho, desértico, glacial e vulcânico), é o maior em extensão territorial, ocorrendo em 56,6% do total da área do estado de São Paulo. Está situado a partir da depressão periférica, passando pelas *cuestas* basálticas e ocupando todo o planalto ocidental na porção oeste.

As diferenças entre os ambientes deposicionais e os diferentes tipos litológicos formados levaram à subdivisão do domínio em oito unidades geológico-ambientais, que apresentam as seguintes áreas: DSVMPa – 580 km^2; DSVMPae – 5.700 km^2; DSVMPaef – 91.200 km^2; DSVMPasaf – 35.000 km^2; DSVMPsaa – 202 km^2; DSVMPsaacv – 2.000 km^2; DSVMPsaca – 4.650 km^2; DSVMPsabc – 1.102 km^2. (Figura 3.39).

O substrato rochoso é formado por intercalações de camadas horizontalizadas a sub-horizontalizadas das mais variadas espessuras de sedimentos clastoquímicos, diferentemente consolidados e que foram depositados em diversos ambientes tectonoclimáticos.

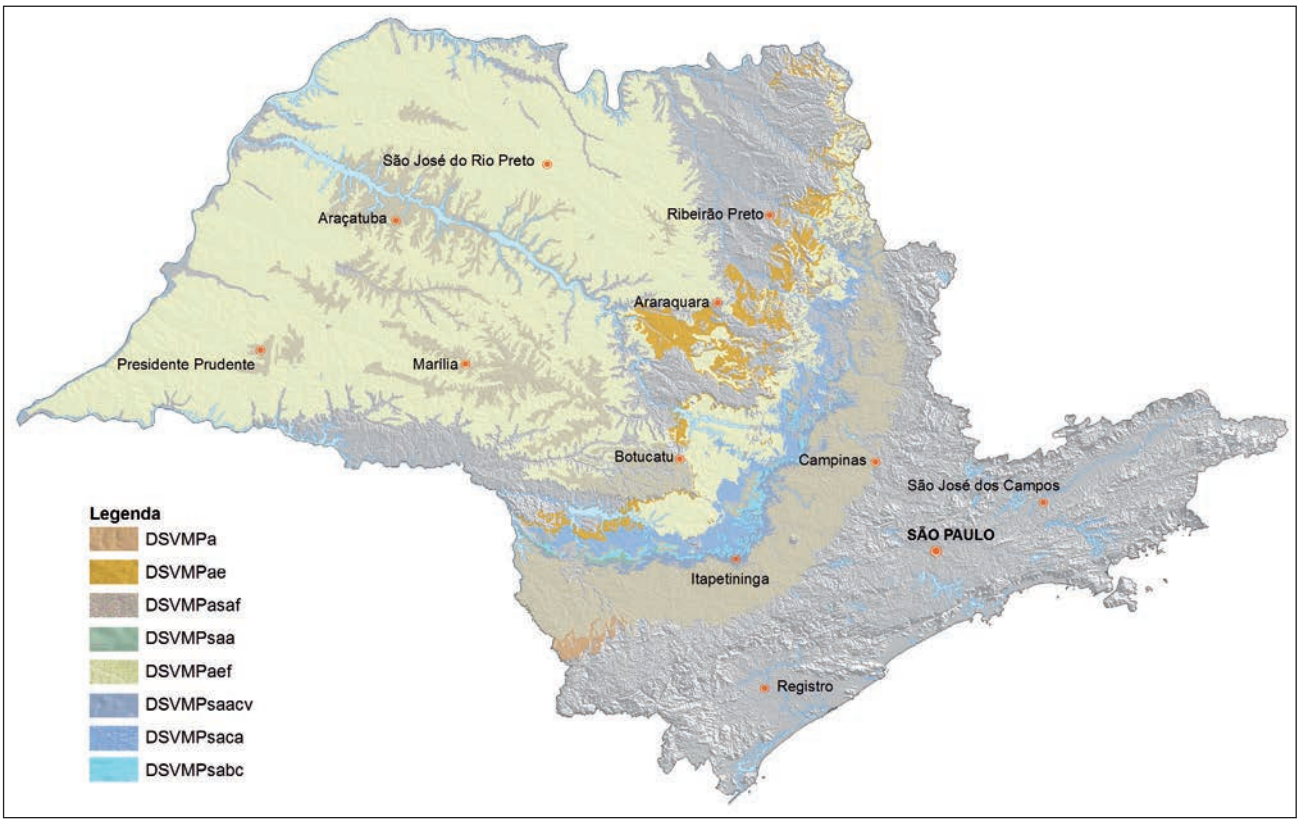


Figura 3.39 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DSVMP no estado de São Paulo.

Os sedimentos clastosquímicos apresentam diferentes composições e tanto podem ocorrer formando espessos e extensos pacotes, com predomínio de uma das litologias, como intercalados irregularmente entre si na forma de finas camadas.

São depósitos que apresentam grande heterogeneidade litológica vertical, podendo haver predomínio de rochas areníticas, síltico-argilosas, folhelhos ou calcários.

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DSVMP apresentam as seguintes características geológicas:

- DSVMPa: Unidade com predomínio de sedimentos arenosos malselecionados. Exemplo: Formação Furnas.

- DSVMPae: Unidade com predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica. Exemplo: Formação Botucatu – Arenito Eólico.

- DSVMPaef: Unidade com predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial). Exemplo: Formações Rio do Peixe e Caiuá.

- DSVMPasaf: Unidade com intercalações de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e folhelhos. Exemplo: Formações Itararé e Rio Claro.

- DSVMPsaa: Unidade com predomínio de sedimentos síltico-argilosos com intercalações arenosas. Exemplo: Formação Palermo.

- DSVMPsaacv: Unidade com predomínio de sedimentos síltico-argilosos e arenosos, contendo camadas de carvão. Exemplo: Formações Tatuí e Rio Bonito.

- DSVMPsaca: Unidade com predomínio de sedimentos síltico-argilosos e calcários com intercalações arenosas subordinadas. Exemplo: Formações Corumbataí e Teresina.

- DSVMPsabc: Unidade com predomínio de sedimentos síltico-argilosos intercalados de folhelhos betuminosos e calcários. Exemplo: Formação Irati.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DSVMP são apresentadas na Figura 3.40. Já as formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.10.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

- Adequabilidades

O domínio DSVMP é formado por pacotes sedimentares espessos, com formatos geralmente tabulares e horizontalizados, predominantemente arenosos, apresentando boa homogeneidade geomecânica e hidráulica lateral.

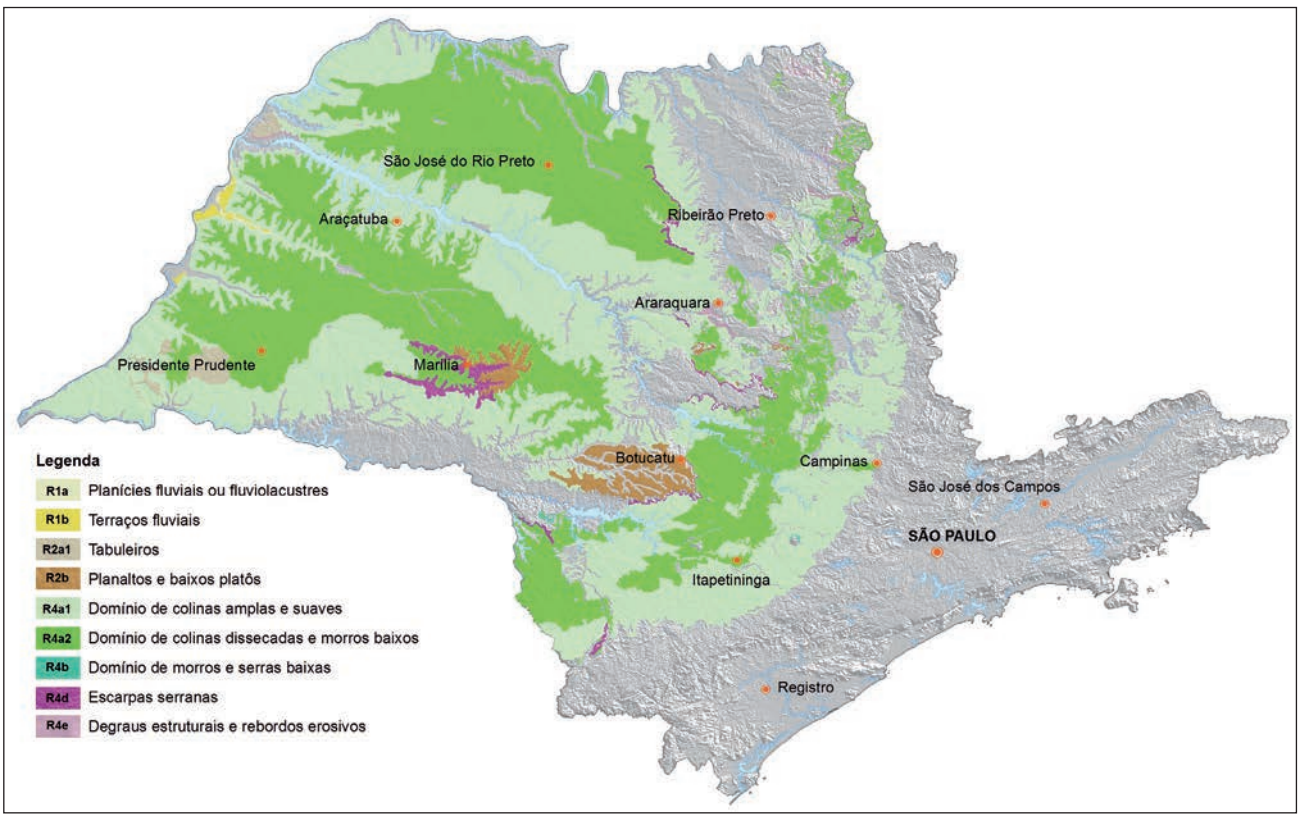


Figura 3.40 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DSVMP.

A área do domínio tem um padrão predominante de relevo mais suavizado, o que possibilita múltiplas adequabilidades para o uso e a ocupação territorial, como, por exemplo, atividades agrícolas com culturas extensivas e mecanizadas e atividades urbanas, como construção de infraestrutura do tipo rodovias e loteamentos.

• Limitações

As limitações do domínio frente a obras referem-se a escavações e perfurações mais profundas, que podem alcançar litologias das mais variadas e contrastantes características geotécnicas.

Tais diferenças litológicas constituem-se em descontinuidades geomecânicas e hidrodinâmicas, o que facilita a ocorrência de surgências de água e desestabilizações nos taludes de corte (Figuras 3.41 e 3.42).

• Adequabilidades específicas

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPaef e DSVMPasaf, onde o relevo varia de plano a suave ondulado, o potencial de erosão hídrica e de movimentos naturais de massa é considerado baixo.

Tais áreas são favoráveis à pedogênese, com manto de alteração predominantemente profundo, em que a porção superior se apresenta pouco erosiva. Em caso de construção de taludes de corte, estes devem apresentar boa estabilidade geotécnica (Figura 3.43).

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPa e DSVMPae, há predomínio de arenitos com moderado a alto grau de diagênese, com boa resistência à compressão e capacidade de suporte.

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPasaf, DSVMPsaa, DSVMPsaacv, DSVMPsaca e DSVMPsabc, há predomínio de litologias com alta resistência ao cisalhamento e manto de alteração argiloso, com consistência plástica e boa capacidade de compactação.

• Limitações específicas

A unidade geológico-ambiental DSVMPa apresenta relevo com variada amplitude, o que influencia no tipo de escoamento superficial. Este poderá ser relativamente rápido e com alto potencial erosivo, acarretando problemas em obras do tipo estradas e pontes em períodos de chuvas intensas. Tal característica do padrão de escoamento hídrico em solo arenoso e de alta declividade deflagra intenso processo de erosão laminar do tipo voçoroca.

Os arenitos da Formação Furnas (DSVMPa) apresentam má seleção granulométrica, sendo, localmente, conglomeráticos.

Na unidade geológico-ambiental DSVMPae, o relevo suave do tipo colinas amplas e suaves mostra-se mais favorável à existência de áreas com profundos areiões, onde estradas vicinais apresentam difícil trafegabilidade.

Quadro 3.10 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DSVMPa	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DSVMPae	R2b	Planaltos e baixos platôs	2 a 5	20 a 50
	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
	R4e	Degraus estruturais e rebordos erosivos	10 a 25	50 a 200
DSVMPaef	R1a	Planícies fluviais ou fluviolacustres	0 a 3	0
	R1b	Terraços fluviais	0 a 3	2 a 20
	R2a1	Tabuleiros	0 a 3	20 a 50
	R2b	Planaltos e baixos platôs	2 a 5	20 a 50
	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
	R4e	Degraus estruturais e rebordos erosivos	10 a 25	50 a 200
DSVMPasaf	R2b	Planaltos e baixos platôs	2 a 5	20 a 50
	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DSVMPsaa	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
DSVMPsaacv	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
DSVMPsaca	R2b	Planaltos e baixos platôs	2 a 5	20 a 50
	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4e	Degraus estruturais e rebordos erosivos	10 a 25	50 a 200
DSVMPsabc	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80

Figura 3.41 - Neste ponto ocorre o contato do arenito com o basalto, rochas com qualidades geotécnicas diferentes, que podem dificultar a execução de obras, sendo necessário o uso de explosivos para a execução de escavações.

Figura 3.42 - A variação de tipos litológicos neste talude de corte pode provocar instabilidade geotécnica, como queda de blocos, que atingirão a estrada.

Figura 3.43 - O talude às margens da rodovia mostra o contato do solo com a rocha arenítica e apresenta boa estabilidade geotécnica.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Os relevos escarpados dessa unidade apresentam quebras abruptas de declives, paredões verticalizados, com exposição de rochas areníticas densamente fraturadas, com possibilidade de desplacamentos e queda de blocos, além de frentes erosivas sujeitas a movimentos naturais de massa (Figura 3.44).

Figura 3.44 - Relevo escarpado, com exposição de rochas areníticas densamente fraturadas.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPa, DSVMPae e DSVMPaef, há predomínio de sedimentos à base de quartzo, bastante abrasivos, que oferecem dificuldades à perfuração com sondas rotativas (as brocas desgastam-se rapidamente), com baixa resistência ao cisalhamento e portadores de muitas fraturas abertas, tornando mais percolativas essas litologias.

O padrão de fraturamento dessas litologias facilita a queda de blocos e de placas rochosas em taludes de corte ou em paredões verticais existentes em áreas de relevo mais acidentado (Figuras 3.45 a 3.48).

Figura 3.45 - Talude expondo rocha intensamente fraturada, com potencial para queda de blocos.

F**igura 3.46 -** Talude em rocha, onde a base é arenítica, com surgências de água entre as fraturas.

Figura 3.47 - O talude apresenta uma sequência de camadas horizontais e tabulares de arenitos com cores e texturas diferentes e variada resistência ao intemperismo.

Figura 3.48 - Este afloramento mostra pacote espesso de rocha arenítica com padrão de fraturamento típico.

Nas unidades geológico-ambientais em que predominam rochas areníticas, o intemperismo forma solos excessivamente arenosos, friáveis, permeáveis e erosivos. Em caso de aflorarem em taludes de corte (Figura 3.49), apresentarão suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos. Da mesma forma, se estradas em áreas com esse tipo de solo não forem pavimentadas, haverá restrições à trafegabilidade, com formação intensa de poeira quando o clima permanecer seco por longo tempo.

Nas rochas areníticas, a ação erosiva das águas superficiais e subsuperficiais poderá levar à formação de cavidades subterrâneas.

Figura 3.49 - Neste talude, a rocha arenítica aflorante exibe intenso processo de erosão.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

As unidades geológico-ambientais DSVMPae e DSVMPaef são formadas por arenitos, que se alteram para solos friáveis à base de quartzo, com alta esfericidade dos grãos. Devido a tais características mineralógicas, os solos dessas áreas estão sujeitos ao fenômeno da liquefação (tipo areia movediça).

As unidades geológico-ambientais DSVMPasaf, DSVMPsaa, DSVMPsaacv, DSVMPsaca e DSVMPsabc apresentam, em sua composição estratigráfica, camadas de argilitos maciços, de permeabilidade muito baixa, geralmente rijos e plásticos, com cerosidade elevada. Oferecem dificuldades à escavação e/ou perfuração com sondas rotativas quando estão úmidos.

Ocorrem, também, camadas formadas por litologias microclásticas, folhelhos finamente laminados, com evidências de que são portadores de argilominerais expansivos; por isso, se expostos às variações dos estados úmido e seco, fendilham-se, desagregam-se em pequenas "pastilhas" e se tornam altamente erosivos.

Por apresentarem grande heterogeneidade litológica na vertical, favorecem, em taludes de corte, processos de erosão diferenciada, quedas de blocos e ocorrências de surgência de água (Figuras 3.50 a 3.55).

Figura 3.50 - O talude em rocha arenítica apresenta camadas espessas no topo e erosão diferencial na base, onde ocorrem sedimentos síltico-argilosos.

Figura 3.51 - Na base do talude ocorre erosão diferenciada, devido à maior proporção de argila nessa camada.

Figura 3.52 - Camada de folhelhos finamente laminados que se desagregam e se instabilizam com facilidade pela ação do intemperismo.

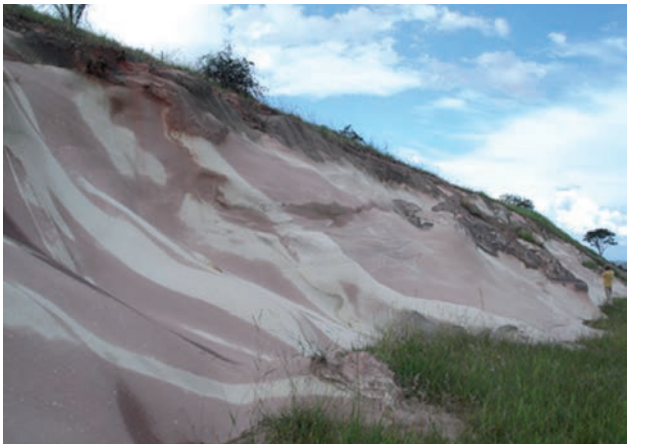


Figura 3.53 - Talude em rocha arenítica alterada, onde ocorre infiltração de água, sujeito à instabilização.

Figura 3.54 - Talude em rocha alterada em adiantado estado de erosão, formando profundos sulcos.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani

Figura 3.55 - Área com ocorrência de forte processo erosivo de difícil controle (São Miguel Arcanjo, SP).

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPsaa, DSVMPsaacv, DSVMPsaca e DSVMPsabc, o relevo mostra certa irregularidade na amplitude, o que reflete no padrão de escoamento superficial, tornando-o relativamente rápido e com alto potencial erosivo em períodos de chuvas intensas.

Na área de ocorrência dessas unidades, os canais de drenagem apresentam densidade variando de moderada a alta e a profundidade do manto de alteração mostra-se irregular, devido à variação de litologias, mas com predominância de camadas síltico-argilosas (Figuras 3.56 e 3.57).

As unidades geológico-ambientais DSVMPsaca e DSVMPsabc são formadas por argilitos, siltitos, arenitos, folhelhos e camadas de calcário, que podem sofrer dissolução por ação das águas, que leva à formação de cavidades de tamanhos diversos.

Agricultura

• Adequabilidades específicas

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPa e DSVMPae, os relevos mais planos mostram-se favoráveis à pedogênese, havendo predomínio de solos profundos com baixa pedregosidade. Devido ao baixo grau de declividade das áreas planas, a reduzida densidade de canais de drenagem reflete no potencial de erosão hídrica, que é reduzido.

O uso agrícola de áreas com tais características depende das técnicas de manejo do solo, onde os sistemas de cultivo em curvas de níveis ou por terraceamento são utilizados como formas de evitar e/ou controlar a formação de processos erosivos, assim como para manter a umidade (Figuras 3.58 e 3.59).

Figura 3.56 - Área onde a erosão na camada superficial do solo gera sulcos, devido à falta de cobertura vegetal e de controle na condução das águas superficiais.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.58 - Área com padrão de relevo ondulado, onde o potencial agrícola do solo está sendo aproveitado em sua capacidade máxima, com o uso do sistema de cultivo por curvas de níveis.

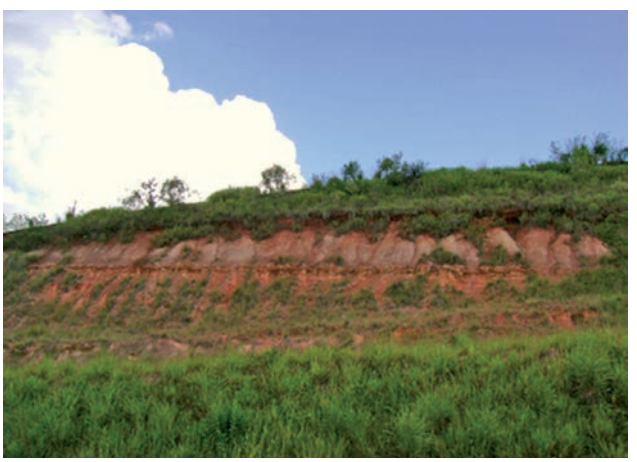


Figura 3.57 - Talude em que se observa a intensidade da erosão laminar em solo arenoso, onde ocorrem intercalações de camadas arenosas e areno-síltico-argilosas, além da falta de mecanismo de condução das águas e de vegetação.

Figura 3.59 - O aproveitamento do relevo mais ondulado, com a técnica de terraceamento, evita a instalação de processos de erosão hídrica.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

As unidades geológico-ambientais DSVMPaef, DSVMPasaf e DSVMPsaa têm, predominantemente, em sua composição, arenitos com alta participação de argila e matriz carbonática. Solos residuais originados da alteração desses arenitos apresenta características texturais e potencial de fertilidade para uso agrícola intensivo e mecanizado.

Mesmo em regiões com relevo mais ondulado, ocorre o uso agrícola intensivo com técnicas de manejo adequadas, como o sistema de cultivo por curvas de níveis, que evita a erosão, retém a água, conserva o teor de umidade do solo e reduz a lixiviação dos produtos utilizados para desenvolvimento das plantas (Figuras 3.60 e 3.61).

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPsaacv, DSVMPsaca e DSVMPsabc há predomínio de litologias que formam solos argilosos com alta porosidade e boa capacidade hídrica. Pela composição química, podem reter e fixar nutrientes, assimilar melhor a matéria orgânica e apresentar melhores resultados frente à adubação.

Figura 3.60 - Região com relevo de colinas dissecadas, onde é utilizada a técnica agrícola de cultivo em curvas de níveis.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.61 - Nesta área, o cultivo utiliza as curvas de níveis para minimizar a ação da erosão hídrica e conservar a vegetação nas cotas de topo.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

As rochas calcárias presentes nas unidades geológico-ambientais DSVMPsaca e DSVMPsabc alteram-se para solos básicos de boa fertilidade natural, ricos em cálcio e magnésio e com alta reatividade química; frente à adubação, mostram aumento na produtividade agrícola nas áreas onde há predomínio dessas unidades (Figura 3.62).

Figura 3.62 - Exposição de camadas com argilas expansivas na base e intercalações de camadas de calcário no topo, que, ao sofrerem intemperismo, liberam nutrientes que podem melhorar a qualidade do solo.

• Limitações específicas

As unidades geológico-ambientais DSVMPa, DSVMPae e DSVMPaef são formadas, basicamente, por arenitos de origens eólica e fluvial, enquanto a unidade geológico-ambiental DSVMPasaf é formada por arenitos com intercalações de siltitos, argilitos e folhelhos. Ao sofrerem intemperismo, geram solos residuais predominantemente arenoquartzosos e areno-síltico-argilosos, potencialmente erosivos, sujeitos à formação de sulcos, ravinas e voçorocas.

A erosão hídrica tem sua origem no manejo incorreto do solo, com a exposição de grandes áreas com declive acentuado e sem cobertura vegetal. A ação das águas superficiais, consequentemente, forma ravinas, sulcos e voçorocas (Figuras 3.63 a 3.66).

Por serem mais arenosos, os solos dessas unidades têm reduzida fertilidade natural e são excessivamente permeáveis, sendo classificados como de muito baixa capacidade hídrica, pois quase não retêm água e ainda a perdem rapidamente.

Devido à composição mais quartzosa, são classificados como solos ácidos, de baixa capacidade de reter e fixar elementos e de assimilar matéria orgânica, o que resulta em baixa produtividade agrícola, mesmo recebendo adubação intensa.

São solos inadequados para práticas agrícolas de ciclo curto, as quais exigem mecanização frequente, e para cultivo de plantas de raízes curtas.

Esses solos mostram pouca disponibilidade hídrica superficial para irrigação, quando ocorrem em áreas ou regiões mais externas das bacias hidrográficas, ou seja, longe dos canais principais de escoamento hídrico de cada bacia.

Figura 3.63 - Intenso processo erosivo com formação de ravinas em grande área com solo exposto.

Figura 3.64 - Espessa camada de solo arenoso, com início de processo de erosão na base do talude formando sulcos.

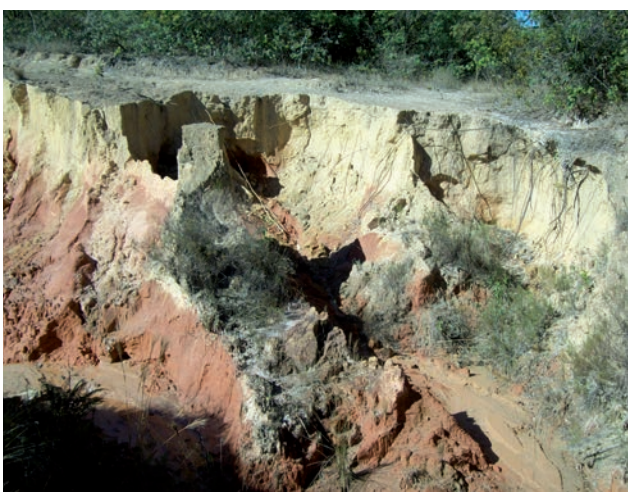


Figura 3.65 - Voçoroca em estágio de difícil controle, em área rural (Cássia dos Coqueiros, SP).

Figura 3.66 - Forte processo erosivo formando extensa voçoroca, devido a alteração no padrão da drenagem natural. Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Relevos mais acidentados e solos francamente arenosos representam duas características do meio físico que limitam o desenvolvimento de uma atividade agrícola mais intensiva.

Na unidade geológico-ambiental DSVMPa, devido à variação dos relevos a pedogênese se desenvolve de forma bastante diferenciada, refletindo na espessura dos solos, que se mostra bastante variável, com potencial de erosão hídrica laminar variando de moderado a alto e com forte potencial para formação de voçorocas.

Na unidade geológico-ambiental DSVMPae, nas regiões onde o relevo é plano, o solo favorece os processos de lixiviação. Em caso de haver pouca ou nenhuma cobertura vegetal, associado a períodos de secas acompanhados de ventos, há risco de início de processos de arenização.

Em áreas com ocorrência de supressão vegetal para abertura de campos para pastagens, associado a intenso pisoteio do gado, pode haver compactação das camadas superiores do solo, com os caminhos preferenciais formados tornando-se pontos de ativação do início de processos de erosão, com geração de sulcos e ravinas que poderão evoluir para voçorocas (Figuras 3.67 e 3.68).

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPsaacv, DSVMPsaca e DSVMPsabc, predominam sedimentos síltico-argilosos e o padrão de relevo varia de colinas amplas a degraus estruturais, o que influencia na pedogênese diferenciada e na espessura dos solos, que apresenta grande variação. Nessas áreas, há maior possibilidade de que os horizontes B e C ocorram a profundidades rasas e o potencial de erosão hídrica tenha variação de moderado a alto.

Nas regiões em que predominam litologias síltico-argilosas intercaladas com folhelhos, os processos pedogenéticos formarão solos com composição francamente argilosa.

Em caso de uso contínuo de máquinas agrícolas e/ou pisoteio intensivo de gado sobre solos síltico-argilosos, ocorrerá aumento no grau de compactação e impermeabilização da camada superior do solo, o que favorecerá o início de processos erosivos.

Figura 3.67 - Nesta área de pastagem, o pisoteio intenso do gado altera o grau de compactação da camada superficial do solo, gerando pontos de erosão.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.68 - Área desmatada para aumentar os campos de pastagens exibe sinais de erosão na meia-encosta, devido ao pisoteio do gado.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades específicas

Na unidade geológico-ambiental DSVMPae, há predomínio de arenitos à base de quartzo com alta esfericidade e boa seleção granulométrica. São rochas geralmente portadoras de muitas fraturas abertas e de direções variadas, caracterizando a unidade como um aquífero de alto potencial armazenador e circulador de água e com boa homogeneidade hidrodinâmica lateral e vertical.

Nessa unidade, há áreas com predomínio de relevo plano com ocorrência de extensos areões inconsolidados e de permeabilidade elevada, sendo locais onde os lençóis de águas subterrâneas são abundantemente recarregados.

Tal característica do solo ocorre também nas unidades geológico-ambientais onde há predomínio de sedimentos arenosos: DSVMPaef, DSVMPasaf e DSVMPsaa.

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPaef, DSVMPasaf, DSVMPsaa, DSVMPsaacv, DSVMPsaca e DSVMPsabc, ocorrem intercalações de camadas litológicas, como siltitos, argilitos e folhelhos, que apresentam características hidrodinâmicas muito contrastantes. Tais diferenças favorecem a existência de bons aquíferos subterrâneos do tipo confinado.

As camadas de calcário que ocorrem nas unidades geológico-ambientais DSVMPsaca e DSVMPsabc podem conter descontinuidades e cavidades de dissolução (porosidade cárstica). Os aquíferos existentes nessas unidades têm bom potencial de armazenamento e alta transmissividade de água.

• Limitações específicas

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPa, DSVMPae, DSVMPaef e DSVMPasaf, há predomínio de litologias formadas por sedimentos arenoquartzosos, que têm como características marcantes alta porosidade e permeabilidade. Tais litologias geram solos excessivamente permeáveis e com baixa capacidade de reter e eliminar poluentes.

As rochas areníticas, como as da Formação Botucatu, têm padrão de fraturamento mais intenso, onde poluentes, como defensivos agrícolas, podem atingir os lençóis de águas subterrâneas rapidamente, o que demonstra a alta vulnerabilidade a fontes contaminantes pontuais e difusas de aquíferos intensamente fraturados.

Podem ocorrer, nessa unidade, áreas em que os arenitos apresentam porosidade e permeabilidade baixa, devido ao alto grau de diagênese por processos de silicificação, o que reduz o espaço entre os grãos de quartzo e o potencial hidrogeológico de armazenar e conduzir as águas subterrâneas.

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPa, DSVMPsaa, DSVMPsaacv, DSVMPsaca e DSVMPsabc, ocorrem áreas onde predominam relevos acidentados. Nos períodos de alta pluviosidade, o escoamento superficial é relativamente rápido até os canais de drenagem, podendo ocasionar fortes enxurradas que causarão danos junto às margens de canais, córregos e riachos.

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPae e DSVMPaef, o relevo mais plano representa uma condição topográfica desfavorável a que aflore o lençol freático. Além disso, não existem, ou são poucos, os cursos d'água, como riachos ou córregos.

O relevo mais suavizado, nessas regiões, reflete no sistema de drenagem principal uma lentidão de escoamento das águas, ocasionando baixa oxigenação e reduzida capacidade de depurar poluentes químicos ou orgânicos.

Quando o relevo se mostra mais modificado, por exemplo, em áreas de escarpas serranas, há baixa recarga das águas subterrâneas.

Nos locais onde ocorrem degraus estruturais e rebordos erosivos, há exposição de arenitos fraturados que são altamente percolativos, constituindo-se em áreas de descarga do Aquífero Guarani e locais portadores de inúmeras nascentes de água.

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPsaca e DSVMPsabc, ocorrem terrenos naturalmente pouco permeáveis, com escoamento superficial rápido. Nas áreas de relevo mais acidentado e com alta densidade de canais de drenagem, a maior parte das águas das chuvas escoa com grande velocidade, formando enxurradas com forte potencial erosivo.

As mudanças climáticas, associadas a processos antropogênicos de uso e ocupação do solo, influenciam na vazão e, consequentemente, no nível dos cursos d'água existentes nessas regiões, como nos rios que drenam as bacias dos rios Mogi-Guaçu (UGRHI 5) e Tietê-Sorocaba (UGRHI 10).

Potencial mineral

O potencial mineral desse domínio para exploração de substâncias de uso na indústria da construção civil é grande, ocorrendo várias unidades com jazidas de argila, areia e calcário (Quadro 3.11).

Quadro 3.11 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DSVMP	DSVMPa	Chumbo (Pb) Cobre (Cu)	Diamante Talco	Arenitos silicificados Calcário magnesiano Caulim Dolomito Filito	ND
	DSVMPae	ND	ND	Areia Arenitos silicificados Argila	Água mineral Água mineral termal Folhelho betuminoso Turfa
	DSVMPaef	Ouro (Au) Pirita	Diamante	Areia Arenito asfáltico Arenito silicificado Argila Dolomito	Água mineral Turfa
	DSVMPasaf	Cobre (Cu) Ferro (Fe)	Diamante Fósforo (P)	Areia Arenito Argila Calcário Calcário dolomítico Calcário magnesiano Cascalho Dolomito calcítico Dolomito Filito Folhelho Varvito Vermiculito	Água mineral Carvão Turfa
	DSVMPsaa	ND	ND	Arenito silicificado	ND
	DSVMPsaacv	ND	ND	Areia Argila Calcário dolomítico Dolomito calcítico Folhelho	Água mineral Carvão
	DSVMPsaca	Cobre (Cu) Pirita	Fósforo (P)	Areia Argila Arenito asfáltico Calcário dolomítico Calcário magnesiano oolítico Dolomito Dolomito calcítico Folhelho	ND
	DSVMPsabc	Pirita	Fósforo (P)	Argila Calcário Calcário dolomítico Cascalho Dolomito Dolomito calcítico	Carvão Folhelho betuminoso

Obs.: ND = Não-Detectado.

Nas unidades onde predominam arenitos, há ocorrências de rochas silicificadas e homogêneas, com grande variação de tonalidades, apresentando potencialidade para exploração de pedra para revestimento de uso na indústria da construção civil.

Há minas de dolomito na região do município de Bom Sucesso de Itararé e de filito na região de Itapeva.

Nos depósitos aluviais da Formação Furnas (DSVMPa) e do Grupo Itararé (DSVMPasaf), há registros de ocorrências de diamantes. As rochas tipo varvitos do Grupo Itararé mostram potencial para aproveitamento mineral para extração de lajes de uso como revestimento, assim como os arenitos desse mesmo grupo mostram potencial para reservatórios de gás.

Há ambiência geológica favorável à prospecção de carvão na unidade geológico-ambiental DSVMPsaacv.

A formação sedimentar Corumbataí (DSVMPsaca) tem como predominância camadas de argila com alto potencial para uso na indústria cerâmica, localizando-se nessa região o Polo Cerâmico de Rio Claro-Santa Gertrudes-Cordeirópolis (Figuras 3.69 a 3.71).

Figura 3.69 - Área de mineração onde ocorre extração de argila para uso na fabricação de tijolos (Corumbataí, SP).

Figura 3.70 - Área de extração de argila, a implantação do projeto de recuperação ambiental controlará os processos erosivos, a geração de poeira e o impacto visual.

Figura 3.71 - Olaria em pleno funcionamento, devido à existência de importantes jazidas de argila na região (Fartura, SP).

Há, também, potencial mineral para exploração de calcário dolomítico de uso na indústria cimenteira e como corretivo de solo.

A ocorrência de folhelhos betuminosos na unidade geológico-ambiental DSVMPsabc mostra o potencial dessas rochas para geração de óleo e gás. Nesse tipo de rocha sedimentar, ocorre extração de hidrocarbonetos pela Unidade de Negócios de Industrialização de Xisto (SIX) da Petrobras localizada em São Mateus do Sul, no Paraná.

Aspectos ambientais e potencial turístico

Nas unidades geológico-ambientais DSVMPa, DSVMPae e DSVMPaef, a configuração litoestrutural, associada a relevos movimentados, favorece a existência de áreas com grande beleza natural. Registram-se rios escoando sobre o substrato arenítico, formando corredeiras, cachoeiras e locais com piscinas naturais.

As formações Botucatu (DSVMPae) e Piramboia (DSVMPaef) são as principais áreas de ocorrência e de recarga do Aquífero Guarani, classificado como um dos mais extensos depósitos de água doce do mundo.

Ocorrem nessas duas unidades locais com relevo dissecado e acidentado que formam ecossistemas com vegetação e microclima específicos, como morros-testemunhos ou escarpas areníticas, locais utilizados pela avifauna local como abrigo, descanso, nidificação e alimentação (Figuras 3.72 a 3.76).

Nessas áreas montanhosas, existem setores de descarga das águas subterrâneas e nascentes que devem ser preservadas, pois abastecem os principais rios, riachos e córregos da região.

Os relevos mais acidentados apresentam processo de morfogênese atuante e em franco e acelerado processo de erosão natural, que geram depósitos de tálus e colúvios nas baixas vertentes.

São regiões naturalmente suscetíveis à erosão, à arenização e com alta incidência de voçorocas. São consideradas áreas-fontes naturais que geram grandes cargas de

Figura 3.72 - Relevo formado por morros-testemunhos com vegetação preservada, gerando pequenos ecossistemas (Santa Maria da Serra, SP).
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.75 - Região com interessantes formas em rochas areníticas (Torre de Pedra, SP).
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.73 - Morro-testemunho com vegetação bem preservada, servindo de lugar de descanso para a avifauna local (Dois Córregos, SP).

Figura 3.76 - Conjunto de morros-testemunhos com vegetação melhor preservada nas vertentes e nos topos (Torre de Pedra, SP).
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.74 - Conjunto de morros-testemunhos com vegetação bem preservada e forte presença de avifauna (Santo Antonio da Alegria, SP).

sedimentos do tamanho areia, que assoreiam os principais cursos d'água, devido à intensidade da atuação da erosão hídrica laminar.

Há ocorrência de icnofósseis (com vestígios de atividade biológica de organismos do passado, como pegadas, rastros, tubos, coprólitos) e de restos vegetais na unidade geológico-ambiental DSVMPa (Formação Furnas).

Na unidade geológico-ambiental DSVMPae (Formação Botucatu), também há registros de icnofósseis de invertebrados em pedreiras de arenito na região de São Carlos e Araraquara.

Na Formação São José do Rio Preto (DSMPaef), há ocorrência de fósseis do tipo ossos, carapaças e dentes de dinossauros, crocodilos e quelônios, carapaças de invertebrados e restos de peixes, enquanto na Formação Vale do Rio do Peixe a ocorrência de fósseis é do tipo fragmentos de ossos de répteis, moluscos a artrópodes, alem de moldes de raízes, oogônios de algas caráceas e tubos de pequenos animais.

Há dois importantes parques na Formação Itararé (DSVMPasaf): Parque dos Varvitos e Parque Rocha Moutonnée, com importantes registros de ambiente glacial (Figuras 3.77 a 3.82).

Figura 3.77 - O Parque dos Varvitos mostra em suas paredes a clássica feição de seixo caído (Itu, SP).
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.78 - O Parque dos Varvitos mostra em seus afloramentos o padrão de deposição dos sedimentos, em que as cores claras da camada indicam um período de maior calor e as de cor cinza, de mais frio.
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.79 - Acesso ao Parque Rocha Moutonnée (Salto, SP).

Figura 3.80 - Afloramentos em rocha granítica, onde importantes feições de erosão glacial ficaram registradas na superfície da rocha.

Figura 3.81 - Área de exposição do afloramento, onde as feições do deslocamento das geleiras modelaram a rocha.

Figura 3.82 - Vista geral do acesso ao único afloramento de rochas graníticas com marcas que comprovam uma grande glaciação ocorrida na era paleozoica.

DOMÍNIO DO VULCANISMO FISSURAL MESOZOICO DO TIPO *PLATEAU* (DVM)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio do vulcanismo fissural mesozoico do tipo *plateau* ocorre em uma área de 33.500 km^2, representando 13,5% do território total do estado de São Paulo.

Nesse domínio, ocorre apenas uma unidade geológico-ambiental (DVMb), formada por extensos e espessos pacotes de sucessivos derrames de lavas efusivas, principalmente de composição básica, cristalizadas em basaltos e, mais restritamente, composição ácida e intermediária, respectivamente gerando riolitos, dacitos e andesitos (Figura 3.83).

Essa sucessão de derrames de lavas apresenta-se horizontalizada, definindo um aspecto acamadado ao pacote vulcânico, podendo ocorrer intercalações de arenitos na forma de camadas *intertraps* entres os derrames basálticos.

Na porção oriental do estado de São Paulo, há maior ocorrência de rochas ígneas intrusivas básicas na forma de soleiras ou *sills* (concordantes com a rocha encaixante) e diques de diabásios (discordantes das rochas encaixantes).

Os basaltos, por serem formados por lavas que resfriaram rapidamente, apresentam textura fina a vítrea. Com os diabásios, a cristalização do magma ocorreu em subsuperficie; assim, a textura se apresenta mais grossa, o que se constitui em importante diferença entre as duas litologias.

Características da Unidade Geológico-Ambiental

A unidade geológico-ambiental que compõe o domínio DVM apresenta as seguintes características geológicas:

- DVMb: Unidade com predomínio de basaltos e ocorrências restritas de riolitos, dacitos e andesitos. Exemplo: Formação Serra Geral.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área da unidade geológico-ambiental DVMb são apresentadas na Figura 3.84. Já as formas de relevo associadas que ocorrem na referida unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.12.

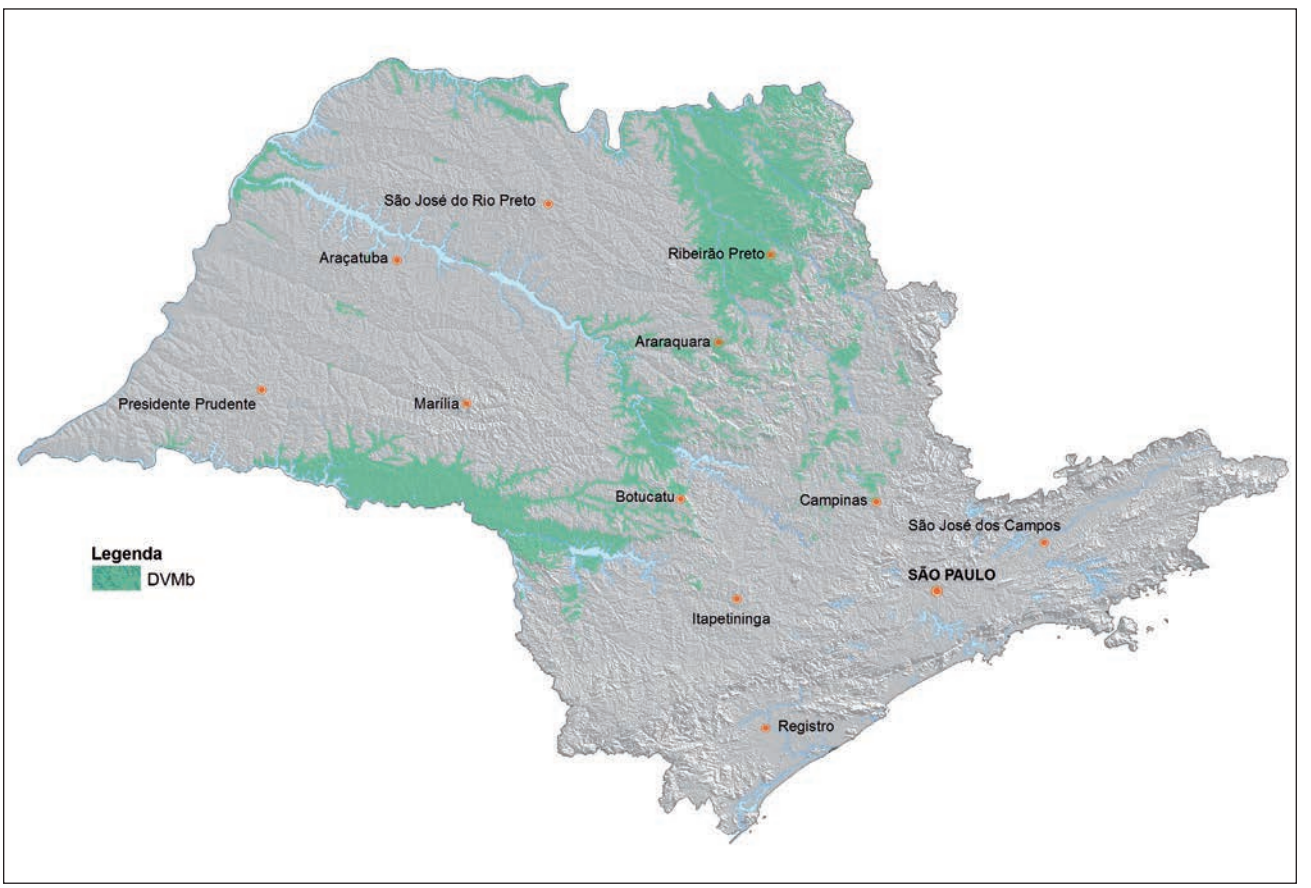


Figura 3.83 - Distribuição espacial da unidade geológico-ambiental formadora do domínio DVM no estado de São Paulo.

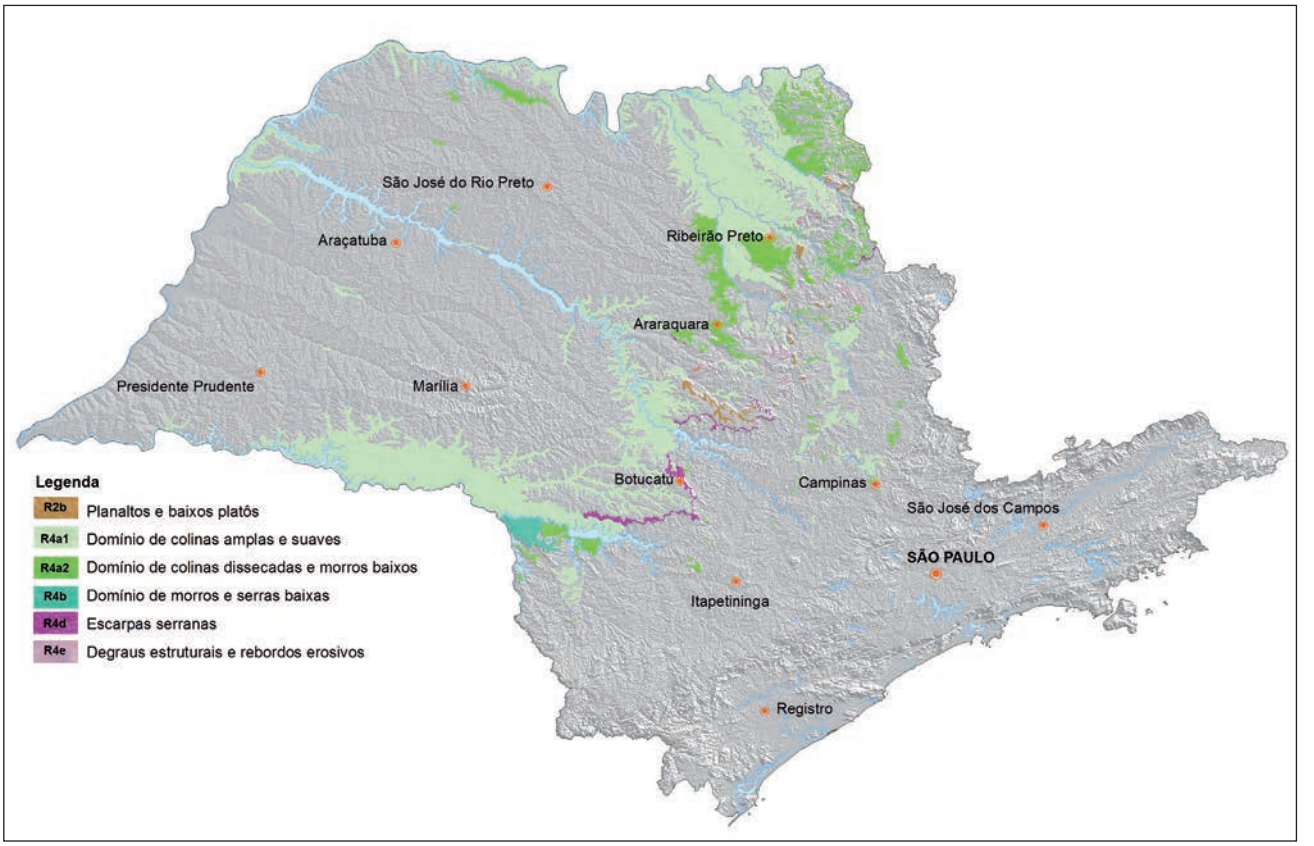


Figura 3.84 - Formas de relevos predominantes na área de ocorrência da unidade geológico-ambiental do domínio DVM.

