

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DESCRIÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CONDICIONANTES GEOLÓGICOS,
GEOMORFOLÓGICOS E ESTRUTURAIS DAS INSTABILIDADES
GEOTÉCNICAS OBSERVADAS EM TRECHO DA SP-171, MUNICÍPIO DE
CUNHA – SP

Camila Duelis Viana

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Grohmann de Carvalho
Co-orientador: Msc. Geól. Luiz Fernando Roldan

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012 / 06)

SÃO PAULO
2012

TF
V614
CD.d
e.2

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DESCRIÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CONDICIONANTES GEOLÓGICOS,
GEOMORFOLÓGICOS E ESTRUTURAIS DAS INSTABILIDADES
GEOTÉCNICAS OBSERVADAS EM TRECHO DA SP-171, MUNICÍPIO DE
CUNHA – SP

Camila Duelis Viana



Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Grohmann de Carvalho
Co-orientador: Msc. Geól. Luiz Fernando Roldan

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012 / 06)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900031270

SÃO PAULO
2012

TF
V614
CD. d
e. 2

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ESTUDOS DOS CONDIÇÕES DE
SITUAÇÃO E ESTABILIDADE DAS INSTALAÇÕES
GEOLOGICAS E ESTRUTURAS ENTÃO DA SP-111, LITORAL DE
CURUA - SP



Camilo Queiroz Lima

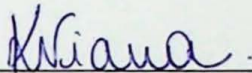
Desenho: Prof. Dr. Carlos Henrique Guimarães de Oliveira
Co-autor: Prof. Dr. Luiz Fernando de Oliveira

MEMORIAL DE TRABALHO DE FORMATURA
14-2012-101

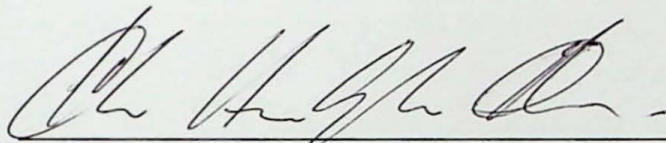
SÃO PAULO
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

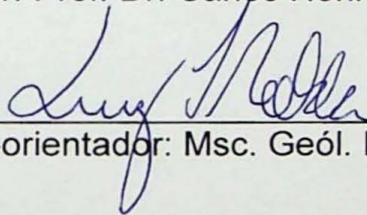
DESCRIÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CONDICIONANTES GEOLÓGICOS,
GEOMORFOLÓGICOS E ESTRUTURAIS DAS INSTABILIDADES
GEOTÉCNICAS OBSERVADAS EM TRECHO DA SP-171, MUNICÍPIO DE
CUNHA – SP



Autora: Camila Duelis Viana



Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Grohmann de Carvalho



Co-orientador: Msc. Geól. Luiz Fernando Roldan

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012 / 06)

SÃO PAULO
2012

“...Words **strain**,
Crack and sometimes **break**, under the **burden**,
Under the **tension**, **slip**, **slide**, perish,
Decay with imprecision, will not stay in place,
Will not stay still...”
T. S. Eliot
(Burnt Norton)

AGRADECIMENTOS

A meus pais, por sempre acreditarem em mim e fornecerem todo o suporte necessário para que eu chegasse até aqui.

A minha família, em especial a minha tia Vanda, por sempre me ajudar (de caronas a conselhos).

Aos colegas da turma 51, em especial à Renata (Horácio), por me aturar durante cinco anos com sua ajuda, conselhos, regras de português e tudo mais; à Heloisa (Xupança) pelo suporte e amizade em todos os momentos; e ao Caio (Gorgonzola) por revisar este texto no meu momento de desespero.

Ao orientador Prof. Dr. Carlos Grohmann, por aceitar uma pessoa levemente desequilibrada como primeira orientada e suporta-la por três anos.

Aos funcionários do IPT Aroldo Silva e José Luiz Albuquerque Filho por disponibilizarem parte do material consultado.

Ao geólogo Luiz Fernando Roldan por tentar, mesmo que de forma inconsciente, curar todos os meus transtornos obsessivos compulsivos e por tudo que me ensinou nesse ano.

A todos da Tratch Mundi pelo apoio, em especial ao trio Daiane, Larissa e Letícia por tentarem acalmar meus surtos.

Aos mestres e funcionários do instituto de geociências por todo conhecimento e ajuda que tive a oportunidade de receber ao longo da graduação.

RESUMO

O trabalho teve por objetivo caracterizar os condicionantes geológicos, geomorfológicos e estruturais das instabilidades geotécnicas ocorridas em trecho da Rodovia SP-171, Município de Cunha, com enfoque principal no condicionamento estrutural. A avaliação visou contribuir para a compreensão dos agentes predisponentes causadores dos movimentos na região, auxiliando na prevenção de desastres futuros. O desenvolvimento do trabalho deu-se através do mapeamento geológico-geotécnico em escala 1:10.000, técnicas de geoprocessamento para a geração de mapas temáticos e análise geométrica de estruturas para avaliação de estabilidade dos taludes.

Foram descritos trinta e três taludes de corte e aterro, encostas naturais e obras de estabilização ao longo da rodovia. Foi observada a presença de duas áreas distintas: a primeira composta por rochas graníticas a sudeste, com forte condicionamento estrutural de movimentação, grande densidade de blocos e matacões em encostas naturais, perfis de solo rasos em relevo escarpado com depósitos de tálus na base das encostas e declividades médias entre 15 e 20°, sendo esta área a de maior ocorrência de instabilizações; e a segunda composta por rochas gnáissicas, xistos localmente migmatíticos e quartzitos bandados intercalados, onde a maioria dos taludes tem sua estabilidade favorecida pela direção da foliação milonítica regional de alto ângulo.

A abordagem proposta ao tema levou a conclusão que a área a sudeste, onde predominam rochas graníticas, apresenta maior concentração de processos de movimento de massa, sendo que os principais tipos de processo observados são escorregamentos planares rasos, em cunha e rolamento de blocos. Em um número expressivo de instabilizações, foi observada a presença de algum tipo de condicionamento das estruturas geológicas. Além disso, as medidas estruturais adotadas na recuperação da rodovia foram consideradas adequadas levando em consideração a dinâmica dos processos na região.

Palavras-chave: Estabilidade de taludes, Movimentos de massa, Geotecnia.

ABSTRACT

The study aimed to characterize the geological, geomorphological and structural conditions of geotechnical slope instabilities occurred in part of SP-171 highway, town of Cunha, with main focus on structural conditioning. The review aimed to contribute to the understanding of movements predisposing agents in the region, helping to prevent future disasters. The work was based in geological-geotechnical mapping in 1:10,000 scale, geoprocessing techniques to generate thematic maps and analysis of geometric structures to assess slope stability.

Were described thirty-three cut and fill slopes, natural slopes and stabilization measures along the highway. We observed the presence of two distinct areas: the first, at southeast, composed of granitic rocks, with strong structural conditioning, presence of blocks and boulders in natural slopes, shallow soil profiles in relief with steep talus deposits at slopes bases and slope averages between 15 and 20 °, which is also the area of greatest occurrence of landslides and the second composed of gneissic rocks, locally migmatitic schists and banded quartzites interspersed, where the slope majority has its stability supported by regional high angle mylonitic foliation trend.

The proposed approach to the subject has led to the conclusion that the southeastern area, where granitic rocks predominate, has a higher concentration of mass movement processes, and the main types of process observed are shallow planar and wedge failures and bearing blocks. In a significant number of landslides, we observed the presence of some kind of geological structure conditioning. Furthermore, the stabilization measures taken in the highway recovery were considered adequate, considering the processes dynamics in the region.

Key words: Slope stability, Landslides, Geotechnics.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	OBJETIVOS	8
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
3.1.	Tipos de talude e movimento de massa	8
3.2.	Análise de estabilidade de taludes.....	13
4.	CONTEXTO REGIONAL	16
4.1.	Localização e vias de acesso.....	16
4.2.	Geologia	17
4.3.	Geomorfologia	20
4.4.	Pedologia.....	21
4.5.	Geotecnia	22
4.6.	Clima.....	22
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	23
5.1.	Construção do banco de dados.....	23
5.2.	Levantamento de campo e apresentação dos dados	24
5.3.	Modelo Digital de Terreno (MDT)	25
5.4.	Morfometria.....	25
5.4.1.	Mapa hipsométrico	25
5.4.2.	Mapa de declividades.....	26
5.4.3.	Forma do terreno	26
5.4.4.	Orientação de vertentes	26
5.5.	Tratamento de dados estruturais	26
6.	RESULTADOS	27
6.1.	Geologia e pedologia.....	27
6.2.	Geomorfologia	29
6.3.	Estrutural.....	30
6.4.	Obras de estabilização	35
7.	INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO	36
8.	CONCLUSÕES.....	38
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