Quadro 3.12 - Unidade geológico-ambiental e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DVMb	R2b	Planaltos e baixos platôs	2 a 5	20 a 50
	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
	R4e	Degraus estruturais e rebordos erosivos	10 a 25	50 a 200

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

As rochas basálticas são predominantemente maciças, com boa homogeneidade mineral e textura fina. Tais características refletem na maior resistência à compressão e em boa homogeneidade geomecânica e hidráulica lateral.

São rochas que se alteram para solos com textura síltico-argilosa ou argilossiltosa, pouco permeáveis, plásticos, apresentando boa capacidade de compactação, de suporte e baixa resistência ao corte e à penetração.

Nas regiões onde os relevos variam de planos a suave ondulados e a declividade varia de 3 a 20º, o potencial de erosão hídrica e de movimentos naturais de massa é baixo.

Nessas áreas de relevos menos acidentados há baixa ocorrência de afloramentos ou restos de rochas na superfície do terreno, favorecendo a execução de escavações para

implantação de infraestrutura urbana como loteamentos e obras subterrâneas complementares.

Nas áreas onde o relevo é suave ondulado, há predomínio de processos de pedogênese, reduzindo o potencial de exploração de rochas devido ao espesso manto de intemperismo que forma perfis de solos profundos, mas aumenta o potencial para exploração de argila para uso em aterros e olarias.

Quando da execução de obras dos tipos taludes, escavações e terraplanagens, esses solos apresentarão boa estabilidade geotécnica, devido à pouca suscetibilidade à erosão.

• Limitações

Nas regiões onde ocorrem mudanças abruptas entre diferentes derrames ou entre os derrames basálticos e o arenito, há descontinuidades geomecânicas, sendo essas características geradoras de potencial ocorrência de desestabilizações e quedas de blocos nos taludes de corte.

Em áreas de relevo muito acidentado, há ocorrências de rochas frescas que apresentam média a alta resistência ao corte e à penetração por equipamentos mecânicos e hidráulicos, como, por exemplo, retroescavadeiras, obrigando ao uso de explosivos para execução de obras de escavação.

Na Formação Serra Geral, há ocorrências de derrames vulcânicos intensamente vesiculados e com vesículas interligadas. Tais porções podem apresentar grau de porosidade mais elevado, sendo também mais permeáveis e, por isso, com comportamento geomecânico bastante heterogêneo.

Como os basaltos e os diabásios são rochas que alteram de forma bastante heterogênea e típica, geram blocos e matacões ao longo do perfil do solo, mesmo sendo perfis profundos e evoluídos pedogeneticamente (Figuras 3.85 e 3.86).

Esse padrão de alteração da rocha pode causar problemas geotécnicos em escavações, terraplanagens e taludes de corte. No caso de blocos ou matacões se apresentarem expostos na superfície do terreno, há risco de quedas ou rolamentos se fundações ou pilares se apoiarem parcialmente sobre tais fragmentos de rochas basálticas, que estão sujeitos a sofrer desestabilização devido ao peso da estrutura civil ou à acomodação natural do solo.

Figura 3.85 - Padrão de alteração de rocha basáltica, formando estruturas do tipo esfoliação esferoidal (Jardinópolis, SP). Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.86 - Afloramento com padrão característico de decomposição esferoidal das rochas basálticas (Avaré, SP). Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Os basaltos e diabásios são rochas de moderada a baixa resistência ao intemperismo físico-químico. No início da alteração, tais rochas geram argilominerais expansivos, formando solos residuais pouco evoluídos e colapsíveis, que, ao serem expostos às oscilações do grau de umidade, tornam-se muito erosivos, desestabilizando-se facilmente (Figura 3.87).

Figura 3.87 - Talude estabilizado, mas em sua base mostra argilominerais expansivos que sofrem erosão diferenciada (Ituverava, SP).

Nesse caso, esse tipo de solo não é adequado para utilização como material de empréstimo, por sua composição muito argilossiltosa. Quando exposto a excesso de umidade, torna-se muito aderentes e escorregadio, o que dificulta o tráfego de caminhões, tratores e carros.

Nas áreas em que os relevos são montanhosos, as frentes erosivas com porções escarpadas apresentam maiores exposições de rochas fraturadas, ocorrendo nas encostas, declives e sopés grandes depósitos de talús e de colúvios. Tais materiais são classificados como solos naturalmente instáveis e de difícil contenção por obras de engenharia.

Agricultura

• Adequabilidades

Os basaltos geram solos argilosos, bastante porosos e com boa capacidade hídrica para fixar nutrientes e assimilar matéria orgânica, respondendo bem à aplicação de fertilizantes e corretivos.

São rochas que se alteram liberando vários tipos de nutrientes para o solo, principalmente os cátions Ca, Mg e Fe.

Esses solos residuais, mesmo sendo pouco evoluídos, têm alta fertilidade natural e, por isso, são denominados Terras-Roxas. Tal expressão é creditada aos imigrantes italianos dessa região, que assim se referiam a esse solo de cor vermelha (Figuras 3.88 e 3.89).

Figura 3.88 - Solo gerado da alteração do basalto, denominado terra-roxa, e que apresenta grande potencial agrícola, sendo utilizado para cultivo de cana-de-açúcar (Guairá, SP).

Figura 3.89 - Predomínio de relevo plano que, associado ao solo tipo terra-roxa, mostra grande potencial produtivo para a agricultura extensiva (Ituverava, SP).

• Limitações

As rochas basálticas geram solos argilosos, os quais apresentam alto potencial de compactação e impermeabilização nas áreas em que a agricultura necessita de maquinários pesados ou em locais de pastagem submetidos a pisoteio intenso do gado.

Tais atividades alteram o estado físico do solo e potencializam o início da erosão hídrica laminar, que se tornará mais intensa nas áreas com declividades acentuadas.

O fator climático chuva, responsável pela erosão natural, agirá com maior intensidade nas áreas com relevo montanhoso que não tenham cobertura vegetal e onde a forma de manejo do solo seja inadequada para o desenvolvimento de atividades agrícolas e de pecuária (Figura 3.90).

Figura 3.90 - A cor marrom-escura destas águas mostra forte concentração de sedimentos em suspensão que são carreados para o leito do rio, devido ao excesso de supressão vegetal que ocorre nas margens e nas áreas próximas, para aumento de espaços para agricultura e campos de pastagens (Miguelópolis, SP).

Os basaltos e diabásios alteram-se liberando alumínio para os solos residuais onde a pedogênese é avançada. O excesso desse elemento, além de aumentar a acidez do solo, é tóxico para culturas do tipo leguminosas, prejudicando o seu desenvolvimento.

Nos relevos mais planos, há predomínio de solos intensamente lixiviados, que estão empobrecidos em nutrientes naturais e enriquecidos em alumínio. São solos argilosos, formados à base de caulinita, com baixa reatividade química, devido à falta de elementos solúveis essenciais. Para aumentar a produtividade natural, esses solos devem ser corrigidos com uma calagem adequada.

Esses solos, devido ao excesso de caulinita e argila mineral, têm propriedades químicas para sorver metais pesados como cádmio, zinco, chumbo e níquel, podendo ser utilizados como revestimentos na construção de aterros sanitários industriais.

Em regiões onde o relevo é mais acidentado, há severas limitações à atividade agrícola, devido a inclinação das vertentes ser superior a 30°.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

As rochas basálticas apresentam intenso fraturamento e níveis vesiculares. Tais características geológicas definem o alto potencial armazenador e circulador de água subterrânea.

O potencial hidrogeológico é favorecido pelas intercalações de arenitos nos basaltos. É nessas rochas que estão os grandes depósitos de água, como o Aquífero Guarani.

Nessas condições de intercalações de rochas basálticas com arenito, pode haver a formação de barreiras hidrogeológicas, com possibilidades de ocorrer o fenômeno do artesianismo.

Nas áreas em que há predomínio de litologias que geram solos argilossiltosos, com perfis profundos, além da alta capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes, tais características pedogenéticas reduzem o risco de contaminação das águas subterrâneas.

Na unidade onde o relevo apresenta grandes áreas planas recobertas por solos bastante lixiviados e permeáveis, estas são características favoráveis a que ocorra grande recarga dos aquíferos. No caso de uma maior espessura dos horizontes B e C, maior será a depuração da água meteórica.

Nas regiões onde o relevo é movimentado, há favorabilidade a que o lençol freático aflore nos sopés das escarpas. Nas montanhas, nas áreas de topos, pode haver nascentes de água. Devido a tais características hídricas, a vegetação do topo dessas áreas deve ser preservada (Figuras 3.91 e 3.92).

• Limitações

Nas porções de relevo mais acidentado, as frentes rochosas contêm alta densidade de fraturas dispostas em várias direções, pelas quais poluentes, como defensivos agrícolas, podem se infiltrar e, rapidamente, atingir os lençóis de águas subterrâneas.

Figura 3.91 - Relevo montanhoso com vegetação preservada no topo, protegendo e preservando nascentes (Itatinga, SP).
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.92 - Grandes extensões de áreas planas, com pequenas depressões com acúmulo de água (nascente d'água) que devem ser preservadas, mas que estão no meio de área ocupada com plantação de cana-de-açúcar (São Manuel, SP).
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

As fraturas que ocorrem são abertas nas porções mais superficiais dos derrames e mais fechadas em direção às porções mais basais.

Os aquíferos que ocorrem nas rochas basálticas têm características hidrodinâmicas e potencial hidrogeológico heterogêneos, devido à porosidade dessas rochas estar relacionada às fraturas existentes, que, por sua vez, não apresentam um padrão de ocorrência homogêneo. Desse modo, os basaltos são classificados como aquíferos fissurais.

Nessa unidade, a permeabilidade do manto de alteração depende do grau de evolução pedogenética, que pode variar de baixa, nos solos pouco evoluídos, a alta, em solos bem evoluídos.

Assim, o substrato é formado principalmente por basaltos, que têm permeabilidade muito baixa, são pouco fraturados e geram solos pouco permeáveis, formando terrenos com reduzido potencial hidrogeológico e desfavoráveis à recarga dos aquíferos.

Nas áreas onde os relevos contêm setores excessivamente planos, o escoamento superficial mostra-se precário, apresentando pontos de contenção de água durante os períodos de maior pluviosidade.

Em relevos acidentados, o escoamento superficial ocorre de forma muito rápida, associado a uma densidade de canais de drenagem que varia de moderada a alta e à existência de solos pouco espessos. São regiões desfavoráveis à recarga das águas subterrâneas e com baixo grau de depuração das águas meteóricas.

Nas áreas em que o relevo é classificado como degraus estruturais e rebordos erosivos, esse tipo de relevo, associado ao tipo de rocha, mostra-se desfavorável à ocorrência de nascentes e com baixa incidência de drenagens, o que causa deficiência na existência de riachos e córregos.

Potencial mineral

Áreas com relevos mais escarpados são favoráveis à ocorrência de rochas aflorantes ou situadas próximo à superfície. São áreas com grande potencial para exploração de rocha basáltica, para usos variados na construção civil.

As rochas que ocorrem na Formação Serra Geral, como basalto, diabásio, riolito, andesito e riodacito, são tipos litológicos com boas qualidades físicas e químicas, com potencial para serem transformadas em brita para uso, por exemplo, na pavimentação de obras rodoviárias.

Existem áreas onde as rochas basálticas podem ser utilizadas na construção civil para alicerces e muros ou como revestimentos, na forma de placas em calçadas ou do tipo pedra *petit pavet* (Figuras 3.93 a 3.95).

Nas áreas onde o relevo é suave ondulado, há predomínio de processos de pedogênese reduzindo o potencial de exploração de rochas, devido ao espesso manto de intemperismo que forma perfis de solos profundos, mas aumenta o potencial para exploração de argila para uso em aterros e olarias (Quadro 3.13).

Figura 3.94 - Interessante padrão de disjunção colunar, com potencial para extração de rocha para uso na construção civil (Sarutaiá, SP).
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Figura 3.93 - Grande talude em rocha sã, com forte fraturamento e potencial para extração mineral (Ribeirão Preto, SP).

Figura 3.95 - Em primeiro plano, cavas abandonadas, de onde foi minerada rocha basáltica; ao fundo, extensas áreas com uso agrícola intensivo (Cravinhos, SP).
Fotografia: Projeto Geodiversidade Aquífero Guarani.

Quadro 3.13 - Unidade geológico-ambiental e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DVM	**DVMb**	Cu, Pt, Pd, Rh	Geodos Ágata ou Quartzo, Calcitas, Zeólitas	Argila Areia Basalto Diabásio	Água mineral

Nessa unidade, há rara ambiência geológica para pesquisa de cobre nativo e de elementos do grupo da platina (Pt, Pd e Rh).

Nos derrames basálticos em que ocorrem níveis vesiculares e/ou amigdaloidais, pode haver o preenchimento dessas estruturas por zeólitas, calcitas, ágata ou quartzo. Tais geodos, dependendo do padrão de ocorrência e formas de preenchimento, podem apresentar bom potencial econômico para serem minerados e industrializados.

Aspectos ambientais e potencial turístico

O vulcanismo que deu origem à Formação Serra Geral recobriu sedimentos arenosos das formações Botucatu e Piramboia, com uma espessura de mais de 1.500 m de lavas. Tais rochas, predominantemente basálticas, protegem da contaminação as águas subterrâneas depositadas nessas formações.

O Aquífero Guarani, classificado como um dos maiores reservatórios de água doce do mundo, está depositado nesses sedimentos arenosos de idade triássica protegidos por sucessivos derrames basálticos, o que classifica o aquífero como do tipo confinado.

Nas regiões onde ocorre intensa atividade agrícola mecanizada, o solo sofre intensa compactação e impermeabilização, o que pode gerar processos intensos de erosão, além de interferir negativamente no padrão de escoamento e infiltração, gerando assoreamento em rios e reduzindo o volume de recarga dos aquíferos, podendo secar áreas de ocorrência de nascentes ou olhos-d'água.

Nessa unidade, nos locais em que os terrenos são recobertos por solos pouco permeáveis, em períodos de maior pluviosidade as águas escoam rapidamente para canais de drenagem, provocando grandes e bruscas mudanças de nível e vazão.

Tal fenômeno climatológico, associado às características do solo, leva à formação de enxurradas com forte potencial de remoção e transporte de sedimentos.

Nas áreas em que o relevo é formado por extensas porções planas e o escoamento superficial é mais lento, as depressões no terreno favorecem a formação de lagoas ou lagos permanentes, que podem ter vegetação nativa e avifauna associada, formando restritos e frágeis ecossistemas.

Em regiões de relevo acidentado, com grande amplitude e onde predominam frentes erosivas, ocorrem processos de morfogênese que, associados à alta suscetibilidade à erosão e a movimentos de massa, formam depósitos de tálus e colúvios nas áreas das baixas vertentes.

Os sistemas de drenagem, nessas áreas, sofrem com o intenso processo de dissecação e de entalhamento, gerando deposição de fragmentos de rochas de tamanho seixo e cascalho nas baixas vertentes e nos fundos dos vales.

Nas áreas de relevo mais movimentado, do tipo escarpas, ou nas de relevo do tipo *cuestas*, observa-se, em suas vertentes e topos, a formação de importantes e restritos ecossistemas, devido à preservação da vegetação natural, pela existência de locais de afloramento do lençol freático e influência do clima. Tais características ambientais tornam essas áreas inóspitas para usos antrópicos, favorecendo a que esses locais sejam pontos de refúgio da fauna.

Nas áreas de escarpas e serras baixas, ocorre a descarga das águas subterrâneas, podendo haver nascentes d'água, considerados importantes afloramentos do lençol freático para abastecer os rios existentes na bacia hidrográfica da região.

Os rios existentes nas regiões de serras e montanhas têm, ao longo de seu leito, a formação de belas corredeiras e cachoeiras, com grande potencial turístico que deveria ser mais bem aproveitado para visitação e uso (Figuras 3.96 a 3.99).

Figura 3.96 - Forte corredeira formada no rio Jacaré-Pepira, devido ao padrão de relevo montanhoso, gerando na região potencial turístico para a prática de esportes de aventura, como rafting e canoagem (Parque dos Saltos, Brotas, SP).

Figura 3.97 - Nesta porção do rio Mogi-Guaçu, na barragem de Cachoeira de Emas, há uma escada para subida dos peixes, na época da piracema; o turbilhonamento da cachoeira proporciona aumento na oxigenação e depuração das águas do rio (Pirassununga, SP).

Figura 3.98 - Cachoeira de grande beleza cênica para turismo de observação e apreciação da natureza (Cássia dos Coqueiros, SP).

Figura 3.99 - A diferença de relevo gera quedas d'água de grande beleza, como a cachoeira do Saltão (Itirapina, SP).

DOMÍNIO DOS COMPLEXOS ALCALINOS INTRUSIVOS E EXTRUSIVOS, DIFERENCIADOS DO TERCIÁRIO, MESOZOICO E PROTEROZOICO (DCA)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos complexos alcalinos intrusivos e extrusivos, diferenciados do Terciário, Mesozoico e Proterozoico, ocorre em uma área de 516 km^2, o que significa 0,2% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio é subdividido em cinco unidades geológico-ambientais, que apresentam as seguintes áreas: DCAin – 40 km^2; DCAtbr – 104 km^2; DCAsbalc – 7 km^2; DCAalc – 400 km^2; DCAganc – 5 km^2 (Figura 3.100).

O domínio DCA é sustentado por rochas intrusivas e extrusivas, ígneas alcalinas, alcalino-básicas e alcalino-ultrabásicas, caracterizadas por complexa associação de pequenos ou grandes corpos ígneos derivados de várias pulsações magmáticas de composições químicas diferentes, ocorridas em diferentes tempos geológicos.

Os eventos magmáticos formadores dessas litologias ocorreram em diferentes eras, sendo tais rochas cristalizadas em ambientes vulcânicos distintos.

Nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais, a curtas distâncias, podem ocorrer rochas com diferentes composições minerais e texturais, cores e graus de intemperização.

Nos complexos e/ou maciços plutônicos alcalinos, ocorrem mineralizações de apatita, barita, bauxita, cromo, caulim, cobre, magnetita, vermiculita, urânio, terras-raras, nióbio, titânio, tório, molibdênio, rochas fosfáticas e níquel. Este ocorre disseminado em dunitos, encontrando-se concentrado residualmente na forma de garnierita.

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DCA apresentam as seguintes características geológicas:

- DCAin: Unidade formada por intrusivas alcalinas indeterminadas. Exemplo: Corpo Intrusivas Alcalinas.

- DCAtbr: Unidade formada por tufo, brecha e demais materiais piroclásticos. Exemplo: Complexo Alcalino Poços de Caldas.

- DCAsbalc: Unidade formada por uma série subalcalina (monzonitos, quartzomonzonitos, mangeritos). Exemplo: Complexo Alcalino Ipanema.

- DCAalc: Unidade formada por uma série alcalina saturada e alcalina subsaturada (sienito, quartzossienitos, traquitos, nefelina-sienito, sodalita-sienito). Exemplo: Complexo Alcalino Ilha de São Sebastião e Jacupiranga.

- DCAganc: Unidade formada por gabro, anortosito, carbonatito e dique de lamprófiro. Exemplo: Complexo Alcalino Ponte Nova.

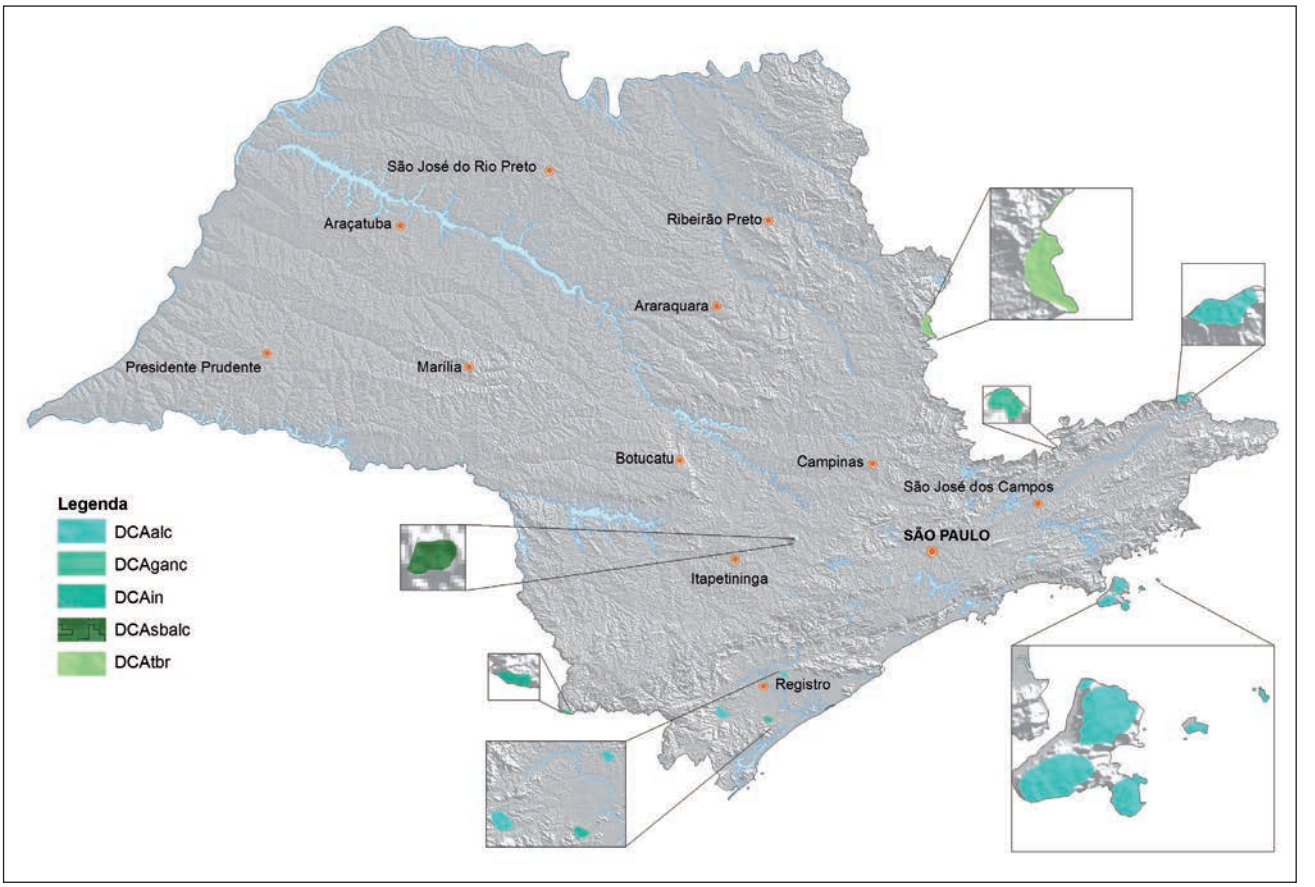


Figura 3.100 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCA no estado de São Paulo.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCA são apresentadas na Figura 3.101. Já as formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.14.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

No domínio DCA há predomínio de litologias que geram solos argilosos, com textura plástica, pegajosa e sedosidade acentuada. Em caso de solos residuais, a permeabilidade varia de baixa, em solos pouco evoluídos, a moderada, em solos bem evoluídos.

Os solos com perfis bem evoluídos são pouco erosivos, facilmente escaváveis, mantêm boa estabilidade em taludes de corte e apresentam bom potencial para utilização como material de empréstimo, devido a qualidades físicas como textura, estrutura e compactação (Figura 3.102).

Ocorrem nesse domínio rochas com textura granular não-foliada, que apresentam elevada resistência à compressão e boa homogeneidade textural e mineral local.

• Limitações

O domínio DCA é formado por uma complexa associação de tipos litológicos plutônicos, com formatos limitados tipo *stocks*, que são intrusões de dimensões inferiores a 100 km^2.

Tais características estruturais e petrográficas das rochas geram limitações para implantação de obras civis, devido aos seguintes fatores:

- Características geomecânicas e hidráulicas diferentes para cada tipo litológico, exigindo estudos geotécnicos detalhados e grande número de ensaios tecnológicos.
- Resistência ao corte e à penetração variando de alta a moderada, devido às diferentes litologias que ocorrem, exigindo, em certos casos, uso de explosivos para executar obras civis do tipo escavações e terraplanagem.
- Alteração diferenciada gera blocos e matacões e, mesmo em solo profundos com pedogênese avançada, podem ocorrer fragmentos de rocha. Em caso de obras como pilares ou fundações, que se apoiem parcialmente nesses blocos ou matacões, tais estruturas podem sofrer problemas como instabilizações e danos estruturais (Figura 3.103).

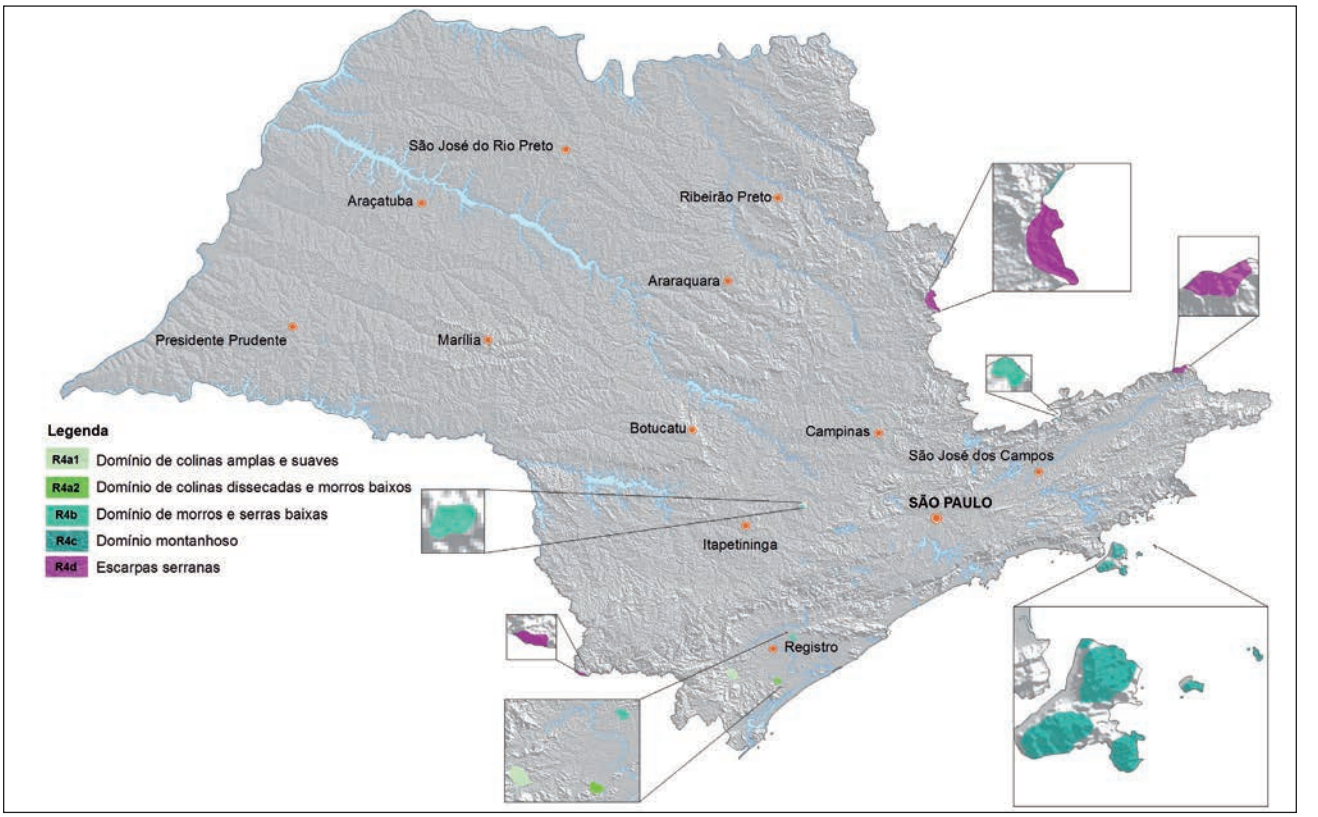


Figura 3.101 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DCA.

- Diferenças no processo de alteração da rocha geram forte irregularidade na profundidade do substrato rochoso, que varia a curtas distâncias.
- Rochas de composição básico-ultrabásica, no início do processo de alteração, transformam-se em solos predominantemente compostos por argilominerais expansivos. Nas áreas em que ocorram tais litologias, não é adequada a implantação de obras do tipo rodovia, devido ao grande volume de solo a ser removido e substituído, com impacto no custo do projeto.
- Solos argilossiltosos são bastantes aderentes e escorregadios quando úmidos e sofrem forte compactação quando submetidos a cargas elevadas.
- O tipo de solo gerado por essas rochas, no caso de ser pouco evoluído, está sujeito ao fenômeno do empastilhamento, ou seja, desagrega-se e fendilha-se em minúsculas pastilhas, ocasionando problemas de erosão e desmoronamento em taludes de corte. A exposição desses solos à alternância dos estados úmido e seco, devido à alternância climática, provoca o fenômeno de empastilhamento.

Quadro 3.14 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DCAin	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCAtbr	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCAsbalc	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
DCAalc	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCAganc	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200

Figura 3.102 - Rocha alterada do complexo alcalino Jacupiranga, formando um espesso perfil de solo muito argiloso (Eldorado, SP).
Fotografia: Projeto Alto Ribeira I.

Figura 3.103 - Afloramentos dispersos de blocos e matacões na superfície do terreno, gerados por forte processo de alteração e erosão (Eldorado, SP).
Fotografia: Projeto Alto Ribeira I.

- No caso das unidades geológico-ambientais em que incidem relevos movimentados, tais como montanhas, escarpas ou morros e serras baixas, as características geomorfológicas, associadas à possibilidade de se encontrar blocos e matacões na fase de terraplanagem, impõem limites à implantação e manutenção de obras civis.

Agricultura

• Adequabilidades

Há, no domínio, predomínio de rochas que, alteradas, geram solos argilosos, liberando vários nutrientes como Na e K e elementos como Fe e Al. Assim, em áreas onde ocorram solos residuais, estes mostram boa fertilidade natural, capacidade alta de reter e fixar nutrientes e assimilam rapidamente a matéria orgânica. Tais características do solo, associadas a um manejo correto e adubação criteriosa, aumentam a produtividade agrícola.

Nas regiões em que o relevo se apresenta suave e o substrato rochoso é de composição básico-ultrabásica, as rochas, ao sofrerem alteração, liberam essencialmente magnésio (Mg) para os solos, o que pode melhorar localmente o potencial agrícola.

Nessas áreas, os solos apresentam alta porosidade e boa capacidade hídrica, mantendo boa disponibilidade de água para a vegetação por um tempo mais longo, mesmo nos períodos de estiagem.

Tais tipos de solos não necessitam de irrigação frequente, pois o parâmetro permeabilidade varia de baixa, nos solos pouco evoluídos, a moderada, nos solos bem evoluídos. Assim, esses solos permanecem por períodos mais longos com umidade não muito próxima da saturação, mesmo em épocas sem chuvas.

• Limitações

As rochas alcalinas intemperizadas geram, predominantemente, solos argilosos; no caso de pedogênese muito avançada, liberam excesso de alumínio, o que torna o solo mais ácido e pouco produtivo.

Esses solos, devido ao predomínio da fração argila, são mais suscetíveis à compactação e impermeabilização, em caso de serem submetidos a pisoteio de gado e/ou uso de maquinário pesado na agricultura ou em atividades rotineiras de uma propriedade rural.

Tal mudança na textura e estrutura do solo pode, pelo tipo de uso, iniciar intensos processos de erosão laminar, mesmo que sejam regiões naturalmente pouco erosivas. A erosão resulta na perda do solo, principalmente dos horizontes mais importantes para agricultura.

A mudança no grau de compactação e de impermeabilização em solos residuais tem como consequência negativa, além do aumento da erosão, a alteração no padrão de velocidade de escoamento das águas superficiais e consequente redução nas taxas de infiltração, interferindo no abastecimento natural dos aquíferos locais.

Tais alterações na estrutura do solo refletem na redução do fluxo do lençol freático, o que interfere em áreas em que ocorram nascentes, podendo levar à extinção dessas importantes fontes naturais, formadoras dos principais cursos d'água da região.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

Os solos argilosos predominantes em todo o domínio têm como características boa capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes, devido às propriedades físicas e químicas das argilas.

Nas áreas em que os perfis de solos são mais profundos, há baixo risco de contaminação das águas subterrâneas pela infiltração de contaminantes do tipo defensivos agrícolas.

Há grande potencial nessas rochas para gerar bons aquíferos, devido à existência de extensas e profundas fraturas interconectadas, que são excelentes condutoras e armazenadoras de parte das águas meteóricas.

Nesse domínio, devido à composição mineral variada das rochas alcalinas, há grande potencial para águas subterrâneas com qualidades medicinais. Por exemplo, a cidade de Águas da Prata, considerada estância hidromineral pelas características hipotermais, radioativas e bicarbonatadas sódicas originadas pela percolação das águas nas fraturas e falhas existentes nas rochas alcalinas.

• Limitações

Como as rochas formadoras dos complexos alcalinos geralmente são portadoras de grandes fraturas abertas, irregularmente distribuídas, produtos poluentes derramados nessas áreas podem se infiltrar e contaminar rapidamente os aquíferos subterrâneos.

Nas áreas em que as rochas afloram e os solos são pouco espessos, cuidados especiais devem ser tomados com todas as fontes potencialmente poluidoras, como, por exemplo, tanques armazenadores de produtos químicos ou de combustíveis.

As rochas nas quais as águas subterrâneas circulam e ficam armazenadas através de falhas, fraturas e outras descontinuidades estruturais são classificadas como aquíferos fissurais (Figura 3.104).

Figura 3.104 - Afloramento de rocha exibindo o padrão de fraturamento bem marcado que ocorre nas rochas do complexo alcalino, que favorece a percolação de água, abastecendo os aquíferos profundos da região (Eldorado, SP).
Fotografia: Projeto Alto Ribeira I.

O potencial do aquífero em ambientes fraturados depende das características estruturais das rochas, como densidade e interconectividade das fraturas, e de fatores externos, que é a condição climática da região.

Esses aquíferos têm potencial local bastante irregular, ocorrendo de um poço apresentar uma excelente vazão e outro, imediatamente ao lado, apresentar vazão zero.

Os solos argilosos pouco permeáveis disponibilizam pouca água para circulação, pois o manto de alteração tem baixo potencial hídrico.

As regiões em que o relevo se apresenta mais acidentado são desfavoráveis à recarga das águas subterrâneas, mesmo em períodos de forte pluviosidade, pois o escoamento das águas superficiais para os canais de drenagem será mais rápido que a infiltração no solo e rocha para abastecer os aquíferos locais.

Assim, nas áreas em que o relevo varia de morros e serras baixas a escarpas serranas, a preservação da cobertura vegetal tem papel fundamental para reter as águas das chuvas e aumentar as taxas de infiltração, ocasionando intensa recarga dos aquíferos locais.

Potencial mineral

As rochas formadoras dos complexos alcalinos apresentam boas características físico-químicas e texturais para utilização como rocha ornamental, brita, saibro e pedra de cantaria (Figura 3.105).

Figura 3.105 - Área de escavação para extração de saibro para uso na manutenção das estradas sem pavimentação da região (Eldorado, SP).
Fotografia: Projeto Alto Ribeira I.

No Quadro 3.15 são apresentados os tipos de ocorrências minerais de cada unidade geológico-ambiental formadora do domínio DCA.

No domínio DCA há também ambiência geológica favorável às mineralizações de cobre, magnetita, urânio, terras-raras, cromo, molibdênio e rochas fosfáticas.

Nos complexos alcalinos de Juquiá e de Jacupiranga, os carbonatitos são explorados para extração de cimento do tipo *portland* e calcário para uso na correção de solo. Os minerais fosfatados, como apatita e fluorapatita, são utilizados para fabricação de fertilizantes. Além disso, existem rochas enriquecidas em magnetita que são utilizadas na produção de aço.

Há ocorrências de águas minerais com excelentes qualidades físico-químicas e de usos medicinais nas rochas alcalinas da região da cidade de Águas da Prata.

Quadro 3.15 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DCA	DCAalc	Al, Fe, Ni, Ti	Apatita	Carbonatitos	ND
	DCAganc	ND	ND	ND	ND
	DCAin	Ba, Fe	ND	ND	ND
	DCAsbalc	Fe, Ti	Apatita	ND	ND
	DCAtbr	Al (bauxita), Zr	ND	ND	Água mineral

Obs.: ND = Não-Detectado.

Aspectos ambientais e potencial turístico

A grande variação de relevo revela um aspecto ambiental marcante, pois, nas regiões montanhosas e escarpadas existe franco processo de dissecação, portanto, são naturalmente fontes de alta carga de sedimentos, gerando solos de baixa qualidade e assoreando rios.

Em regiões em que predominam relevos de colinas e morros baixos, as rochas têm menor resistência ao intemperismo e formam solos com melhor qualidade. Nas amplas planícies existentes entre esses morros, podem ocorrer enchentes de longa duração e assoreamento dos rios e córregos.

Nas regiões de relevo predominantemente montanhoso ou de escarpas serranas, pode ocorrer, ao longo das encostas, a formação de cachoeiras, corredeiras, cascatas e pequenas piscinas naturais.

Em Ilha Bela, os relevos montanhosos são sustentados pelos maciços rochosos alcalinos de São Sebastião e da Serraria. Tais paisagens acidentadas formam mais de 360 cachoeiras, belas praias, baías e pequenas enseadas, como as existentes na península do Boi.

Os fragmentos expressivos de florestas de Mata Atlântica preservados nos topos da serra de Ilha Bela compõem um conjunto de paisagens contrastantes de relevo acidentado e mar, o que potencializa a região do arquipélago para o desenvolvimento do turismo ecológico.

A região da cidade de Águas da Prata é classificada como estância hidromineral, devido à ocorrência de águas minerais com qualidades medicinais. Estas podem ser aproveitadas no balneário Teotônio Vilela, com uso para termalismo, hidroterapia e crenologia (estudo das propriedades medicinais das substâncias encontradas na análise físico-química das águas minerais).

DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS DE BAIXO A MÉDIO GRAU (DSP2)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio das sequências sedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a médio grau, ocorre em 4.081 km² de área, o que significa 1,7% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio é subdividido em cinco unidades geológico-ambientais, que apresentam as seguintes áreas: DSP2mqmtc – 1.800 km²; DSP2mqsafmg – 261 km²; DSP2msa – 530 km²; DSP2msag – 890 km²; DSP2mcsaa – 600 km² (Figura 3.106).

As sequências metassedimentares proterozoicas, complexamente e diferentemente dobradas e metamorfizadas de baixo grau, apresentam grande possibilidade de os afloramentos serem de rochas sãs.

São sequências representadas por intercalações irregulares de camadas ou lentes das mais diversas espessuras de metassedimentos síltico-argilosos, arenosos, conglomeráticos, associados a calcários.

Os metassedimentos existentes no domínio são formados à base de argila e de quartzo. Em caso de predomínio de argilas, estas formam solos problemáticos. Se o predomínio for de quartzo, essas rochas apresentam moderada a alta resistência ao intemperismo físico-químico.

As rochas mais dúcteis foram complexamente e diferentemente dobradas, resultando em estratos com mergulhos que podem variar, a curtas distâncias, de horizontalizados a verticalizados.

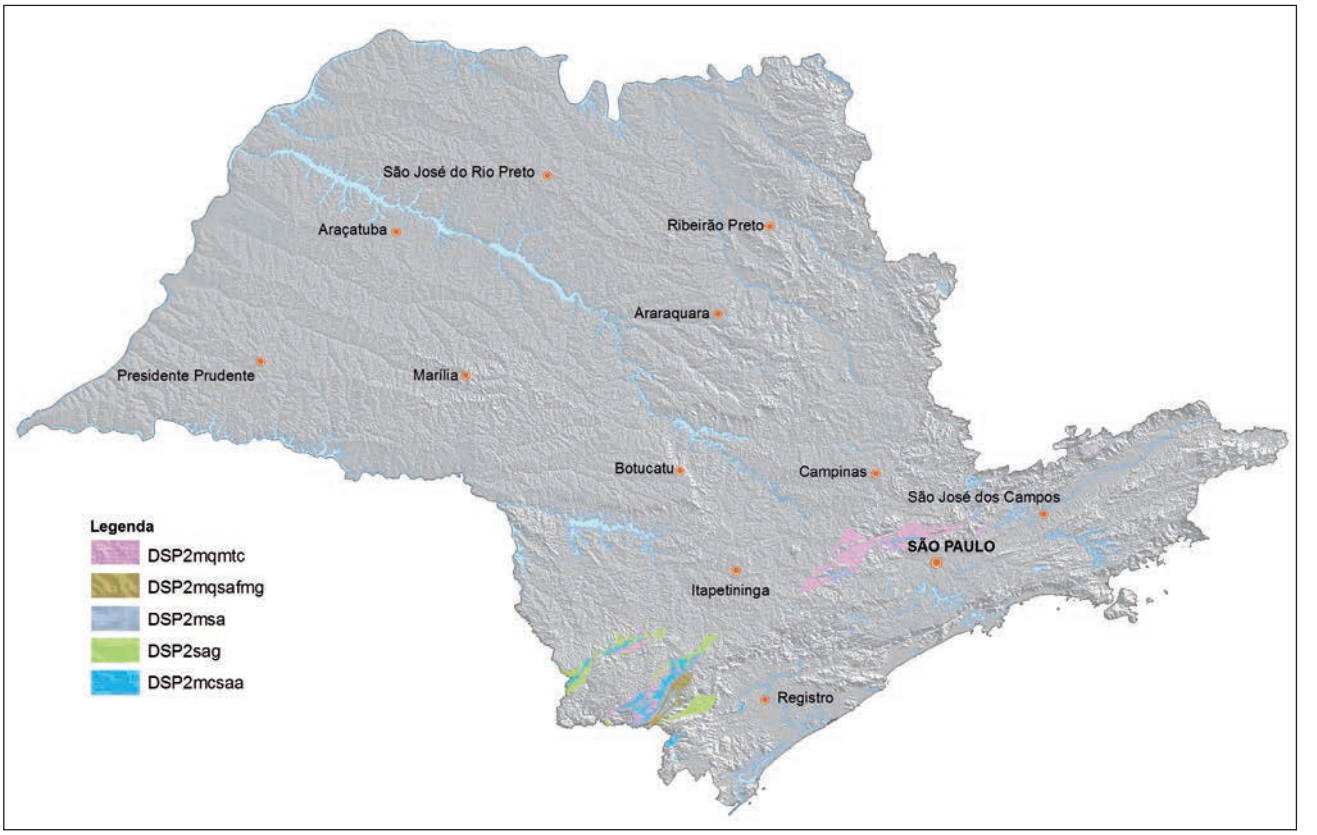


Figura 3.106 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DSP2 no estado de São Paulo.

Nos tipos litológicos onde há predomínio de xistos, filitos, metassiltitos e metargilitos e que em sua composição predominem minerais micáceos isorientados, como a sericita, tais rochas serão portadoras de superfícies planares muito espaçadas e apresentarão alta fissilidade.

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DSP2 possuem as seguintes características geológicas:

- DSP2mqmtc: Unidade formada por metarenito, quartzitos e metaconglomerados. Exemplo: Formação Serra da Boa Vista.

- DSP2mqsafmg: Unidade com predomínio de metarenitos e quartzitos, com intercalações irregulares de metassedimentos síltico-argilosos e formações ferríferas ou manganesíferas. Exemplo: Formação Ribeirão das Pedras.

- DSP2msa: Unidade formada por intercalações irregulares de metassedimentos arenosos e síltico-argilosos. Exemplo: Formação Iporanga, unidade metapelítica.

- DSP2sag: Unidade com predomínio de metassedimentos síltico-argilosos, com intercalações de metagrauvacas. Exemplo: Formação Furnas Lageado, unidade terrígena.

- DSP2mcsaa: Unidade com predomínio de metacalcários, com intercalações subordinadas de metassedimentos síltico-argilosos e arenosos. Exemplo: Formação Furnas Lageado, unidade carbonática.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DSP2 são apresentadas na Figura 3.107. Já as formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.16.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

Nas regiões de relevo de colinas e morros baixos, em que há predomínio de rochas metareníticas e quartzíticas, estas apresentam reduzido grau de coerência e moderada resistência ao corte e à penetração, sendo escavadas com certa facilidade por ferramentas e maquinários de corte leves.

Como são metassedimentos à base de quartzo, têm como característica diferencial a resistência ao intemperismo físico-químico, que varia de moderada a alta, formando um manto de alteração com predomínio da fração arenosa.

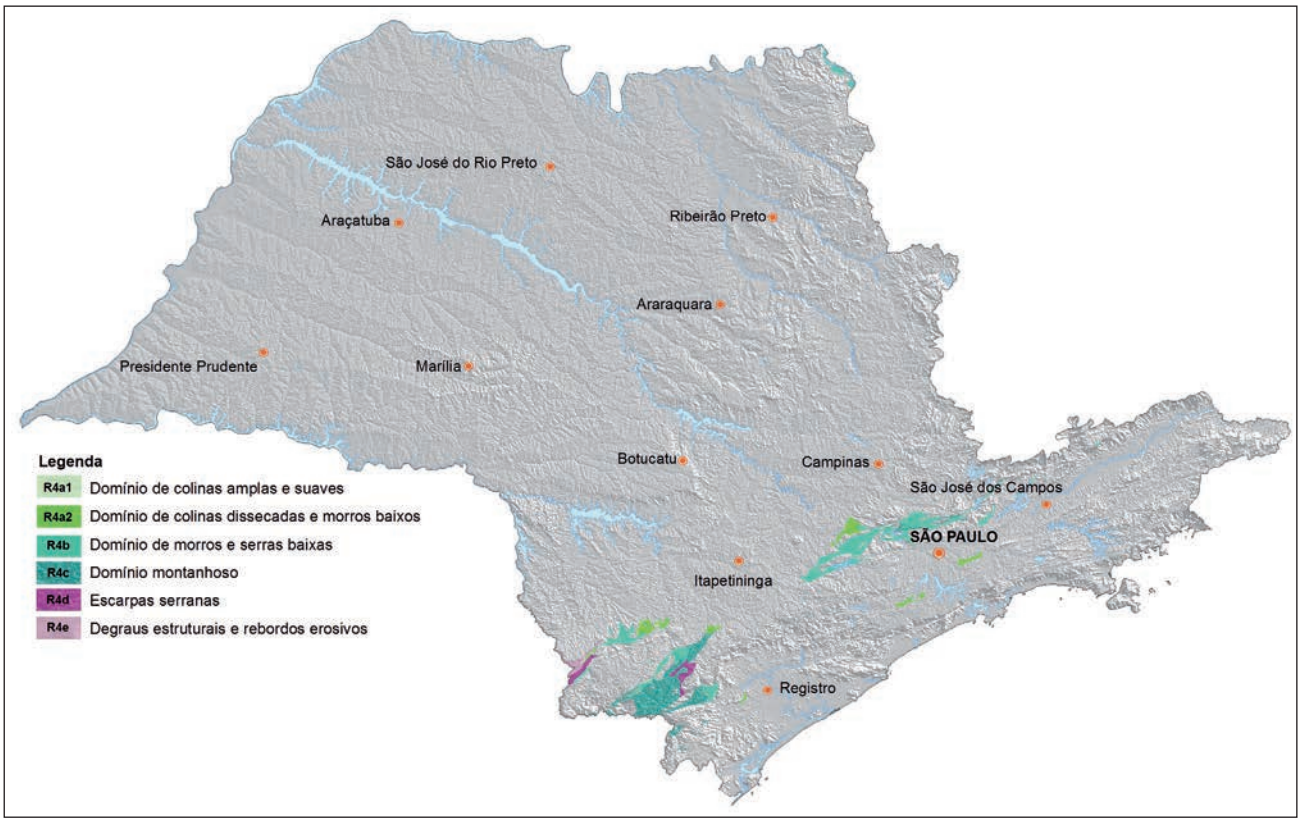


Figura 3.107 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DSP2.