ANEXOS

QUADRO 1 - Classificação de movimentos de massa de acordo com Augusto Filho (1992)

ANEXO 1 – Mapa Geológico Regional

ANEXO 2 – Mapa Geomorfológico Regional

ANEXO 3 – Mapa Pedológico Regional

ANEXO 4 – Mapa Geotécnico Regional

ANEXO 5 – Mapa de Pontos

ANEXO 6 – Mapa Hipsométrico

ANEXO 7 – Mapa de Declividades

ANEXO 8 – Mapa de Curvatura (planta)

ANEXO 9 – Mapa de Curvatura (perfil)

ANEXO 10 – Mapa de Forma do Terreno

ANEXO 11 – Mapa de Orientação de Vertentes

ANEXO 12 – Distribuição de elementos de relevo.

ANEXO 13 – Fichas de Afloramento

1. INTRODUÇÃO

Movimentos coletivos de solo e rocha têm sido os grandes responsáveis por catástrofes cada vez mais veiculadas nas diversas mídias graças, infelizmente, ao grande número de perdas humanas a estes associados. Estes são mais comuns durante os períodos de chuvas, e tem sua causa principal atribuída a deficiência de infraestrutura, como falta de planejamento urbano e de políticas públicas de emergência. Porém, estes eventos ocorrem desde há muito, podendo ser citados casos como os de Monte Serrat em março de 1924 e Cubatão de julho de 1946 a março de 1947 (Guidicini & Nieble 1983).

Nos últimos anos, na região sudeste do Brasil, problemas geotécnicos associados à instabilização de encostas puderam ser observados nas cidades de Angra dos Reis e Nova Friburgo (RJ), e em São Luís do Paraitinga (Folha 2010) e Cunha (SP). Esta última apresentou diversos problemas ao longo da Rodovia SP-171, que teve de ser interditada devido ao grande número de deslizamentos e quedas de pontes, que levaram a diversas perdas de ordem humana e econômica.

Diante deste cenário parece clara a necessidade de estudos acerca da problemática dos movimentos de massa. Portanto, uma área ao longo do trecho Cunha – Paraty da via citada anteriormente foi selecionada como objeto de estudo do presente trabalho. O mapeamento geológico-geotécnico em escala 1:10.000 visou entender os condicionantes, além da chuva e da interferência humana, que atuam sobre os processos de instabilização de solo e rocha. Para tanto foram realizadas análises regionais do arcabouço geológico, geomorfológico e pedológico, além da aplicação de técnicas de geoprocessamento visando a geração de mapas temáticos, tais como: hipsometria, declividades, orientação de vertentes e formas de terreno. Nos levantamentos de campo foram utilizadas técnicas clássicas de mapeamento geológico-geotécnico, com a descrição dos litotipos encontrados, feições relevantes do relevo e dos horizontes pedológicos, assim como coleta de dados geológicos estruturais e caracterização das descontinuidades que afetam os maciços rochosos e de solo. Ao longo do desenvolvimento do trabalho, constatou-se que grande parte das instabilizações observadas apresentavam algum condicionamento de estruturas geológicas penetrativas nos maciços de rocha e, em grande parte, preservadas nos solos residuais jovens, de forma que uma ênfase especial foi dada a este aspecto. Os dados gerados pretendem auxiliar no estudo de casos semelhantes e contribuir para um melhor entendimento geológico-geotécnico da região, podendo colaborar com os estudos futuros e eventuais ações corretivas e mitigadoras que virem a ser implementadas.

2. OBJETIVOS

O trabalho tem por objetivo identificar, descrever e avaliar o papel dos condicionantes geológicos, geomorfológicos e estruturais nas instabilidades geotécnicas em taludes ao longo do trecho Cunha-Parati da Rodovia SP-171.

Foi dado um maior detalhamento aos condicionantes estruturais, dada à situação da área, onde as unidades geológicas encontram-se em contato tectônico, com uma grande quantidade de zonas de cisalhamento.

Esta avaliação visa contribuir para a melhor compreensão dos agentes predisponentes causadores dos movimentos ocorridos, auxiliando na prevenção de desastres futuros na região, a fim de preservar vidas humanas e evitar perdas de ordem econômica.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Tipos de talude e movimento de massa

Talude é a denominação genérica que se dá a qualquer superfície inclinada de um terreno, podendo ser naturais, também recebendo a denominação encosta, ou construídos, onde os principais são os de corte e aterro.

O desenvolvimento das encostas e demais formas do relevo estão relacionadas diretamente aos processos atuantes de intemperismo, erosão e escorregamentos e suas configurações atuais, em conjunto com os contextos geológicos e pedológicos resultam em porções do terreno mais ou menos suscetíveis a atuação dos diversos processos do meio físico. Dentre estes, os principais processos responsáveis por desastres naturais são os movimentos de massa e inundações, sendo que aos primeiros são associados os maiores números de vítimas fatais no Brasil.

Especificamente no caso dos taludes artificiais (corte e aterro), as intervenções causadas no terreno natural originam alterações geomorfológicas locais, porém em um período de tempo relativamente muito curto. Nestes casos as condições de estabilidade dos maciços de rocha e solo requerem análises de detalhe, que envolvem não só os aspectos geométricos com também as características geomecânicas dos materiais, sendo portanto objeto de amplo estudo das áreas da geologia e da geotecnia.

Existem diferentes definições para movimentos de massa na literatura, sendo a mais simples aquela feita por Cruden (1990): “escorregamento é a movimentação de uma massa de solo ou rocha encosta abaixo”. Já Summerfield (1991) define movimento de massa como

a movimentação, encosta abaixo, do material da vertente sob a influência da força gravitacional do próprio material, sem a assistência de água em movimento, gelo ou ar. Ainda segundo o autor, são eles importantes agentes na dinâmica superficial, já que as encostas constituem o elemento básico das formas de relevo.

A complexidade dos genericamente referidos como “escorregamentos” se reflete no grande número de sistemas classificadores. Fernandes & Amaral (1996) fazem um apanhado histórico dos sistemas de classificação, sendo o primeiro de amplo aceite tendo sido desenvolvido por Sharpe (1938). Este serviu de base para diversos trabalhos posteriores como os de Varnes (1958 e 1978), Hutchinson (1988) e Sassa (1989), sendo, dentre eles, Varnes (1978) o mais simples e também o mais utilizado, que deu origem a adaptações mais recentes como Cruden & Varnes (1996). Dentre os autores brasileiros podemos citar os trabalhos de Freire (1965), Guidicini & Nieble (1983), IPT (1991) e Augusto Filho (1992).

Cruden & Varnes (1996) têm seu sistema classificador baseado na combinação de critérios que descrevem o movimento. São eles o tipo de movimento, o tipo de material (solo, rocha e detritos) e a atividade do movimento de massa. Dentre os tipos de movimento, os autores sugerem cinco categorias: queda (*fall*), tombamento (*topple*), escorregamento (*slide*), “espalhamento” (*spread*) e corrida (*flow*).

No Brasil, Augusto Filho (1992) utiliza-se da formulação de um modelo fenomenológico onde são identificados os agentes, causas, geometria, mecanismo de movimentação, natureza e estado do material mobilizado bem como seu comportamento no tempo, para a classificação dos processos gravitacionais de massa em quatro grandes grupos, a saber: rastejo (*creep*), escorregamentos (*slides*), quedas (*falls*) e corridas (*flows*). Esta classificação, adotada no presente trabalho, é resumida no Quadro 1 (anexo). A seguir são dadas as definições de cada classe extraídas de Guidicini & Nieble (1983), Augusto Filho (1992) e Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998).

Rastejo (*creep*)

Consistem em movimentos descendentes, lentos e contínuos da massa de solo de um talude. Não possuem geometria definida, correspondendo a uma deformação de caráter plástico (vários planos de deslocamento internos), sem superfície de ruptura definida. Afetam horizontes superficiais de solo, horizontes de transição solo/rocha, e rocha alterada e fraturada em profundidades maiores. São caracterizados pelo “embarrigamento” de porções superficiais de solo, curvatura de árvores, deslocamento de estruturas e pequenos abatimentos ou degraus na encosta (Fig. 1). Podem evoluir para escorregamentos, servindo de indicadores para movimentos mais rápidos.