Quadro 3.16 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DSP2mqmtc	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DSP2mqsafmg	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DSP2msa	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DSP2sag	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
	R4e	Degraus estruturais e rebordos erosivos	10 a 25	50 a 200
DSP2mcsaa	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4e	Degraus estruturais e rebordos erosivos	10 a 25	50 a 200

Em áreas em que há predomínio de metassedimentos arenosos e síltico-argilosos, os solos residuais com pedogênese avançada apresentam baixa erosividade natural, mas deverá ser preservada a cobertura vegetal natural.

Os metacalcários alteram-se para solos argilossiltosos. Nas áreas de relevo mais suavizado e onde ocorra pedogênese avançada, estes apresentarão baixa erosividade natural e boa capacidade de compactação. Assim, no caso de execução de taludes de corte, as obras devem manter boa estabilidade frente a processos intempéricos.

• Limitações específicas

Nas áreas de relevo mais acidentado, onde as rochas aflorantes são as sequências sedimentares formadas por metarenitos, quartzitos e metaconglomerados, estas têm como características grau de dureza elevado e forte abrasividade, limitando atividades construtivas como obras de terraplanagem e escavações. Talvez seja necessário o uso de explosivos para instalação de infraestrutura subterrânea.

O relevo forte ondulado que predomina nessas áreas exigirá, na implantação de estradas, a construção de taludes altos, com obras de contenção que podem onerar o projeto (Figura 3.108).

Figura 3.108 - Relevo montanhoso associado a rochas alteradas necessita de obras de contenção mais complexas, para manter a estabilidade dos taludes gerados pela construção da rodovia (Caieiras, SP).

São rochas problemáticas para o uso de sondas rotativas, pois, como o quartzo é o mineral principal formador, pode provocar desgaste rápido das brocas, onerando esse tipo de investigação geotécnica.

Tais litologias apresentam baixa resistência ao cisalhamento, razão pela qual se apresentam bastante fraturadas e falhadas em várias direções, o que facilita o desprendimento de blocos e placas rochosas. Os estratos apresentam mergulhos variando de horizontalizados a verticalizados, influenciando na posição do substrato rochoso, que poderá se situar próximo à superfície topográfica ou mais profundamente.

Em áreas de relevo movimentado e onde ocorra alternância irregular de camadas de sedimentos arenoquartzosos conglomeráticos e síltico-argilosos, pode-se encontrar, a curtas distâncias, litologias e solos residuais com as mais diferentes e contrastantes características geomecânicas e hidráulicas.

As camadas dessas sequências metassedimentares estão depositadas de forma irregular e com diversas espessuras, apresentando características diferentes, como: composição litológica, arranjo mineral e grau de consolidação e alteração. Além das origens diferentes, são metamorfizadas e tectonizadas em variados graus e em condições rúpteis, gerando fraturas e falhas de características geomecânicas e hidráulicas muito contrastantes.

Nas regiões em que ocorrem metarenitos e quartzitos intercalados de forma irregular com metassedimentos síltico-argilosos e formações ferríferas ou manganesíferas, essa sequência metassedimentar apresenta camadas dobradas de espessuras e texturas diferentes, influenciando variadas características geotécnicas e hidráulicas.

Tais variações litológicas ocorrem tanto na horizontal como na vertical e a pequenas distâncias no terreno pode se encontrar, associado a essas formações rochosas muito deformadas, solo residual com variadas espessuras e com certa pedregosidade. Tanta variabilidade no contexto geólogico e nos tipos de solo exigirá um número maior de ensaios de campo diretos e indiretos, para auxiliar no planejamento e na execução de projetos e obras civis nessas regiões.

Como predominam relevos montanhosos e escarpados, esse padrão geomorfogenético limita a ocupação com obras civis como estradas ou dutos, dificultando as atividades de manutenção das obras já existentes.

Nas unidades DSP2sag e DSP2msa, ocorrem variados tipos litológicos complexamente e diferentemente dobrados e metamorfizados em baixo grau, características geológicas limitadoras à implantação de obras civis.

As características geomecânicas e hidráulicas do substrato rochoso e dos solos residuais dessas unidades variam e contrastam-se bastante de região para região, como de local para local, tanto na lateral como na vertical, impactando os custos tanto na fase de planejamento como na de execução de obras civis do tipo lineares.

Nesses terrenos, a profundidade do substrato rochoso apresenta-se bastante irregular, com maior potencial de desestabilização em taludes de corte e de movimentos naturais de massa, além da possibilidade de haver solos residuais pouco evoluídos portadores de argilominerais expansivos, tornando-se bastante erosivos e colapsíveis caso sejam submetidos à alternância dos estados úmido e seco.

As camadas formadas por sedimentos síltico-argilosos podem ser maciças e bastante rijas ou finamente laminadas e de alta fissibilidade. Geralmente, são portadoras de argilominerais expansivos que desagregam facilmente em pequenas pastilhas, no caso de as camadas ficarem expostas às variações climáticas.

A formação de pequenos e grandes corpos de metassedimentos à base de quartzo isorientado, geralmente bastante fraturados, facilita a queda de placas rochosas em taludes de corte verticalizados. Por se tratar de litologias à base de quartzo, são rochas bastante abrasivas, que apresentam moderada a alta resistência ao corte e à penetração; quando sujeitas ao intemperismo físico-químico, geram solos arenosos suscetíveis a fortes processos erosivos.

As metagrauvacas que ocorrem intercaladas nos metassedimentos síltico-argilosos apresentam granulometria e comportamento geotécnico bastante heterogêneos.

Ocorrem nessa unidade metassedimentos de textura filítica, formada por minerais micáceos isorientados, principalmente a sericita, e marcante estratificação planoparalela. Devido à existência de finas camadas síltico-argilosas, que são, geralmente, portadoras de argilominerais expansivos, essas rochas apresentam grande fissibilidade (propriedade da rocha em se dividir em placas perfeitas), característica que pode ocasionar acidentes geotécnicos do tipo queda de blocos ou desplacamentos em taludes de corte muito verticalizados.

Essas rochas, devido à alta cerosidade, são problemáticas para perfuração com sondas rotativas, pois, ao sofrerem alteração, geram solos argilossiltosos que se tornam muito escorregadios e aderentes quando úmidos.

As rochas metacalcárias apresentam intercalações subordinadas de metassedimentos síltico-argilosos e arenosos. Tais terrenos calcários se dissolvem com facilidade pela ação das águas das chuvas. Portanto, podem conter cavidades de vários tamanhos, sujeitas a desmoronamentos subterrâneos, ocasionando colapsos e subsidência na superfície, que podem ser abatimentos lentos ou bruscos.

No caso dos terrenos calcários, é importante proceder a estudos geotécnicos detalhados, incluindo métodos geofísicos, na fase de anteprojeto de obras civis, devido à ocorrência de camadas com diferentes composições litológicas intercaladas de forma irregular na formação calcária.

Nas áreas onde ocorram dolinas, deve-se manter um raio de proteção para evitar qualquer tipo de ocupação ou construção próximo a essas depressões no solo, que é uma estrutura típica de relevos cársticos.

Nessa unidade, há maior possibilidade de os solos residuais serem portadores de argilominerais expansivos. Essas argilas, em contato com a água, sofrem forte expansão, com aumento da plasticidade, ocasionando diminuição da resistência do solo.

Ocorre maior potencial de desestabilização em taludes de corte devido ao predomínio de litologias finamente laminadas e de alta fissibilidade, principalmente se forem escavações executadas em posição desfavorável ao mergulho dos estratos.

Agricultura

• Adequabilidades específicas

As rochas metareníticas, quartzíticas e metaconglomerados se alteram para solos geralmente arenosos que apresentam baixa fertilidade natural, são ácidos e de baixa capacidade de reter e fixar elementos e de assimilar matéria orgânica, mas podem ocorrer manchas de solos argilossiltosos que apresentam qualidades agrícolas diferenciadas.

Devido a essa grande variação litológica, pode ocorrer a formação de solos argilossiltosos em áreas com relevos suavizados, os quais apresentam menor erosividade e melhor fertilidade natural. Embora a ocorrência desse tipo de solo seja restrita a essas porções de relevo mais plano, quando ocorrem, respondem bem à adubação. No caso de esse tipo de solo ocorrer próximo a áreas urbanizadas, poderá ser utilizado no cultivo de hortifrutigranjeiros, originando pequenos cinturões verdes próximos a centros de consumo.

No caso a figura 3.109 mostra um exemplo onde esta unidade ocorre em um padrão de relevo montanhoso com solo arenoso, características restritivas para o uso agrícola, mas tem uma grande área no topo sendo utilizada para reflorestamento.

Figura 3.109 - Em área de relevo montanhoso e solo arenoso, o topo é utilizado para reflorestamento (Caieiras, SP).

Os metarenitos e quartzitos com intercalações irregulares de metassedimentos síltico-argilosos e formações ferríferas ou manganesíferas ocorrem em pequenas áreas e são espaços limitados onde poderá ser desenvolvida agricultura de subsistência. No entanto, deverão ser utilizadas práticas conservacionistas e de melhoramento do solo para se alcançar resultados interessantes de produtividade.

Nas regiões de relevos acidentados e onde há predomínio de solos areno-síltico-argilosos, formados da alteração das rochas das sequências metassedimentares arenosas e síltico-argilosas, há restrição de espaço para o uso agrícola.

A silvicultura, nessas áreas, é uma alternativa econômica viável, utilizando-se a espécie pínus, com a madeira retirada sendo processada nas fábricas de celulose instaladas na região.

Tais áreas de reflorestamento são acessadas por estradas sem pavimentação e com trânsito intenso de caminhões e equipamentos pesados, o que gera excesso de poeira, devido ao solo conter muita argila.

Os metacalcários, com intercalações subordinadas de metassedimentos síltico-argilosos e arenosos, quando intemperizados formam solos argilosos ou argilossiltosos.

Essas rochas, desde que não sejam muito impuras, quando sofrem alteração liberam vários nutrientes, principalmente cálcio e magnésio para o solo.

Os solos gerados da alteração dos calcários são pouco permeáveis, têm boa fertilidade natural, alta porosidade, baixa erosividade e são ácidos. Possuem boa capacidade de fixar nutrientes e de assimilar matéria orgânica, respondendo bem à adubação, o que reflete no aumento da produtividade agrícola. Como retêm muita água, são classificados como de boa capacidade hídrica. Assim, em períodos de estiagem, mantêm grande disponibilidade de água para a vegetação nativa e em áreas cultivadas.

• Limitações específicas

As rochas arenoquartzosas apresentam camadas dispostas de forma irregular. Quando submetidas ao intemperismo, alteram-se de forma diferenciada, gerando solos predominantemente arenosos e, restritamente, síltico-argilosos.

Os solos arenosos apresentam erosividade alta, são bastante permeáveis, ácidos e com baixa capacidade hídrica, pois perdem água rapidamente após períodos de chuva. Apresentam baixa capacidade de reter, fixar nutrientes e assimilar matéria orgânica, respondendo mal à adubação; consequentemente, refletindo na baixa produtividade agrícola. Esses solos são inadequados para a agricultura intensiva, principalmente para o plantio de culturas de raízes curtas e de ciclo curto.

Ocorrem nessa unidade intercalações irregulares de camadas dobradas, de diversas espessuras e litologias que se alteram para solos com características físico-químicas muito diferentes, afetando a qualidade e a produtividade agrícola (Figura 3.110).

Nas restritas áreas de ocorrência da unidade DSP2mqsafmg, o relevo apresenta declividade média acima de 30°, sendo tal característica uma limitação para o uso agrícola. Nessas áreas muito inclinadas, os processos de erosão hídrica laminar e concentrada são intensos, interferindo de forma severa, com a formação de solos rasos, onde o horizonte orgânico apresenta-se inexpressivo, o que dificulta o desenvolvimento de vegetação.

Os metassedimentos síltico-argilosos com intercalações irregulares de camadas arenosas e de metagrauvacas apresentam-se dobrados, com diversas espessuras. Alteram para solos com características físico-químicas muito diferentes, o que ocasiona forte variação na qualidade e na produtividade agrícola dessas regiões.

Figura 3.110 - Relevo de colinas dissecadas que, associado a solo arenoso, limita o uso para agricultura (Nazaré Paulista, SP).

Nas áreas onde os solos forem argilosos ou argilossiltosos, estes são naturalmente pouco permeáveis e, por isso, sofrem compactação e impermeabilização no caso de excessivamente mecanizados. O manejo incorreto causa erosão laminar na camada superficial do solo e o carreamento de sedimentos para rios, riachos e córregos localizados próximos a essas áreas.

Os metassedimentos síltico-argilosos, quando sofrem intemperismo, liberam muito alumínio, sendo classificados como ácidos e de baixa fertilidade natural.

A ocorrência de rochas de variadas composições minerais, grau de resistência alto e complexo dobramento reflete em relevos predominantemente montanhosos e escarpados. Tais características, associadas à baixa qualidade do pouco solo formado por essas rochas ao longo das vertentes, restringem o aproveitamento agrícola (Figura 3.111).

Figura 3.111 - Área de relevo muito acidentado, que restringe o aproveitamento agrícola (Bom Sucesso de Itararé, SP).

As rochas calcárias formam solos argilosos e argilossiltosos, com os primeiros sendo pouco permeáveis. Havendo necessidade de irrigação, deve-se adotar o método do gotejamento. Outras técnicas de irrigação aumentariam o potencial erosivo, devido à dificuldade de infiltração, que gera a baixa permeabilidade do solo argiloso.

São solos com facilidade de sofrer compactação e impermeabilização, caso sejam excessivamente mecanizados ou pisoteados pelo gado, podendo ocorrer erosão hídrica laminar na camada superficial.

Um solo argiloso, naturalmente pouco erosivo, pode se tornar mais erosivo que um solo arenoso devido a um manejo inadequado.

Quando esses solos argilosos são submetidos à umidade, tornam-se excessivamente plásticos e pegajosos, sendo difíceis de serem mecanizados nas épocas de chuvas intensas, causando aderência excessiva nos equipamentos e ferramentas; em épocas de seca, entram facilmente em suspensão, gerando muita poeira.

Figura 3.112 - O relevo montanhoso, com vegetação bem preservada nos topos e vertentes, evita os processos erosivos e consequente assoreamento das drenagens e barragens (Nazaré Paulista, SP).

Nas regiões com predominância de terrenos com composição calcária, ocorre a formação de dolinas – estruturas de dissolução que são pontos de fácil acesso de contaminantes. Assim, nas proximidades de terrenos com relevo cárstico, deve-se praticar a agricultura orgânica, pois o uso de defensivos agrícolas pode contaminar rapidamente as águas subterrâneas.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades específicas

Na unidade DSP2mqmtc, as camadas variam de forma irregular, de horizontalizadas a sub-horizontalizadas, e estão diferentemente tectonizadas, gerando configuração morfolitoestrutural, permeabilidade e porosidade bastante variadas, constituindo-se em rochas favoráveis à existência de importantes armadilhas hidrogeológicas.

As características geológicas variadas dessa unidade formam dois tipos de aquíferos: confinados e semiconfinados, que podem ser porosos ou fraturados.

Ocorrem nessa unidade camadas com grande expressividade areal ou territorial que apresentam boa homogeneidade hidrodinâmica lateral.

Como nessa unidade há predomínio de rochas à base de quartzo, geralmente portadoras de alta densidade de fraturas abertas dispostas em várias direções, tais características geológicas e estruturais aumentam a permeabilidade e a porosidade secundária, potencializando a existência de aquíferos produtivos.

Nas regiões em que ocorrem relevos mais acidentados e com vegetação mais preservada, há menor risco de assoreamento de rios e barragens (Figura 3.112).

Na unidade DSP2mqsafmg, devido ao predomínio de relevo acidentado, as águas superficiais escoam com velocidade pelas drenagens, não havendo tempo necessário para infiltração no solo para a recarga dos aquíferos subterrâneos na região.

Tal padrão de escoamento hídrico das águas das chuvas aumenta os processos naturais de oxigenação e de autodepuração, resultado do fluxo turbulento provocado nos rios, riachos e córregos da região.

Nas regiões onde há predomínio de metassedimentos síltico-argilosos, os solos residuais são pouco permeáveis e com alta capacidade de reter e eliminar poluentes. Onde houver perfis de solos espessos, o potencial de contaminação do lençol freático será reduzido.

As rochas calcárias formam aquíferos cársticos que podem conter grandes cavidades subterrâneas preenchidas com água, constituindo-se em áreas com potencial hidrogeológico local, pois sofrem recarga e descarga de forma muito rápida.

Em caso de predomínio de solos residuais, estes são pouco permeáveis e com alta capacidade de reter e eliminar poluentes; se esses perfis forem espessos, há pouca possibilidade de ocorrer contaminação das águas subterrâneas por produtos químicos ou orgânicos.

• Limitações específicas

Existe uma alternância irregular de litologias na unidade formada por metarenitos, quartzitos e metaconglomerados que resulta em grande diferença de permeabilidade e porosidade. Tais rochas formam solos que alternam de alta a baixa a capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes.

Assim, a contaminação das águas subterrâneas, nessas regiões, pode variar em áreas próximas. Em caso de solos arenosos, a vulnerabilidade será alta; em solos argilosos, será baixa.

A ambiência geológica favorece a existência de rochas arenoquartzosas com intercalações irregulares de metassedimentos síltico-argilosos, que se apresentam densamente fraturadas e falhadas. Tais rochas, devido a esse padrão estrutural, são mais vulneráveis à infiltração e à contaminação das águas subterrâneas, por exemplo, com defensivos químicos e orgânicos em áreas rurais.

Em locais onde as rochas afloram, cuidados especiais devem ser tomados com fontes potencialmente poluidoras.

Nessas unidades, em muitos locais, a permeabilidade e a porosidade dos sedimentos arenosos e conglomeráticos podem estar prejudicadas pela diagênese acentuada ou pelo processo de silicificação que preenche esses espaços, reduzindo a capacidade de armazenamento de água.

Nos aquíferos fissurados, o potencial local apresenta-se bastante irregular. A exploração de águas subterrâneas depende da densidade, do tamanho e da interconectividade das fissuras, assim como da influência de fatores exógenos, como o clima da região. Assim, em determinada área, um poço pode produzir excelente vazão, enquanto outro, imediatamente ao lado, pode estar seco.

A qualidade das águas subterrâneas, em poços perfurados na unidade arenoquartzosa intercalada com metassedimentos síltico-argilosos e formações ferríferas ou manganesíferas, pode estar comprometida pelo alto teor de ferro em sua composição química.

Em áreas onde predominem apenas as rochas arenoquartzosas, a perfuração de poços tubulares pode se tornar onerosa devido ao rápido desgaste das brocas pelo poder abrasivo dessas litologias.

Nas áreas de ocorrência das unidades DSP2msa e DSP2sag, há alternância irregular de litologias arenosas e síltico-argilosas, que, ao sofrerem intemperismo, formam solos residuais que apresentam uma variação entre alta e baixa na capacidade de reter e depurar poluentes, refletindo, da mesma forma, na vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos existentes.

O potencial de exploração dos aquíferos dessas litologias depende da densidade, do tamanho, da interconectividade das fissuras e do clima local. Tal variação hidrogeológica reflete na vazão dos poços: um poço pode produzir excelente vazão, enquanto outro, imediatamente ao lado, pode estar seco. Em aquíferos fissurais, o potencial de exploração dos lençóis de águas subterrâneas é irregular.

Nas rochas metacalcárias, as águas subterrâneas circulam e armazenam-se em cavidades (grutas e cavernas) formadas pela dissolução dos carbonatos.

São rochas classificadas como aquíferos cársticos, que apresentam características hidrodinâmicas complexas e potencial hidrogeológico bastante irregular: um poço pode produzir excelente vazão, enquanto outro, imediatamente ao lado, pode estar seco.

Os terrenos calcários costumam conter cavidades de ligação entre os fluxos de água superficial e subterrâneo (dolinas e sumidouros de drenagem, locais com alto potencial de colapso e subsidência).

Em caso de o bombeamento não for bem planejado, poderá ocasionar a descompressão das cavidades naturais, com desmoronamentos subterrâneos, colapsos na superfície, rebaixamento do lençol freático e secamento das águas superficiais existentes em rios no entorno desses poços.

Em áreas sustentadas por rochas calcárias intensamente dobradas, existem muitas dolinas e sumidouros de drenagem, sendo tais estruturas pontos que ocorrem no encontro dos fluxos de água superficial e subterrâneo e por onde os poluentes podem alcançar rapidamente as águas subterrâneas.

Essas rochas calcárias dobradas apresentam padrão intenso de fraturamento e, por isso, são bastante percolativas.

Ocorrem nessa unidade terrenos onde se alternam irregularmente, entre si, litologias e solos residuais de alta e baixa capacidade de reter e depurar poluentes.

A vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas pode ser, na maioria das vezes, de local para local, de baixa a alta.

O manto de alteração existente é pouco permeável e se mostra desfavorável à recarga das águas subterrâneas.

Potencial mineral

A unidade arenoquartzosa tem potencial para areia e cascalho; em áreas restritas, há ocorrência de argila vermelha e argila plástica.

Tais sequências metassedimentares apresentam ocorrência de metalamitos com registros de fósseis da espécie *Cloudina riemkeae*. Nos metarritmitos foram identificados microfósseis de *Cloudina rienkeae* e *Titanotheca coimbrae*.

Em áreas restritas, onde afloram metassedimentos arenoquartzosos com intercalações síltico-argilosas e formações ferríferas e manganesíferas, há ocorrências de Ag, Au, Fe, Mn, Pb e Zn, por exemplo, na região do município de Iporanga.

Existem ocorrências de mineralizações de Ag, Au, Cu, Fe, Mn, Pb, barita, fluorita e fosfatos, assim como potencial para exploração de rochas para uso na construção civil, como ardósias, quartzitos e leucofilitos nos metassedimentos arenosos e síltico-arenosos com intercalações de metagrauvacas.

Ocorre nessa unidade, na região do município de Alumínio, extração de filito, ardósia e xisto.

As ocorrências dos metais Au, Ag e Pb estão concentradas na região do município de Apiaí.

No Quadro 3.17 são apresentados os tipos de ocorrências minerais em cada unidade geológico-ambiental formadora do domínio DSP2.

Quadro 3.17 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DSP2	DSP2mqmtc	Au, Pirita, Pb, Zn	Calcita Talco	Ardósia Areia Argila Argila vermelha Argila plástica Cascalho Calcário Dolomito Filito Xisto	Água mineral
	DSP2mqsafmg	Ag, Au, Fe, Mn, Pb, Zn	ND	ND	ND
	DSP2msa	Ag, Au, Ba, Cu, Fe, Mn, Pb	Fluorita Caulim Fosfatos	Ardósia Calcário Quartzitos e Leucofilitos	ND
	DSP2sag	Ag, Au, Ba, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn	Caulim Fluorita Fosfatos Talco	Ardósia Calcário Dolomito Filito Leucofilitos Quartzito	Água mineral
	DSP2mcsaa	Ag, Au, Cu, Fe, Pb, Pirita, Zn	Talco	Brita Calcário Dolomito Mármore	ND

Obs.: ND = Não-Detectado.

Na região de ocorrência do calcário, essa rocha é utilizada na fabricação de corretivo de solo, cimento e cal, podendo servir, também, como rocha ornamental (mármore) ou britada para uso na construção civil. Há, também, ocorrência de talco associada a esses calcários.

A rocha calcária tem múltiplas aplicações; por exemplo, nas indústrias farmacêutica e siderúrgica.

Na região de Apiaí e Iporanga, existem minas de calcário dolomítico e calcítico em atividade.

Aspectos ambientais e potencial turístico

A grande variação de tipos litológicos existentes na unidade DSP2mqmtc – formada em diferentes ambientes deposicionais –, que sofreram fortes deformações tectônicas e certo grau de metamorfismo e foram modelados por intensos processos erosivos, gerou um padrão de relevo extremamente diversificado, ocorrendo colinas, morros e serras baixas, montanhas e escarpas serranas.

A unidade DSP2mqsafmg tem boa parte de sua extensão territorial no lado nordeste situada dentro dos limites do Parque Estadual Intervales. Parte dessa unidade se localiza dentro de uma área de conservação que restringe o uso e a ocupação do solo com intervenções antrópicas, protege as nascentes do rio Ribeira, a vegetação de Mata Atlântica e, consequentemente, a fauna associada a esse bioma.

Os sistemas de drenagem dessa unidade estão em franco processo de entalhamento, onde a atuação frequente de erosão laminar possibilita a existência de movimentos de massa, associada à formação de depósitos de tálus e colúvios nas baixas vertentes.

Nas unidades DSP2msa e DSP2sag, devido à diversidade de tipos de rochas e aos intensos dobramentos a que foram submetidas, predominam terrenos de relevo bastante diversificado, com muitas porções montanhosas e escarpadas (Figura 3.113).

Tais porções montanhosas e escarpadas são favoráveis a que o lençol freático aflore em vários pontos, formando inúmeras nascentes, sendo, por isso, consideradas áreas de grande importância hídrica para a região. Assim, os rios existentes nessas regiões de relevo acidentado têm, ao longo de seu curso, a formação de cachoeiras, corredeiras e piscinas naturais.

Nessas unidades, há predomínio de áreas com relevo de degradação, que estão em franco e acelerado processo de erosão. São relevos sustentados por litologias metassedimentares mais friáveis, que favorecem a ocorrência dos movimentos de massa e queda de blocos.

Figura 3.113 - Interessantes feições de relevo ruiniforme que fazem parte do Escarpamento Estrutural Furnas, ocorrem de forma destacada sobre a unidade DSP2sga e formam bela paisagem contemplativa para o turismo ecológico (Bom Sucesso de Itararé).

Os terrenos calcários formam relevos cársticos, onde estão localizadas belas cavernas, dolinas e sumidouros de drenagens e rios subterrâneos.

Nesse tipo de relevo podem ocorrer repentinos afundamentos da superfície. Se ocorrerem em áreas urbanas, ocasionarão grandes prejuízos para a população. Como exemplo, o fato ocorrido no ano de 1986, que atingiu a cidade de Cajamar.

Como nessa unidade predominam relevos de degradação, tais regiões mais montanhosas são ambientes em franco processo de morfogênese, com a formação de solos rasos.

Esses tipos de solo em terrenos com alta declividade apresentam grande suscetibilidade à erosão laminar e à ocorrência de movimentos de massa, gerando depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

Na região do Vale do Ribeira, onde ocorrem expressivas porções de terrenos formados por rochas calcárias, está localizada a Província Espeleológica do Sudeste Brasileiro.

No Parque Estadual e Turístico do Alto Ribeira (PETAR), estão localizadas mais de 300 cavernas, como as cavernas Santana, Mato Preto (Figura 3.114), Casa da Pedra, Tapagem (Caverna do Diabo) (Figura 3.115), dentre outras.

Figura 3.114 - A bela entrada da caverna Mato Preto (município Iporanga).

Figura 3.115 - Espeleotema formado pela lenta percolação de água na rocha calcária (Caverna do Diabo, município Eldorado).

DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOS-SEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU (DSVP2)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a alto grau, ocorre em 11.675 km² de área, o que significa 4,7% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio é subdividido em seis unidades geológico-ambientais, que apresentam as seguintes áreas: DSVP2 – 790 km²; DSVP2q – 550 km²; DSVP2x – 8.700 km²; DSVP2csa – 1.015 km²; DSVP2gratv – 470 km²; DSVP2bu – 150 km² (Figura 3.116).

As rochas de origem vulcanossedimentar metamorfizadas pertencem aos grupos Açungui e Setuva. Segundo a literatura geológica, teriam sido depositadas nos mais diferentes momentos tectônicos de um processo de abertura e fechamento de um ambiente marinho.

As sequências vulcanossedimentares são formadas por camadas, lentes ou corpos disformes de várias espessuras de metassedimentos síltico-argilosos, arenosos, rochas metacalcárias e calcissilicatadas e, subordinadamente, metavulcânicas e subvulcânicas ácidas, intermediárias e básico-ultrabásicas, paragnaisses e formações ferromanganesíferas, diferentemente tectonizadas, dobradas e metamorfizadas.

No grupo das rochas metavulcânicas a subvulcânicas, ocorrem camadas de rochas maciças com disposição tabular e extensão da ordem de dezenas de quilômetros. Essas rochas apresentam estruturas deformacionais de baixa intensidade e metamorfismo de grau baixo.

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DSVP2 apresentam as seguintes características geológicas:

- **DSVP2:** Unidade indiferenciada. Exemplo: Grupo Serra do Itaberaba.
- **DSVP2q:** Unidade com predomínio de quartzito. Exemplo: Complexo Costeiro, unidade quartzítica.
- **DSVP2x:** Unidade com predomínio de metassedimentos síltico-argilosos, representados por xistos. Exemplo: Formação Rio das Cobras.
- **DSVP2csa:** Unidade com predomínio de rochas metacalcárias, com intercalações de finas camadas de metassedimentos síltico-argilosos. Exemplo: Formação Água Clara, unidade carbonática.

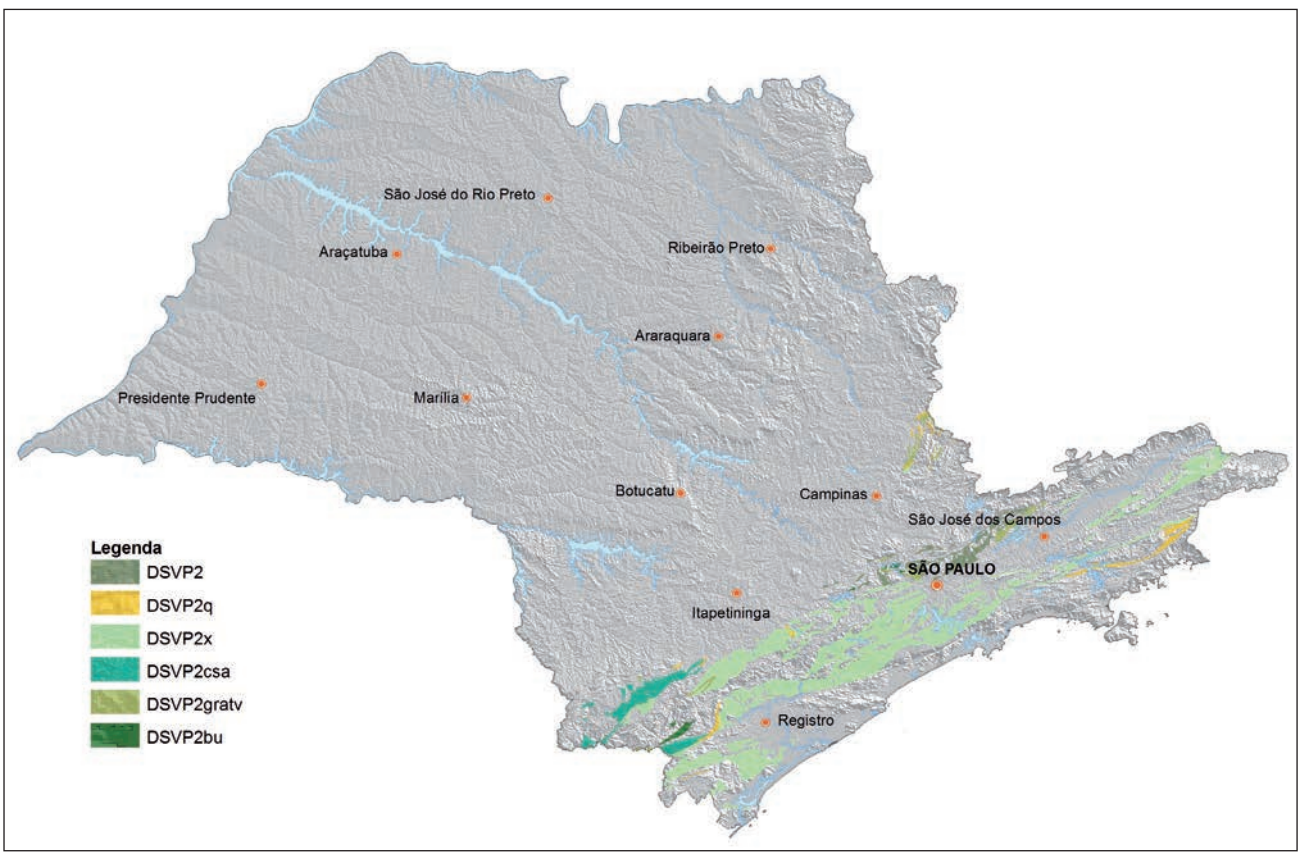


Figura 3.116 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DSVP2 no estado de São Paulo.

- DSVP2gratv: Unidade formada por metagrauvaca, metarenito, tufo e metavulcânica básica a intermediária. Exemplo: Formação Boturana.
- DSVP2bu: Unidade formada por rochas metabásicas e metaultramáficas. Exemplo: Formação Piririca.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DSVP2 são apresentadas na Figura 3.117. Já as formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.18.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades específicas

Os metassedimentos à base de quartzo apresentam moderada a alta resistência ao intemperismo físico-químico, gerando um manto de alteração com qualidades geotécnicas para uso na construção civil, como saibro, areia e antipó.

Os metacalcários, ao sofrerem alteração, formam solos plásticos, de baixa expansividade, pouco erosivos, que apresentam boa estabilidade nas paredes de taludes de corte, sendo classificados geotecnicamente com qualidades para uso como material de empréstimo.

As rochas calcárias têm baixa resistência ao intemperismo químico; caso ocorram exposições dessa litologias em regiões com predomínio de clima chuvoso, o manto de alteração se apresentará predominantemente profundo.

Nas unidades DSVP2gratv e DSVP2bu, há predomínio de litologias que, alteradas, formam solos argilossiltosos. Em perfis mais evoluídos, tais solos apresentam as seguintes características: alta plasticidade, baixa erosividade natural, reduzida permeabilidade e boa capacidade de compactação.

Em obras que necessitem de construção de taludes de corte com grandes alturas, esses solos apresentarão boa estabilidade.

As rochas formadoras dessas duas unidades apresentam boa homogeneidade geomecânica e hidráulica lateral devido a sua disposição tabular e extensão lateral.

Em regiões mais chuvosas e em que predominem rochas metabásicas que naturalmente apresentam baixa resistência ao intemperismo físico-químico, tais litologias serão submetidas a intenso processo de desagregação e decomposição, gerando profundo manto de alteração.

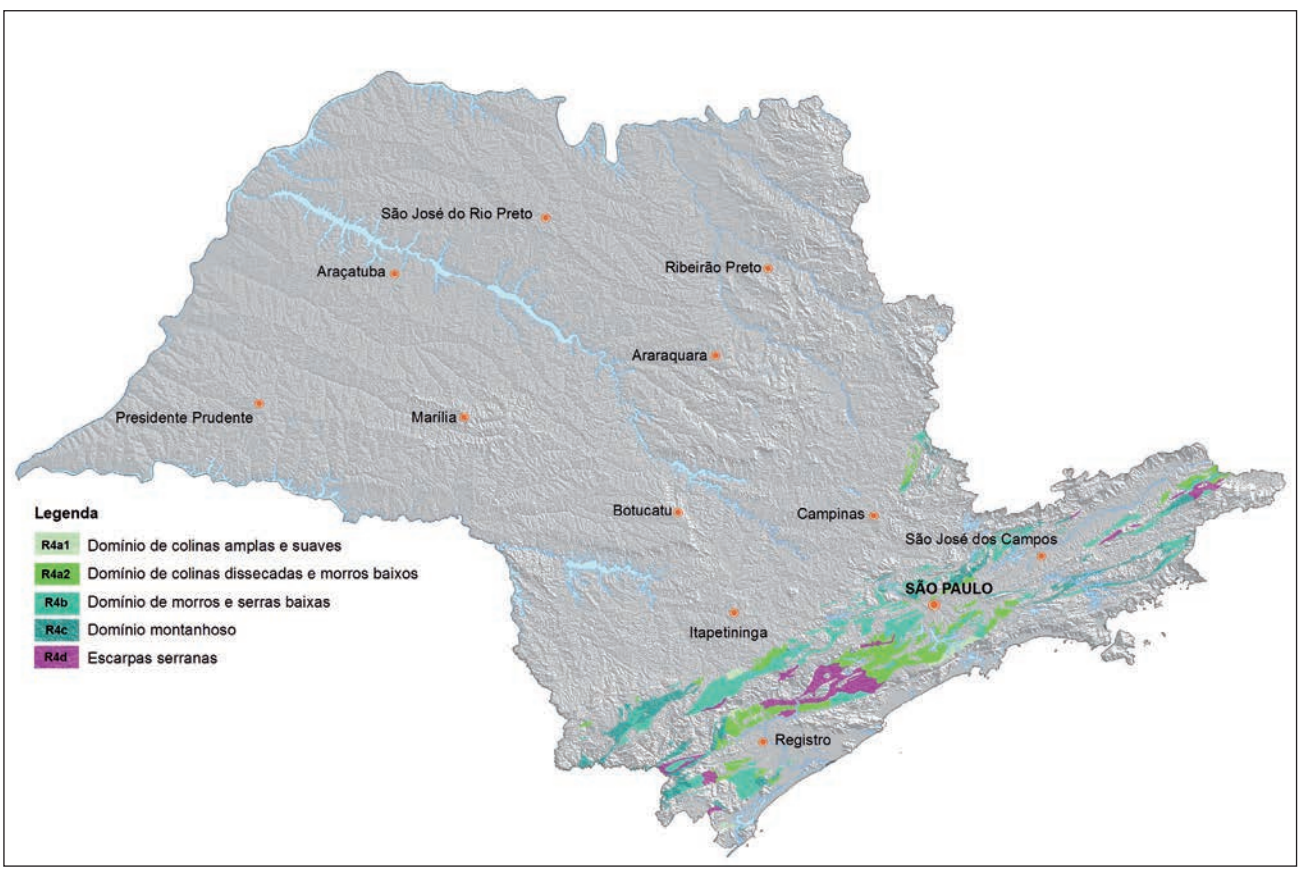


Figura 3.117 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DSVP2.

Quadro 3.18 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DSVP2	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
DSVP2q	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
DSVP2x	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DSVP2csa	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DSVP2gratv	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
DSVP2bu	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000

• Limitações específicas

As unidades geológico-ambientais formadas por quartzitos e metassedimentos síltico-argilosos representados por xistos apresentam intercalações irregulares de camadas de várias espessuras, com composição químico-mineral variada e proeminente xistosidade e foliação; são tipos litológicos que foram complexamente dobrados.

Tais características geológicas geram forte variação e contrastes nas propriedades geomecânicas e hidráulicas, tanto do substrato rochoso como dos solos residuais. As variações de tais propriedades geotécnicas podem ocorrer em regiões próximas ou localmente, a curtas distâncias, e poderão ser tanto na lateral como na vertical, impactando os custos referentes a planejamento e execução de projetos lineares, como estradas ou gasodutos.

Nas regiões de ocorrência dessas três unidades existem fatores limitantes para uso e ocupação urbana, como o predomínio de relevos acidentados e o fato de o substrato rochoso apresentar padrão de profundidade muito irregular.

Tais características do meio físico exigem a execução de profundas escavações para minimizar declives em tipos litológicos problemáticos geotecnicamente, construção de aterros com cotas altas para transpor canais de drenagens profundos e complexas obras, com custo elevado, para contenção de encostas e taludes de corte (Figuras 3.118 a 3.121).

Figura 3.118 - Taludes junto à rodovia com sinais de rastejo do solo alterado, observado pela inclinação das árvores (Jacupiranga, SP).

Em regiões onde há predomínio de metassedimentos à base de quartzo, existe maior possibilidade de que afloramentos de rochas apresentem alta resistência ao corte e à penetração, além de as rochas serem bastante abrasivas. Ao sofrerem processos intempéricos, tais rochas formarão solos residuais basicamente arenosos, com grande potencial erosivo.

Ocorrem também pequenos e grandes corpos rochosos aflorantes de metassedimentos à base de quartzo isorientado, geralmente bastante fraturados, sendo estas características que facilitam os desplacamentos ou a queda de blocos em taludes de corte.

Figura 3.119 - A encosta mostra sinais de que ocorreu escorregamento, sendo necessária a construção de muro de contenção para evitar eventos futuros que poderão causar danos à rodovia e aos usuários (Jacupiranga, SP).

Figura 3.120 - Rochas alteradas e com forte xistosidade, associadas a relevo montanhoso, exigem obras de contenção de maior grau de complexidade, para evitar danos à estrada ou aos usuários (Jacupiranga, SP).

Figura 3.121 - O talude em curva exigiu extenso muro em concreto para estabilizar a encosta e evitar que eventos geotécnicos atinjam a estrada (Parque Estadual Carlos Botelho, Capão Bonito, SP).

Nas áreas onde ocorrem metaconglomerados, cuja composição contém seixos, blocos e matacões de rochas duras e abrasivas, tais litologias apresentam características geomecânicas e hidráulicas heterogêneas, assim como grande resistência à perfuração, implicando maior custo na execução de sondagens.

Na unidade DSPV2x, há predomínio de litologias à base de minerais micáceos isorientados (sericita, biotita e muscovita), que apresentam estruturas primárias e secundárias com estratificação planoparalela e xistosidade bem marcada. Essa destacada fissibilidade favorece a instabilização dessas rochas na forma de placas, quando expostas em taludes de corte.

As litologias xistosas não servem para agregados nem como materiais de empréstimo, pois apresentam alta cerosidade. Oferecem resistência à perfuração com sondas rotativas, pois alteram para solos argilosos que são naturalmente pouco permeáveis e que se tornam escorregadios e aderentes quando úmidos.

Os solos residuais formados da alteração dos metassedimentos existentes nessas unidades, quando pedogeneticamente pouco evoluídos, têm em sua composição argilominerais expansivos que, se submetidos à alternância dos estados úmido e seco, desagregam-se no formato de pequenas pastilhas, gerando focos de erosão (Figuras 3.122 e 3.123).

Nas regiões em que predominam rochas calcárias, estas se apresentam intensamente tectonizadas, estruturas que facilitam ainda mais a dissolução química pela ação das águas da chuva.

A ação intempérica das águas meteóricas nesses terrenos calcários forma inúmeras cavidades subterrâneas, com dimensões variando de grandes a pequenas. Nas áreas de ocorrência de muitas dolinas, estas favorecem o sumidouro de rios, riachos e córregos.

Figura 3.122 - Talude em solo com sinais de erosão, sendo necessárias obras para reordenamento do fluxo das águas pluviais e plantio de vegetação utilizando placas de gramas (Caieiras, SP).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Figura 3.123 - A obra de ampliação da estrada gerou talude em solo que mostra sinais de erosão na base. A utilização de técnicas de contenção mais simples, como redução da declividade (retaludamento) e plantio de vegetação nativa, evitará acidentes geotécnicos (Caieiras, SP).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

As dolinas são locais de ligação direta entre os fluxos de água superficial e subterrâneo. Devido ao padrão cárstico, a unidade apresenta alto potencial de afundamentos lentos ou rápidos, do tipo subsidência ou colapso.

Nas regiões em que ocorrem dolinas não se deve construir sobre essas estruturas ou próximo a elas, sendo importante a realização de estudos geotécnicos detalhados, incluindo métodos geofísicos capazes de identificar a presença de tais cavidades e sua extensão.

Ocorre de forma esparsa e restrita em áreas pequenas a unidade formada por metagrauvaca, metarenito, tufo e metavulcânica, que são litologias com destacado bandamento, sujeitas à ocorrência de desplacamentos em taludes de corte, principalmente se estes forem executados em posição desfavorável à dos mergulhos desses planos. No Grupo Votuverava, as formações ferromanganesíferas alteradas liberam ácidos, que são corrosivos para os solos, causando danos à vegetação e a estruturas enterradas.

No caso de execução de obras tipo dutos e canos em solos gerados por essas formações ferromanganesíferas, esses ácidos agirão de forma rápida sobre o material de revestimento, provocando danos, como corrosão e vazamento do produto transportado para o meio ambiente.

As rochas metabásicas e metaultrabásicas ocorrem de forma localizada e restrita. No início do processo de alteração, geram argilominerais com características expansivas. Esse processo ocorre de forma heterogênea, gerando blocos e matacões ao longo do perfil do solo, que podem sofrer movimentação quando expostos nas paredes geradas pelos taludes de corte.

Fundações ou pilares de casas ou prédios, se apoiadas parcialmente sobre esses blocos e matacões imersos no solo, estarão sujeitas à instabilização se ocorrer movimentação ou acomodação dessas camadas.

Tais rochas apresentam um padrão de fraturamento denso e com direções variadas, o que influencia na capacidade de suporte e na grande variação da resistência ao intemperismo físico-químico.

Há grande possibilidade de essas rochas, com forte resistência ao corte e à penetração, estarem aflorantes ou situadas próximo à superfície, dificultando a instalação de obras e restringindo o uso dessas áreas para outras atividades.

A profundidade do substrato rochoso costuma ser bastante irregular. Mesmo onde ocorre pedogênese avançada, a disposição tabular dessas litologias gera características geomecânicas e hidráulicas diferentes ao longo da unidade.

Nessa unidade, as rochas do tipo anfibolito e ortoanfibolito apresentam alta resistência ao intemperismo físico-químico.

Agricultura

• Adequabilidades

As litologias formadoras desse domínio, quando sofrem intemperismo físico-químico, formam solos predominantemente argilosos, que apresentam elevada porosidade, característica hídrica importante, pois possibilita o armazenamento de bons volumes de água, mantendo disponibilidade hídrica em períodos de baixa pluviosidade para a vegetação ou para áreas agricultáveis existentes nessas regiões.

Os solos argilosos têm grande capacidade de reter e fixar nutrientes e de assimilar bem a matéria orgânica, respondendo bem à adubação, com aumento na produtividade agrícola.

A permeabilidade, que depende do grau de porosidade, varia de baixa, em solos pouco evoluídos, a moderada, nos bem evoluídos, sendo que, em áreas de relevos suaves, a predominância de solos residuais com pedogênese avançada acarreta baixa erosividade e boa fertilidade natural.

• Adequabilidades específicas

Nas regiões em que há predomínio de rochas metacalcárias alteradas, estas, ao sofrerem intemperismo, formam solos argilosos ou argilossiltosos, liberando vários nutrientes, principalmente cálcio e magnésio, o que torna o solo mais alcalino e com alta reatividade química.

As rochas calcárias formam solos naturalmente férteis, pouco erosivos e com baixa acidez, o que resulta em maior capacidade de fixar nutrientes e de assimilar bem a matéria orgânica. O manejo adequado desses solos com adubação e calagem influenciará no aumento da produtividade agrícola.

Os anfibolitos e ortoanfibolitos geram solos argilossiltosos pouco permeáveis, que aumentam a capacidade de fixar nutrientes e assimilar matéria orgânica. Em caso de manejo e utilização de práticas conservacionistas, tais características poderão aumentar a produtividade agrícola dessas áreas.

As rochas metabásicas, metaultrabásicas e metavulcânicas básicas geram solos com boa fertilidade natural e de excelentes características físico-químicas para a agricultura.