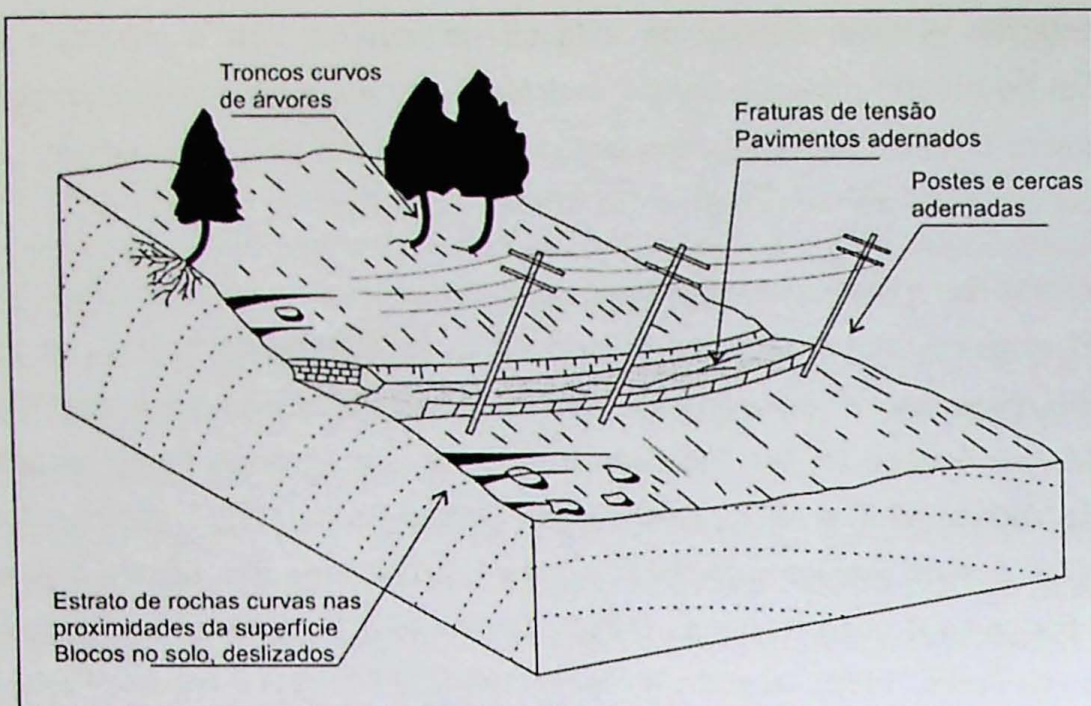


Fig. 1 – Representação esquemática de rastejo (Bloom 1988).

Escorregamentos (*slides*)

Os escorregamentos *stricto sensu* são movimentos rápidos de solo e/ou rocha, com superfície de ruptura bem definida e de massa com volume bem definido, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora de um talude. São classificados em função de sua geometria e da natureza do material que instabilizam (Fig. 2).

Os escorregamentos **planares** ou **translacionais** são muito frequentes nas encostas serranas brasileiras e ocorrem em massas de solo ou rocha que apresentem anisotropias acentuadas (foliação, xistosidade, fraturas, falhas etc.) em seu interior. Escorregamentos desse tipo apresentam plano de movimentação condicionado a tais anisotropias, e o movimento é translacional. Este tipo de movimentação pode ocorrer em taludes de baixa inclinação e pode atingir centenas ou milhares de metros.

Os escorregamentos **circulares** ou **rotacionais** apresentam superfícies de movimentação curvas, onde o movimento é predominantemente acompanhado por uma rotação, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. É observado nas encostas brasileiras mobilizando geralmente o manto de alteração. Estão associados a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas.

Os escorregamentos **em cunha** ocorrem em saprolitos e maciços rochosos que apresentem duas, ou mais, estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, que condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo formado pela intersecção destes planos.

Ocorrem principalmente em taludes de corte ou encostas que sofreram desconfinamento natural ou antrópico.

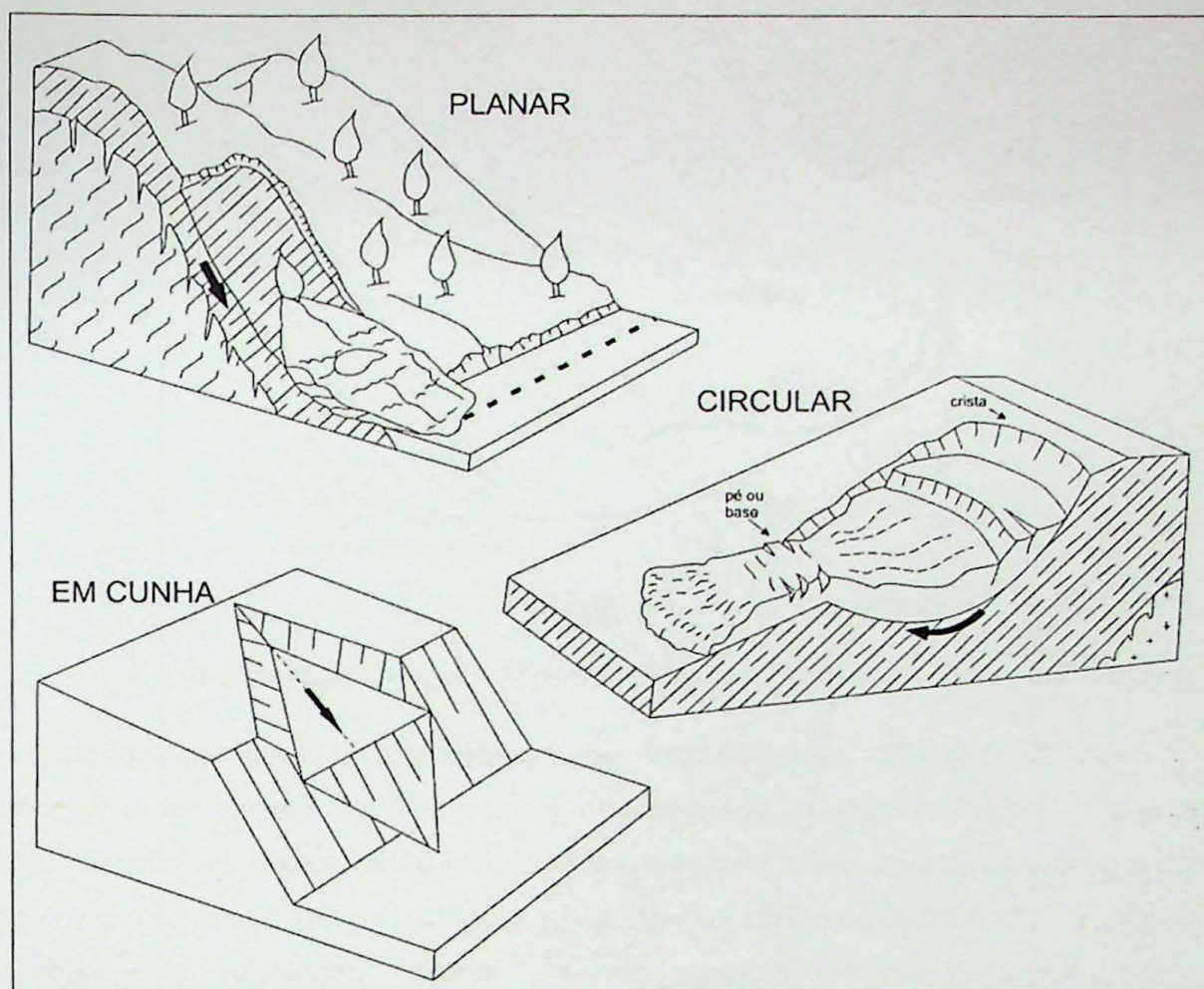


Fig. 2 – Representação esquemática de escorregamentos planares, circulares e em cunha (Infanti Jr & Fornasari Filho 1998).

Quedas (falls)

Os movimentos de queda não apresentam plano de deslocamento e ocorrem em queda livre ou em plano inclinado (Fig. 3). Deslocam material rochoso com pequenos a médios volumes e geometria variável. Podem ocorrer na forma de **rolamento** (movimento ao longo de uma superfície inclinada), **queda** (movimento tipo queda livre), **tombamento** (movimento de rotação condicionado por estrutura geológica do maciço) ou **desplacamento** (desprendimento de placas ou lascas em queda livre ou ao longo de uma superfície inclinada).