Associadas às áreas de ocorrências das unidades DSVP2gratv e DSVP2bu, pode haver manchas de Terra-Roxa, tipo de solo classificado como de grande potencial produtivo.

Nas regiões de ocorrência dessas duas unidades, devido ao padrão de relevo acidentado, poderá ser desenvolvida agricultura de subsistência, desde que utilizem práticas conservacionistas e de melhoramento da qualidade do solo. Porém, o cultivo deverá ser planejado para ser realizado em pequenas áreas.

• Limitações específicas

No domínio DSVP2, as intercalações irregulares de camadas dobradas de várias espessuras formam solos com características físico-químicas diferentes. Tais diferenças interferem na qualidade agrícola dos solos residuais, que varia muito, principalmente nas áreas de relevo acidentado, ocasionando alternância irregular de áreas com solos bons e ruins.

Nesse domínio, há predomínio de litologias que, ao sofrerem alteração, liberam excesso de alumínio, elemento de forte toxidez para a vegetação.

Os solos essencialmente argilosos podem sofrer processos de compactação e impermeabilização, com aumento na erosão hídrica laminar, no caso de serem continuamente mecanizados com equipamentos pesados e/ou pisoteados pelo gado. Tais alterações nas características físicas dos solos ocorrem em regiões de agricultura intensiva.

Na unidade DSVP2q, há predomínio de metassedimentos que, ao sofrerem intemperismo, formam solos arenosos com baixa fertilidade natural, erosivos, ácidos e permeáveis.

Tais solos apresentam baixa capacidade hídrica, pois perdem água rapidamente após o período de chuvas. Possuem baixa capacidade de reter, fixar nutrientes e de assimilar matéria orgânica, apresentando baixa resposta à adubação.

Na unidade DSVP2x, ocorrem intercalações irregulares de camadas dobradas de várias espessuras que formam solos com características físico-químicas muito diferentes.

A qualidade agrícola desses solos varia muito de local para local, principalmente nas áreas de relevo acidentado. Podem ocorrer áreas com alternância irregular de solos bons e ruins, dificultando a atividade agrícola, que necessitará de maior extensão de terras para viabilizar a produção em grande escala.

Nessa unidade, há predomínio de litologias que formam solos argilosos suscetíveis à erosão hídrica laminar. Esses solos, ao serem manejados de forma incorreta, podem sofrer compactação e impermeabilização, como, por exemplo, com trânsito intenso de tratores e colheitadeiras, o que representa um incremento à erosão, principalmente em terrenos declivosos.

Nas unidades DSVP2csa e DSVP2gratv, ocorrem intercalações irregulares de camadas dobradas de várias espessuras, formando solos com características físico-químicas diferentes.

Os solos residuais, devido às características deformacionais da rocha, podem ter a qualidade físico-química variando muito em áreas contíguas, o que interfere na produtividade agrícola. Outro aspecto importante é que esses solos, por serem francamente argilosos, podem sofrer mudanças em suas características estruturais, como no grau de compactação e permeabilidade, se utilizados com atividades agropastoris intensas e muito mecanizadas.

Os solos residuais originados pela alteração de anfibolitos e ortoanfibolitos, com pedogênese avançada, contêm em sua composição argilossiltosa uma fração de argilas expansivas. O solo com tal composição mostra-se mais suscetível a processos de compactação e impermeabilização, devido ao tipo de uso, o que aumenta a probabilidade de ocorrerem processos de erosão hídrica laminar.

Essa unidade tem padrão de relevo com fortes declividades, o que favorece a erosão laminar e concentrada, não permitindo a formação do horizonte orgânico e limitando o uso de implementos agrícolas.

Nessa região, o aproveitamento do solo para agricultura é muito restrito, devido ao padrão de relevo e ao tipo de solo pouco desenvolvido. A favorabilidade é somente para agricultura de subsistência em pequenas áreas, utilizando-se práticas conservacionistas e de melhoramento da qualidade do solo.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

Ocorrem nesse domínio terrenos com características morfolitoestruturais favoráveis à existência de importantes armadilhas e barreiras hidrogeológicas, relacionadas a falhas, fraturas e dobras e a mudanças de litologias que apresentam características hidrodinâmicas diferentes.

As características das rochas formadoras do domínio podem influenciar de forma positiva a produtividade dos poços perfurados nas regiões de ocorrência do domínio.

Nesse domínio, há predomínio de litologias portadoras de fraturas abertas irregularmente distribuídas, mas com bom potencial armazenador e circulador de água.

• Adequabilidades específicas

Os metassedimentos à base de quartzo geralmente apresentam falhas e fraturas, características estruturais da rocha que aumentam o potencial armazenador e circulador de água.

As rochas calcárias formam solos com alta capacidade de reter e eliminar poluentes. Em caso de ocorrerem perfis profundos e onde não há formação de dolinas, a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos subterrâneos é baixa.

O aquífero cárstico pode conter grandes depósitos de água, que estão associados a cavernas e a rios subterrâneos.

Nas unidades DSVP2gratv e DSVP2bu, há predomínio de litologias que formam solos essencialmente argilosos, pouco porosos e naturalmente impermeáveis, que mostram alta capacidade de fixar e eliminar poluentes.

Onde ocorrerem perfis de solo profundos, o risco de contaminação dos aquíferos subterrâneos será muito baixo.

Nas regiões de ocorrência de solos argilosos, estes apresentam baixa permeabilidade e porosidade, formando aquíferos superficiais com fraco potencial hídrico.

Tais coberturas de solos, associadas à rocha-fonte, são pouco permeáveis e mostram um padrão hídrico muito desfavorável à recarga dos aquíferos subterrâneos existentes nessas regiões.

• Limitações específicas

Na unidade DSVP2, nos terrenos em que se alternam, irregularmente, litologias e solos residuais, ocorre grande variação na capacidade de reter e depurar poluentes.

Como nessa unidade há grande variação lateral e vertical litológica, tal característica influencia de forma direta no padrão hidrodinâmico dos aquíferos, o que pode acarretar redução na produtividade dos poços.

Nessa unidade, há predomínio de aquíferos fissurais, de potencial hidrogeológico local bastante irregular; assim, um poço pode ter excelente vazão e outro, bem próximo, estar seco.

As águas subterrâneas podem conter teor muito elevado de ferro, manganês e cálcio, o que altera as qualidades hidroquímicas e inviabiliza o uso para consumo humano.

Na unidade DSVP2q, ocorrem metassedimentos à base de quartzo, geralmente portadores de alta densidade de fendas abertas. Por essas estruturas, poluentes podem se infiltrar e alcançar rapidamente os lençóis subterrâneos. Os solos residuais arenosos têm baixa capacidade de reter e eliminar poluentes.

Nessa unidade predominam aquíferos fissurais, com potencial hidrogeológico local bastante irregular; assim, um poço pode ter excelente vazão e outro, bem próximo, estar seco. Isso ocorre devido à grande variação lateral e vertical das características hidrodinâmicas.

Na unidade DSVP2x, há predomínio de aquíferos fissurais, de potencial hidrogeológico local bastante irregular; assim, um poço pode ter excelente vazão e outro, bem próximo, estar seco.

Nessa unidade há predomínio de litologias pouco permeáveis, que formam solos com baixa permeabilidade, sendo desfavoráveis à recarga de águas subterrâneas e com capacidade muito variável de reter e depurar poluentes.

Na unidade DSVP2csa, as rochas calcárias fraturadas contêm cavidades de ligação entre os fluxos de água superficial e subterrâneo (dolinas e sumidouros de drenagem). Por essas estruturas, poluentes dos mais diferentes tipos podem contaminar as águas subterrâneas de forma rápida e sem qualquer forma de depuração natural.

Nas rochas calcárias, as águas subterrâneas circulam e armazenam-se nas cavidades formadas pela dissolução dos carbonatos. São aquíferos cársticos, que apresentam características hidrodinâmicas complexas e potencial hidrogeológico irregular, podendo sofrer recarga e descarga rápidas. Assim, um poço perfurado nessas unidades pode apresentar excelente vazão, enquanto outro, próximo, tem vazão nula.

Bombeamentos excessivos podem gerar condições propícias à ocorrência de desmoronamentos subterrâneos, colapsos na superfície, rebaixamento do lençol freático e secamento das águas superficiais.

As unidades DSVP2gratv e DSVP2bu apresentam litologias geralmente portadoras de alta densidade de fraturas abertas e dispostas em várias direções. São rochas com alto grau de percolação, cujas estruturas facilitam que os poluentes contaminem os lençóis d'água.

Nessas unidades, os aquíferos são classificados como fissurais, com potencial hidrogeológico local irregular, pois dependem tanto da densidade e da interconectividade das estruturas existentes nessas rochas como de fatores exógenos, como o clima predominante na região.

As litologias predominantes nessas duas unidades alteram para solos argilosos pouco permeáveis, gerando aquíferos superficiais com potencial hídrico reduzido.

Esse tipo de cobertura de solo (muito argilosa) é desfavorável à recarga das águas subterrâneas, fazendo com que ocorra variação muito grande de vazão; assim, em uma mesma região, um poço apresenta excelente vazão, enquanto em outro, próximo, a vazão é nula.

Os anfibolitos e ortoanfibolitos formam um manto de alteração com baixo potencial hídrico e geram solos argilossiltosos com pouca permeabilidade.

As áreas de ocorrência de solos com muita argila e silte mostram-se desfavoráveis à recarga das águas subterrâneas. Mesmo apresentando potencial para armazenar bons volumes de água, não a disponibilizam para circulação, funcionando como um aquitardo.

As rochas metabásicas, metaultramáficas e metavulcânicas básicas são muito fraturadas e percolativas. Nos locais em que os solos são pouco profundos e existam afloramentos dessas litologias, cuidados especiais deverão ser tomados com a construção de obras que sejam fontes potencialmente poluidoras.

As águas subterrâneas que ocorrem em ambientes formados por essas rochas podem apresentar problemas de qualidade, como acidez e dureza elevada pelo excesso de Fe e Mn em sua composição hidrogeoquímica.

Potencial mineral

Na unidade DSVP2, ocorrem mineralizações de ouro (Au) singenético, pirita e As, Fe, Mn, Al, Cu. Há exploração de substâncias de uso na construção civil, como areia, argila, caulim, feldspato, quartzito e calcário, assim como áreas com extração de água mineral para consumo humano.

No Quadro 3.19 são apresentados os tipos de ocorrências minerais em cada unidade geológico-ambiental.

Quadro 3.19 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DSVP2	DSVP2	Al, Au, As, Cu, Fe, Mn, Pirita	ND	Areia Argila Calcário Caulim Feldspato Quartzito	Água mineral
	DSVP2q	Au, Mn	ND	Areia Calcário dolomítico e calcítico Mármore Quartzito	Água mineral
	DSVP2x	Al, Ag, Au, Cu, Fe, Mn, Muscovita, Pb, Pirita, Sn, Zn	Grafita	Areia Argila Calcário Cascalho Caulim Dolomito Feldspato Mármore Quartzo Quartzito	Água mineral
	DSVP2csa	Ag, Ba, Cu, Fe, Mn, Pb	ND	Argila Calcário Calcita Caulim Dolomito Quartzito Mármore Talco	Água mineral alcalina
	DSVP2gratv	Au, Cu, Fe, Mn, Pb	Grafita	Dolomito Leucofilito Quartzito Quartzo Talco	ND
	DSVP2bu	Au, Ag, As, Cu, Fe, Mn, Pb	ND	Calcário Dolomito Filito Quartzito Xisto	ND

Obs.: ND = Não-Detectado.

Na unidade DSVP2q, ocorrem mineralizações de Au e Mn, assim como exploração de substâncias para uso na construção civil, como areia, calcário dolomítico e calcítico, mármore e quartzito.

Na unidade DSVP2x, os metassedimentos síltico-argilosos representados por xistos apresentam variadas mineralizações, com os seguintes elementos: Al, Ag, Au, Cu, Pb, Zn, Pi, Fe, Mn, Sn. Há exploração de substâncias para uso na construção civil, como areia, argila, calcário, caulim, quartzo, feldspato, dolomito, quartzito, mármore e grafita, assim como áreas com extração de água mineral para consumo humano (Figuras 3.124 e 3.125).

Na unidade formada basicamente por rochas calcárias, há ocorrências de elementos metálicos, como Ag, Cu, Fe, Mn, Pb, assim como exploração de substâncias para uso na construção civil, como argila, calcário, caulim, dolomito, quartzito, mármore e talco, além de extração de água mineral alcalina para consumo humano.

Em rochas formadoras da unidade DSVP2gratv, há ocorrências de Au, Cu, Fe, Mn, Pb e grafita, assim como exploração de substâncias para uso na construção civil, como dolomito, leucofilito, quartzito e quartzo.

Figura 3.124 - Talude próximo à rodovia mostra rocha alterada com xistosidade bem marcada. Local utilizado como área de empréstimo para uso em obras de manutenção de estradas vicinais (pavimentação em solo) (São Miguel Arcanjo, SP).

Figura 3.125 - Área de empréstimo junto à estrada, sem projeto de recuperação. A rocha alterada forma saibro, material de qualidade que está sendo utilizado na manutenção de estradas rurais (Apiaí, SP).

Na unidade DSVP2bu, existe ambiência geológica favorável a mineralizações e depósitos epigenéticos de Au, Ag, As, Cu, Fe, Mn, Pb, assim como exploração de substâncias para uso na construção civil, como calcário, dolomito, filito, quartzito e xisto.

Aspectos ambientais e potencial turístico

Ocorrem, em quase todo o domínio, litologias que sofreram intensas deformações, como dobramentos superpostos, gerando relevos predominantemente acidentados do tipo montanhas e escarpas serranas.

As regiões montanhosas são favoráveis ao afloramento do lençol freático, originando nascentes de fundamental importância hídrica, pois são formadoras dos rios e córregos existentes na bacia hidrográfica que drena a região.

As fortes quebras nas declividades dessas montanhas originam a formação de cachoeiras, corredeiras e piscinas naturais ao longo dos cursos d'água.

Nas unidades geológico-ambientais em que os relevos são mais acidentados, ocorre forte desequilíbrio e um franco e acelerado processo de desgaste dessas formas. Esses relevos montanhosos ou escarpados são sustentados por litologias que favorecem os processos de erosão laminar e os movimentos naturais de massa (Figuras 3.126 e 3.127).

Figura 3.126 - Relevo montanhoso com topos e vertentes preservados. Entretanto, a expansão urbana, de forma lenta, está ocupando essas áreas de maior fragilidade ambiental (Águas de Lindóia, SP).

Figura 3.127 - Relevo montanhoso em área urbana, ocupado de forma desordenada, originando problemas geotécnicos e exigindo a realização de obras complexas e onerosas de reurbanização, para estabilizar encostas e evitar futuros escorregamentos ou inundações (município São Paulo).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Ocorrem em regiões formadas por rochas metabásicas e metaultramáficas relevos com alta declividade. Caso sejam recobertos por solos residuais, estes são naturalmente pouco permeáveis e apresentam baixa taxa de infiltração. No caso de chuvas intensas, tais características, associadas ao padrão de relevo, induzem a um escoamento rápido para os canais de drenagem. Dessa forma, rios, riachos e

córregos existentes nessas regiões estão sujeitos a grandes e bruscas mudanças de nível e na vazão natural, originando a formação de enxurradas com alto potencial de remoção e transporte de sedimentos.

Por essa razão, cuidados especiais devem ser tomados para que essas regiões não sofram desmatamentos excessivos. A cobertura vegetal natural tem um papel importante, pois retém as águas das chuvas, reduzindo a erosão e melhorando o potencial de infiltração do solo e parte do subsolo.

Os terrenos calcários sofreram intensos dobramentos e, devido ao intemperismo químico provocado pelas águas da chuva, originaram belas paisagens cársticas, do tipo cavernas, dolinas e sumidouros de drenagens e rios subterrâneos.

Na região próxima aos municípios de Iporanga, Barra do Turvo e Cananeia, existem grandes áreas de quilombolas e uma unidade de proteção integral: Parque Estadual Jacupiranga. Esse parque tem a função de proteger as nascentes do rio Ribeira, os fragmentos preservados da Mata Atlântica e a fauna associada a esse bioma.

No domínio DSVP2, há várias unidades de conservação (UC), como as da categoria proteção integral: Parque Estadual Carlos Botelho, Parque Estadual Intervales, Estação Ecologia Xituê, Parque Estadual Jurupará, Jaraguá e Cantareira e Núcleos do Parque Estadual Serra do Mar, como o de Cubatão entre outros.

Existem outras categorias de UCs, como a APA de Cananeia-Iguape-Peruíbe e, na categoria de uso sustentável, a Reserva Florestal Morro Grande.

DOMÍNIO DOS CORPOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS (SUÍTES KOMATIITICAS, SUÍTES TOLEÍTICAS, COMPLEXOS BANDADOS), BÁSICAS E ULTRABÁSICAS ALCALINAS E VULCANISMO ASSOCIADO (DCMU)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos corpos máfico-ultramáficos (suítes komatiiticas, suítes toleíticas, complexos bandados), básicas e ultrabásicas alcalinas e vulcanismo associado ocorre em uma área de 40 km^2, significando 0,02% do território total do estado de São Paulo.

Ocorre nesse domínio apenas uma unidade geológico-ambiental (DCMUbu), com 40 km^2 de área (Figura 3.128).

São complexos intrusivos calcialcalinos, diferenciados, acamadados e alcalinos, básico-ultrabásicos diferenciados, páleo a mesoproterozoicos e metamorfizados.

Na região de ocorrência da unidade, parte desses corpos não aparece na escala do projeto devido à pequena expressividade areal, por sua espessura fina e por estarem irregularmente intrudidos em meio às litologias existentes no entorno.

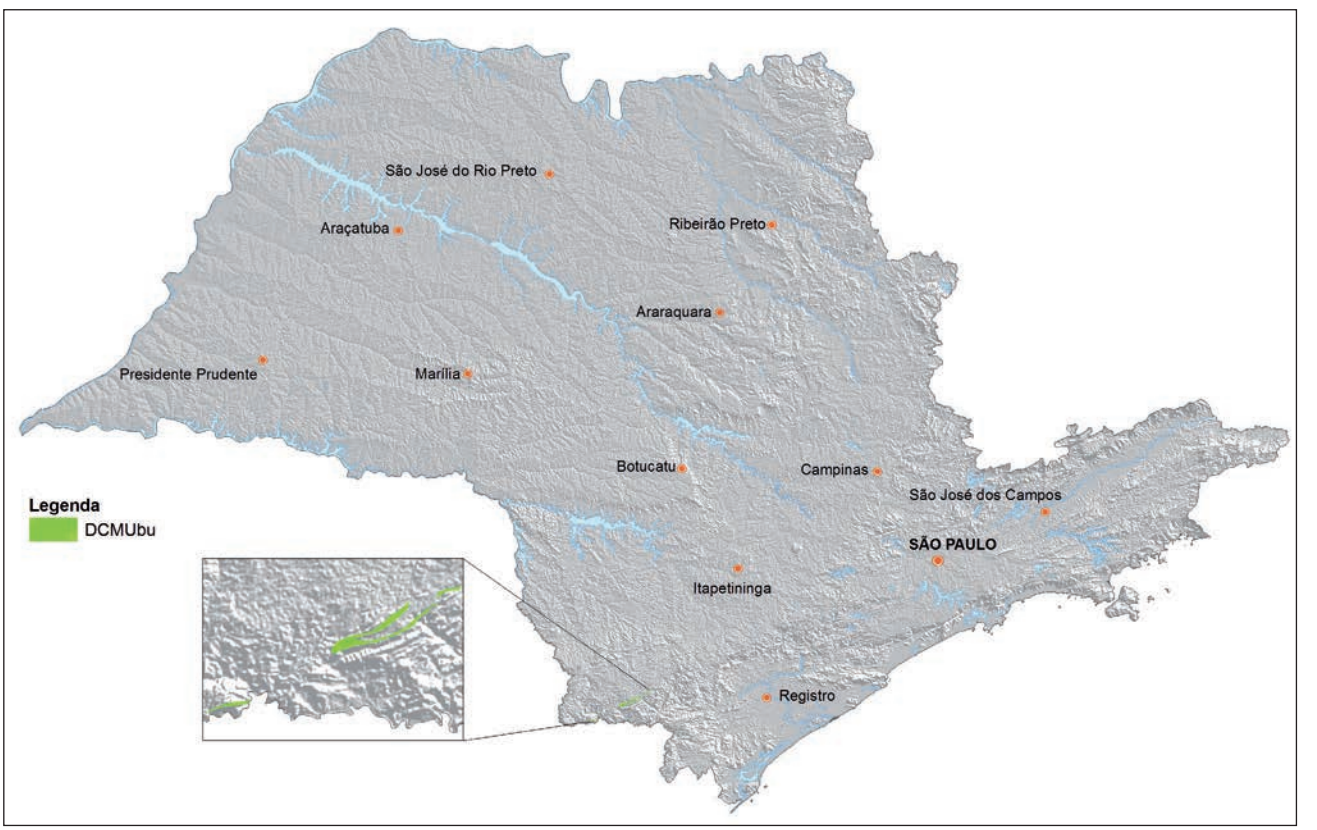


Figura 3.128 - Distribuição espacial da unidade geológico-ambiental formadora do domínio DCMU no estado de São Paulo.

A composição básica desses corpos rochosos é devida aos teores de sílica – entre 45 e 52% – e à predominância, em sua assembleia mineralógica, de olivina, clinopiroxênio e plagioclásio cálcico, minerais que definem a coloração escura e a densidade da rocha.

O Gabro de Apiaí provoca nas rochas encaixantes metamorfismo de contato de grau fraco.

Características da Unidade Geológico-Ambiental

A unidade geológico-ambiental que compõe o domínio DCMU apresenta as seguintes características geológicas:

- DCMUbu: Unidade formada por rochas básicas e ultra-básicas alcalinas. Exemplo: Gabro de Apiaí.

Formas de Relevo

A forma de relevo predominante na área da unidade geológico-ambiental DCMUbu é apresentada na Figura 3.129.

Já a forma de relevo associada que ocorre na unidade geológico-ambiental e respectivas declividade e amplitude estão descritas no Quadro 3.20.

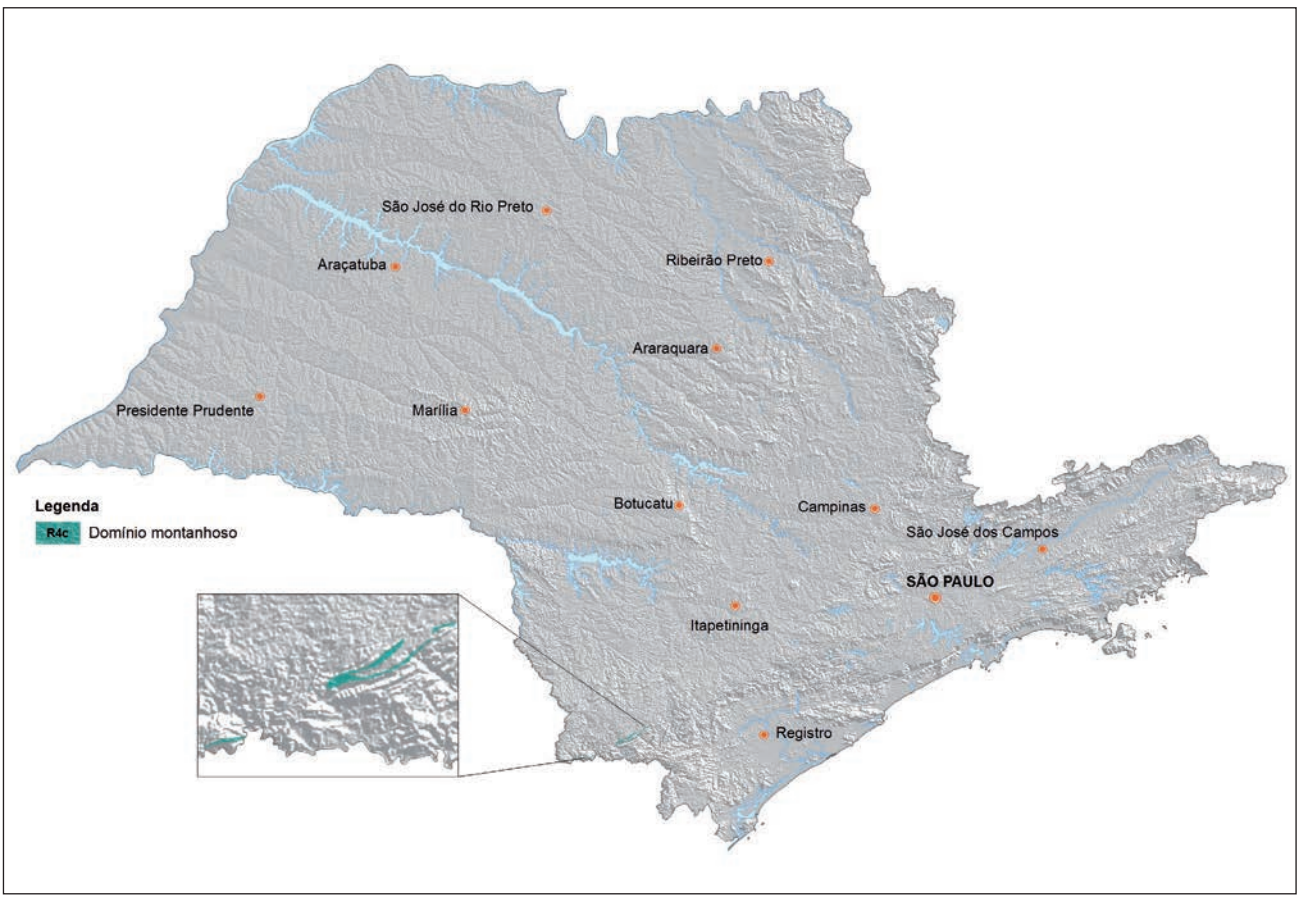


Figura 3.129 - Forma de relevo predominante na área de ocorrência da unidade geológico-ambiental do domínio DCMU.

Quadro 3.20 - Unidade geológico-ambiental e forma de relevo associada.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DCMUbu	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

Ocorrem litologias de alta resistência à compressão, que se alteram facilmente para solos argilosos e síltico-argilosos de baixa permeabilidade e de alta plasticidade.

Os solos residuais com pedogênese avançada apresentam baixa erosividade, alta capacidade de compactação e boa estabilidade em taludes de corte, sendo classificados geotecnicamente com qualidade para o uso como material de empréstimo.

Como o relevo é bastante movimentado e irregular e por haver predomínio de solos argilosos, além de estes apresentarem boa estabilidade geotécnica, o potencial de ocorrência de movimentos naturais de massa é baixo.

Nas áreas em que a porção côncava das vertentes apresenta maior declividade, ocorre maior concentração de energia dos fluxos de água superficial e subsuperficial, aumentando o potencial de ocorrência de movimentos de massa.

• Limitações

Nas áreas em que o perfil do solo residual for pouco evoluído, geralmente existem camadas contendo argilominerais expansivos. Caso tais camadas sejam submetidas à variação do grau de umidade, apresentarão o fenômeno de alternância de estados de dilatação e contração, tornando esses solos colapsíveis e sujeitos a desmoronamentos.

Tais áreas são inadequadas para implantação de obras civis, pois a oscilação no grau de umidade nas camadas de argilas expansivas causará, além de problemas de instabilização de taludes, a formação de trincas em pavimentos de estradas construídas sobre esse tipo de solo (Figura 3.130).

Os solos argilosos, independentemente da evolução pedogenética, em períodos secos entram facilmente em suspensão, gerando muita poeira; quando úmidos, tornam-se excessivamente aderentes e escorregadios. Assim, deve-se evitar a execução de obras grandes e demoradas que envolvam escavações e movimentação de terra em períodos chuvosos, pois os equipamentos e ferramentas utilizados nas obras de terraplanagem demandarão maior tempo para limpeza e manutenção.

Como são rochas ígneas com características maciças que sofrem alterações bastante heterogêneas, formam blocos e matacões ao longo do perfil do solo, mesmo em regiões em que a pedogênese esteja avançada.

Tais fragmentos de rocha, existentes em meio à matriz do solo, caso fiquem expostos em paredes de taludes de corte, poderão sofrer instabilização, ocasionando quedas e rolamentos. Assim, deve-se tomar cuidado para que fundações e edificações não fiquem parcialmente apoiadas sobre esses blocos e matacões, de modo a se evitar danos a essas construções.

Figura 3.130 - A abertura de acesso para estradas de serviço e instalação de torres de transporte de mineral ocasionou o corte da vegetação e a construção de taludes, os quais apresentam focos de escorregamentos devido às características do solo da região (Apiaí, SP). Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Em áreas com tais características geológicas do terreno, a ocorrência imprevisível de blocos ou matacões no solo de forma isolada ou concentrada exigirá mais detalhamento com sondagens e dificultará, no caso de execução de obras subterrâneas, as escavações, aumentando o custo final do projeto de engenharia (Figura 3.131).

O gabro apresenta moderada a alta resistência ao corte e à penetração. Onde ocorrerem rochas sãs, será necessário o uso de explosivo para desmonte.

Figura 3.131 - Perfil de solo residual com pedogênese heterogênea, onde afloram fragmentos de rocha de tamanhos variados e se observam sinais de erosão (Apiaí, SP). Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Agricultura

• Adequabilidades

As rochas do tipo gabro apresentam baixa a moderada resistência ao intemperismo físico-químico, são ricas em minerais ferromagnesianos, gerando solos argilosos e liberando, nesse processo de intemperização, vários nutrientes, como potássio, sódio, cálcio, magnésio, além de altos teores de elementos metálicos, como ferro, manganês e titânio. Em razão desses últimos elementos, os solos apresentam destacada cor vermelha.

Os solos argilosos apresentam baixa erosividade natural. Nas áreas de relevo suavizado, predominam perfis profundos com pedogênese avançada, apresentando boa fertilidade natural. Onde ocorrerem solos que não sejam excessivamente evoluídos, a fertilidade natural será muito boa. A permeabilidade varia de baixa, nos solos pouco evoluídos, a moderada, em solos bem evoluídos.

Tais solos apresentam boa porosidade, armazenam mais água, mantendo-a disponível para a vegetação natural e áreas agriculturáveis por longos períodos de seca, o que significa uso menos intenso de irrigação. Esses solos possuem, também, boa capacidade de reter, fixar nutrientes e assimilar matéria orgânica. Respondem bem à adubação, com consequente aumento na produtividade agrícola.

Associadas a esses terrenos pode haver manchas de solos do tipo Terra-Roxa, de excelente qualidade para a agricultura, em áreas onde o relevo for mais suavizado e a pedogênese for mais desenvolvida.

O uso agrícola da região é restrito, sendo mais favorável à silvicultura e a pastagens que à agricultura convencional.

• Limitações

As rochas metabásicas intemperizadas geram solos predominantemente argilosos ou argilossiltosos, que, devido à textura, sofrem maior compactação e impermeabilização se submetidos a cargas elevadas contínuas.

Assim, as mudanças do estado natural do solo ocasionam maior suscetibilidade à instalação de processos de erosão laminar, podendo formar sulcos, ravinas e voçorocas nessas áreas. Em caso de manejo inadequado, podem se tornar mais erosivos que solos arenosos.

O uso frequente de maquinários pesados e o pisoteio contínuo do gado em solos excessivamente argilosos aumentam consideravelmente o seu grau de compactação e de impermeabilização (Figura 3.132).

Em áreas mais acidentadas, ao longo de uma mesma encosta podem ocorrer solos de diferentes qualidades agrícolas, pois há locais em que os perfis são mais profundos e bem desenvolvidos, enquanto em outros pontos são rasos e pouco desenvolvidos. A erosão hídrica também varia de baixa a alta, ocasionando erosão laminar ou em sulcos e influenciando, a curtas distâncias, a qualidade agrícola do solo.

Os solos argilosos, em épocas de seca, devido à ação dos ventos e ao tráfego de veículos, entram facilmente em suspensão, gerando muita poeira em áreas sem cobertura vegetal ou em estradas vicinais sem pavimentação.

Figura 3.132 - O relevo é predominantemente montanhoso, com porções menos elevadas devido à baixa resistência ao intemperismo físico-químico, onde há predominância de vegetação de campo com pontos de erosão laminar ocasionada pelo pisoteio do gado (Apiaí, SP). Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Nessas áreas, há possibilidade de formação de crostas lateríticas, que são muito endurecidas e intemperizadas. Ao sofrerem lixiviação, liberam ferro e alumínio para os solos, deixando-os excessivamente ácidos e corrosivos, assim como reduzindo a sua qualidade química e tornando-os inaptos para a agricultura. Além disso, danificam, rapidamente, dutos ou canos que estejam enterrados.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

Os solos que ocorrem nessas áreas são predominantemente argilossiltosos e apresentam, naturalmente, baixa permeabilidade, o que gera grande capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes.

Em regiões onde os perfis são mais profundos, tais características físico-químicas reduzem o risco de contaminação dos aquíferos subterrâneos por produtos químicos utilizados, por exemplo, na agricultura.

A rocha, pelo padrão de fraturamento, pode apresentar bom potencial para a exploração de águas subterrâneas.

• Limitações

Por ser uma rocha bem fraturada, com estruturas abertas, além da percolação da água, seus espaços facilitam que os poluentes atinjam rapidamente os aquíferos subterrâneos. Assim, onde rochas afloram em maior extensão superficial, cuidados especiais devem ser tomados com fontes potencialmente poluidoras, como, por exemplo, redes de esgoto.

As rochas nas quais as águas subterrâneas se armazenam e circulam através de fendas abertas (falhas, fraturas) são denominadas aquíferos fissurais, sendo que o potencial hidrogeológico local é bastante irregular.

Assim, a existência, a distribuição, o tamanho, a densidade e a interconectividade das fraturas, associados a fatores exógenos, como as condições climáticas locais, em especial os índices de chuvas, são as razões pelas quais, em áreas próximas, um poço pode apresentar excelente vazão e outro estar seco.

Como o gabro intemperizado forma solos argilosos pouco permeáveis, disponibiliza pouca água para circulação. Assim, o manto de alteração situado mais abaixo nesse perfil terá um baixo potencial hídrico. Áreas com esse tipo de perfil de solo e subsolo são consideradas desfavoráveis à recarga das águas subterrâneas, sendo tais locais desfavoráveis à recarga das águas subterrâneas.

A alteração no grau de impermeabilização e de compactação reduz o potencial de infiltração das águas das chuvas, com consequente aumento da velocidade do escoamento superficial, potencializando os processos de erosão hídrica laminar que carrearão sedimentos para as drenagens e ocasionarão o assoreamento dos cursos d'água.

As mudanças nas características texturais do solo, como redução da porosidade e permeabilidade, reduzem também a recarga dos aquíferos subterrâneos e poderão levar à extinção de nascentes em regiões com manejo incorreto do solo para implantação de extensas áreas de pastagem ou lavouras.

Nessa região, há moderada a alta densidade de canais de drenagem, onde o sistema principal apresenta vales estreitos e relativamente profundos e desprovidos de planícies de deposição. O sistema secundário apresenta vales abertos e curtos e funciona apenas como escoamento das águas das chuvas, permanecendo secos.

Como são terrenos definidos como pouco permeáveis, deve-se preservar a vegetação nativa, pois esta exerce papel fundamental: retém a água da chuva e ajuda na infiltração da água no subsolo. Entretanto, a baixa permeabilidade do solo reflete na pouca disponibilidade hídrica em superfície e em drenagens secas.

Potencial mineral

O Gabro de Apiaí mostra-se favorável à existência de mineralizações de chumbo, prata, ouro e tem potencial para exploração de rochas ornamentais para uso na construção civil (Figura 3.133).

No Quadro 3.21 são apresentadas as ocorrências minerais encontradas no Gabro de Apiaí e os usos dessa rocha na indústria da construção civil.

Figura 3.133 - O gabro de Apiaí mostra potencial para uso como rocha ornamental e para outros fins na construção civil (pequeno afloramento existente na área do CIEM/CPRM/SUREG-SP, localizado na cidade de Apiaí).
Fotografia: Projeto Alto Ribeira I.

Aspectos ambientais e potencial turístico

O gabro, ao sofrer intemperismo, gera solos argilosos que são, naturalmente, pouco permeáveis. Como existe um padrão alto de densidade de canais de drenagem na região e o relevo apresenta forte declividade, em períodos de chuva intensa a maior parte das águas escoa rapidamente por esses canais.

Tal padrão de escoamento ocasiona grandes e bruscas mudanças de nível e de vazão nos rios, riachos e córregos, levando à formação de enxurradas com alto potencial de remoção e transporte de sedimentos.

Devido a tais características da região, cuidados especiais devem ser tomados para não desmatá-la excessivamente, pois a cobertura vegetal tem papel importante para reter as águas das chuvas e melhorar o potencial de infiltração no solo e subsolo.

A região tem significativo potencial turístico devido à proximidade com o Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e pela beleza cênica do relevo, predominantemente montanhoso, com preservação de matas, florestas e rios.

As características de relevo, a vegetação, cavernas, rios com cachoeiras e o clima ameno formam interessantes cenários, que são os principais atrativos da região do Vale do Ribeira.

O importante para essa região, com muitas áreas preservadas, é o contínuo incentivo ao desenvolvimento do ecoturismo contemplativo, que é a apreciação dos ecossistemas em seu estado natural.

Quadro 3.21 - Unidade geológico-ambiental e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DCMU	**DCMUbu**	Ag, Au, Pb	ND	Gabro para uso como rochas ornamentais	ND

Obs.: ND = Não-Detectado.

DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO-DEFORMADOS (DCGR1)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos complexos granitoides não-deformados ocorre em uma área de 2.246 km², o que significa 1% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio é subdividido em cinco unidades geológico-ambientais, com as seguintes áreas: DCGR1palc – 780 km²; DCGR1alc – 740 km²; DCGR1salc – 150 km²; DCGR1pal – 341 km²; DCGR1in – 235 km² (Figura 3.134).

Os complexos granitoides não-deformados foram originados a partir de várias pulsações magmáticas que ocorreram em épocas geológicas distintas. Essa história evolutiva gerou rochas com as mais variadas composições químico-minerais, refletindo em diferentes padrões de granulação do mineral e variadas tonalidades de cores, potencializando o seu uso na construção civil como rocha ornamental.

Tais rochas cristalizaram-se em profundidades diversas da crosta terrestre em tempos diferentes e ambientes de relativa estabilidade tectônica, razão pela qual se apresentam sem deformação dúctil, sendo classificadas como granitos pós-tectônicos.

As rochas graníticas apresentam composição mineral à base de feldspatos, que podem ser sódicos e potássicos, em percentagens que variam entre 50 e 70%; quartzo, entre 20 e 30%; em proporções menores, há os minerais ferromagnesianos, como biotita e horblenda, e os minerais acessórios.

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DCGR1 apresentam as seguintes características geológicas:

- **DCGR1palc:** Unidade formada pelas séries graníticas peralcalinas. Exemplo: Granito Ilha do Cardoso.
- **DCGR1alc:** Unidade formada pelas séries graníticas alcalinas: Exemplo: Complexo Granítico Itu.
- **DCGR1salc:** Unidade formada pelas séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Exemplo: Granito Marins.
- **DCGR1pal:** Unidade formada por granitoides peraluminosos. Exemplo: Granito Natividade da Serra.
- **DCGR1in:** Unidade Indeterminada. Exemplo: Granito Espírito Santo.

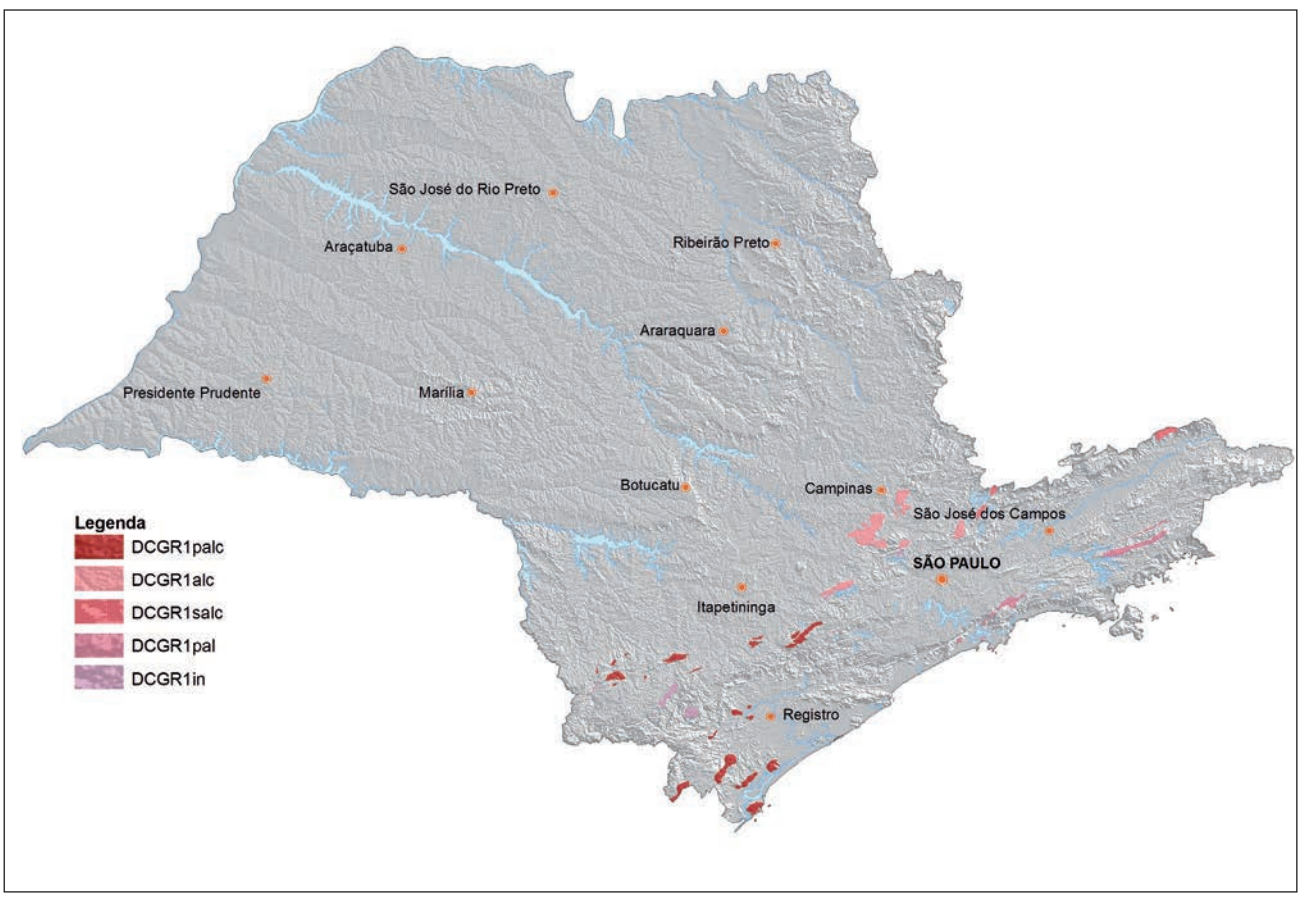


Figura 3.134 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCGR1 no estado de São Paulo.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCGR1 são apresentadas na Figura 3.135. Já as formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.22.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

As rochas graníticas apresentam alto grau de coesão, reduzida porosidade primária e uma mineralogia à base de feldspatos e quartzo com baixa proporção de minerais ferromagnesianos, como biotita. Tais características aumentam a resistência dos granitos à compressão e reduzem a ação dos processos de intemperismo físico-químico.

São litologias que formam solos argilo-síltico-arenosos. Nas áreas em que os granitos são submetidos a fortes processos de pedogênese, os solos formados apresentam boa capacidade de compactação, baixa permeabilidade, plasticidade moderada e são pouco erosivos. Já em áreas com pedogênese incipiente, a alteração das rochas gera saibro, utilizado para manutenção de estradas sem pavimentação e em quadras esportivas.

Essas rochas apresentam qualidades geotécnicas para uso como material de empréstimo em obras de aterros, construção de estradas e pequenas barragens.

Os corpos graníticos que apresentam baixo grau de alteração, relevantes características texturais e estruturais e padrão de cor comercial têm potencial para utilização como pedras para revestimentos externos e internos, em fundações, como agregados para concreto (brita), além de outras aplicações na indústria da construção civil.

• Limitações

Nessa unidade, há predomínio de rochas cristalinas com alto grau de coesão à base de feldspatos e, mais restritamente, quartzo. Nos locais em que existam rochas frescas, estas apresentarão alta resistência ao corte e à penetração e necessitarão do uso de explosivos para o desmonte.

Nas bordas dos maciços, os granitos tardi- e pós-tectônicos são densamente fraturados e estão posicionados em várias direções.

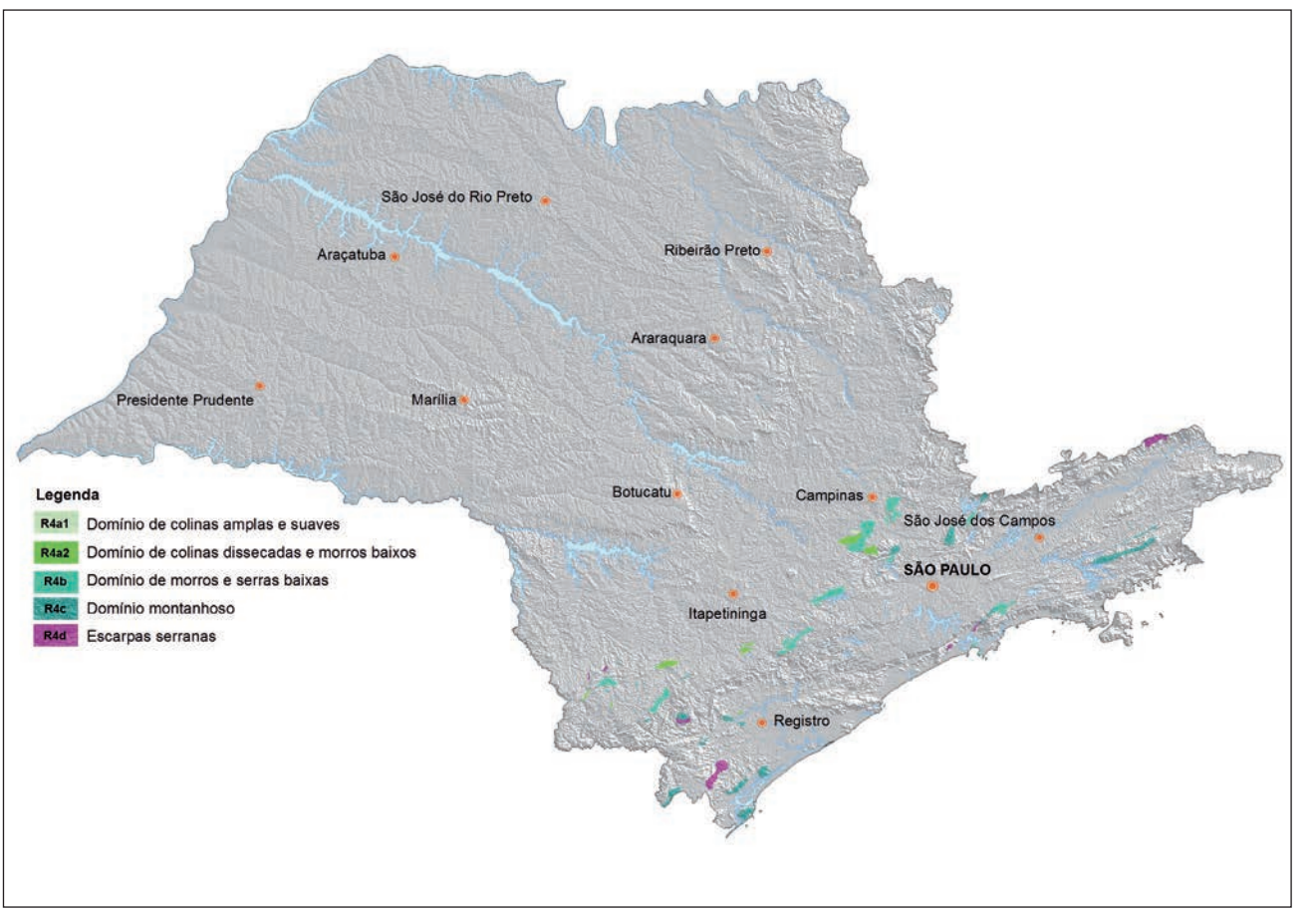


Figura 3.135 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DCGR1.

Quadro 3.22 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DCGR1palc	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCGR1alc	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
DCGR1salc	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCGR1pal	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCGR1in	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000

Tais estruturas na rocha ocasionam aumento na percolação de água, facilitam a ação dos processos intempéricos e, em taludes de corte, geram áreas de fragilidade com possibilidade de instabilização de blocos.

As rochas graníticas alteram-se de maneira diferenciada, quase sempre deixando blocos e matacões soltos ao longo do perfil do solo, mesmo em locais onde os perfis pedogenéticos sejam espessos. Esse padrão de alteração posiciona o substrato rochoso em profundidades irregulares (Figura 3.136).

Há grande possibilidade de os blocos e matacões se posicionarem em diferentes profundidades ao longo do perfil do solo, o que dificultaria a execução de escavações e perfurações.

Fragmentos de rocha podem se movimentar em taludes de corte, em rampas declivosas e instabilizar edificações, no caso de fundações ou estacas apoiarem-se parcialmente sobre esses blocos ou matacões.

Esses terrenos exigem estudos geotécnicos detalhados, apoiados em sondagens de malha reduzida, com impacto nos custos nas fases de planejamento e de execução de obras civis do tipo estradas, gasodutos ou barragens (Figuras 3.137 e 3.138).

Figura 3.136 - Região com relevo forte ondulado e pouca ocupação urbana, devido à exposição de blocos e matacões de rocha na superfície e à declividade acentuada das encostas (Valinhos, SP).

Os granitos, quando intemperizados, formam solos argilo-síltico-arenosos; quando apresentam pedogênese pouco avançada, podem sofrer processos erosivos intensos

e se tornarem suscetíveis a acidentes geotécnicos do tipo escorregamentos.

O solo argilo-síltico-arenoso erode com facilidade e não é adequado para uso em obras expostas à concentração de águas pluviais, como aterros ou taludes de corte.

Figura 3.137 - A construção da estrada em relevo montanhoso gerou taludes altos e de difícil contenção e a alteração no padrão de drenagem natural, associada à redução da cobertura vegetal, iniciou os processos erosivos na área (São Luís do Paraitinga, SP).

Figura 3.138 - Erosão na forma de sulco junto à rodovia; a falta de disciplinamento na condução das águas desencadeia este tipo de feição no solo (São Luís do Paraitinga, SP).

Agricultura

• Adequabilidades

As rochas graníticas intemperizadas formam solos com alta participação de argila e liberam vários nutrientes, como Na, Mg e K. Onde ocorre pedogênese avançada, os solos apresentam erosividade moderada, muito boa capacidade de reter nutrientes e de assimilar matéria orgânica, refletindo em melhores resultados na produtividade agrícola.

É um solo poroso, com média permeabilidade, características que resultam em boa capacidade hídrica, mantendo certa quantidade de água disponível para a vegetação por longo período, mesmo no caso de baixo índice pluviométrico.

A baixa qualidade química dos solos graníticos com pedogênese avançada é compensada pela boa qualidade física, portanto, relevo favorável e manejo correto resultarão em solos com bom potencial agrícola.

Os granitos à base de feldspatos alcalinos e contendo minerais secundários ferromagnesianos geram solos residuais de fertilidade natural relativamente alta.

• Limitações

Nesse domínio, as rochas geram solos argilo-síltico-arenosos e o processo de intemperização libera muito alumínio, tornando os solos mais ácidos. São solos que, dependendo de fatores tais como relevo, cobertura vegetal e clima, podem sofrer intensos processos de erosão hídrica laminar, formando ravinas, sulcos ou voçorocas.

Pelo padrão de fraturamento, são rochas que se alteram de forma heterogênea, formando blocos e matacões que se distribuem de forma esparsa na superfície do terreno, gerando uma paisagem denominada "campo de matacões", o que restringe o uso para fins agrícolas (Figura 3.139).

Figura 3.139 - As rochas graníticas, ao sofrerem erosão diferenciada, geram a formação de campo de matacões na superfície do terreno, inviabilizando o uso e a ocupação agrícola (Valinhos, SP).

Os solos residuais apresentam erosividade variando de moderada, nos perfis bem evoluídos, a alta, nos perfis poucos evoluídos, onde a fertilidade natural varia de moderada a baixa, pelas características físico-químicas e biológicas predominantes nesses solos.

Em caso de uso contínuo de máquinas e equipamentos pesados e/ou em áreas de criação de gado, devido ao intenso pisoteio, por apresentarem altas proporções de argilas, esses solos sofrem compactação e impermeabilização.

Tal prática reduz o grau de infiltração das águas das chuvas no solo e subsolo, com consequente aumento da

velocidade do escoamento superficial, que reduz a recarga das águas subterrâneas e pode ocasionar a extinção de nascentes d'água, aumentando o potencial erosivo na região (Figuras 3.140 e 3.141).

Figura 3.140 - Nesta área predomina relevo montanhoso, que apresenta, em suas encostas, sinais de erosão provocada pelo pisoteio do gado (Jacupiranga, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Figura 3.141: Área sem cobertura vegetal, utilizada para campo de pastagem, onde o pisoteio intensivo do gado gera processo de compactação e erosão do solo (Eldorado, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

Nesse domínio há maior possibilidade de existência de grandes e profundas fraturas abertas, com bom potencial armazenador e circulador de água, especialmente nas bordas dos maciços, sendo terrenos com interessante potencial hidrogeológico.

Os solos residuais de granitos, principalmente quando muito espessos, por sofrerem processo de pedogênese profunda, podem armazenar potenciais aquíferos superficiais.

Os granitos são rochas com baixa permeabilidade primária e geram solos argilo-síltico-arenosos, com boa capacidade de fixar e eliminar poluentes, evitando, assim, a contaminação dos aquíferos.

Em áreas onde os solos forem mais profundos, o risco de contaminação das águas subterrâneas é mais reduzido.

• Limitações

As rochas graníticas tardi- e pós-tectônicas geralmente são portadoras de muitas fraturas abertas, especialmente nas bordas dos maciços, pelas quais poluentes podem alcançar rapidamente as águas subterrâneas.

Em área onde as rochas afloram e os solos residuais são pouco evoluídos ou rasos, o risco de contaminação das águas subterrâneas é alto, exigindo cuidados especiais com fontes potencialmente poluidoras.

Nas rochas graníticas, as águas subterrâneas se armazenam e circulam através de pequenas e grandes fendas abertas, relacionadas a falhas e fraturas. Constituem aquíferos fissurais descontínuos, com potencial hidrogeológico bastante irregular. Este depende da existência, distribuição, tamanho, densidade e interconectividade das falhas e fraturas e das condições climáticas locais. Por isso, às vezes, um poço pode dar excelente vazão e outro, ao lado, ser seco.

Como os solos gerados pelo intemperismo dessas rochas apresentam teores razoáveis de argila, a permeabilidade é variável e o manto de alteração apresenta qualidades desfavoráveis para que ocorra a recarga dos lençóis subterrâneos.

Potencial mineral

Os corpos graníticos desse domínio têm alto potencial para serem lavrados para brita, rocha ornamental e pedra de cantaria (Quadro 3.23).

Nos granitos das séries peralcalinas, há ocorrências de cobre, manganês, estanho, tungstênio, molibdênio, ouro, pirita e titânio, assim como de substâncias para uso na construção civil, como gnaisse, granito e granito ornamental.

Em rochas graníticas alcalinas, há ocorrências de tungstênio (W) e de substâncias para uso na construção civil, como argila, granito, granito ornamental e água mineral.

Os granitos das séries subalcalinas e calcialcalinas têm potencial para uso na construção civil: diorito, gnaisse, monzodiorito, monzonito e granito ornamental.

Nas rochas graníticas peraluminosas, há ocorrências de alumínio e de substâncias para uso na construção civil, como caulim e granito ornamental.

Há ocorrências de garimpo de ouro nos granitos indeterminados e peralcalinos.

Quadro 3.23 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DCGR1	DCGR1palc	Au, Cu, Mn, Mo, Pb, Pirita, Sn, Ti, W	ND	Granito Granito ornamental	ND
	DCGR1alc	W	ND	Argila Granito Granito ornamental	Água mineral
	DCGR1salc	ND	ND	Granito ornamental	ND
	DCGR1pal	Al	ND	Caulim Granito ornamental	ND
	DCGR1in	Au	ND	ND	ND

Obs.: ND = Não-Detectado.

Aspectos ambientais e potencial turístico

Pelo fato de as rochas graníticas apresentarem alta resistência ao intemperismo físico-químico, os terrenos por elas sustentados costumam ser predominantemente montanhosos, havendo muitas áreas de grande beleza cênica, com a formação de belos espigões rochosos, onde rios e córregos têm seus leitos geralmente revestidos de blocos e matacões. Há trechos desses rios com as águas escoando sobre o substrato rochoso, formando belas corredeiras, cachoeiras e piscinas naturais (Figura 3.142).

Nessas unidades geoambientais, predominam relevos movimentados, favoráveis a que o lençol freático aflore em vários pontos, formando muitas nascentes. Portanto, são regiões de grande importância para a manutenção da regularidade do regime hídrico superficial.

A predominância de relevos em desequilíbrio, em franco e acelerado processo de desgaste, aliada ao potencial erosivo relativamente alto dos solos graníticos, torna essas áreas sujeitas a grandes movimentos naturais de massa. São áreas-fontes de geração de alta carga de detritos arenosos que, carreados pelas chuvas, podem assorear os cursos de água a jusante dessas regiões.

Nesse domínio, há corpos graníticos situados dentro de unidades de conservação de forma integral, como os granitos Marins (Figura 3.143), Ilha do Cardoso, Pai Matias, Alto do Turvo, Mandira, Vargem Grande e Serra do Cordeiro.

Figura 3.142 - Rio que, devido ao relevo declivoso, apresenta trechos onde afloram, no leito, blocos de granitos formando corredeiras, cachoeiras e piscinas naturais (Jacupiranga, SP). Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Figura 3.143 - Região do pico dos Marins, na serra da Mantiqueira, onde predomina relevo montanhoso de grande beleza e com potencial para a prática do ecoturismo, como *trekking* e escaladas (Piquete, SP).

DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES DEFORMADOS (DCGR2)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos complexos granitoides deformados ocorre em uma área de 14.040 km^2, representando 5,7% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio é subdividido em quatro unidades geológico-ambientais, que apresentam as seguintes áreas: DCGR2alc – 40 km^2; DCGR2salc – 9.500 km^2; DCGR2pal – 3.000 km^2; DCGR2in – 1.500 km^2 (Figura 3.144).

Tais rochas cristalizaram-se em profundidades diversas da crosta terrestre em tempos diferentes e ambientes com ocorrência de eventos tectônicos compressivos, razão pela qual se apresentam com feições deformacionais dúcteis, principalmente nas bordas, sendo classificadas como granitos tarditectônicos.

São rochas derivadas de várias pulsações magmáticas, que ocasionaram grande variação na composição químico-mineral, no padrão textural e nas cores. Ao longo de sua cristalização em diferentes profundidades na crosta terrestre, essas rochas sofreram intensas deformações tectônicas que causaram orientação mineral bem marcada nas bordas e não-orientada na parte central desses corpos graníticos.

A composição mineral dos complexos granitoides é à base de feldspatos sódico e potássico, em percentagens variando entre 50 e 70%; quartzo, variando entre 20 e 30%; em menor proporção, ocorrem minerais secundários máficos do tipo biotita e horblenda e minerais acessórios e opacos.

Os minerais predominantes nos granitos, como os feldspatos e o quartzo, apresentam moderada a alta resistência ao intemperismo físico-químico, sendo rochas que sofrem alteração de maneira muito diferenciada, gerando solos argilo-síltico-argilosos. Tais rochas, geralmente, sustentam relevos acidentados, variando de morros baixos a montanhosos e escarpas serranas.

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DCGR2 apresentam as seguintes características geológicas:

- **DCGR2alc:** Unidade formada por séries graníticas alcalinas. Exemplo: Granito Serra do Lopo.
- **DCGR2salc:** Unidade formada por séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Exemplo: Granito Santa Isabel.
- **DCGR2pal:** Unidade formada por granitoides peraluminosos. Exemplo: Granito Quebra Cangalha.
- **DCGR2in:** Unidade Indeterminado. Exemplo: Granitoide Caconde.

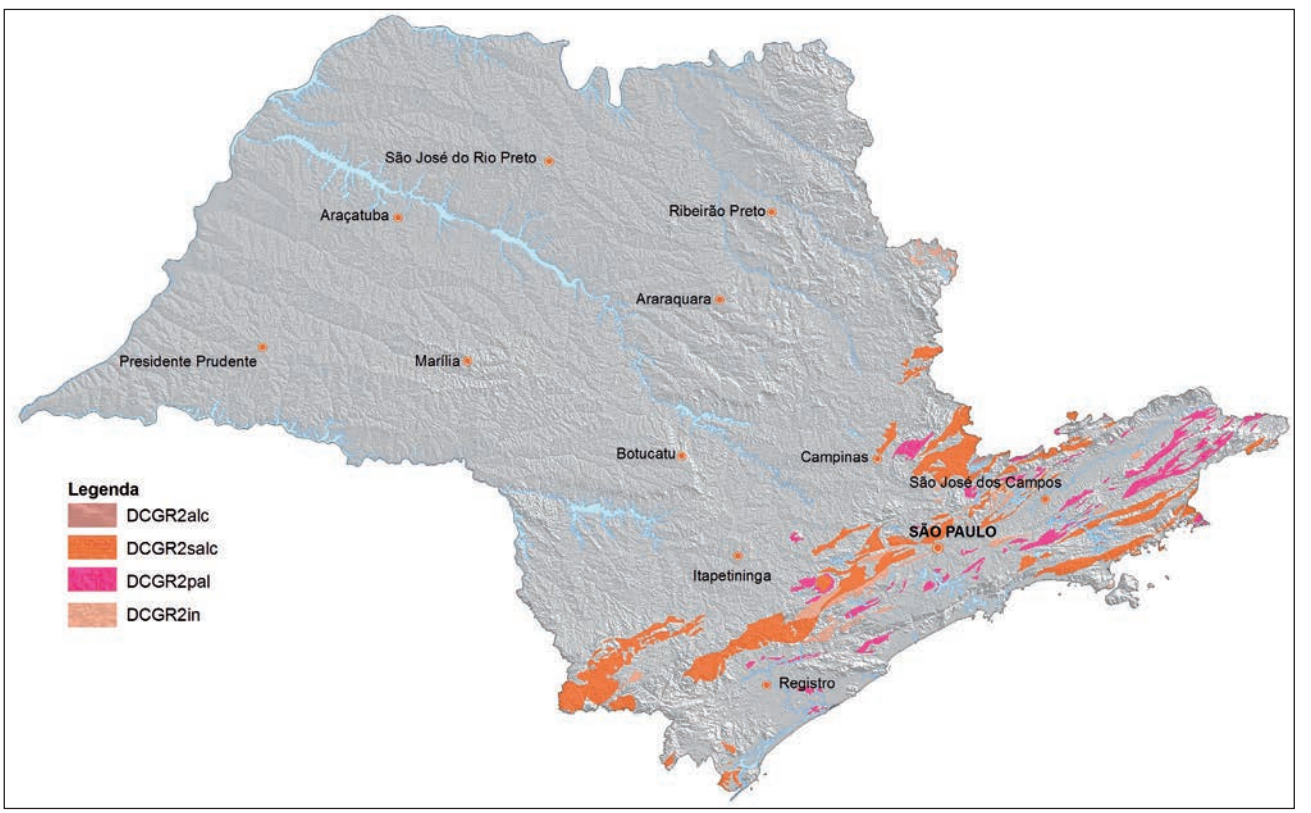


Figura 3.144 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCGR2 no estado de São Paulo.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCGR2 são apresentadas na Figura 3.145. Já as formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.24.

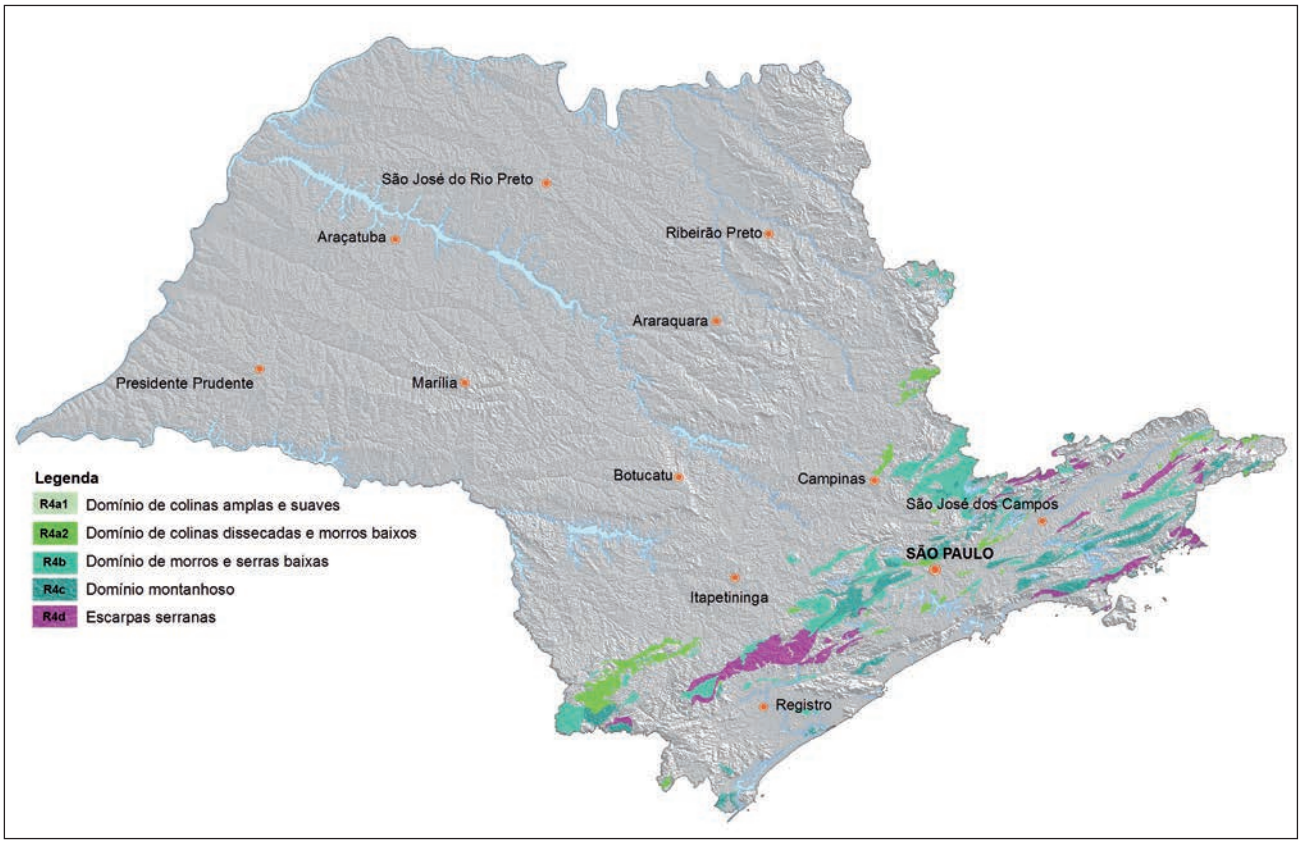


Figura 3.145 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DCGR2.

Quadro 3.24 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DCGR2alc	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
DCGR2salc	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
DCGR2pal	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCGR2in	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

Nesse domínio, há predomínio de rochas com alto grau de coesão, baixa porosidade primária e mineralogia à base de feldspatos e quartzo. Apresentam elevada resistência à compressão, com resistência ao intemperismo físico-químico variando de moderada a alta.

São rochas adequadas para uso em fundações e como agregados para concreto, além de diversas outras aplicações na indústria da construção civil.

Os granitos tarditectônicos podem apresentar textura marcadamente foliada de fraturamento intenso, mas concentrado nas bordas dos maciços. Tais características físicas facilitam os processos intempéricos e aceleram a instabilização dessas rochas em taludes de corte.

As rochas graníticas intemperizadas formam solos argilo-síltico-arenosos. Em áreas onde ocorre pedogênese incipiente, o material é denominado saibro, com potencial de uso na conservação de estradas e em quadras esportivas.

No caso de solos residuais, com pedogênese avançada, estes têm boa capacidade de compactação, baixa permeabilidade e são moderadamente plásticos, pouco erosivos e com grande potencial para uso como material de empréstimo em aterros.

• Limitações

Nos granitos deformados, há maior possibilidade de textura foliada nas bordas dos maciços rochosos, porções onde ocorrem superfícies planares, que se constituem em descontinuidades geomecânicas, sendo pontos de fraqueza sujeitos à constante ação do intemperismo.

Nas bordas dos maciços graníticos existe intenso fraturamento, que ocorre em várias direções, sendo os pontos mais frágeis das rochas.

Caso taludes de corte sejam construídos próximo às bordas dos maciços e com paredes muito verticalizadas, poderá haver instabilização geotécnica de blocos aflorantes ou da própria rocha alterada ou solo, podendo ocorrer rolamentos, quedas, tombamentos e escorregamentos (Figuras 3.146 a 3.152).

Em áreas de ocorrência de rochas não-intemperizadas, estas apresentam alta resistência ao corte e à penetração, necessitando do uso de explosivos para o desmonte (Figura 3.153).

As rochas graníticas alteram-se de maneira diferenciada, quase sempre deixando blocos e matacões ao longo do perfil do solo. Mesmo nas áreas onde os perfis são profundos, podem surgir fragmentos de rocha, dificultando a execução de escavações e perfurações.

Figura 3.146 - Afloramento de grandes blocos e matacões de rocha na meia-encosta de morro em área de relevo acidentado, com risco de acidentes geotécnicos, como queda ou tombamento (Barra do Chapéu, SP).

Figura 3.147 - Talude em rocha granítica alterada, com sinais de erosão e sem obras de contenção (Barra do Chapéu, SP).

Figura 3.148 - Escorregamento em talude devido a problemas na drenagem e ao tipo de solo com baixa qualidade, causando sérios danos à rodovia (Ribeira, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Figura 3.149 - O talude construído em solo alterado e pouco evoluído de rocha granítica e sem obras de contenção apresenta pequenos escorregamentos que atingiram o acostamento da rodovia (Sete Barras, SP).

Figura 3.150 - Neste talude ocorre a exposição de um perfil de rocha alterada e solo residual que está sofrendo processo de erosão, necessitando de obras de contenção de maior custo (Guaratinguetá, SP).

Figura 3.151 - Talude em solo estabilizado de forma precária, ao lado de avenida em região de forte expansão urbana (São Paulo, SP). Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Figura 3.152: Rocha granítica mais alterada, em relevo montanhoso, ao sofrer cortes para a construção da rodovia, gerou taludes muito altos e que necessitaram de obras de contenção do tipo muro de gabião (Tapiraí, SP).

Figura 3.153: A rocha granítica exibe características geotécnicas dos tipos densidade, resistência e pouco fraturamento, tornando necessário o uso de explosivos para sua escavação, para construção de viaduto (São Roque, SP).

Caso aflorem nas paredes de taludes de corte e em rampas declivosas, blocos e matacões podem sofrer movimentação, instabilizando edificações, se estas se apoiarem parcialmente sobre tais fragmentos de rochas (Figura 3.154).

Nas regiões onde ocorrem rochas graníticas, a profundidade do substrato rochoso pode apresentar grande irregularidade, sendo necessários ensaios geotécnicos detalhados, apoiados em sondagens de malha pouco espaçadas. Tais estudos iniciais elevam os custos dos projetos de engenharia, tanto nas etapas de levantamentos preliminares e de planejamento como na de execução da obra.

As rochas graníticas geram solos residuais, pouco evoluídos e bastante erosivos se submetidos à concentração das águas pluviais, não sendo adequados como material de empréstimo em obras expostas às chuvas.

Figura 3.154 - Talude com problemas de instabilidade na base, onde afloram pequenos blocos de rocha granitoide em um perfil com formação de pouco solo (Arujá, SP).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

São solos pouco coesivos que, no caso de sofrerem escavações para construção de taludes de corte, podem instabilizar e deflagrar acidentes geotécnicos do tipo escorregamentos.

Agricultura

• Adequabilidades

As rochas graníticas formam solos com alta participação de argila. Nas regiões onde a pedogênese for avançada e o relevo não se mostrar muito acidentado, a ação da erosão natural se dará de forma mais moderada. São solos com excesso de alumínio que apresentam baixa qualidade química, porém, esta é compensada pela boa qualidade física. Logo, desde que o relevo seja favorável e os solos corretamente manejados e corrigidos, com utilização de práticas de proteção contra erosão, essas áreas apresentarão bom potencial agrícola (Figura 3.155).

Nas áreas em que ocorrem granitos à base de feldspatos alcalinos, contendo minerais ferromagnesianos como acessórios, estes geram solos residuais de fertilidade natural relativamente boa (Figuras 3.156 e 3.157).

Os solos mais argilosos têm boa capacidade de reter e fixar nutrientes e de assimilar matéria orgânica, respondendo bem à adubação. Nessa situação, se o relevo for favorável, o solo é classificado como pouco erosivo.

Nessas áreas, os solos apresentam alta porosidade e boa capacidade hídrica, mantendo boa disponibilidade de água para a vegetação por um tempo mais longo, mesmo nos períodos de estiagem.

Figura 3.155 - Área rural com relevo ondulado, com usos agropastoris e vegetação nativa preservada, no topo do morro e em sua encosta (Arujá, SP).

Figura 3.156 - O perfil de solo gerado da alteração de rochas graníticas apresenta-se bem estruturado, sem sinais de erosão e com boa fertilidade natural, pois em sua composição há maior quantidade de minerais ferromagnesianos (Itapirapuã Paulista, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Figura 3.157 - O talude mostra boa estabilidade e a textura mineral da rocha-fonte preservada (Barra do Chapéu, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

• Limitações

As rochas graníticas, ao sofrerem processo de intemperismo, formam solos argilo-síltico-arenosos que, devido a sua composição mineralógica, com excesso de alumínio, tornam o solo excessivamente ácido, acarretando baixa fertilidade natural.

Os solos residuais compactam-se, impermeabilizam-se e sofrem alta erosão hídrica laminar se continuamente mecanizados para introdução de agricultura mais intensiva, com o uso de equipamentos pesados. O aumento de áreas para pastagem gera maior pisoteio do gado, causando impermeabilização e compactação desses solos.

O uso de tais práticas no manejo dos solos, em áreas rurais, interfere negativamente na dinâmica das águas superficiais e subterrâneas, reduzindo o potencial de infiltração das águas das chuvas no solo e subsolo, com consequente aumento da velocidade do escoamento superficial e da erosão laminar, gerando sulcos, ravinas e voçorocas.

Na região, os relevos predominantes são montanhosos ou escarpados, o que se constitui em característica restritiva ao uso agrícola intensivo (Figura 3.158).

Figura 3.158 - Nesta região ocorre um padrão de relevo acidentado, fator restritivo ao uso e à ocupação (Arujá, SP). Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

Há predomínio de rochas de baixa permeabilidade primária, que se alteram para solos argilo-síltico-arenosos pouco permeáveis, de boa capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes. Nas regiões em que ocorrem perfis profundos e com pedogênese avançada, é muito baixo o risco de contaminação das águas subterrâneas.

As rochas granitoides, formadoras do domínio, apresentam extensas e profundas fraturas abertas, características indicadoras de maciços rochosos com bom potencial armazenador e circulador de água.

No caso de essas litologias incidirem nas bordas dos maciços, a região passa a ter forte potencial hidrogeológico para locação de poços tubulares profundos.

Os solos residuais de granitos, principalmente quando espessos e com pedogênese intensa, podem exibir bom potencial armazenador de aquíferos superficiais.

• Limitações

As rochas graníticas tardi- e pós-tectônicas, geralmente, são portadoras de muitas fraturas abertas, especialmente nas bordas dos maciços. Tais estruturas facilitam que poluentes infiltrem-se e contaminem, de forma rápida, as águas subterrâneas.

Em áreas em que ocorram afloramentos de rochas muito fraturadas e os solos residuais sejam pouco evoluídos ou rasos, o risco de contaminação das águas subterrâneas será alto. Nesse caso, medidas de controle devem ser instaladas junto às fontes potencialmente poluidoras.

Nessas litologias, as águas subterrâneas ficam armazenadas e circulam através de pequenas e grandes falhas e fraturas, sendo classificadas como aquíferos fissurais descontínuos.

Esses aquíferos têm potencial hidrogeológico local bastante irregular, que depende da existência, distribuição, tamanho, densidade e interconectividade das falhas e fraturas. Essas características, associadas às condições climáticas locais, podem influenciar na produtividade de poços perfurados muito próximos e estes apresentarem vazões variando de boas a nulas.

Como os solos gerados pelo intemperismo dessas rochas apresentam teores razoáveis de argila, a permeabilidade é variável e o manto de alteração apresenta qualidades desfavoráveis para que ocorra recarga dos lençóis subterrâneos. A redução do fluxo hídrico subsuperficial ocasiona menor volume de água nas nascentes ou a sua extinção, sendo tais formações as principais abastecedoras dos rios da região.

Potencial mineral

Nesse domínio, há áreas com alto potencial para granitos com características físico-químicas, texturais e formas de afloramento (blocos e matacões) adequadas para serem lavrados para brita, rocha ornamental e pedra de cantaria (Figuras 3.159 e 3.160) (Quadro 3.25).

Na região em que afloram granitos alcalinos, há exploração de argila e rocha ornamental e brita para uso na construção civil.

Há ocorrências de alumínio, bário, berilo, caulim, coríndon, cobre, chumbo, feldspato, ferro, fósforo, molibdênio, ouro, prata, pirita, saibro, talco, volfrâmio e manganês, assim como exploração de insumos e rochas para uso na construção civil, como quartzo, areia, argila, gnaisse, charnockito, granito, migmatito e granito ornamental, além de água mineral para consumo humano em áreas em que afloram rochas granitoides de séries subalcalinas: calcialcalinas e toleíticas.

Figura 3.159 - A rocha granítica exibe textura maciça, com potencial para uso na construção civil (Tapiraí, SP).

Figura 3.160 - Frente de exploração mineral em região de relevo montanhoso (Arujá, SP).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Quadro 3.25 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DCGR2	DCGR2alc	ND	ND	Argila Granito Granito ornamental	ND
	DCGR2salc	Al, Au, Ag, Ba, Be, Coríndon, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, Pirita, W	Feldspato Fósforo Talco	Areia Caulim Granito Granito ornamental Quartzo Saibro	Água mineral
	DCGR2pal	As, Mn, Muscovita, Pegmatito, Pirita	Feldspato	Areia Argila Granito Granito ornamental Quartzito	Água mineral Linhito
	DCGR2in	Fe, Sn	ND	Areia Argila Caulim Granito Granito ornamental	ND

Obs.: ND = Não-Detectado.

Os granitos peraluminosos apresentam ocorrências de arsênio, caulim, feldspato, grafita, linhito, manganês, muscovita, pegmatito, pirita, quartzito. Há exploração de insumos e rochas para a construção civil, como areia, argila, gnaisse, gnaisse ornamental, granito e granito ornamental, além de água mineral para consumo humano.

Nas regiões em que ocorrem granitos indeterminados, há ocorrência de estanho, assim como exploração de insumos de rochas para uso na construção civil, como areia, argila, caulim, granito e granito ornamental.

Aspectos ambientais e potencial turístico

As regiões mais urbanizadas que ocorrem sobre estas unidades geoambientais graníticas podem se aproveitar, de forma positiva, dos aspectos ambientais tipo feições de relevo (Figura 3.161).

Figura 3.161 - Blocos e matacões de rocha granítica aflorando em região densamente urbanizada, que foram aproveitados no projeto paisagístico da praça (São Paulo, SP).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Por outro lado, também há situações inversas em que uma área apresenta relevo montanhoso associado à existência de riachos e córregos, que ao ser urbanizada de forma desordenada, gera um ambiente de alto risco geotécnico e suscetível a enchentes e inundações (Figuras 3.162 e 3.163). Após esse tipo de ocupação instalada, para reordenar a ocupação e recuperar a área ambientalmente, para melhorar a condição socioambiental da comunidade local, serão necessários projetos complexos, com alto custo e longo período de execução.

Nesse domínio, há predomínio de relevos favoráveis a que o lençol freático aflore em vários locais. São áreas geralmente portadoras de muitas nascentes, portanto, de grande importância para manutenção da regularidade do regime hídrico superficial que abastece os principias rios da região.

O predomínio de relevos em desequilíbrio, em franco e acelerado processo de desgaste, aliado ao potencial erosivo relativamente alto dos solos graníticos, torna essas áreas sujeitas a grandes movimentos naturais de massa e fontes de alta carga de detritos arenosos que assoreiam os cursos d'água (Figuras 3.164 e 3.165).

Figura 3.164 - Trecho de rio com escorregamento de solo e rocha nas margens do rio, causando danos à vegetação ciliar e o assoreamento (Itapirapuã Paulista, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Figura 3.162 - Ocupação de forma desordenada de encostas, topos de morros e margens do córrego, causando sérios danos ao meio ambiente e tornando a área de alto risco geotécnico e de potencial inundação (São Paulo, SP).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Figura 3.165 - Leito de pequeno riacho escoando sobre lajeado, onde a água mostra transparência, indicativo de pouca erosão a montante deste ponto (Arujá, SP).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Figura 3.163 - Área de relevo acidentado, ocupada de forma desordenada com sub-habitações, onde foi necessária a execução de inúmeras obras de urbanização, como muros de contenção de encostas e de drenagem urbana, como retificação e colocação de muros de gabião nas margens do canal para conter a erosão e evitar futuras enchentes pelo seu assoreamento (São Paulo, SP).
Fotografia: Projeto TAV, 2009.

Nas áreas de ocorrência desse domínio e onde os relevos são muito acidentados, há formação de belos espigões rochosos, com rios e córregos exibindo leitos cobertos por seixos, blocos e matacões. Nesses trechos dos rios, a água escoa sobre o leito rochoso, formando fortes corredeiras; onde há quebra de relevo, existem cachoeiras e piscinas naturais.

Esses blocos e matacões afloram na superfície dos terrenos graníticos, nos topos ou, às vezes, nas meias-encostas e dentro do leito dos rios, formando interessantes esculturas naturais e gerando paisagens de grande beleza cênica (Figuras 3.166 a 3.168).

Figura 3.166 - O intemperismo que a rocha granítica sofreu gerou interessantes formas nos blocos e matacões, expostos na superfície do terreno (Itaoca, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Figura 3.167 - Rocha granítica aflorando no leito do rio; o relevo acidentado forma corredeiras e pequenas cachoeiras (Ribeira, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Figura 3.168 - As rochas esculpidas pela ação da erosão hídrica no leito do rio formam bela paisagem (Itaoca, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental Vale do Ribeira.

Pelo fato de as rochas graníticas apresentarem alta resistência ao intemperismo físico-químico, os terrenos sustentados por tais litologias costumam ser predominantemente montanhosos, ocorrendo áreas de grande beleza cênica.

O domínio tem grandes áreas ocorrendo dentro dos limites de importantes unidades de conservação, tais como: Parque Estadual Carlos Botelho, Parque Estadual Intervales, Parque Nacional da Serra da Bocaina, Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Caraguatatuba (Figuras 3.169 e 3.170) e Unidade de Conservação Serra da Mantiqueira.

Figura 3.169 - Áreas montanhosas formam belas paisagens, onde a forte declividade restringe a ocupação urbana, preservando a vegetação de mata atlântica (Caraguatatuba, SP).

Figura 3.170 - O conjunto de montanhas e escarpas exibe uma vegetação bem preservada protegendo as nascentes formadoras dos rios, riachos e córregos da região (Caraguatatuba, SP).

DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES INTENSAMENTE DEFORMADOS: ORTOGNAISSES (DCGR3)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos complexos granitoides intensamente deformados do tipo ortognaisses ocorre em uma área de 2.050 km^2, o que significa 0,9% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio é subdividido em duas unidades geológico-ambientais, que apresentam as seguintes áreas: DCGR3ch – 1.100 km^2 e DCGR3salc – 950 km^2 (Figura 3.171).

Os complexos granitoides aparecem muito deformados, de origem pré- e sintectônica, e são caracterizados por uma complexa associação de pequenos e grandes corpos de granitos das mais diversas origens, idade, textura e composição químico-mineral.

São rochas intensamente deformadas que sofreram metamorfismo em condições de elevadas temperaturas e pressões, o que modifica fortemente a mineralogia com feições deformacionais, recristalizações e orientação segundo uma direção preferencial em toda a extensão dos maciços.

Nas zonas de maior deformação, a rocha exibe textura que se assemelha a xistos e a composição mineral é mais rica em biotita e horblenda, podendo ocorrer mais ou menos concentrados em faixas planoparalelas ou lenticulares.

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DCGR3 apresentam as seguintes características geológicas:

- DCGR3ch: Unidade formada por associações charnockíticas. Exemplo: Charnockito Ubatuba.

- DCGR3salc: Unidade formada pelas séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Exemplo: Complexo Amparo.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCGR3 são apresentadas na Figura 3.172. Já as formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.26.

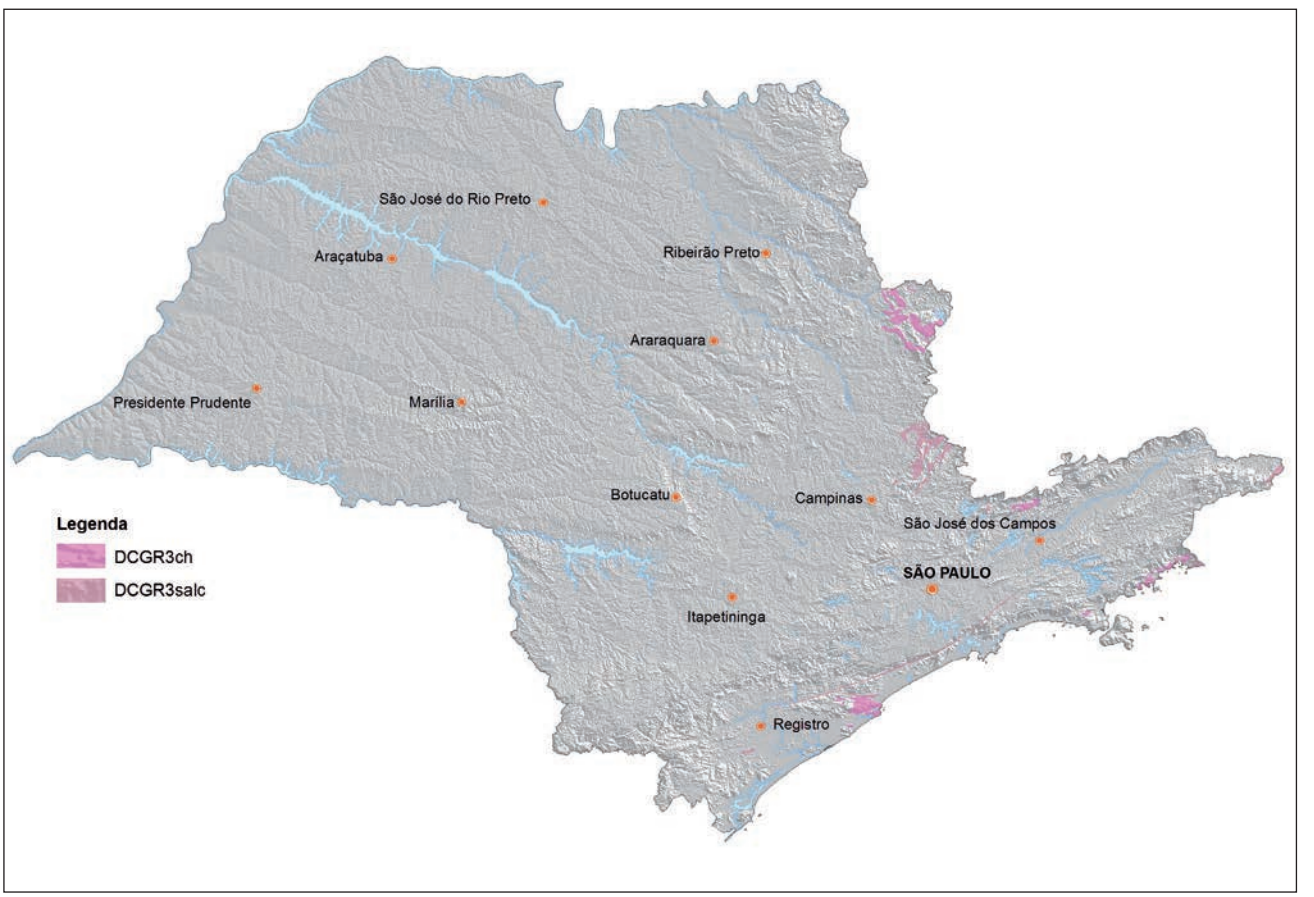


Figura 3.171 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCGR3 no estado de São Paulo.

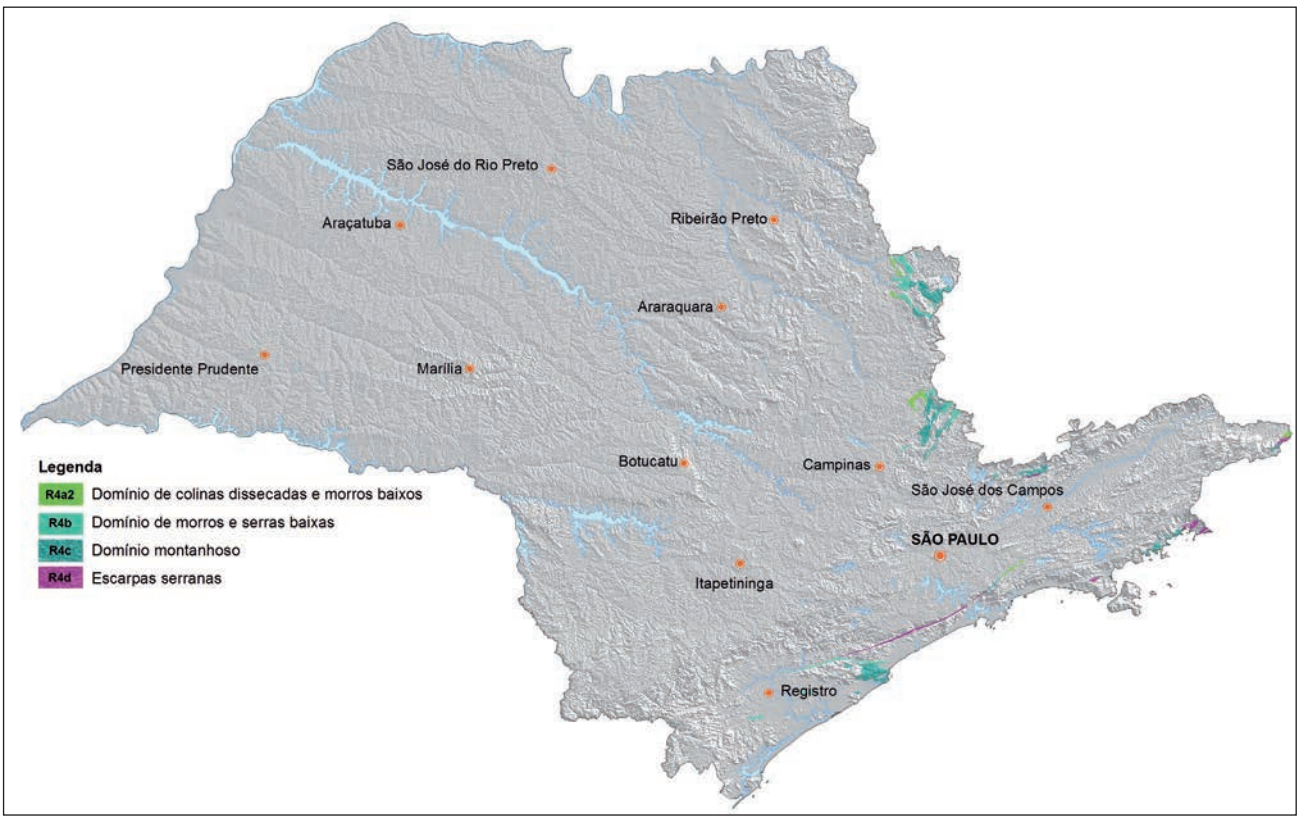


Figura 3.172 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DCGR3.

Quadro 3.26 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DCGR3ch	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCGR3salc	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

No domínio DCGR3, há predomínio de rochas com alto grau de coesão e mineralogia à base de feldspatos e quartzo, elevada resistência à compressão, baixa porosidade primária e moderada a alta resistência ao intemperismo físico-químico.

Em razão da proeminente foliação mineral e da heterogeneidade textural em relação aos granitos pós- e tarditectônicos, os granitoides se alteram gerando menor número de blocos e matacões ao longo do perfil do solo.

Os granitoides se alteram para solos argilossiltosos e argilo-síltico-arenosos, onde o manto de alteração parcial (saprólito) pode ser utilizado como saibro.

Nas áreas onde ocorram solos residuais, com pedogênese avançada, estes têm boa capacidade de compactação, permeabilidade variando de baixa a moderada, sendo moderadamente plásticos e pouco erosivos, podendo ser usados como material de empréstimo.

As rochas granitoides do tipo ortognaisses apresentam potencial para uso em fundações e como agregados para concreto e outras aplicações na construção civil (Figura 3.173).

Figura 3.173 - Área sendo aterrada com material proveniente da escavação de solo gerado da alteração de rochas granitoides com padrão gnáissico que mostra boa qualidade para esse tipo de uso (Itapira, SP).

- Limitações

Essas rochas, por seu grau de resistência e sua origem ígneo-metamórfica, somados às características mineralógicas (predomínio de feldspato e quartzo), apresentam alta resistência ao corte e à penetração. Assim, para execução de frentes de escavação ou de terraplenagem será necessário o uso de explosivos para o desmonte.

São litologias que contêm inúmeras descontinuidades geomecânicas, relacionadas ao fraturamento, à foliação e ao bandamento gnáissico que apresentam concentrações diferenciadas de biotita isorientada, devido ao intenso processo deformacional que sofreram. São características que as tornam mais suscetíveis e concentram-se nas bordas dos maciços, facilitando a ocorrência de instabilidades geotécnicas como queda, rolamento e tombamento de blocos.

Em perfis de solo, mesmo com pedogênese avançada, poderão ocorrer, de forma menos frequente e mais irregularmente distribuídos, afloramentos de blocos e matacões soltos, devendo-se tomar cuidado para que fundações e edificações não fiquem parcialmente apoiadas sobre esses fragmentos de rochas, pois estes correm o risco de se movimentar e instabilizar tais obras (Figura 3.174).

As rochas granitoides alteram-se de forma bastante heterogênea, gerando solos argilo-síltico-arenosos e ocasionando uma variação irregular na profundidade do substrato rochoso.

No caso de solos residuais pedogeneticamente pouco evoluídos, estes são excessivamente erosivos e se instabilizam com facilidade em obras do tipo taludes de corte. Portanto, são solos de uso não-adequado como material de empréstimo em obras do tipo aterros, sujeitos à concentração de águas pluviais (Figuras 3.175 a 3.177).

Figura 3.174 - Talude em rocha em que o padrão de fraturamento mostra um desplacamento no sentido da pista da rodovia (Miracatu, SP).

Figura 3.175 - Talude em solo com processo de erosão em forte evolução, devido à falta de obras de drenagem nas bermas para melhor condução das águas pluviais para as áreas laterais (Miracatu, SP).