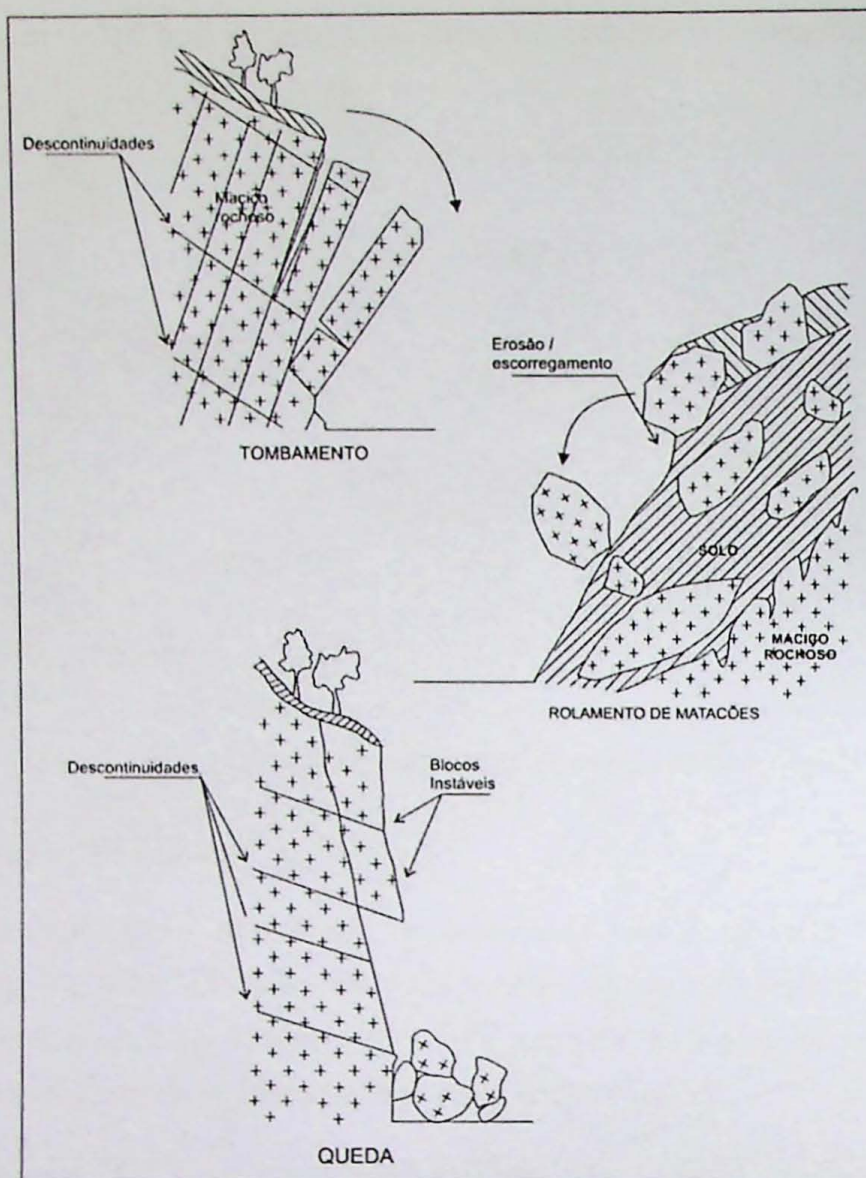


Fig. 3 – Representação esquemática de quedas, rolamentos e tombamentos (Infanti Jr & Fornasari Filho 1998).

Corridas (flows)

As corridas são movimentações rápidas de grande extensão (escoamento), com movimento semelhante ao de um líquido viscoso, ao longo de diversas superfícies de movimentação, internas e externas à massa em movimento (Fig. 4). São ocasionadas pela perda de atrito interno em virtude da destruição da estrutura, em presença de excesso de água. Desenvolvem-se ao longo de drenagens e mobilizam grandes volumes de solo, rocha, detritos e água. São utilizados termos como **corrida de lama** (*mud flow*) quando o material dominante é solo com alto teor de água; **corrida de terra** (*earth flow*) quando o material dominante é solo com menor teor de água; e **corrida de detritos** (*debris flow*) quando o material dominante é grosseiro, com fragmentos de rochas de vários tamanhos.