Figura 3.176 - Área com talude com problema de escorregamento e erosão, devido ao tipo de solo mais arenoso e à falta de drenagem para condução das águas superficiais para as drenagens naturais (Iguape, SP).

Figura 3.177 - Região com relevo montanhoso, onde os taludes em solo residual e em rocha alterada necessitaram de obras de contenção mais eficientes e de maior custo para reduzir os acidentes geotécnicos (Iguape, SP).

Agricultura

• Adequabilidades

Nesse domínio, há predomínio de rochas graníticas que, ao sofrerem alteração, formam solos com alta participação de argila. Tais solos apresentam erosividade natural variando de baixa a moderada em áreas onde o relevo é classificado como colinas dissecadas e morros baixos e a declividade e a amplitude apresentam valores baixos como os apresentados no Quadro 3.26.

São solos com baixa permeabilidade, mas com boa capacidade de reter e fixar elementos e de assimilar matéria orgânica, respondendo bem à adubação.

As rochas granitoides intemperizadas formam solos residuais porosos, que têm como potencialidade armazenar e reter água, mantendo-a disponível por mais tempo. Mesmo em períodos de seca, são áreas que não necessitam de irrigação frequente.

Como há predomínio de rochas em que a composição mineralógica apresenta grandes concentrações de minerais ferromagnesianos, como biotita e horblenda, os solos residuais dessas áreas apresentam alta fertilidade natural.

Assim, a influência da geologia no potencial agrícola dos solos é mais positiva que negativa, desde que sejam corretamente manejados e corrigidos e o fator relevo viabilize a ocupação agrícola.

Os solos formados pela alteração das rochas granitoides apresentam bom potencial agrícola. No caso de baixa qualidade química, esta é compensada pela boa qualidade física.

Nesse domínio, predominam relevos montanhosos, ocorrendo em meio a essas áreas acidentadas pequenos e isolados setores com relevo um pouco mais suavizado. São locais recobertos por solos com melhor potencial agrícola que, para serem aproveitados, necessitam ser manejados com utilização de práticas conservacionistas, sendo recomendadas culturas de ciclo longo.

• Limitações

A influência do relevo predominantemente montanhoso a escarpado no potencial agrícola é bastante negativa, pois nessas regiões tal tipo de topografia forma solos residuais pouco evoluídos, do tipo Litossolo e Cambissolo.

Nessas áreas, em muito locais podem aflorar o substrato ou os horizontes B e C do solo, que também são muito suscetíveis à erosão laminar e concentrada, restringindo o potencial agrícola.

Como são regiões com declives excessivamente acentuados, não permitem a utilização de equipamentos agrícolas motorizados.

Essas rochas, quando alteradas, liberam excesso de alumínio para os solos, tornando-os bastante ácidos e prejudicando o desenvolvimento das plantas em áreas cultivadas.

Por apresentarem altas proporções de argilas, sofrem compactação e impermeabilização, caso sejam continuamente mecanizados com equipamentos pesados e/ou pisoteados pelo gado.

Nos relevos mais acidentados e com solos naturalmente bastante instáveis, o desmatamento excessivo, com circulação do gado, gera muitos focos erosivos e locais com potencial para escorregamentos.

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

Nesse domínio, as rochas granitoides intemperizadas geram solos argilo-síltico-arenosos, que são pouco permeáveis, com boa capacidade de fixar e eliminar poluentes. Onde ocorrem perfis pedogenéticos profundos, os riscos de contaminação das águas subterrâneas por defensivos agrícolas são reduzidos.

O manto de alteração do solo mostra boa permeabilidade primária e secundária, sendo que, em regiões em que os níveis forem mais espessos, podem se formar bons aquíferos superficiais.

O ambiente tectônico favoreceu a formação de excelentes armadilhas hidrogeológicas relacionadas a falhas, fraturas e outras descontinuidades estruturais, classificando-se essas rochas granitoides como aquíferos fraturados, que apresentam bom potencial armazenador e circulador de água.

Um aspecto positivo em topografias acidentadas é que são regiões favoráveis a que o lençol freático aflore em vários locais, formando grande número de nascentes.

Os rios e córregos que drenam essas regiões apresentam águas turbulentas, que oxigenam e mostram alto poder de depuração.

É importante que nessas regiões não ocorram desmatamentos, pois a vegetação tem papel importantíssimo na retenção da água da chuva, que melhora o potencial de recarga dos aquíferos, preserva as nascentes e diminui o potencial erosivo.

• Limitações

Como nesse domínio as rochas são bastante tectonizadas e geralmente portadoras de fraturas e falhas abertas e outras superfícies planares, essas descontinuidades levarão contaminantes de forma rápida aos lençóis d'água.

Nas áreas em que as rochas afloram e os solos forem pouco evoluídos, o potencial de contaminação das águas subterrâneas é alto. Assim, fontes potencialmente poluidoras não devem ser instaladas nessas regiões.

As águas subsuperficiais circulam e ficam armazenadas nas falhas e fraturas, que são os espaços existentes nessas rochas classificadas como aquíferos fissurais ou fraturados.

Tais aquíferos têm bom potencial hidrogeológico, porém, local e bastante irregular. A existência, o tamanho, a densidade e a interconectividade das falhas, assim como as condições climáticas locais, influenciam na produtividade de poços próximos, que podem ter boas vazões ou estarem secos.

Os solos residuais são argilosos e bem evoluídos, pouco permeáveis, sendo desfavoráveis à recarga das águas subterrâneas. Em períodos de excesso de chuva, a maior parte dessas águas escoa rapidamente para os canais de drenagem.

Nas regiões de solos argilosos, cuidados especiais devem ser tomados para não haver grandes desmatamentos, que podem causar excesso de impermeabilização.

O predomínio de relevos em desequilíbrio, em franco e acelerado processo de desgaste, aliado às características do substrato rochoso, torna essas áreas sujeitas a grandes movimentos naturais de massa e fonte de geração de alta carga de detritos finos e arenosos que assoreiam os rios existentes na região.

Potencial mineral

Nas associações charnockíticas, há ocorrência mineral para alumínio e potencial mineral para exploração e uso na construção civil de areia, seixo, Charnockito Ubatuba como rocha ornamental e extração de água mineral (Quadro 3.27).

A unidade formada pelas séries graníticas subalcalinas tem ocorrências de manganês e ouro, assim como exploração para uso na construção civil de areia, asbesto, amianto, talco, feldspato, granito, quartzito, além de extração de água mineral de mesa.

O potencial metalogenético nesse domínio foi reduzido pelo metamorfismo, que mais dispersou que concentrou elementos metálicos, e também pelo profundo grau de erosão dos maciços rochosos. A porção rochosa favorável à existência de mineralizações, em geral, já erodiu.

Pode haver, em muitas áreas, reduzido potencial para exploração de rochas ornamentais devido à textura foliada, heterogeneidade textural e presença de minerais micáceos placoides, ora mais, ora menos concentrados, devido ao bandamento gnáissico (Figura 3.178).

Aspectos ambientais e potencial turístico

Os relevos nessas regiões são montanhosos e escarpados, devido ao predomínio de rochas bastantes tectonizadas, de alta a muito alta resistência ao intemperismo físico-químico, formando paisagens naturais de grande beleza cênica e potencial turístico.

Nessas regiões, onde o relevo é favorável a que o lençol freático aflore em vários locais, forma-se grande número de nascentes, que são importantes para manutenção da

Quadro 3.27 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DCGR3	DCGR3ch	Al	ND	Areia Charnockito como rocha ornamental Seixo	Água mineral
	DCGR3salc	Au, Mn	Feldspato Fósforo Talco	Areia Asbesto Amianto Granito Quartzito	Água mineral

Obs.: ND = Não-Detectado.

regularidade hídrica dos principais rios e córregos que drenam essas áreas (Figura 3.179).

Existem belos espigões rochosos e alta densidade de canais de drenagem nessas regiões, assim como rios e córregos apresentam trechos escoando sobre o substrato rochoso, formando fortes corredeiras, cachoeiras e piscinas naturais.

O domínio tem grandes áreas ocorrendo dentro dos limites de importantes unidades de conservação, tais como: Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Picinguaba, Caraguatatuba, Cubatão, Curucutu, Pedro de Toledo, Estação Ecológica Juréia-Itatins e APA Cananeia-Iguape-Peruíbe.

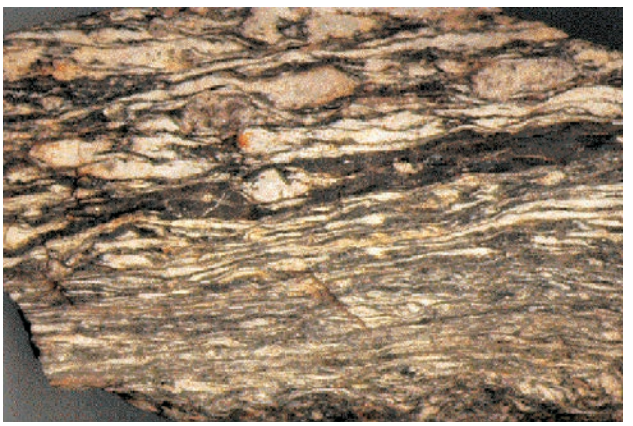


Figura 3.178 - Amostra de rocha granitoide que sustenta os terrenos diferenciados desse domínio, com diferentes graus de estiramento mineral que chega a formar um bandamento deformacional planoparalelo. As bandas claras são formadas por feldspatos e quartzo; as bandas escuras, por minerais ferromagnesianos, especialmente biotita e horblenda.

Figura 3.179 - Nesta região predomina o relevo montanhoso, onde exuberante vegetação de mata atlântica está muito bem preservada (Iguape, SP).

DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITO-GNAISSE MIGMATÍTICO E GRANULITOS (DCGMGL)

Elementos de Definição e Área de Ocorrência

O domínio dos complexos granito-gnaisse migmatíticos e granulitos ocorre em uma área de 21.510 km², o que representa 8,5% do território total do estado de São Paulo.

Esse domínio é subdividido em seis unidades geológico-ambientais, que apresentam as seguintes áreas: DCGMGLmo – 4.000 km²; DCGMGgnp – 10.000 km²; DCGMGLmgi – 500 km²; DCGMGLgli – 10 km²; DCGMGLgno – 5.000 km²; DCGMGLgni – 1.500 km². (Figura 3.180).

Os complexos granito-gnaisses migmatíticos e granulitos são formados por uma complexa associação de rochas derivadas de outras rochas muito antigas que, ao longo da evolução geológica da Terra, foram submetidas à superposição de vários eventos tectonometamórficos de caráter compressivo, em condições de elevadas temperaturas e pressões.

Ao longo de seu processo evolutivo, ocorreram eventos de fusão, refusão e assimilação de magma mais novo e, depois, tectonismo de transporte com metamorfismo de alto grau, que originaram outros tipos de litologias.

Atualmente, são caracterizadas geologicamente por serem litologias formadas por fusão total ou parcial de porções de rochas das mais variadas idades, origens, características texturais e composição mineral.

Características das Unidades Geológico-Ambientais

As unidades geológico-ambientais que compõem o domínio DCGMGL apresentam as seguintes características geológicas:

- **DCGMGLmo:** Unidade onde predominam migmatitos ortoderivados. Exemplo: Complexo Rio Capivari.
- **DCGMGLgnp:** Unidade onde predominam gnaisses paraderivados, podendo conter porções migmatíticas. Exemplo: Complexo Paraíba do Sul.
- **DCGMGLmgi:** Unidade formada por migmatitos indiferenciados. Exemplo: Complexo Costeiro, unidade de gnaisses bandados.
- **DCGMGLgli:** Unidade formada por granulitos indiferenciados. Exemplo: Complexo Varginha-Guaxupé, unidade granulítica basal.
- **DCGMGLgno:** Unidade onde predominam gnaisses ortoderivados, podendo conter porções migmatíticas. Exemplo: Complexo Atuba.
- **DCGMGLgni:** Unidade formada por gnaisses indiferenciados. Exemplo: Complexo Serra Negra.

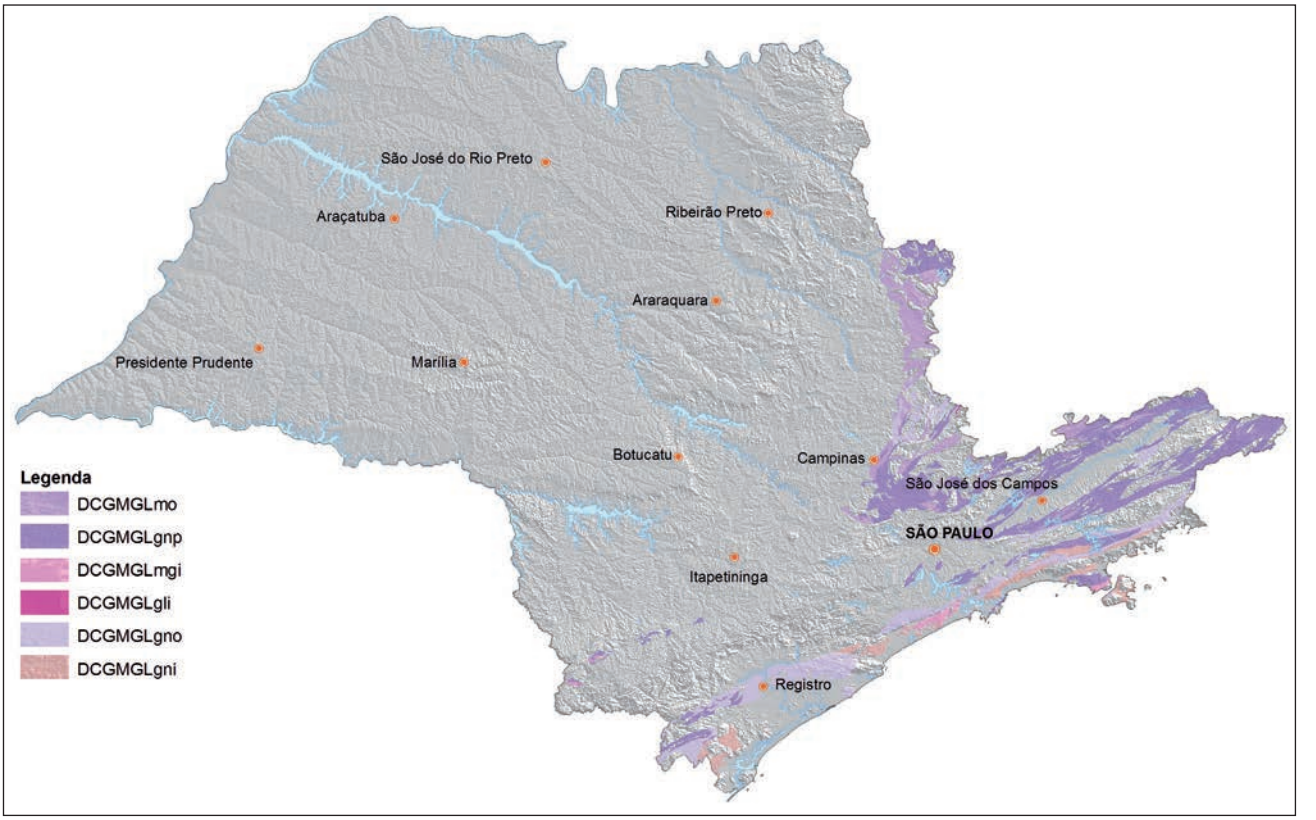


Figura 3.180 - Distribuição espacial das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCGMGL no estado de São Paulo.

Formas de Relevo

As formas de relevo predominantes na área das unidades geológico-ambientais formadoras do domínio DCGMGL são apresentadas na Figura 3.181. Já as formas de relevo associadas que ocorrem em cada unidade geológico-ambiental e respectivas declividades e amplitudes estão descritas no Quadro 3.28.

Características, Adequabilidades e Limitações Frente ao Uso e à Ocupação

Obras de engenharia

• Adequabilidades

As rochas granito-gnáissicas migmatíticas e granulíticas apresentam alto grau de coerência, baixa porosidade primária, moderada a alta resistência ao intemperismo físico-químico e elevada resistência à compressão. Têm potencial para uso em obras civis, na forma de brita de diversos tamanhos, blocos para fundações, construção de muros e em enrocamento de barragens (Figura 3.182).

Nas áreas em que ocorrem solos residuais com pedogênese avançada, estes são predominantemente argilo-síltico-arenosos e apresentam as seguintes características: boa capacidade de compactação, permeabilidade variando de baixa a moderada, são moderadamente plásticos e naturalmente pouco erosivos.

O solo originado dessas unidades e com tais características apresentam qualidades geotécnicas para uso como material de empréstimo em obras como aterros, substituição de solos moles e na construção de barramentos.

Em áreas onde o manto de alteração é formado por intemperismo incipiente, esses solos se apresentam pouco evoluídos e formam o material denominado saibro, que poderá ser utilizado na manutenção de estradas sem pavimento, acesso em áreas rurais e até em quadras esportivas (Figuras 3.183 e 3.184).

• Limitações

As rochas granito-gnáissicas migmatíticas e granulíticas ocorrem na região como uma complexa associação de pequenos e grandes corpos, com as mais variadas e contrastantes características texturais e minerais, complexamente e intensamente tectonizadas e dobradas.

Apresentam grande anisotropia geomecânica e hidráulica local lateral e vertical, sendo que, na maioria das vezes, a curtas distâncias podem ocorrer, lado a lado, rochas e solos residuais com as mais variadas e contrastantes características geotécnicas.

Estão fortemente tectonizadas, tanto dúctil como rúptil; geralmente apresentam duas proeminentes foliações metamórficas: uma mais antiga, de baixo ângulo e de caráter

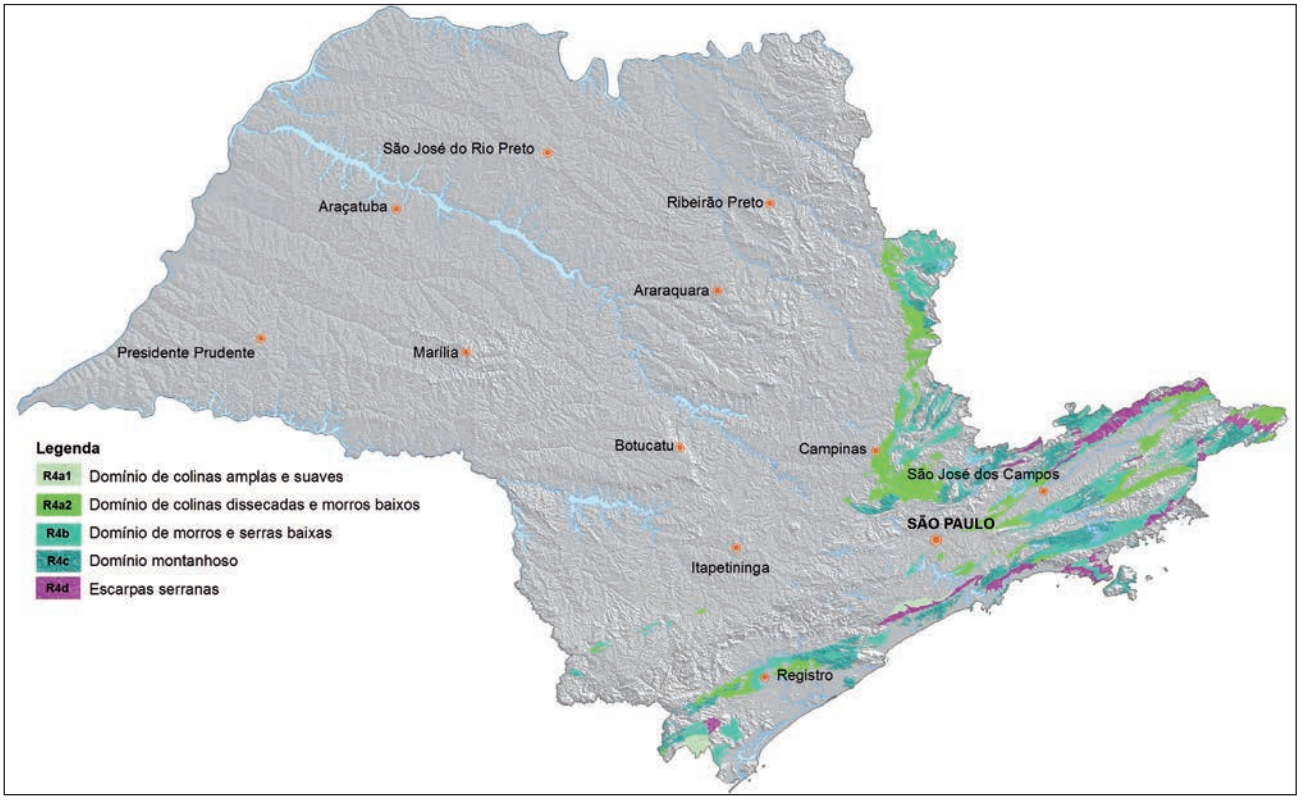


Figura 3.181 - Formas de relevos predominantes nas áreas de ocorrência das unidades geológico-ambientais do domínio DCGMGL.

Quadro 3.28 - Unidades geológico-ambientais e formas de relevo associadas.

COD_UNI_GEO	COD_REL	Relevo	Declividade (grau)	Amplitude Topográfica (m)
DCGMGLmo	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCGMGLgnp	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCGMGLmgi	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCGMGLgli	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
DCGMGLgno	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000
DCGMGLgni	R4a1	Colinas amplas e suaves	3 a 10	20 a 50
	R4a2	Colinas dissecadas e morros baixos	5 a 20	30 a 80
	R4b	Morros e serras baixas	15 a 35	80 a 200
	R4c	Montanhoso	25 a 45	300 a 2.000
	R4d	Escarpas serranas	25 a 60	300 a 2.000

Figura 3.182 - Região com relevo montanhoso, onde a construção do túnel em uma rocha gnáissica, apesar de ser uma obra de arte especial de custo alto, minimizou a supressão vegetal, gerou menos impacto no meio ambiente e produziu material pétreo para uso em aterros na construção da rodovia (Pindamonhangaba, SP).

Figura 3.183 - O perfil de solo residual exibe restos da rocha-fonte preservados e a boa estabilidade no talude (Barra do Chapéu, SP). Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental do Vale do Ribeira.

Figura 3.184 - Área utilizada para extração de saibro, porém há risco de escorregamento junto à estrada (Caconde, SP).

dúctil, com forte achatamento e recristalização mineral; outra recente, de alto ângulo, de caráter mais rúptil que dúctil.

As rochas portadoras de muitas descontinuidades estruturais, dispostas em várias direções e com vários ângulos de mergulho, desestabilizam-se e desprendem blocos com mais facilidade nos taludes de corte mais verticalizados e quando estão parcialmente alteradas (Figura 3.185).

Figura 3.185 - Talude em rocha granito-gnáissica, com visíveis sinais de queda de blocos e desplacamento ocorridos nos planos de descontinuidades existentes em todo o maciço; o corte na rocha deveria ser realizado em posição desfavorável ao mergulho dos planos subverticais de fraturas ou falhas (Cajati, SP). Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental do Vale do Ribeira.

As rochas formadoras desse domínio alteram-se de forma bastante heterogênea, gerando solos onde o horizonte A apresenta composição mais argilo-síltico-arenosa e o horizonte C formado pelo substrato rochoso ficará posicionado nesse perfil em profundidades irregulares.

Ocorrem localmente, dentro do domínio, solos residuais pouco evoluídos, com horizonte de composição predominante de argilominerais expansivos. Esse horizonte poderá sofrer forte processo erosivo caso fique exposto às intempéries em taludes de corte.

Solos com tais características mostram forte potencial para ocorrência de movimentos naturais de massa, mesmo onde as declividades sejam pouco acentuadas. Por sua composição, não servem como material de empréstimo para uso em obras expostas à ação das águas pluviais (Figura 3.186).

Devido às suas características, as rochas, ao sofrerem alteração, apresentam profundidade do substrato rochoso em variadas posições e podem formar, de modo aleatório e irregular, blocos e matacões ao longo do perfil do solo.

Tais ocorrências de fragmentos de rocha poderão ocorrer mesmo em solos profundos, o que dificultará a execução de escavações e perfurações. No caso de aflorarem nas paredes dos taludes de corte, poderão sofrer movimentação.

Obras do tipo fundações, pilares ou estacas não podem se apoiar parcialmente sobre esses blocos e matacões, pois, ocorrendo movimentação, esta poderá causar sérios danos a essas construções.

Figura 3.186 - Neste talude, como forma de conter escorregamentos em região de relevo acidentado e onde o solo mostra forte potencial erosivo, foi construído um muro de contenção com pneus inservíveis, que minimiza o problema geotécnico e busca melhor aproveitamento desse tipo de resíduo (Piquete, SP).

A execução de obras lineares, nas regiões em que predominam solos residuais originados da alteração dessas rochas, deverá ser precedida de estudos geotécnicos apoiados em sondagens de malha pouco espaçada e grande número de ensaios tecnológicos de materiais coletados de várias profundidades, o que implica custos elevados desde a fase de planejamento até a implantação do projeto (Figura 3.187).

Nas regiões em que há predomínio de litologias formadas por alternância de bandas ricas em minerais micáceos (biotita) isorientados com bandas ricas em minerais prismáticos (quartzo e feldspatos), não ou pouco orientados, essas características texturais e estruturais originam

Figura 3.187 - Talude em rocha alterada, com ocorrência de escorregamento de solo e queda de blocos de rocha junto à rodovia, devido ao tipo de fraturamento e ao grau de alteração (Espírito Santo do Pinhal, SP).

descontinuidades geomecânicas e hidráulicas, que facilitam a percolação de fluidos, e deflagram processos intempéricos resultando em desplacamentos das rochas em taludes de corte mais verticalizados.

As regiões de ocorrência dessas litologias mostram-se problemáticas para execução de escavações e perfurações, devido à alta resistência que tais rochas apresentam ao corte e à penetração por equipamentos utilizados em obras de escavação e terraplenagem.

Nas regiões em que predominam declividades acentuadas, relevos montanhosos ou escarpados, a limitação é grande para a implantação de obras, pois haverá custos elevados para sua execução e manutenção. São áreas indicadas para usos mais preservacionistas, como a criação de unidades de conservação.

Agricultura

• Adequabilidades

Em regiões em que há predomínio de rochas que, ao sofrerem intemperismo se alteram para solos residuais com pedogênese avançada, mas com alta participação de argila, a erosividade e a permeabilidade poderão variar de baixa a moderada.

Os solos apresentam-se, nessas áreas, com alta porosidade, com boa capacidade para reter, fixar e assimilar matéria orgânica e respondem bem à adubação. São excelentes para armazenar água e manter boa disponibilidade para as plantas por longos períodos secos, não necessitando de irrigação frequente.

O predomínio de minerais ferromagnesianos (biotita e horblenda) na composição das rochas granito-gnáissicas migmatíticas faz com que essas rochas, ao sofrerem intemperismo físico-químico, liberem quantidades altas de cálcio e magnésio para o solo, aumentando a fertilidade natural. No caso de solos corretamente manejados, corrigidos e com relevo favorável, apresentarão forte potencial agrícola.

Nas áreas em que predominarem apenas gnaisses e ortognaisses que contêm bandas, lentes e até espessos corpos de rochas metabásicas e metacarbonáticas, tais rochas, ao sofrerem alteração intempérica, liberam nutrientes do tipo Na, Mg e Ca para o solo, originando áreas com excelente fertilidade natural.

• Limitações

As rochas granito-gnaisse migmatíticas são compostas por bandamentos irregulares litológicos e mineralógicos que influenciam nas características físico-químicas e, consequentemente, na qualidade dos solos para uso agrícola.

Essas litologias, dependendo de como estão desenvolvidas as estruturas bandadas, apresentarão maior ou menor resistência ao intemperismo físico-químico, podendo formar solos mais argilosos ou mais arenosos. Nas bandas mais claras, ocorrem minerais de quartzo e plagioclásio e, nas escuras, predominam minerais ferromagnesianos. Estes sofrem maior alteração e geram solos muito argilosos. Es-

ses minerais alterados liberam para o solo elementos como cálcio, potássio, sódio e magnésio e junto ferro e alumínio, que definem a qualidade do solo.

Nas áreas em que o predomínio é de rochas cristalinas com alto grau de coerência, moderada a alta resistência ao intemperismo e composição mineralógica à base de feldspatos e quartzo, formam-se solos pobres de nutrientes, o que reflete no baixo potencial agrícola.

Os solos que geralmente são profundos, mas com pedogênese diferenciada, apresentam essas diferenciações físico-químicas, o que mostra grande variação de local para local da qualidade agrícola.

Nas regiões em que predominam solos argilo-síltico-arenosos, no caso de os perfis serem pouco evoluídos, o uso de equipamentos pesados e o pisoteio do gado acarretarão forte compactação e impermeabilização, o que ocasionará aumento na erosão hídrica laminar.

Os solos em que há predomínio da argila, em períodos de muita chuva tornam-se muito aderentes e escorregadios; quando secos, entram facilmente em suspensão, gerando muita poeira, podendo ficar muito endurecidos (Figuras 3.188 e 3.189).

Recursos hídricos e fontes poluidoras

• Adequabilidades

As rochas formadoras desse domínio, ao sofrerem intemperismo, geram solos argilo-síltico-arenosos, que são pouco permeáveis, com alta capacidade de reter, fixar e eliminar poluentes. Nas áreas em que a pedogênese é avançada, há risco reduzido de contaminação do lençol freático e dos aquíferos subterrâneos.

As rochas dessas unidades que foram fortemente tectonizadas apresentam ambiência favorável à existência

Figura 3.188 - Perfil de solo pouco evoluído, erodido devido a sua composição muito arenosa (Jacupiranga, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental do Vale do Ribeira.

Figura 3.189 - Relevo forte ondulado, com problemas de erosão causada pelo pisoteio do gado (Barra do Turvo, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental do Vale do Ribeira.

de importantes armadilhas hidrogeológicas relacionadas a falhas, fraturas e outras descontinuidades estruturais, que podem apresentar importantes surgências d´água como exemplo temos as nascentes do rio Tietê (Figuras 3.190 e 3.191). Estas características hidrogeológicas classificam as rochas desta unidade como aquíferos fissurais, que apresentam potencial para exploração de águas subterrâneas.

O manto de alteração parcial (saprólito) apresenta boas características hidrodinâmicas. Nas áreas em que o saprólito for mais espesso, será armazenador de excelente aquífero superficial.

• Limitações

O domínio DCGMGL é formado por rochas bastante tectonizadas e portadoras de muitas fendas (falhas e fraturas), por onde poluentes podem alcançar rapidamente as águas subterrâneas.

Nos locais em que as rochas afloram e os solos são pouco evoluídos ou rasos, é considerado alto o potencial de contaminação das águas subterrâneas. Portanto, cuidados especiais devem ser tomados com todas as fontes potencialmente poluidoras instaladas nessas áreas.

Nas rochas gnáissicas e ortognáissicas, as águas subterrâneas circulam e ficam armazenadas em falhas e fraturas. São os denominados aquíferos fissurais descontínuos.

O potencial hidrogeológico dessas rochas é irregular e depende da existência, distribuição, tamanho, densidade e da interconectividade das fraturas, somado às condições climáticas locais. Assim, mesmo em áreas com clima chuvoso, poços podem apresentar excelentes vazões, enquanto em áreas muito próximas, o poço pode estar seco.

Tais rochas formam solos residuais argilosos com permeabilidade variando de baixa a moderada, sendo regiões desfavoráveis à recarga das águas subterrâneas.

Figura 3.190 - Nesta área preservada, nasce o rio Tietê (Parque Nascentes do Rio Tietê, Salesópolis, SP).

Figura 3.191 - Surgências de água que ocorrem entre as fraturas das rochas gnáissicas, originando um dos principais rios do estado de São Paulo, o Tietê (Parque Nascentes do Rio Tietê, Salesópolis, SP).

Potencial mineral

Na unidade onde predominam migmatitos ortoderivados, há ocorrências de alumínio, cobre e manganês. Para uso na construção civil, há potencial para exploração de insumos e rochas, tais como: diabásio, feldspato, gnaisse, granito, granito ornamental, monzodiorito, quartzito e areia. Ocorre também exploração de água mineral para consumo humano.

Os gnaisses paraderivados apresentam ocorrência de alumínio, chumbo, ferro, muscovita, ouro, volfrâmio. Para uso na construção civil, há potencial para exploração de insumos e rochas, tais como: caulim, dolomito, dolomito calcítico, feldspato, folhelho, gnaisse, gnaisse ornamental, grafita, granito, mármore, quartzito, talco, areia, argila e cascalho. Ocorre nessa unidade extração de água mineral para consumo humano.

No Quadro 3.29 são apresentados os tipos de ocorrências minerais em cada uma das unidades geológico-ambientais do domínio DCGMGL.

Os migmatitos indiferenciados apresentam ocorrência de ferro e titânio. Para uso na construção civil, há exploração de gnaisse e granito.

As rochas gnáissicas ortoderivadas apresentam ocorrência de alumínio, arsênio, manganês, ouro e titânio. Para uso na construção civil, há potencial para exploração de insumos e rochas, como: caulim, dolomito, feldspato, gnaisse, grafita, granito, granito ornamental, quartzito, talco, turfa e areia. Nessas litologias, ocorre exploração de água mineral (Figuras 3.192 e 3.193).

Os gnaisses indiferenciados apresentam ocorrência de molibdênio. Para uso na construção civil, há potencial para exploração de insumos e rochas, tais como: caulim, talco e granito.

As rochas migmatíticas, granulíticas e gnáissicas paraderivadas apresentam ambiência geológica favorável à existência de bauxita, manganês e caulim e minerais de lítio associados a pegmatitos. Há existência de corpos de rochas quartzíticas, das quais se podem lavrar areia, inclusive de uso industrial, saibro e pedra para revestimento.

Associadas a essas litologias, ocorrem rochas carbonáticas com potencial para exploração de mármores e calcários.

As rochas gnáissicas ortoderivadas e indiferenciadas mostram maior possibilidade de aproveitamento como rocha ornamental, devido às boas características texturais e mineralógicas. Tais rochas podem ser exploradas como rochas para uso na construção civil, como brita e pedra de cantaria.

Há ocorrência de talco e de dolomito (com múltiplos usos na indústria em geral), assim como relatos de restritas ocorrências de Au, As e Mn.

Figura 3.192 - Talude em rocha sã de gnaisses paraderivados, com qualidades geotécnicas para uso na construção civil (Paraibuna, SP).

Quadro 3.29 - Unidades geológico-ambientais e tipos de ocorrências minerais.

COD_DOM	COD_UNI_GEO	Minerais Metálicos	Minerais Não-Metálicos	Minerais e Rochas como Materiais de Uso na Construção Civil	Minerais de Uso Especial – Águas e Energéticos
DCGMGL	DCGMGLmo	Al, Cu, Mn, Pirita	Caulim Feldspato	Areia Argila Gnaisse Granito Granito ornamental Quartzito Saibro	Água mineral
	DCGMGLgnp	Al, Au, Fe, Mn, Muscovita, Pb, W	Feldspato Fósforo Talco	Areia Argila Cascalho Dolomito Dolomito calcítico Gnaisse Gnaisse ornamental Grafita Granito Quartzito	Água mineral
	DCGMGLmgi	Fe, Mn, Ti	Caulim	Gnaisse Granito	ND
	DCGMGLgli	Mn	Caulim	Areia Saibro	ND
	DCGMGLgno	Al, Au, Mn, Ti	As Talco	Caulim Dolomito Gnaisse Grafita Granito Granito ornamental, Quartzito	Água mineral
	DCGMGLgni	Au, Mo, Mn	As Caulim Talco	Brita Granito	ND

Obs.: ND = Não-Detectado.

Figura 3.193 - Afloramento de rocha gnáissica ortoderivada, muito resistente ao intemperismo e com potencial para uso na construção civil (Cajati, SP).
Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental do Vale do Ribeira.

Aspectos ambientais e potencial turístico

Nas regiões de ocorrência das rochas granito-gnáissicas migmatíticas e granulíticas, devido à grande diversidade litológica desse domínio, ao intenso tectonismo sofrido e existência de solos pouco permeáveis, há predomínio de relevos montanhosos e escarpas serranas.

Tais regiões apresentam grande beleza cênica, com belos espigões rochosos, onde existe um sistema de drenagem com muitos cursos d'água, com trechos escoando sobre o substrato rochoso e formando belas corredeiras, cachoeiras e piscinas naturais.

Esses relevos acidentados são favoráveis a que o lençol freático aflore em vários locais, portanto, são terrenos que contêm inúmeras nascentes, importantes para manutenção da regularidade do regime hídrico superficial dos rios, riachos e córregos formadores da bacia hidrográfica existente na região.

Blocos e matacões à beira do mar (Figura 3.194) ou formando pequenas piscinas naturais e corredeiras no leito de rio (Figura 3.195) compõem também uma destacada paisagem.

Ocorrem nessas unidades geoambientais cidades com potencial turístico já bem desenvolvido, como Campos do Jordão. Devido ao clima e ao relevo montanhoso, cidades como Socorro e Águas de Lindoia são classificadas turisticamente como estâncias hidrominerais (Figura 3.196).

Figura 3.194 - Afloramento de rochas na forma de blocos e matacões na beira da praia do Viana, uma das belas paisagens existentes em Ilha Bela (SP).

Figura 3.195 - Ocorrência de blocos e matacões no leito do rio, gerando corredeiras e pequenas piscinas (Jacupiranga, SP). Fotografia: Projeto Atlas Geoambiental do Vale do Ribeira.

O ponto mais alto do estado de São Paulo, no município de Queluz, é o Pico Pedra da Mina (2.797 m), na serra da Mantiqueira. Está situado na região de ocorrência da unidade geoambiental formada por gnaisses paraderivados.

Nas áreas onde ocorrem gnaisse ortoderivados e indiferenciados, em razão do intenso tectonismo, predominam

Figura 3.196 - Vista parcial da cidade de Águas de Lindoia, com predomínio de relevo montanhoso.

relevos bastante movimentados, em sua maioria monta nhoso, com belos espigões rochosos.

Nessas áreas predominam relevos em desequilíbrio, com alta densidade de canais de drenagem e escoamento superficial rápido, alta erosão hídrica e em franco e acelerado processo de desgaste, o que, aliado às características do substrato rochoso, faz com que estejam sujeitos a grandes movimentos naturais de massa.

As limitações que a declividade impôs ao uso e à ocupação nessas regiões preservaram grandes florestas de vegetação nativa. Com a criação de unidades de conservação, essas áreas apenas poderão ser exploradas dentro de programas ou políticas onde sejam utilizados os conceitos para prática do desenvolvimento sustentável.

Os tipos de relevo montanhoso e escarpado formam regiões com maior potencial turístico e com grande beleza cênica quando estão situadas próximo à planície costeira.

Nessas regiões há importantes unidades de conservação, como: Parque Estadual da Serra do Mar, Parque Estadual Jacupiranga e Unidade de Conservação Serra da Mantiqueira.

A construção de grandes represas pode modificar regiões e causar grandes impactos ambientais, mas, às vezes, também compõe um belo cenário para múltiplos usos pela população (Figura 3.197).

Figura 3.197 - Vista geral da região de Caconde, onde a construção da represa de rio Pardo mudou a paisagem local e formou um grande lago, com área de 30 km^2, que compõe um belo cenário, com potencial turístico e múltiplos usos para a população.

REFERÊNCIAS

BIZZI, L. A.; SCHOBBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. 674 p. il. 1 DVD-ROM anexo.

BRILHA, J.; PEREIRA, D.; PEREIRA, P. **Geodiversidade**: valores e usos. Braga: Universidade do Minho, 2008.

CPRM. **Mapeamento geológico-geotécnico e delimitação das áreas de risco geológico ao longo do traçado da via do trem de alta velocidade**. TAV SIG – CPRM – TAV. Relatório da primeira etapa. Rio de Janeiro: CPRM, 2009. 180 p.

CPRM. **Mapa geodiversidade do Brasil**. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília: CPRM, 2006. 68 p. CD-ROM.

CPRM. **Mapa geólogico do estado de São Paulo**. Escala 1:750:000. Breve descrição das unidades litoestratigráficas aflorantes no estado de São Paulo. São Paulo: CPRM, 2006. 173 p. CD-ROM.

CPRM. **Instruções e procedimentos de padronização no tratamento digital de dados para projetos de mapeamento da CPRM**: manual de padronização. Rio de Janeiro: CPRM, 2005. v. 2.

GALOPIM DE CARVALHO, A. M. **Natureza**: biodiversidade e geodiversidade. [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <http://terraquegira.blogspot.com/2007/05/natureza-biodiversidade-e.html>. Acesso em: 25 jan. 2010.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA M. A.; PIRES NETO, A. G.; ALMEIDA, F. F. M. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. **Atas**... Rio Claro: SBG/NS, 1979, v. 2, p. 253-262.

RAMOS, M. A. B.; ESPÍRITO SANTO, E. B.; PFALTZGRAFF, P. A. S.; DANTAS, M. E.; MAIA, M. A. M.; GONÇALVES, J. H.; JESUS, J. D. A.; SIMÃO, G. C. F.; JACQUES, P. D.; THEODOROVICZ, A.; ORLANDI FILHO, V.; MARQUES, V. J.; SILVA, C. R. Procedimentos no tratamento digital de dados para o projeto SIG geologia ambiental do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 2006. 1 CD-ROM.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**, São Paulo, v. 10, p. 41-59, 1996.

SCHOBBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: sistema de informações geográficas (SIG). Brasília: CPRM, 2004. 46 folhas na escala 1:1.000.000. 41 CD-ROMs. Programa Geologia do Brasil.

SILVA, C. R. da; RAMOS, M. A. B.; PEDREIRA, A. J.; DANTAS, M. E. Começo de tudo. In: SILVA, C. R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008a. 264 p. il. p. 11-20.

SILVA, C. R. da; MARQUES, V. J.; DANTAS, M. E.; SHINZATO, E. Aplicações múltiplas do conhecimento da geodiversidade. In: SILVA, C. R. da (Ed.). **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008b. 264 p. il. p. 181-202.

THEODOROVICZ, A. *et al*. **Projeto paisagens geoquímicas e geoambientais do vale do Ribeira**. São Paulo: CPRM/UNICAMP/FAPESP, 2005.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G.; CANTARINO, S. da C. (Coord.). **Atlas geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, SP**: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental. São Paulo: CPRM, 2002. 77 p. il. mapa color. Convênio CPRM/SEMA-SP.

THEODOROVICZ, A. *et al*. **Projeto médio Pardo**. São Paulo: CPRM, 2001.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G.; CANTARINO, S. da C. **Projeto Curitiba**. Informações básicas sobre o meio físico: subsídios para o planejamento territorial, folha Curitiba 1:100.000. Curitiba: CPRM, 1994. 109 p. Programa Informações para Gestão Territorial (GATE).

4

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Carlos Augusto Brasil Peixoto *(carlos.peixoto@cprm.gov.br)*

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SUMÁRIO

Conclusões e recomendações 139

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Projeto Geodiversidade do Estado de São Paulo (escala 1:750:000) teve como principal objetivo gerar informações sobre o meio físico, por meio do levantamento de dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos, hidrogeológicos e geotécnicos. O desenvolvimento do projeto começa pela reorganização e reinterpretação do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000 (CPRM, 2006), agregando a ele novas informações e potencializando as existentes para, assim, consolidar a divisão dos domínios e suas subdivisões em unidades geológico-ambientais.

A realização das etapas de campo ocorreu entre os meses de março e agosto de 2008. Foram percorridos 9.250 km, visitados 160 municípios, com 260 pontos vistoriados e gerados 1.500 registros fotográficos.

As informações coletadas em campo resultaram na concepção do Mapa Geodiversidade do Estado de São Paulo. Este, apresentado em 14 domínios, foi subdividido em 50 unidades geológico-ambientais e compartimentado em 13 formas de relevos que modelaram a superfície do território paulista. O cruzamento dessas informações com os dados do GeoBank/CPRM gerou interpretações por deduções lógicas, que subsidiaram as descrições das adequabilidades, potencialidades e limitações de cada unidade mapeada, frente à forma de uso e ocupação para os temas: obras de engenharia, agricultura, recursos hídricos, fontes poluidoras, potencial mineral e turístico.

A utilização dos recursos naturais renováveis e não-renováveis e as interações com o meio ambiente revelaram um grupo de problemas comuns a todos os domínios geoambientais, decorrentes da implantação de infraestruturas exigidas para os padrões de desenvolvimento urbano.

Em obras de engenharia, que exigem intensos trabalhos de terraplenagem e escavações do solo e subsolo, deflagram-se e/ou intensificam-se processos erosivos de difícil controle.

Verificou-se aumento das áreas para agricultura e pastagens com a supressão da vegetação nativa, potencializando a erosão laminar. Esta ocasiona o assoreamento das drenagens, o que reduz a capacidade de escoamento em canais de drenagem, provocando inundações e enchentes.

Os recursos hídricos superficiais e subsuperficiais, onde há crescente aumento de áreas para agricultura, estão sendo utilizados no limite de sua capacidade de armazenamento, para irrigar extensas áreas agrícolas. Associando-se a esse cenário a grande demanda de defensivos agrícolas, há grande probabilidade de contaminação desses mananciais de água.

Os resultados preliminares apresentados no relatório traduzem o desconhecimento das potencialidades e fragilidades naturais do meio físico, revelando a inexistência de um plano de gestão e planejamento territorial.

A complexa urbanização que ocorre devido ao crescimento de todos os setores produtivos e a posição econômica que o estado de São Paulo ocupa no cenário brasileiro exigem de forma crescente o consumo dos recursos naturais renováveis e não renováveis. As informações que os estudos da geodiversidade fornecem sobre o meio físico poderão subsidiar um modelo de crescimento e expansão dentro dos conceitos de gestão e planejamento em bases sustentáveis, com um aproveitamento racional dos bens naturais.

Este relatório apresenta dados relevantes do meio físico que objetivam subsidiar estudos e projetos para o desenvolvimento urbano e rural, no que se refere à execução de obras de infraestrutura, implantação de programas agrícolas sustentáveis, uso racional de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, identificação de fontes potencialmente poluidoras e melhor aproveitamento dos recursos minerais do estado, em bases ambientalmente sustentáveis.

Há potencialidade turística em praticamente todas as regiões do estado de São Paulo. A região do Vale do Ribeira constitui-se em importante exemplo, pelo grupo de características e feições geológico-geomorfológicas que formam destacadas paisagens naturais. Nessa região, as atividades econômicas ligadas ao turismo ecológico serão incrementadas com a delimitação de áreas de preservação constituindo os geoparques, de acordo com normas e especificações da UNESCO.

Para promoção do desenvolvimento sustentável baseado em macrodiretrizes e visando ao uso racional de recursos naturais, recomendamos que sejam realizados estudos da geodiversidade em diferentes escalas e com temas específicos para todo o estado de São Paulo.

APÊNDICE I

UNIDADES GEOLÓGICO-AMBIENTAIS DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS OU POUCO CONSOLIDADOS, DEPOSITADOS EM MEIO AQUOSO.	**DC**	Ambiente de planícies aluvionares recentes – Material inconsolidado e de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	**DCa**
		Ambiente de terraços aluvionares – Material inconsolidado a semiconsolidado, de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	**DCta**
		Ambiente fluviolacustre – Predomínio de sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilosas, ocasionalmente com presença de turfa. Ex.: Fm. Içá.	**DCfl**
		Ambiente lagunar – Predomínio de sedimentos argilosos.	**DCl**
		Ambiente paludal – Predomínio de argilas orgânicas e camadas de turfa.	**DCp**
		Ambiente marinho costeiro – Predomínio de sedimentos arenosos.	**DCmc**
		Ambiente misto (Marinho/Continental) – Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, argilosos, em geral ricos em matéria orgânica (mangues).	**DCm**
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS INCONSOLIDADOS DO TIPO COLUVIÃO E TÁLUS.	**DCICT**	Colúvio e tálus – Materiais inconsolidados, de granulometria e composição diversa proveniente do transporte gravitacional.	**DCICT**
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS INDIFERENCIADOS CENOZOICOS RELACIONADOS A RETRABALHAMENTO DE OUTRAS ROCHAS, GERALMENTE ASSOCIADOS A SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO. Obs.: Engloba as coberturas que existem na zona continental e representam uma fase de retrabalhamento de outras rochas que sofreram pequeno transporte em meio não aquoso ou pouco aquoso.	**DCSR**	Relacionado a sedimentos retrabalhados de outras rochas – Coberturas arenoconglomeráticas e/ ou síltico-argilosas associadas a superfícies de aplainamento.	**DCSR**
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS PROVENIENTES DA ALTERAÇÃO DE ROCHA *IN SITU* COM GRAU DE ALTERAÇÃO VARIANDO DE SAPRÓLITO A SOLO RESIDUAL, EXCETO AS LATERITAS.	**DCEL**	Sedimentos eluviais.	**DCEL**
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS BIOCLÁSTICOS.	**DCB**	Plataforma continental – recifes.	**DCBr**
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS EÓLICOS.	**DCE**	Dunas móveis – Material arenoso inconsolidado.	**DCEm**

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS EÓLICOS.	**DCE**	Dunas fixas – Material arenoso fixado pela vegetação.	**DCEf**
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS SEMICONSOLIDADOS FLUVIAIS.	**DCF**	Depósitos fluviais antigos – Intercalações de níveis arenosos, argilosos, siltosos e cascalhos semiconsolidados. Ex.: Formação Pariquera-Açu.	**DCFa**
DOMÍNIO DAS COBERTURAS CENOZOICAS DETRITO-LATERÍTICAS.	**DCDL**	Depósitos detrito-lateríticos – Provenientes de processos de lateritização em rochas de composições diversas sem a presença de crosta.	**DCDL**
		Horizonte laterítico *in situ* – Proveniente de processos de lateritização em rochas de composições diversas formando crosta. Ex.: Crostas ferruginosas.	**DCDLi**
DOMÍNIO DAS COBERTURAS CENOZOICAS DETRITO-CARBONÁTICAS.	**DCDC**	Depósitos detrito-carbonáticos – Provenientes de processos de lateritização em rochas carbonáticas. Ex.: Formação Caatinga.	**DCDC**
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS E MESOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A PEQUENAS BACIAS CONTINENTAIS DO TIPO *RIFT.*	**DCMR**	Predomínio de sedimentos arenosos. Ex.: Sedimentos associados a pequenas bacias continentais do tipo *rift*, como as bacias de Curitiba, São Paulo, Taubaté, Resende, dentre outras.	**DCMRa**
		Predomínio dos sedimentos síltico-argilosos.	**DCMRsa**
		Calcários com intercalações síltico-argilosas. Ex.: Formação Tremembé.	**DCMRcsa**
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A TABULEIROS.	**DCT**	Alternância irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho). Ex.: Formação Barreiras.	**DCT**
DOMÍNIO DOS SEDIMENTOS CENOZOICOS E MESOZOICOS POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADOS, ASSOCIADOS A PROFUNDAS E EXTENSAS BACIAS CONTINENTAIS.	**DCM**	Predomínio de sedimentos arenoargilosos e/ou síltico-argilosos de deposição continental lacustrina deltaica, ocasionalmente com presença de linhito. Ex.: Formação Solimões.	**DCMld**
		Predomínio de sedimentos arenosos de deposição continental, lacustre, fluvial ou eólica – arenitos. Ex.: Formação Urucuia.	**DCMa**
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES MESOZOICAS CLASTOCARBONÁTICAS CONSOLIDADAS EM BACIAS DE MARGENS CONTINENTAIS (*RIFT*).	**DSM**	Predomínio de calcário e sedimentos síltico-argilosos.	**DSMc**
		Predomínio de sedimentos quartzoarenosos e conglomeráticos, com intercalações de sedimentos síltico-argilosos e/ou calcíferos.	**DSMqcg**
		Predomínio de sedimentos síltico-argilosos, com alternância de sedimentos arenosos e conglomeráticos.	**DSMsa**

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES MESOZOICAS CLASTOCARBONÁTICAS CONSOLIDADAS EM BACIAS DE MARGENS CONTINENTAIS (*RIFT*).	**DSM**	Intercalações de sedimentos síltico-argilosos e quartzoarenosos.	**DSMsaq**
		Intercalação de sedimentos síltico-argilosos e camadas de carvão.	**DSMscv**
DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES MESOZOICAS E PALEOZOICAS, POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS, ASSOCIADAS A GRANDES E PROFUNDAS BACIAS SEDIMENTARES DO TIPO SINÉCLISE (AMBIENTES DEPOSICIONAIS: CONTINENTAL, MARINHO, DESÉRTICO, GLACIAL E VULCÂNICO).	**DSVMP**	Predomínio de sedimentos arenosos malselecionados.	**DSVMPa**
		Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica. Ex.: Arenito Botucatu.	**DSVMPae**
		Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial). Ex.: Fm. Rio do Peixe, Fm. Caiuá.	**DSVMPaef**
		Predomínio de arenitos e conglomerados.	**DSVMPacg**
		Predomínio de arenitos a arenitos cauliníticos. Ex.: Fm. Alter do Chão.	**DSVMPac**
		Intercalações de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e folhelhos.	**DSVMPasaf**
		Predomínio de sedimentos síltico-argilosos com intercalações arenosas.	**DSVMPsaa**
		Predomínio de arenitos vulcanoclásticos (tufos cineríticos).	**DSVMPav**
		Predomínio de sedimentos síltico-argilosos e arenosos, contendo camadas de carvão.	**DSVMPsaacv**
		Intercalações de paraconglomerados (tilitos) e folhelhos.	**DSVMPcgf**
		Predomínio de sedimentos síltico-argilosos e calcários com intercalações arenosas subordinadas.	**DSVMPsaca**
		Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e calcários.	**DSVMPasac**

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES MESOZOICAS E PALEOZOICAS, POUCO A MODERADAMENTE CONSOLIDADAS, ASSOCIADAS A GRANDES E PROFUNDAS BACIAS SEDIMENTARES DO TIPO SINÉCLISE (AMBIENTES DEPOSICIONAIS: CONTINENTAL, MARINHO, DESÉRTICO, GLACIAL E VULCÂNICO).	**DSVMP**	Intercalações irregulares de sedimentos arenosos e síltico-argilosos com finas camadas de evaporitos e calcários.	**DSVMPasaec**
		Predomínio de rochas calcárias intercaladas com finas camadas síltico-argilosas.	**DSVMPcsa**
		Arenitos, conglomerados, tilitos e folhelhos. Ex.: Grupo Curuá.	**DSVMPactf**
		Arenitos, conglomerados, siltitos, folhelhos e calcário. Ex.: Grupo Alto Tapajós.	**DSVMPacsfc**
		Predomínio de sedimentos síltico-argilosos intercalados de folhelhos betuminosos e calcários. Ex.: Formação Irati.	**DSVMPsabc**
		Predomínio de arenitos e intercalações de pelitos. Ex.: Formação Utiariti.	**DSVMPap**
DOMÍNIO DO VULCANISMO FISSURAL MESOZOICO DO TIPO PLATÔ. Ex.: Basaltos da Bacia do Paraná e do Maranhão e Diques Básicos; Basalto Penetecaua, Kumdku.	**DVM**	Predomínio de intrusivas na forma de gabros e diabásio.	**DVMgd**
		Predomínio de basaltos.	**DVMb**
		Predomínio de basalto com *intertraps* subordinadas de arenito.	**DVMba**
		Predomínio de riolitos e riodacitos.	**DVMrrd**
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS ALCALINOS INTRUSIVOS E EXTRUSIVOS, DIFERENCIADOS DO TERCIÁRIO, MESOZOICO E PROTEROZOICO. Ex.: Alcalinas do Lineamento de Cabo Frio, Lajes.	**DCA**	Indeterminado.	**DCAin**
		Tufo, brecha e demais materiais piroclásticos.	**DCAtbr**
		Série subalcalina (monzonitos, quartzomonzonitos, mangeritos etc.).	**DCAsbalc**
		Série alcalina saturada e alcalina subsaturada (sienito, quartzossienitos, traquitos, nefelina sienito, sodalita sienito etc.).	**DCAalc**

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS ALCALINOS INTRUSIVOS E EXTRUSIVOS, DIFERENCIADOS DO TERCIÁRIO, MESOZOICO E PROTEROZOICO. Ex.: Alcalinas do Lineamento de Cabo Frio, Lajes.	**DCA**	Gabro, anortosito, carbonatito, dique de lamprófiro.	**DCAganc**
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES DO EOPALEOZOICO, ASSOCIADAS A *RIFTS*, NÃO OU POUCO DEFORMADAS E METAMORFIZADAS. Ex.: Grupo Camaquã, Fm. Campo Alegre	**DSVE**	Predomínio de rochas sedimentares.	**DSVEs**
		Sequência vulcanossedimentar.	**DSVEvs**
		Predomínio de vulcânicas.	**DSVEv**
DOMÍNIO DAS COBERTURAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU MUITO POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS. CARACTERIZADAS POR UM EMPILHAMENTO DE CAMADAS HORIZONTALIZADAS E SUB-HORIZONTALIZADAS DE VÁRIAS ESPESSURAS, DE SEDIMENTOS CLASTOQUÍMICOS DE VÁRIAS COMPOSIÇÕES E ASSOCIADOS AOS MAIS DIFERENTES AMBIENTES TECTONODEPOSICIONAIS. Ex.: Fms. Palmeiral, Aguapeí, Dardanelos, Prosperança, Ricardo Franco, Roraima, Beneficente, Jacadigo e Cuiabá.	**DSP1**	Predomínio de sedimentos arenosos e conglomeráticos, com intercalações subordinadas de sedimentos síltico-argilosos.	**DSP1acgsa**
		Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, síltico-argilosos e formações ferríferas e manganesíferas.	**DSP1asafmg**
		Predomínio de sedimentos síltico-argilosos, com intercalações subordinadas de arenitos e metarenito feldspático.	**DSP1saagr**
		Rochas calcárias com intercalações subordinadas de sedimentos síltico-argilosos e arenosos.	**DSP1csaa**
		Diamictitos, metarenitos feldspáticos, sedimentos arenosos e síltico-argilosos.	**DSP1dgrsa**
		Predomínio de sedimentos síltico-argilosos com intercalações subordinadas de rochas calcárias.	**DSP1sac**
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS, NÃO OU POUCO DOBRADAS E METAMORFIZADAS. Ex.: Fms. Uatumã, Uailã e Iriri.	**DSVP1**	Predomínio de vulcanismo ácido a intermediário.	**DSVP1va**
		Predomínio de vulcanismo básico.	**DSVP1vb**
		Sequência vulcanossedimentar.	**DSVP1vs**
		Vulcanismo ácido a intermediário e intercalações de metassedimentos arenosos e síltico-argilosos e formações ferríferas e/ou manganesíferas.	**DSVP1vaa**

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS, METAMORFIZADAS EM BAIXO A MÉDIO GRAU.	**DSP2**	Metarenitos, quartzitos e metaconglomerados.	**DSP2mqmtc**
		Predomínio de metarenitos e quartzitos, com intercalações irregulares de metassedimentos síltico-argilosos e formações ferríferas ou manganesíferas.	**DSP2mqsafmg**
		Intercalações irregulares de metassedimentos arenosos e síltico-argilosos.	**DSP2msa**
		Predomínio de metassedimentos síltico-argilosos, com intercalações de metarenitos feldspáticos.	**DSP2sag**
		Intercalações irregulares de metassedimentos arenosos, metacalcários, calcossilicáticas e xistos calcíferos.	**DSP2mcx**
		Predomínio de metacalcários, com intercalações subordinadas de metassedimentos síltico-argilosos e arenosos.	**DSP2mcsaa**
		Predomínio de sedimentos síltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos.	**DSP2saa**
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU.	**DSVP2**	Indiferenciado.	**DSVP2in**
		Predomínio de quartzitos.	**DSVP2q**
		Predomínio de metassedimentos síltico-argilosos, representados por xistos.	**DSVP2x**
		Predomínio de rochas metacalcárias, com intercalações de finas camadas de metassedimentos síltico-argilosos.	**DSVP2csa**
		Metacherts, metavulcânicas, formações ferríferas e/ou formações manganesíferas, metacalcários, metassedimentos arenosos e síltico-argilosos.	**DSVP2vfc**
		Metarenitos feldspáticos, metarenitos, tufos e metavulcânicas básicas a intermediárias.	**DSVP2gratv**
		Predomínio de rochas metabásicas e metaultramáficas.	**DSVP2bu**

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZOICAS DOBRADAS METAMORFIZADAS DE BAIXO A ALTO GRAU.	**DSVP2**	Metacherts, metarenitos, metapelitos, vulcânicas básicas, formações ferríferas e formações manganesíferas.	**DSVP2af**
		Metarenitos, metachert, metavulcânicas ácidas a intermediárias, formações ferríferas e/ou manganesíferas.	**DSVP2avf**
		Predomínio de vulcânicas ácidas.	**DSVP2va**
DOMÍNIO DAS SEQUÊNCIAS VULCANOSSEDIMENTARES TIPO *GREENSTONE BELT*, ARQUEANO ATÉ O MESOPROTEROZOICO. Ex.: Crixás, Araci, Rio das Velhas, Natividade e Rio Maria.	**DGB**	Sequência vulcânica komatiitica associada a talco-xistos, anfibolitos, *cherts*, formações ferríferas e metaultrabasitos.	**DGBko**
		Predomínio de sequência sedimentar.	**DGBss**
		Sequência vulcanossedimentar, com alta participação de metavulcânicas ácidas e intermediárias.	**DGBvai**
		Sequência vulcanossedimentar.	**DGBvs**
DOMÍNIO DOS CORPOS MÁFICO-ULTRAMÁFICOS (SUÍTES KOMATIITICAS, SUÍTES TOLEÍTICAS, COMPLEXOS BANDADOS). Ex.: Cana Brava, Barro Alto e Niquelândia. Básicas e Ultrabásicas Alcalinas e Vulcanismo Associado.	**DCMU**	Série máfico-ultramáfica (dunito, peridotito etc.).	**DCMUmu**
		Série básica e ultrabásica (gabro, anortosito etc.).	**DCMUbu**
		Vulcânicas básicas.	**DCMUvb**
		Metamáficas, anfibolitos e gnaisses calcissilicáticos.	**DCMUmg**
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO DEFORMADOS.	**DCGR1**	Associações charnockíticas. Ex.: Piroxênio granitoides etc. Minerais diagnósticos: hiperstênio, diopsídio.	**DCGR1ch**
		Séries graníticas peralcalinas. Ex.: Granitos alcalinos a riebckita e arfvedsonita.	**DCGR1palc**
		Séries graníticas alcalinas. Ex.: Alcalifeldspato granitos, sienogranitos, monzogranitos, quartzomonzonitos, monzonitos, quartzossienitos, sienitos, quartzo-alcalissienitos, alcalissienitos etc. Alguns minerais diagnósticos: fluorita, alanita.	**DCGR1alc**

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES NÃO DEFORMADOS.	**DCGR1**	Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, dioritos, quartzomonzonitos, monzonitos etc. Alguns minerais diagnósticos: hornblenda, biotita, titanita, epidoto.	**DCGR1salc**
		Granitoides peraluminosos. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos etc. Minerais diagnósticos: muscovita, granada, cordierita, silimanita, monazita, xenotima.	**DCGR1pal**
		Série shoshonítica. Ex.: Gabrodiorito a quartzomonzonito etc. Minerais diagnósticos: augita, diopsídio e/ou hiperstênio, anfibólio e plagioclásio.	**DCGR1sho**
		Indeterminado.	**DCGR1in**
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES DEFORMADOS.	**DCGR2**	Associações charnockíticas. Ex.: Piroxênio granitoides etc. Minerais diagnósticos: hiperstênio, diopsídio.	**DCGR2ch**
		Séries graníticas peralcalinas. Ex.: Granitos alcalinos a riebckita e arfvedsonita.	**DCGR2palc**
		Séries graníticas alcalinas. Ex.: Alcalifeldspato granitos, sienogranitos, monzogranitos, quartzomonzonitos, monzonitos, quartzossienitos, sienitos, quartzo-alcalissienitos, alcalissienitos etc. Alguns minerais diagnósticos: fluorita, alanita.	**DCGR2alc**
		Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, quartzomonzodioritos, dioritos quartzomonzonitos, monzonitos etc. Alguns minerais diagnósticos: hornblenda, biotita, titanita, epidoto.	**DCGR2salc**
		Granitoides peraluminosos. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos etc. Minerais diagnósticos: muscovita, granada, cordierita, silimanita, monazita, xenotima.	**DCGR2pal**
		Série shoshonítica. Ex.: Gabrodiorito a quartzomonzonito etc. Minerais diagnósticos: augita, diopsídio e/ou hiperstênio, anfibólio e plagioclásio.	**DCGR2sho**
		Indeterminado.	**DCGR2in**

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO DOS COMPLEXOS GRANITOIDES INTENSAMENTE DEFORMADOS: ORTOGNAISSES.	**DCGR3**	Associações **ch**arnockíticas. Ex.: Piroxênio granitoides etc. Minerais diagnósticos: hiperstênio, diopsídio.	**DCGR3ch**
		Séries graníticas **p**er**alc**alinas. Ex.: Granitos alcalinos a riebckita e arfvedsonita.	**DCGR3palc**
		Séries graníticas **alc**alinas. Ex.: Alcalifeldspato granitos, sienogranitos, monzogranitos, quartzomonzonitos, monzonitos, quartzossienitos, sienitos, quartzo-alcalissienitos, alcalissienitos etc. Alguns minerais diagnósticos: fluorita, alanita.	**DCGR3alc**
		Séries graníticas **s**ub**alc**alinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, dioritos, quartzomonzonitos, monzonitos etc. Alguns minerais diagnósticos: hornblenda, biotita, titanita, epidoto.	**DCGR3salc**
		Granitoides **p**er**al**uminosos. Ex.: Sienogranitos, monzogranitos, granodioritos etc. Minerais diagnósticos: muscovita, granada, cordierita, silimanita, monazita, xenotima.	**DCGR3pal**
		Série **Sho**shonítica. Ex: Gabrodiorito a quartzomonzonito etc. Minerais diagnósticos: augita, diopsídio e/ou hiperstênio, anfibólio e plagioclásio.	**DCGR3sho**
		Indeterminado.	**DCGR3in**
DOMÍNIO GRANITO-GNAISSE-MIGMATÍTICO E GRANULITOS.	**DCGMGL**	Predominam **m**igmatitos **o**rtoderivados.	**DCGMGLmo**
		Predominam **m**igmatitos **p**araderivados.	**DCGMGLmp**
		Predomínio de g**n**aisses **p**araderivados. Podem conter porções migmatíticas.	**DCGMGLgnp**
		Migmatitos **i**ndiferenciados.	**DCGMGLmgi**
		Gnaisse-**g**ranu**l**ito **p**araderivado. Podem conter porções migmatíticas.	**DCGMGLglp**

DESCRIÇÃO DO DOMÍNIO GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. DOMÍNIO UNIGEO	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOLÓGICO-AMBIENTAL	CÓD. UNIGEO
DOMÍNIO GRANITO-GNAISSE-MIGMATÍTICO E GRANULITOS.	**DCGMGL**	Gnaisses granulíticos ortoderivados. Podem conter porções migmatíticas.	**DCGMGLglo**
		Granulitos indiferenciados.	**DCGMGLgli**
		Predomínio de gnaisses ortoderivados. Podem conter porções migmatíticas.	**DCGMGLgno**
		Gnaisses indiferenciados.	**DCGMGLgni**
		Metacarbonatos.	**DCGMGLcar**
		Anfibolitos.	**DCGMGLaf**

APÊNDICE II

BIBLIOTECA DE RELEVO DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Marcelo Eduardo Dantas (*marcelo.dantas@cprm.gov.br*)

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

A ANÁLISE DE PADRÕES DE RELEVO COMO UM INSTRUMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA GEODIVERSIDADE

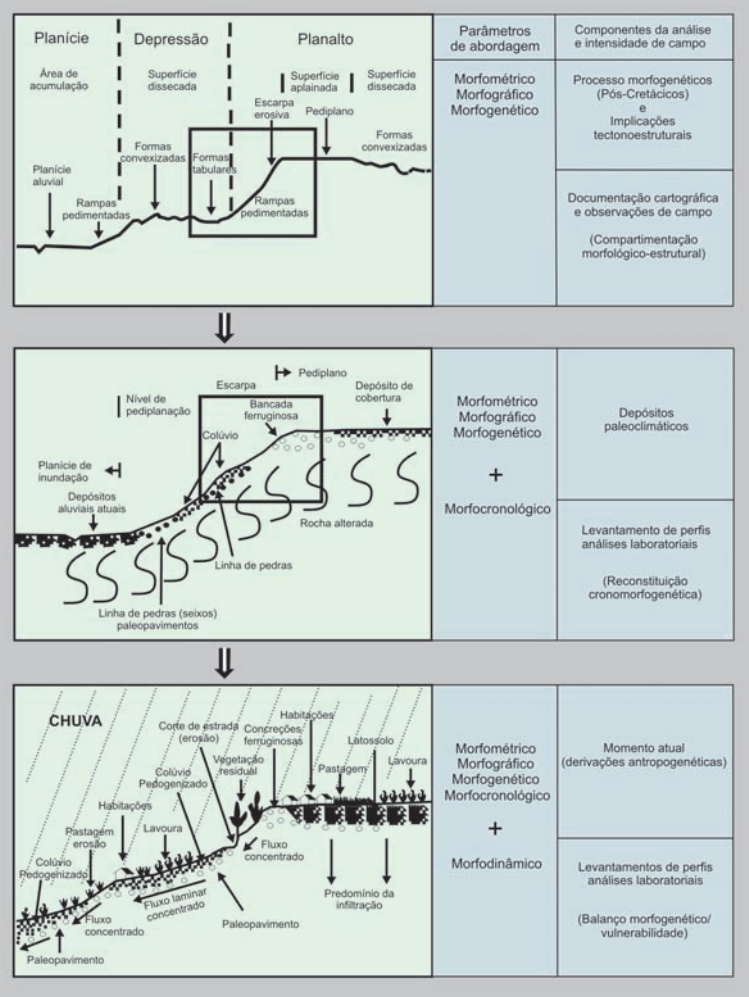
Ab'Saber, em seu artigo "Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário" [*Geomorfologia*, São Paulo, n. 18, 1969], já propunha uma análise dinâmica da Geomorfologia aplicada aos estudos ambientais, com base na pesquisa de três fatores interligados: identificação de uma **compartimentação morfológica dos terrenos;** levantamento da **estrutura superficial das paisagens** e estudo da **fisiologia da paisagem** (Figura II.1)**.**

A **compartimentação morfológica dos terrenos** é obtida a partir da avaliação empírica dos diversos conjuntos de formas e padrões de relevo posicionados em diferentes níveis topográficos, por meio de observações de campo e análise de sensores remotos (fotografias aéreas, imagens de satélite e Modelo Digital de Terreno (MDT)). Essa avaliação é diretamente aplicada aos estudos de ordenamento do uso do solo e planejamento territorial, constituindo-se em uma primeira e fundamental contribuição da Geomorfologia.

A **estrutura superficial das paisagens** consiste no estudo dos mantos de alteração *in situ* (formações superficiais autóctones) e coberturas inconsolidadas (formações superficiais alóctones) que jazem sob a superfície dos terrenos. É de grande relevância para a compreensão da gênese e evolução das formas de relevo e, em aliança com a compartimentação morfológica dos terrenos, constitui-se em importante ferramenta para se avaliar o grau de fragilidade natural dos terrenos frente aos processos erosivodeposicionais.

A **fisiologia da paisagem**, por sua vez, consiste na análise integrada das diversas variáveis ambientais em sua interface com a Geomorfologia. Ou seja, a influência de condicionantes litológico-estruturais, padrões climáticos e tipos de solos na configuração física das paisagens. Com essa terceira avaliação objetiva-se, também, compreender a ação dos processos erosivodeposicionais atuais, incluindo todos os impactos decorrentes da ação antropogênica sobre a paisagem natural. Dessa forma, embute-se na análise geomorfológica o estudo da morfodinâmica, privilegiando-se a análise de processos.

Demonstração dos níveis de abordagem geomorfológica, seguindo a metodologia de análise de Ab'Saber (1969).



A Biblioteca de Padrões de Relevo do Território Brasileiro foi elaborada para atender à compartimentação geológico-geomorfológica proposta pela metodologia de mapeamento da geodiversidade do território brasileiro em escalas de análise reduzidas (1:500.000 a 1:2.500.000). Nesse sentido, sua abordagem restringe-se a avaliar o primeiro dos pressupostos elencados por Ab'Saber: a compartimentação morfológica dos terrenos. Portanto, a compartimentação de relevo efetuada nos mapeamentos de geodiversidade elaborados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) não representa um mapeamento geomorfológico, tendo em vista que não são considerados os aspectos de gênese, evolução e morfodinâmica. Com a Biblioteca de Padrões de Relevo do Território Brasileiro, a CPRM/SGB tem como objetivo precípuo inserir informações de relevo-paisagem-geomorfologia, em uma análise integrada do meio físico aplicada ao planejamento territorial, empreendida nos mapeamentos de geodiversidade. O mapeamento de padrões de relevo representa, em linhas gerais, o 3º táxon hierárquico da metodologia de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1990). Em todos os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) de Geodiversidade desenvolvidos pela CPRM/SGB, o mapa de padrões de relevo correspon-

dente pode ser visualizado, bastando acessar, na shape, o campo de atributos "COD_REL".

REFERÊNCIAS:

AB'SABER, A.N. (1969). Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. (Geomorfologia, 18). FFCHL, USP São Paulo, 23p.
ROSS, J. L. S. (1990). Geomorfologia ambiente e planejamento. Ed. Contexto. São Paulo. 85p.

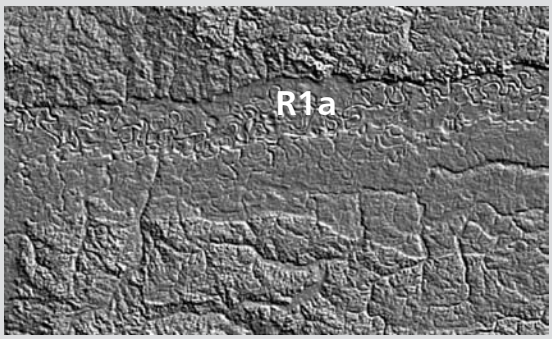
I – DOMÍNIO DAS UNIDADES AGRADACIONAIS

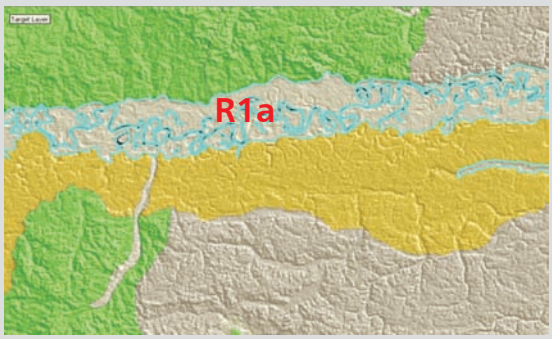
R1a – Planícies Fluviais ou Fluviolacustres (planícies de inundação, baixadas inundáveis e abaciamentos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

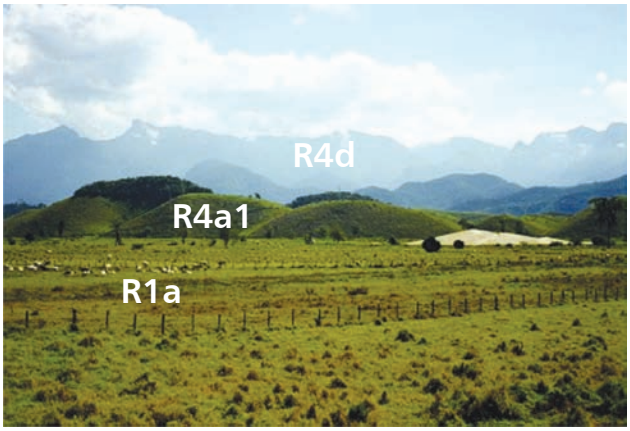
Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenoargilosos a argiloarenosos, apresentando gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais. Terrenos imperfeitamente drenados nas planícies de inundação, sendo periodicamente inundáveis; bem drenados nos terraços. Os abaciamentos (ou suaves depressões em solos arenosos) em áreas planas ou em baixos interflúvios, denominados Áreas de Acumulação Inundáveis (Aai), frequentes na Amazônia, estão inseridos nessa unidade.

Amplitude de relevo: zero.
Inclinação das vertentes: 0º-3º.





R1a – Médio vale do rio Juruá (sudeste do estado do Amazonas).



R1a – Planície fluvial do alto curso do rio São João (Rio de Janeiro). Zona de Baixada Litorânea.

R1a – Planície fluvial da bacia do rio Paquequer (Rio de Janeiro). Zona montanhosa.

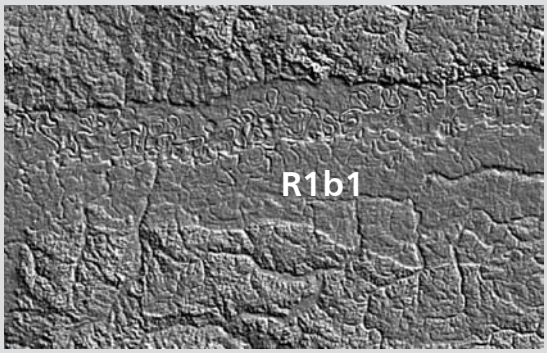
R1b1 – Terraços Fluviais (paleoplanícies de inundação em fundos de vales)

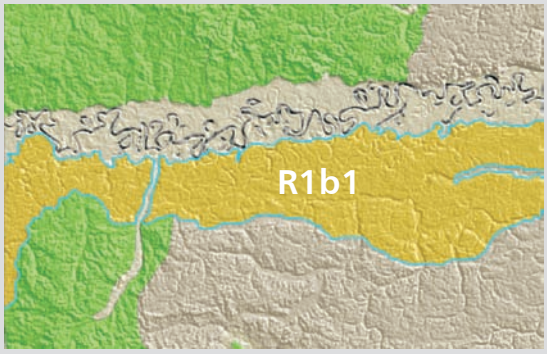
Relevo de agradação. Zona de acumulação subatual.

Superfícies bem drenadas, de relevo plano a levemente ondulado, constituído de depósitos arenosos a argilosos de origem fluvial. Consistem de paleoplanícies de inundação que se encontram em nível mais elevado que o das várzeas atuais e acima do nível das cheias sazonais. Devido à reduzida escala de mapeamento, essa unidade só pôde

ser mapeada em vales de grandes dimensões, em especial, nos rios amazônicos.

Amplitude de relevo: 2 a 20 m.
Inclinação das vertentes: 0º-3º (localmente, ressaltam-se rebordos abruptos no contato com a planície fluvial).





R1b1 – Médio vale do rio Juruá (sudeste do estado do Amazonas).

R1b1 – Planície e terraço fluviais do médio curso do rio Barreiro de Baixo (médio vale do rio Paraíba do Sul – SP/RJ).

R1b2 – Terraços Lagunares (paleoplanícies de inundação no rebordo de lagunas costeiras)

Relevo de agradação. Zona de acumulação subatual.

Superfícies bem drenadas, de relevo plano a levemente ondulado constituído de depósitos arenosos a argilosos de origem lagunar. Consistem de paleoplanícies de inundação que se encontram em nível mais elevado que o das planícies lagunares ou fluviolagunares atuais e acima do nível das cheias sazonais. Essa unidade encontra-se restrita ao estado do Rio Grande do Sul, mais especificamente na borda continental da Laguna dos Patos.

Amplitude de relevo: 2 a 20 m.
Inclinação das vertentes: 0º-3º (localmente, ressaltam-se rebordos abruptos no contato com a planície lagunar).

R1b3 – Terraços Marinhos (paleoplanícies marinhas à retaguarda dos atuais cordões arenosos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação subatual.

Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando microrrelevo ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Terrenos bem drenados e não inundáveis.

Amplitude de relevo: até 20 m.
Inclinação das vertentes: 0º-5º.

R1c – Vertentes recobertas por depósitos de encosta (leques aluviais, rampas de colúvio e de tálus)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

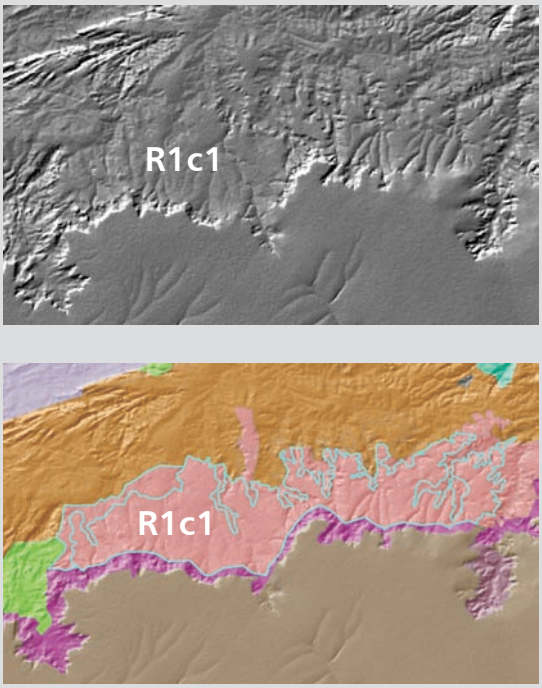
Os cones de tálus consistem de superfícies deposicionais fortemente inclinadas, constituídas por depósitos de encosta, de matriz arenoargilosa a argiloarenosa, rica em blocos, muito malselecionados. Ocorrem, de forma disseminada, nos sopés das vertentes íngremes de terrenos montanhosos. Apresentam baixa capacidade de suporte.

As rampas de colúvio consistem de superfícies deposicionais inclinadas, constituídas por depósitos de encosta arenoargilosos a argiloarenosos, malselecionados, em interdigitação com depósitos praticamente planos das planícies aluviais. Ocorrem, de forma disseminada, nas baixas encostas de ambientes colinosos ou de morros.

Amplitude de relevo: variável, dependendo da extensão do depósito na encosta.

Inclinação das vertentes: 5º-20º (associados às rampas de colúvio).

Inclinação das vertentes: 20º-45º (associados aos cones de tálus).



R1c – Planície borda norte da Chapada do Araripe (Ceará).

R1c2 – Leques Aluviais

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual ou subatual.

Os leques aluviais consistem de superfícies deposicionais inclinadas, constituídas por depósitos aluvionares de enxurrada, espraiados em forma de leque em uma morfologia ligeiramente convexa em planta. São depósitos malselecionados, variando entre areia fina e seixos subangulosos a subarredondados, gerados no sopé de escarpas montanhosas ou cordilheiras. Em sua porção proximal, os leques aluviais caracterizam-se por superfícies fortemente inclinadas e dissecadas por canais efêmeros que drenam a cordilheira. Em sua porção distal, os leques aluviais caracterizam-se por superfícies muito suavemente inclinadas, com deposição de sedimentos finos, em processo de coalescência com as planícies aluviais ou fluviolacustres, reproduzindo um ambiente *playa-bajada* de clima árido.

Amplitude de relevo: 2 a 10 m.

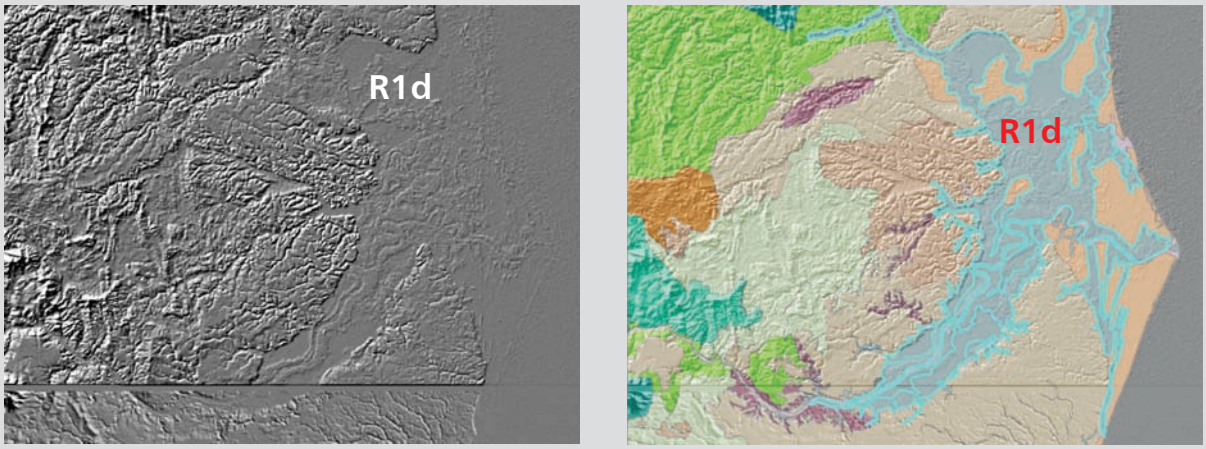
Inclinação das vertentes: 0º-3º (exceto nas porções proximais dos leques).

R1d – Planícies Fluviomarinhas (mangues e brejos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e marinhos, constituídas de depósitos argiloarenosos a argilosos. Terrenos muito maldrenados, prolongadamente inundáveis, com padrão de canais bastante meandrantes e divagantes, sob influência de refluxo

R1c – Rampas de colúvio que se espraiam a partir da borda oeste do platô sinclinal (Moeda – Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais).



R1d – Delta do rio Jequitinhonha (Bahia).

R1d – Ampla superfície embrejada de uma planície lagunar costeira (litoral norte do estado da Bahia, município de Conde).

R1d – Planície fluviomarinha do baixo curso do rio Cunhaú, originalmente ocupado por mangues e atualmente desfigurado para implantação de tanques de carcinucultura (litoral sul-oriental do estado do Rio Grande do Norte).

de marés; ou resultantes da colmatação de paleolagunas. Baixa capacidade de suporte dos terrenos.

Amplitude de relevo: zero.

Inclinação das vertentes: plano (0º).

R1e – Planícies Costeiras (terraços marinhos e cordões arenosos)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando microrrelevo ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Terrenos bem drenados e não inundáveis.

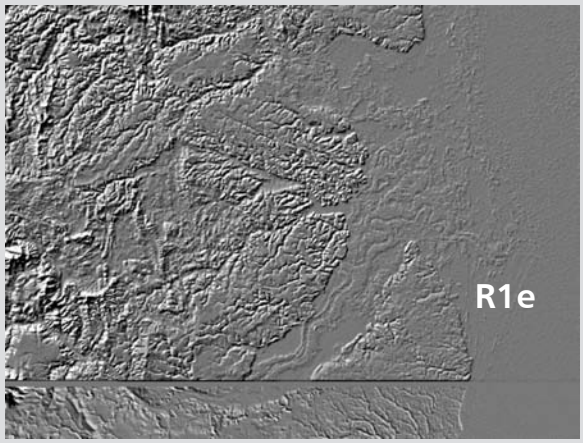
Amplitude de relevo: até 20 m.

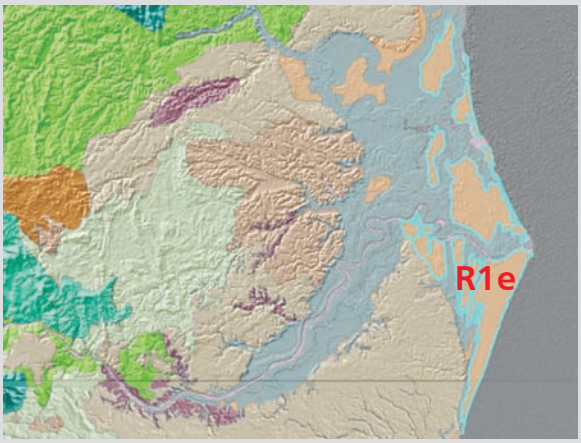
Inclinação das vertentes: 0º-5º.

R1f1 – Campos de Dunas (dunas fixas; dunas móveis)

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual ou subatual.

Superfícies de relevo ondulado constituído de depósitos arenoquartzosos, bem selecionados, depositados por ação eólica longitudinalmente à linha de costa. Por vezes, encontram-se desprovidos de vegetação e apresentam expressiva mobilidade (dunas móveis); ora encontram-se recobertos por vegetação pioneira (dunas fixas).

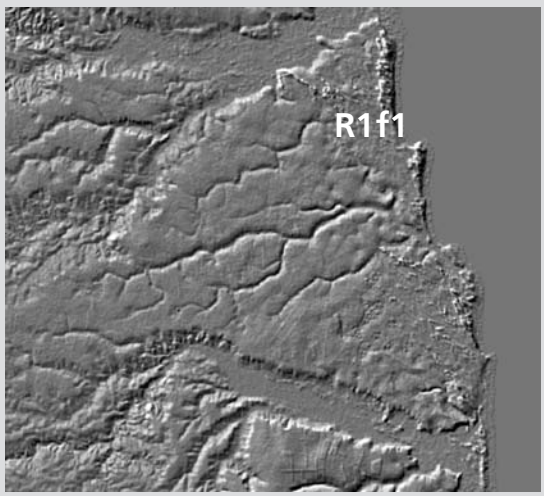


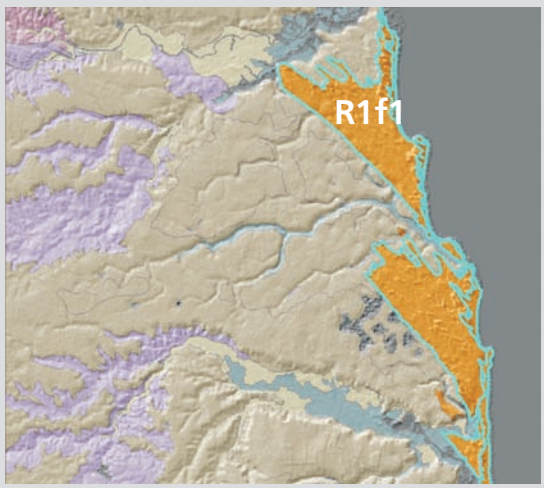


R1e – Planície do delta do rio Jequitinhonha (Bahia).

R1e – Sucessão de feixes de cordões arenosos em linha de costa progradante (Parque Nacional de Jurubatiba – Macaé, Rio de Janeiro).

R1e – Planície costeira com empilhamento de cordões arenosos e depósitos fluviolagunares (litoral norte do estado da Bahia).





R1f1 – Litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte.

R1f1 – Campos de dunas junto à linha de costa, sobrepondo falésias do grupo Barreiras (município de Baía Formosa, litoral sul do estado do Rio Grande do Norte).

R1f1 – Campo de dunas transversais na restinga de Massambaba (Arraial do Cabo, Rio de Janeiro).

Amplitude de relevo: até 40 m.
Inclinação das vertentes: 3º-30º.

R1f2 – Campos de Loess

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual ou subatual.

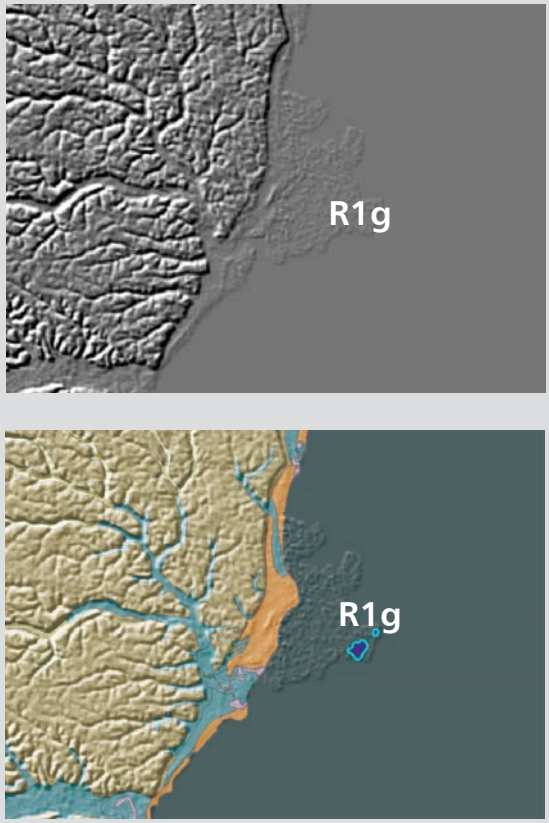
Superfícies de relevo plano a suave ondulado constituído de depósitos sílticos ou síltico-argilosos, bem selecionados, constituídos de sedimentos finos em suspensão depositados por ação eólica em zonas peridesérticas ou submetidos a paleoclimas áridos ao longo de períodos glaciais pleistocênicos. Apresentam solos com alta susceptibilidade à erosão.

Amplitude de relevo: 0 a 20 m.
Inclinação das vertentes: 0º-5º.

R1g – Recifes

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Os recifes situam-se na plataforma continental interna em posição de linha de arrebentação ou *off-shore*, podendo ser distinguidos dois tipos principais: RECIFES DE ARENITO DE PRAIA, que consistem de antigos cordões arenosos (*beach-rocks*), sob forma de ilhas-barreiras paralelas à linha de costa, que foram consolidados por cimentação ferruginosa e/ou carbonática; RECIFES DE BANCOS DE CORAIS, que consistem de bancos de recifes ou formações peculiares denominadas "chapeirões", submersos ou



R1g – Santa Cruz Cabrália (sul do estado da Bahia).

parcialmente emersos durante os períodos de maré baixa. Estes são produzidos por acumulação carbonática, devido à atividade biogênica (corais).

Amplitude de relevo: zero.
Inclinação das vertentes: plano (0º).

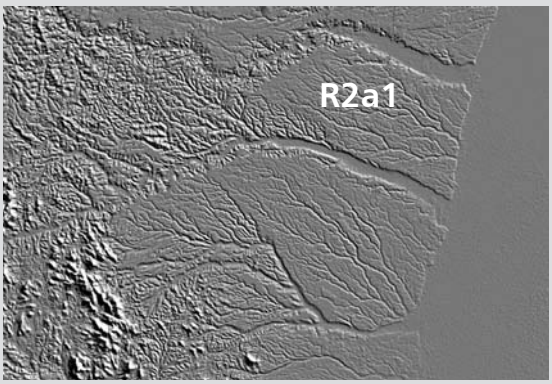
II – DOMÍNIO DAS UNIDADES DENUDACIONAIS EM ROCHAS SEDIMENTARES POUCO LITIFICADAS

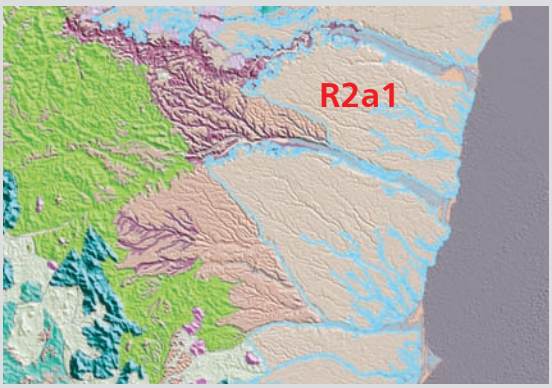
R2a1 – Tabuleiros

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Formas de relevo suavemente dissecadas, com extensas superfícies de gradientes extremamente suaves, com topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de "U", resultantes de dissecação fluvial recente.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas).





R2a1 – Porto Seguro (sul do estado da Bahia).

R2a1 – Tabuleiros pouco dissecados da bacia de Macacu (Venda das Pedras, Itaboraí, Rio de Janeiro).

R2a1 – Plantação de eucaliptos em terrenos planos de tabuleiros não dissecados do grupo Barreiras (município de Esplanada, norte do estado da Bahia).

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.
Inclinação das vertentes: topo plano: 0º-3º (localmente, ressaltam-se vertentes acentuadas: 10º-25º).

R2a2 – Tabuleiros Dissecados

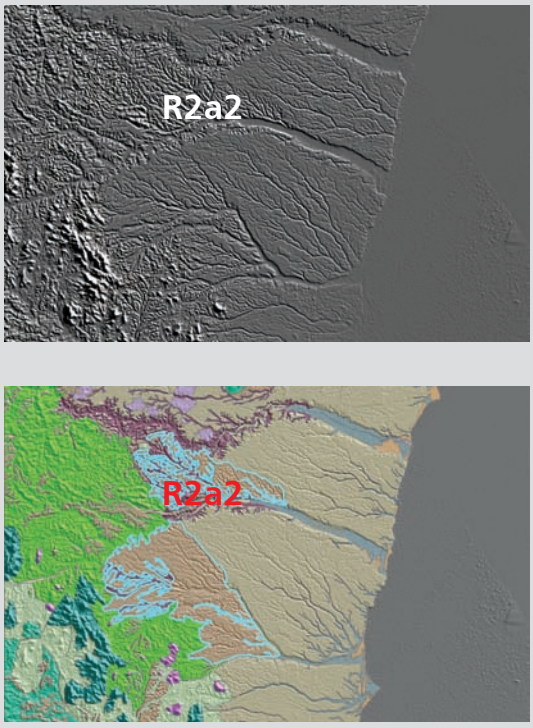
Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Formas de relevo tabulares, dissecadas por uma rede de canais com alta densidade de drenagem, apresentando relevo movimentado de colinas com topos tabulares ou alongados e vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente.

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a

moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrência de processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas).

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.
Inclinação das vertentes: topos planos restritos: 0º-3º (localmente, ressaltam-se vertentes acentuadas: 10º-25º).



R2a2 – Porto Seguro (sul do estado da Bahia).

R2a2 – Tabuleiros dissecados, intensamente erodidos por processos de voçorocamento junto à rodovia Linha Verde (litoral norte do estado da Bahia).

R2a2 – Tabuleiros dissecados em amplos vales em forma de "U", em típica morfologia derivada do grupo Barreiras (bacia do rio Guaxindiba, São Francisco do Itabapoana, Rio de Janeiro).

III – DOMÍNIO DAS UNIDADES DENUDACIONAIS EM ROCHAS SEDIMENTARES LITIFICADAS

R2b1 – Baixos Platôs

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares. Sistema de drenagem principal com fraco entalhamento.

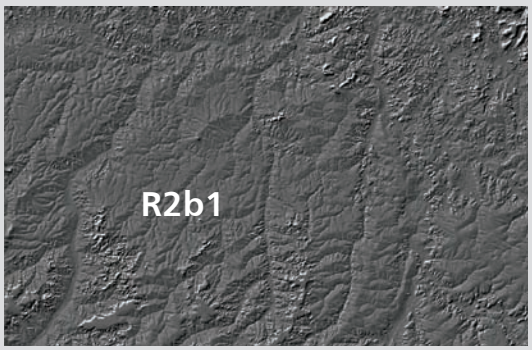
Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização. Caracterizam-se por superfícies planas de modestas altitudes em antigas bacias sedimentares, como os patamares mais baixos da Bacia do Parnaíba (Piauí) ou a Chapada do Apodi, na Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte).

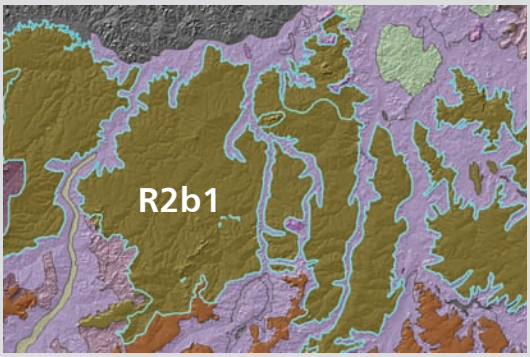
Amplitude de relevo: 0 a 20 m.
Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2º-5º.

R2b2 – Baixos Platôs Dissecados

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, francamente dissecadas em forma de colinas tabulares. Sistema de drenagem constituído por uma rede de canais com alta densidade de drenagem, que gera um relevo dissecado em vertentes retilíneas e





R2b1 – Centro-sul do estado do Piauí.

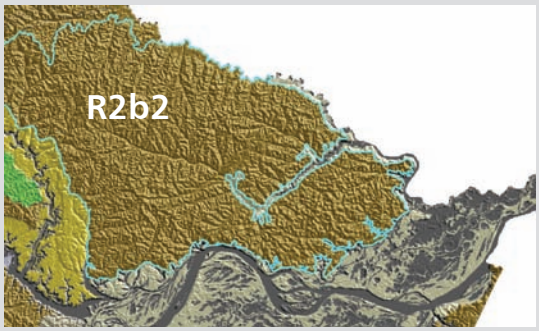
R2b1 – Baixos platôs não dissecados da bacia do Parnaíba (estrada Floriano-Picos, próximo a Oeiras, Piauí).

declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. Deposição de planícies aluviais restritas em vales fechados.

Equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (formação de solos espessos e bem drenados, com moderada suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). Situação típica encontrada nos baixos platôs embasados pela Formação Alter do Chão, ao norte de Manaus.

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2º-5º, excetuando-se os eixos dos vales fluviais, onde se registram vertentes com declividades mais acentuadas (10º-25º).



R2b2 – Interflúvio entre os rios Uatumã e Nhamundá (nordeste do estado do Amazonas).

R2b2 – Baixos platôs dissecados em forma de colinas tabulares sobre arenitos imaturos da formação Alter do Chão (Presidente Figueiredo, Amazonas).

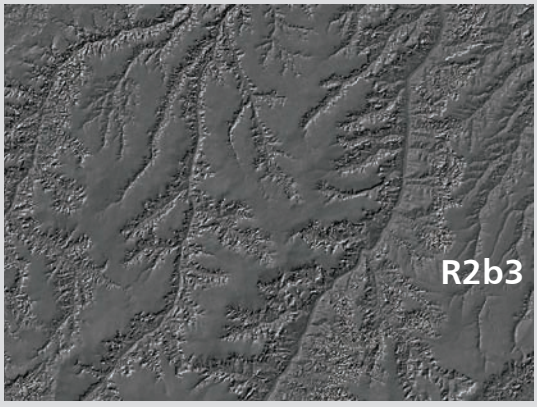
R2b3 – Planaltos

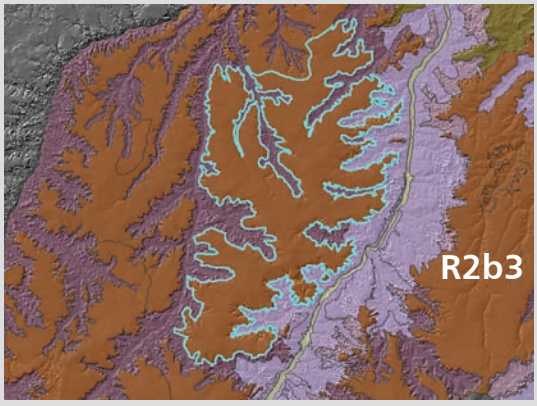
Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares, mas também sobre rochas cristalinas.

Superfícies mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares ou colinas muito amplas. Sistema de drenagem principal com fraco entalhamento e deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados.

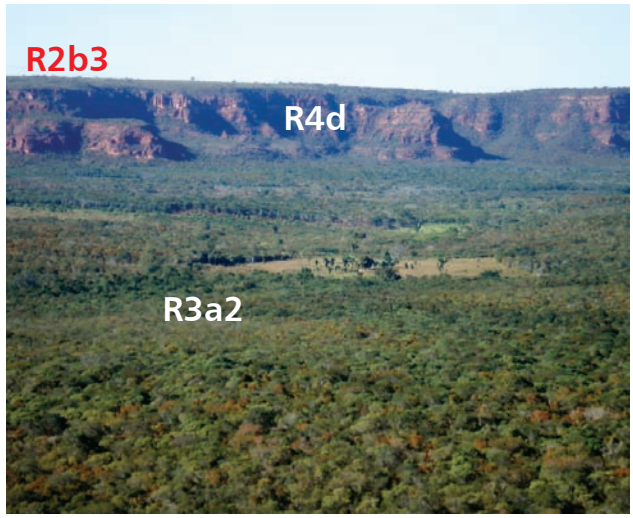
Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

Amplitude de relevo: 20 a 50 m.
Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2°-5°, excetuando-se os eixos dos vales fluviais.





R2b3 – Planalto de Uruçuí (sul do estado do Piauí).



R2b3 – Escarpa erosiva do planalto de Uruçuí (bacia do Parnaíba, sudoeste do estado do Piauí).

R2b3 – Topo do planalto da serra dos Martins, sustentado por cornijas de arenitos ferruginosos da formação homônima (sudoeste do estado do Rio Grande do Norte).

R2c – Chapadas e Platôs

Relevo de degradação em rochas sedimentares.

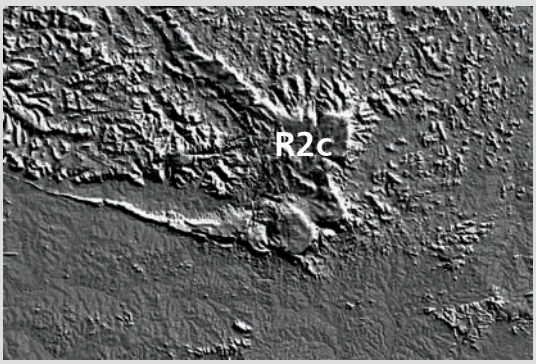
Superfícies tabulares alçadas, ou relevos soerguidos, planos ou aplainados, não ou incipientemente pouco dissecados. Os rebordos dessas superfícies, posicionados em cotas elevadas, são delimitados, em geral, por vertentes íngremes a escarpadas. Representam algumas das principais ocorrências das superfícies cimeiras do território brasileiro.

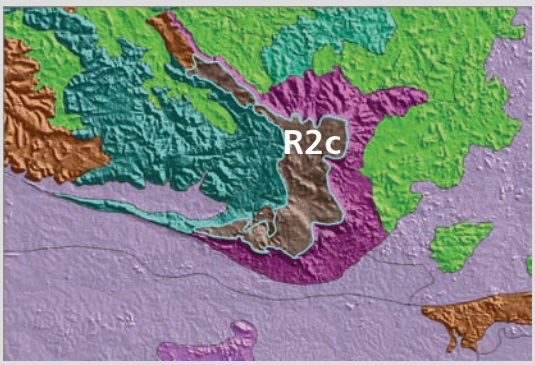
Franco predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão).

Processos de morfogênese significativos nos rebordos das escarpas erosivas, via recuo lateral das vertentes. Frequente atuação de processos de laterização. Ocorrências

esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

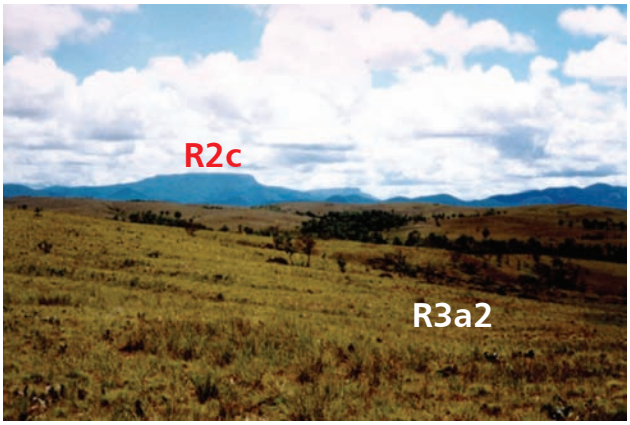
Amplitude de relevo: 0 a 20 m.
Inclinação das vertentes: topo plano, excetuando-se os eixos dos vales fluviais.





R2c – Borda Leste da Chapada dos Pacaás Novos (região central do estado de Rondônia).

R2c – Topo da Chapada dos Guimarães e relevo ruiniforme junto a seu escarpamento.



R2c – "Tepuy" isolado da "serra" do Tepequém, uma forma em chapada sustentada por arenitos conglomeráticos do supergrupo Roraima.

IV – DOMÍNIO DOS RELEVOS DE APLAINAMENTO

R3a1 – Superfícies Aplainadas Conservadas

Relevo de aplainamento.

Superfícies planas a levemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos, representando, em linhas gerais, grandes extensões das depressões interplanálticas do território brasileiro.

Amplitude de relevo: 0 a 10 m.
Inclinação das vertentes: 0º-5º.

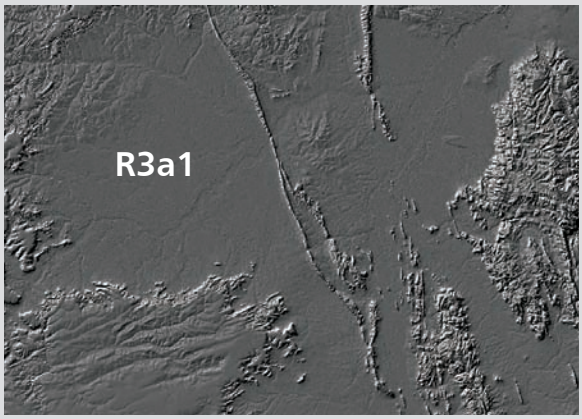
No bioma da floresta amazônica: franco predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa suscetibilidade à erosão). Eventual atuação de processos de laterização.

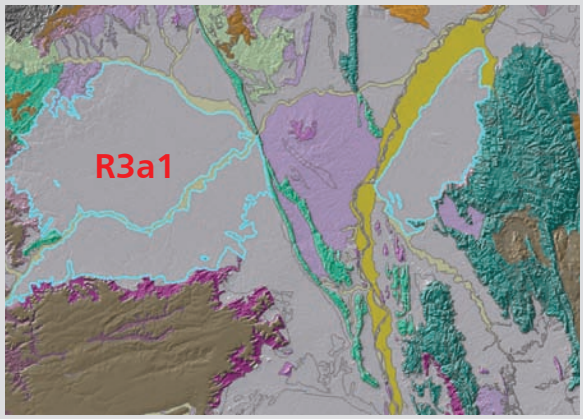
Nos biomas de cerrado e caatinga: equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (a despeito das baixas declividades, prevalece o desenvolvimento de solos rasos e pedregosos e os processos de erosão laminar são significativos).

R3a2 – Superfícies Aplainadas Retocadas ou Degradadas

Relevo de aplainamento.

Superfícies suavemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos e posterior retomada erosiva proporcionada pela incisão suave de uma rede de drenagem incipiente. Inserem-se, também, no contexto das grandes depressões interplanálticas do território brasileiro.





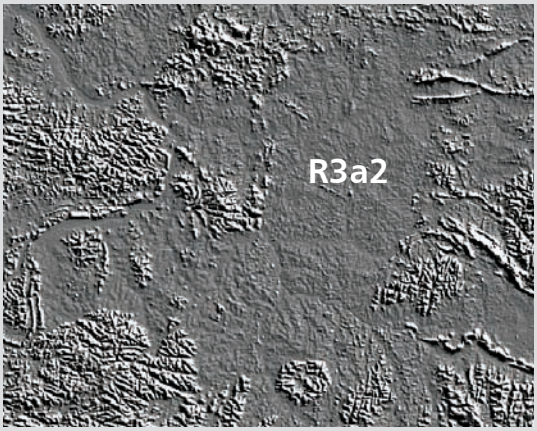
R3a1 – Médio vale do rio São Francisco (estado da Bahia).

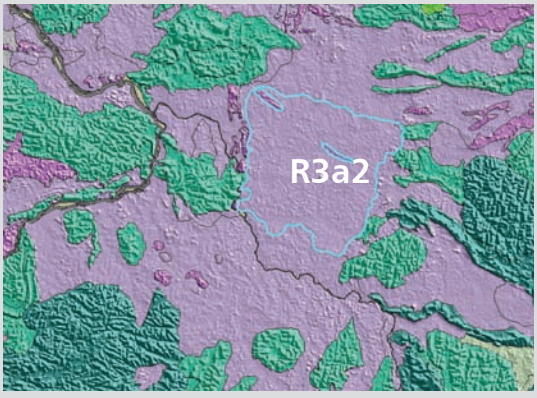
Amplitude de relevo: 10 a 30 m.

Inclinação das vertentes: 0º-5º.

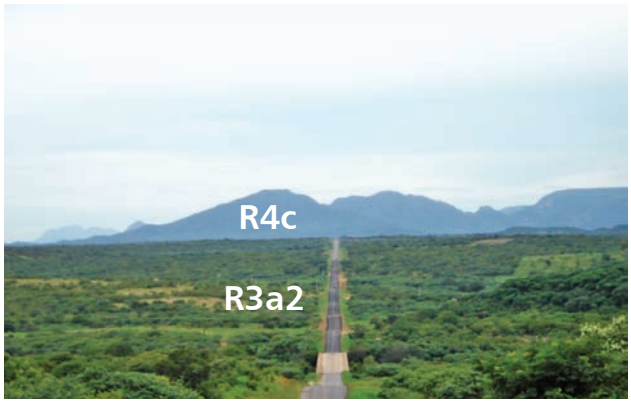
R3a1 – Extensa superfície aplainada, delimitada por esparsas cristas de quartzitos (Canudos, norte do estado da Bahia).

Caracteriza-se por extenso e monótono relevo suave ondulado sem, contudo, caracterizar ambiente colinoso, devido a suas amplitudes de relevo muito baixas e longas rampas de muito baixa declividade.





R3a2 – Médio vale do rio Xingu (estado do Pará).



R3a2 – Extensa superfície aplainada da depressão sertaneja (sudoeste do estado do Rio Grande do Norte).

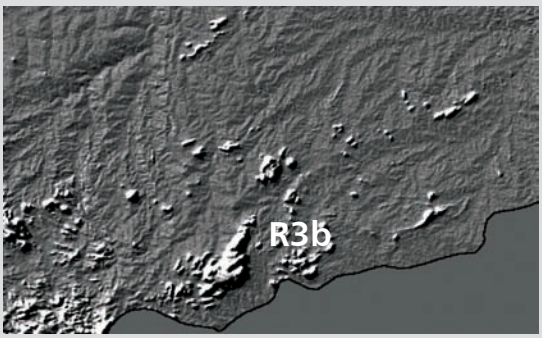
R3b – *Inselbergs* e outros relevos residuais (cristas isoladas, morros residuais, pontões, monolitos)

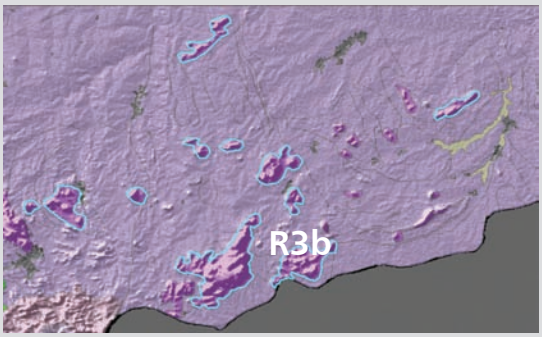
Relevo de aplainamento.

Relevos residuais isolados destacados na paisagem aplainada, remanescentes do arrasamento geral dos terrenos.

Amplitude de relevo: 50 a 500 m.

Inclinação das vertentes: 25º-45º, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60º-90º).





R3b – Sul do estado do Rio Grande do Norte.

R3b – Agrupamentos de *inselbergs* alinhados em cristas de rochas quartzíticas delineadas em zona de cisalhamento (estrada Senhor do Bonfim-Juazeiro, estado da Bahia).

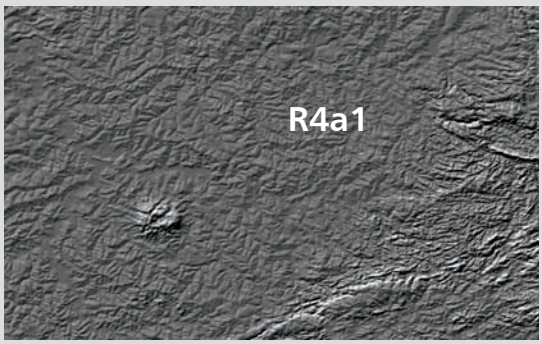
R3b – *Neck* vulcânico do pico do Cabugi (estado do Rio Grande do Norte).

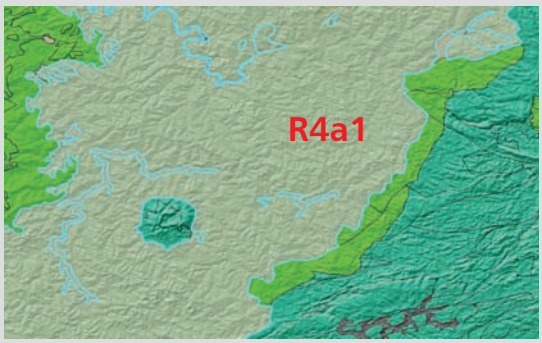
V – DOMÍNIO DAS UNIDADES DENUDACIONAIS EM ROCHAS CRISTALINAS OU SEDIMENTARES

R4a1 – Domínio de Colinas Amplas e Suaves

Relevo de degradação em qualquer litologia, predominando rochas sedimentares.

Relevo de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos, de morfologia tabular ou alongada. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais relativamente amplas.





R4a1 – Depressão periférica (estado de São Paulo).

R4a1 – Colinas amplas e suaves modeladas sobre granulitos (cercanias de Anápolis, Goiás).

R4a1 – Relevo suave colinoso (município de Araruama, região dos Lagos, Rio de Janeiro).

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). Geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

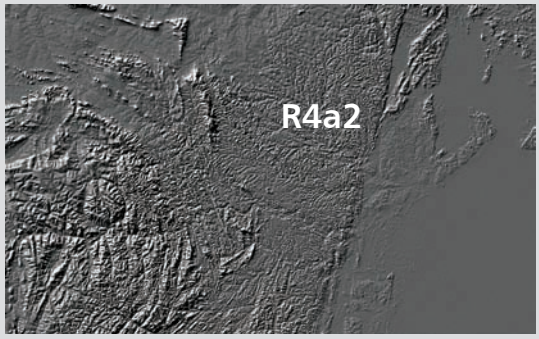
Amplitude de relevo: 20 a 50 m.

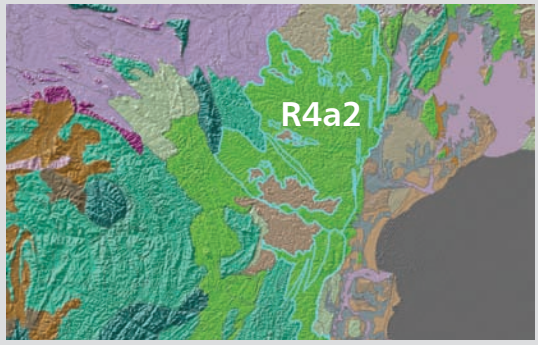
Inclinação das vertentes: 3°-10°.

R4a2 – Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou aguçados. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados.





R4a2 – Leste do estado da Bahia.

R4a2 – Típico relevo de mar-de-morros no médio vale do rio Paraíba do Sul (topo da serra da Concórdia, Valença, Rio de Janeiro).

R4a2 – Colinas e morros intensamente dissecados sobre metassiltitos (município de Padre Bernardo, Goiás).

Equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com moderada suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e ocorrência esporádica de processos de erosão linear acelerada (sulcos, ravinas e voçorocas). Geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes.

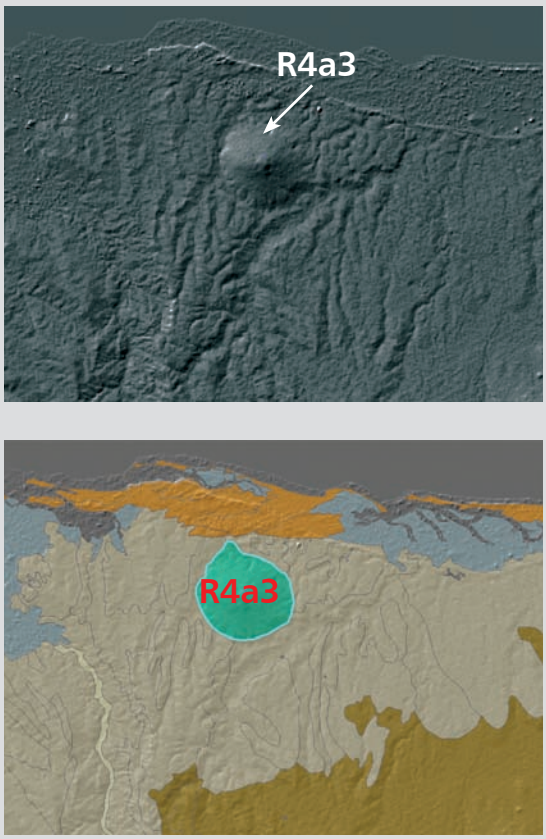
Amplitude de relevo: 30 a 80 m.

Inclinação das vertentes: 5º-20º.

R4a3 – Domos em estrutura elevada

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo de amplas e suaves elevações em forma de meia esfera, com modelado de extensas vertentes convexas e topos planos a levemente arredondados. Em geral, essa morfologia deriva de rochas intrusivas que arqueiam a superfície do terreno, podendo gerar estruturas dobradas do tipo braquianticlinais. Apresenta padrão de drenagem radial e centrífugo. Sistema de drenagem principal em processo inicial de entalhamento, sem deposição de planícies aluviais.



R4a3 – Domo de Guamaré (estado do Rio Grande do Norte).

R4a3 – Domo de Guamaré, arqueando as rochas sedimentares da bacia Potiguar (estado do Rio Grande do Norte).

Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas).

Amplitude de relevo: 50 a 200 m.

Inclinação das vertentes: 3º-10º.

R4b – Domínio de Morros e de Serras Baixas

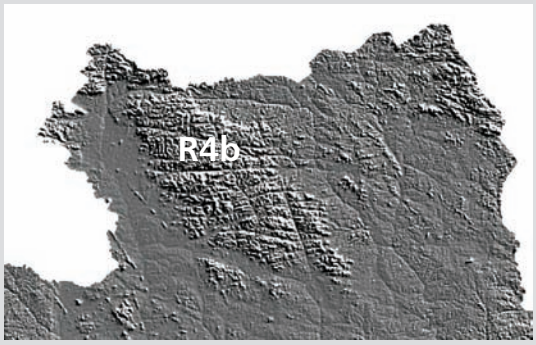
Relevo de degradação em qualquer litologia.

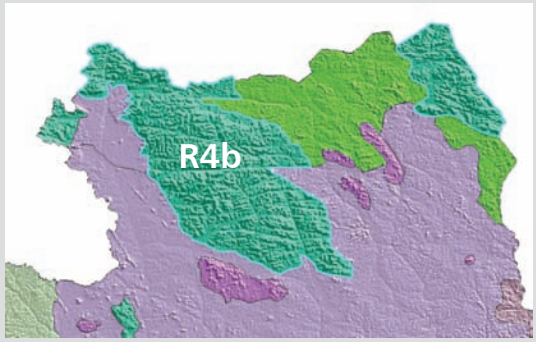
Relevo de morros convexo-côncavos dissecados e topos arredondados ou aguçados. Também se insere nessa unidade o relevo de morros de topo tabular, característico das chapadas intensamente dissecadas e desfeitas em conjunto de morros de topo plano. Sistema de drenagem principal com restritas planícies aluviais.

Predomínio de processos de morfogênese (formação de solos pouco espessos em terrenos declivosos, em geral, com moderada a alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas) e ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. Geração de colúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus nas baixas vertentes.

Amplitude de relevo: 80 a 200 m, podendo apresentar desnivelamentos de até 300 m.

Inclinação das vertentes: 15º-35º.





R4b – Serra do Tumucumaque (norte do estado do Pará).

R4c – Domínio Montanhoso (alinhamentos serranos, maciços montanhosos, *front* de *cuestas* e *hogback*)

Relevo de degradação em qualquer litologia.

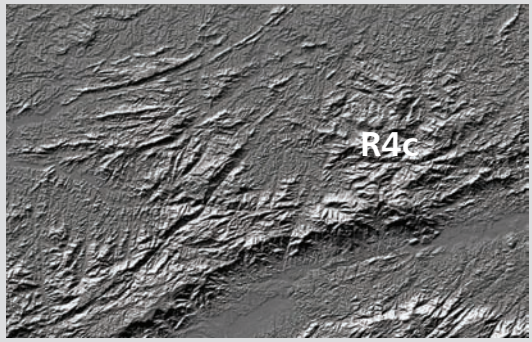
Relevo montanhoso, muito acidentado. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento.

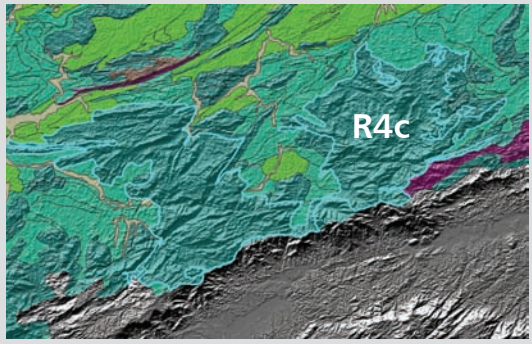
Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

Amplitude de relevo: acima de 300 m, podendo apresentar, localmente, desnivelamentos inferiores a 200 m.
Inclinação das vertentes: 25°-45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60°-90°).

R4b – Relevo de morros elevados no planalto da região serrana do estado do Rio de Janeiro.

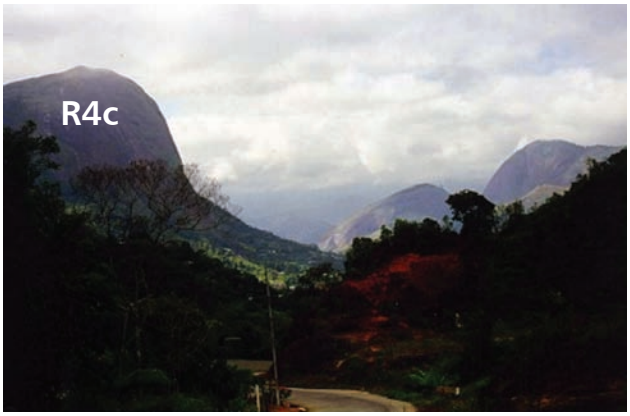
R4b – Relevo fortemente dissecado em morros sulcados e alinhados a norte do planalto do Distrito Federal.





R4c – Sul do estado de Minas Gerais.

R4c – Relevo montanhoso do maciço do Caraça, modelado em quartzitos (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais).



R4c – Vale estrutural do rio Araras; reverso da serra do Mar (Petrópolis, Rio de Janeiro).

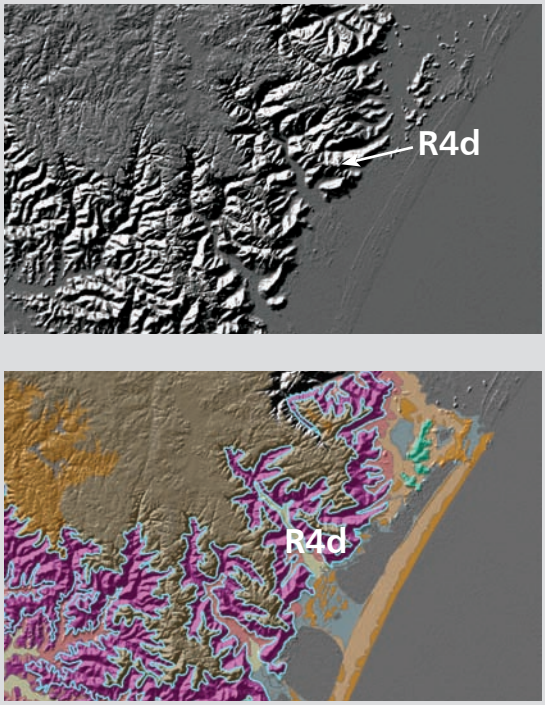
R4d – Escarpas Serranas

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo montanhoso, muito acidentado. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Representam um relevo de transição entre duas superfícies distintas alçadas a diferentes cotas altimétricas.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

Amplitude de relevo: acima de 300 m.
Inclinação das vertentes: 25º-45º, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60º-90º).



R4d – Escarpa da serra Geral (nordeste do estado do Rio Grande do Sul).

R4d – Aspecto imponente da serra Geral, francamente entalhada por uma densa rede de drenagem, gerando uma escarpa festonada com mais de 1.000 m de desnivelamento.

R4d – Escarpa da serra de Miguel Inácio, cuja dissecação está controlada por rochas metassedimentares do grupo Paranoá (cercanias do Distrito Federal).

R4e – Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos

Relevo de degradação em qualquer litologia.

Relevo acidentado, constituído por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, declivosas e topos levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Representam relevo de transição entre duas superfícies distintas alçadas a diferentes cotas altimétricas.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

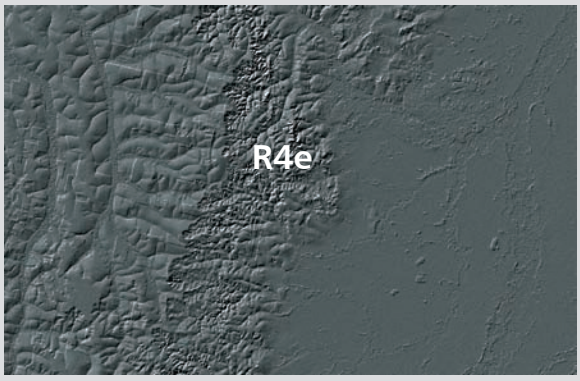
Amplitude de relevo: 50 a 200 m.
Inclinação das vertentes: 10º-25º, com ocorrência de vertentes muito declivosas (acima de 45º).

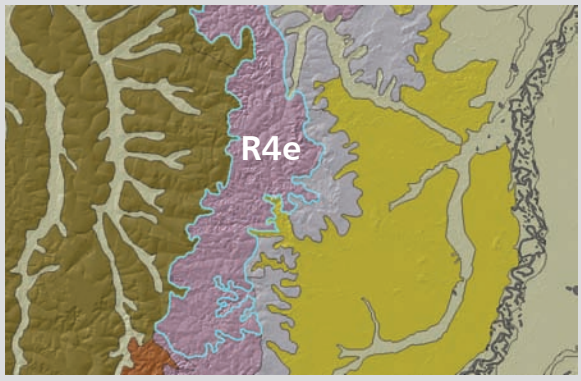
R4f – Vales Encaixados

Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares, mas também sobre rochas cristalinas.

Relevo acidentado, constituído por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, fortemente sulcadas, declivosas, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Consistem em feições de relevo fortemente entalhadas pela incisão vertical da drenagem, formando vales encaixados e incisos sobre planaltos e chapadas, estes, em geral, pouco dissecados. Assim como as escarpas e os rebordos erosivos, os vales encaixados apresentam quebras de relevo abruptas em contraste com o relevo plano adjacente. Em geral, essas formas de relevo indicam uma retomada erosiva recente em processo de reajuste ao nível de base regional.

Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos, em geral, com alta suscetibilidade à erosão). Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes.

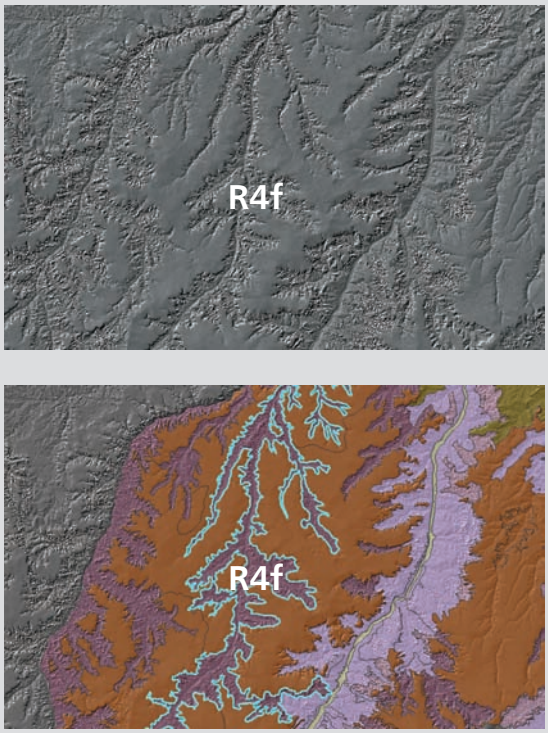




R4e – Degrau escarpado da serra do Roncador (leste do estado de Mato Grosso).

R4e – Degrau estrutural do flanco oeste do planalto de morro do Chapéu (Chapada Diamantina, Bahia).

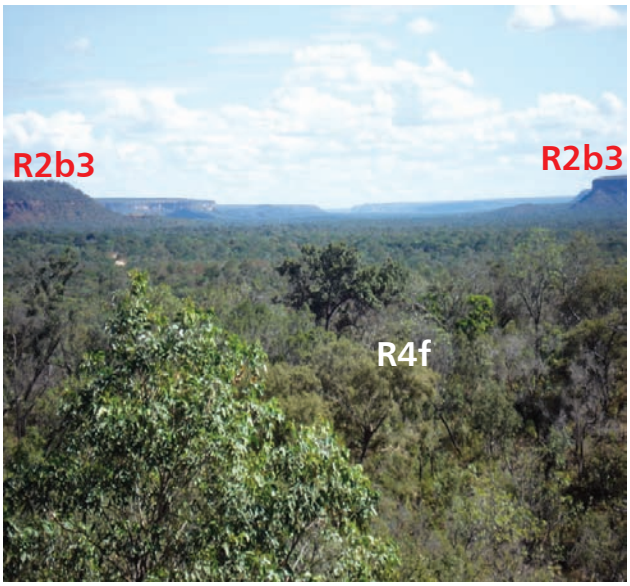
R4e – Degrau estrutural no contato da bacia do Parnaíba com o embasamento cristalino no sul do Piauí.



R4f – Planalto de Uruçuí e vale do Gurgueia (sul do estado do Piauí).

Amplitude de relevo: 100 a 300 m.

Inclinação das vertentes: 10º-25º, com ocorrência de vertentes muito declivosas (acima de 45º).



R4f – Vale amplo e encaixado de tributário do rio Gurgueia no planalto de Uruçuí (sudoeste do estado do Piauí).

NOTA SOBRE OS AUTORES

ANTÔNIO THEODOROVICZ – Geólogo (1977) formado pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), com especialização (1990) em Geologia Ambiental (CPRM/SGB). Ingressou na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB) – Superintendência Regional de Porto Velho (SUREG/PV) em 1978. Desde 1982 atua na Superintendência Regional de São Paulo (SUREG/SP). Executou e chefiou vários projetos de Mapeamento Geológico, Prospecção Mineral e Metalogenia em diversas escalas nas regiões Amazônica, Sul e Sudeste. Desde 1990 atua como supervisor/executor de vários estudos geoambientais, para os quais concebeu uma metodologia, adaptada e aplicada na geração dos mapas Geodiversidade do Programa SIG – Geologia Ambiental. Ministra treinamentos de campo para caracterização do meio físico para fins de planejamento e gestão ambiental, para equipes da CPRM/SGB e de países da América do Sul. Atualmente, também é coordenador regional do Projeto Geoparques da CPRM/SGB, Conselheiro da Comissão de Monumentos Geológicos do Estado de São Paulo e Membro do Conselho Gestor do Geopark Estadual Bodoquena-Pantanal.

CARLOS AUGUSTO BRASIL PEIXOTO – Graduado (1994) em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com especialização (1996) em Ciências da Terra e Meio Ambiente, pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), e MBA (2007) em Gestão Ambiental Empresarial, realizado na Fundação Getulio Vargas. Atua desde agosto de 2007 na CPRM/SGB, no Programa Gestão Ambiental e Territorial (GATE/CPRM). Está lotado na SUREG/SP; como responsável técnico pelo Projeto Geodiversidade do Estado de São Paulo. Participou, no ano de 2009, dos projetos TAV – Mapeamento Geológico-Geotécnico/RJ-SP e Levantamento de Áreas de Riscos em Santa Catarina.

MARCELO EDUARDO DANTAS – Graduado (1992) em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com os títulos de licenciado em Geografia e Geógrafo. Mestre (1995) em Geomorfologia e Geoecologia pela UFRJ. Nesse período, integrou a equipe de pesquisadores do Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO/UFRJ), tendo atuado na investigação de temas como: Controles Litoestruturais na Evolução do Relevo; Sedimentação Fluvial; Impacto das Atividades Humanas sobre as Paisagens Naturais no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Em 1997, ingressou na CPRM/SGB, atuando como geomorfólogo até o presente. Desenvolveu atividades profissionais em projetos na área de Geomorfologia, Diagnósticos Geoambientais e Mapeamentos da Geodiversidade, em atuação integrada com a equipe de geólogos do Programa GATE/CPRM. Dentre os trabalhos mais relevantes, destacam-se: Mapa Geomorfológico e Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro; Mapa Geomorfológico do ZEE RIDE Brasília; Estudo Geomorfológico Aplicado à Recomposição Ambiental da Bacia Carbonífera de Criciúma; Análise da Morfodinâmica Fluvial Aplicada ao Estudo de Implantação das UHEs de Santo Antônio e Jirau (Rio Madeira-Rondônia). Atua, desde 2002, como professor-assistente do curso de Geografia/UNISUAM. Atualmente, é coordenador nacional de Geomorfologia do Projeto Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB). Membro efetivo da União da Geomorfologia Brasileira (UGB) desde 2007.

MARIA ADELAIDE MANSINI MAIA – Geóloga (1996) formada pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), com especialização em Geoprocessamento pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Atuou de 1997 a 2009 na Superintendência Regional de Manaus da CPRM/SGB, nos projetos de Gestão Territorial e Geoprocessamento, destacando-se o Mapa da Geodiversidade do Estado do Amazonas e os Zoneamentos Ecológico-Econômicos (ZEEs) do Vale do Rio Madeira, do estado de Roraima, do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus. Atualmente, está lotada no Escritório Rio de Janeiro da CPRM/SGB, desenvolvendo atividades ligadas aos projetos de Gestão Territorial dessa instituição, notadamente o Programa de Levantamento da Geodiversidade.

MARIA ANGÉLICA BARRETO RAMOS – Graduada (1989) em geologia pela Universidade de Brasília (UnB) e mestre (1993) em Geociências pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Ingressou na CPRM/SGB em 1994, onde atuou em mapeamento geológico no Projeto Aracaju ao Milionésimo. Em 1999, no Departamento de Gestão Territorial (DEGET), participou dos projetos Acajutiba-Aporá-Rio Real e Porto Seguro-Santa Cruz Cabrália. Em 2001, na Divisão de Avaliação de Recursos Minerais integrou a equipe de coordenação do Projeto GIS do Brasil e de Banco de Dados da CPRM/SGB. A partir de 2006, passou a atuar na coordenação de geoprocessamento do Projeto Geodiversidade do Brasil no DEGET. Ministra cursos e treinamentos em ferramentas de SIG aplicados a projetos da CPRM/SGB. É autora de 32 trabalhos individuais e coautora nos livros "Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil" e "Geodiversidade do Brasil", dentre outros (12). Foi presidenta da Associação Baiana de Geólogos no período de 2005-2007 e vice-presidenta de 2008 a 2009.

PEDRO AUGUSTO DOS SANTOS PFALTZGRAFF – Geólogo (1984) formado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), mestre (1994) em Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e doutor (2007) em Geologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Trabalhou, entre 1984 e 1988, em obras de barragens e projetos de sondagem geotécnica na empresa Enge Rio – Engenharia e Consultoria S.A. e como geólogo autônomo entre os anos de 1985-1994. Trabalha na CPRM/SGB desde 1994, onde atua em diversos projetos de Geologia Ambiental.

VALTER JOSÉ MARQUES – Geólogo (1966) formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), especialização em Petrologia (1979) pela USP e em Engenharia do Meio Ambiente (1991) pela UFRJ. Nos primeiros 25 anos de carreira, dedicou-se ao ensino universitário, na UnB, e ao mapeamento geológico na CPRM/SGB, entremeando um período em empresas privadas (Mineração Morro Agudo e Camargo Correa), onde atuou em prospecção mineral em todo o território nacional. Desde 1979, quando retornou à CPRM/SGB, exerceu diversas funções e ocupou diversos cargos, dentre os quais o de Chefe do Departamento de Geologia da CPRM/SGB e o de Superintendente de Recursos Minerais. Nos últimos 18 anos, vem se dedicando à gestão territorial, com destaque para o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), sobretudo na Amazônia e nas faixas de fronteira com os países vizinhos, atuando como coordenador técnico de diversos projetos binacionais. Nos últimos 10 anos, vem desenvolvendo estudos quanto à avaliação da Geodiversidade para o desenvolvimento regional utilizando técnicas de *cenários prospectivos*.

VITÓRIO ORLANDI FILHO – Geólogo (1967) pela UFRGS, especialização em Sensoriamento Remoto e Fotointerpretação no Panamá e Estados Unidos. De 1970 a 2007, exerceu suas atividades junto à CPRM/SGB, onde desenvolveu projetos ligados a Mapeamento Geológico Regional, Prospecção Mineral e Gestão Territorial. Em 2006, participou da elaboração do Mapa Geodiversidade do Brasil (CPRM/SGB).

ISBN 978-85-7499-090-3

GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE SÃO PAULO

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL

LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

Geodiversidade do Estado do São Paulo é um produto concebido para oferecer aos diversos segmentos da sociedade paulista uma tradução do atual conhecimento geocientífico da região, com vistas ao planejamento, aplicação, gestão e uso adequado do território. Destina-se a um público alvo muito variado, incluindo desde as empresas de mineração, passando pela comunidade acadêmica, gestores públicos estaduais e municipais, sociedade civil e ONGs.

Dotado de uma linguagem voltada para múltiplos usuários, o mapa compartimenta o território paulista em unidades geológico-ambientais, destacando suas limitações e potencialidades frente à agricultura, obras civis, utilização dos recursos hídricos, fontes poluidoras, potencial mineral e geoturístico.

Nesse sentido, com foco em fatores estratégicos para a região, são destacadas Áreas de Relevante Interesse Mineral – ARIM, Potenciais Hidrogeológico e Geoturístico, Riscos Geológicos aos Futuros Empreendimentos, dentre outros temas do meio físico, representando rico acervo de dados e informações atualizadas e constituindo valioso subsídio para a tomada de decisão sobre o uso racional e sustentável do território nacional.

Geodiversidade é o estudo do meio físico constituído por ambientes diversos e rochas variadas que, submetidos a fenômenos naturais e processos geológicos, dão origem às paisagens, ao relevo, outras rochas e minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico, parâmetros necessários à preservação responsável e ao desenvolvimento sustentável.

SEDE
SGAN – Quadra 603 • Conj. J • Parte A – 1º andar
Brasília – DF • 70830-030
Fone: 61 3326-9500 • 61 3322-4305
Fax: 61 3225-3985

Escritório Rio de Janeiro – ERJ
Av. Pasteur, 404 – Urca
Rio de Janeiro – RJ • 22290-040
Fone: 21 2295-5337 • 21 2295-5382
Fax: 21 2542-3647

Presidência
Fone: 21 2295-5337 • 61 3322-5838
Fax: 21 2542-3647 • 61 3225-3985

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial
Fone: 21 2295-8248 • Fax: 21 2295-5804

Departamento de Gestão Territorial
Fone: 21 2295-6147 • Fax: 21 2295-8094

Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento
Fone: 21 2295-5837 • 61 3223-1166/1059
Fax: 21 2295-5947 • 61 3323-6600

Superintendência Regional de São Paulo
Rua Costa, 55 – Cerqueira César
São Paulo – SP • 01304-010
Fone: 113775-5101 • Fax: 11 3775-5165

Assessoria de Comunicação
Fone: 21 2546-0215 • Fax: 21 2542-3647

Divisão de Marketing e Divulgação
Fone: 31 3878-0372 • Fax: 31 3878-0382
marketing@cprm.gov.br

Ouvidoria
Fone: 21 2295-4697 • Fax: 21 2295-0495
ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS
Fone: 21 2295-5997 • Fax: 21 2295-5897
seus@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br
2010

PAC PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO

CPRM Serviço Geológico do Brasil

Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Ministério de Minas e Energia

BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL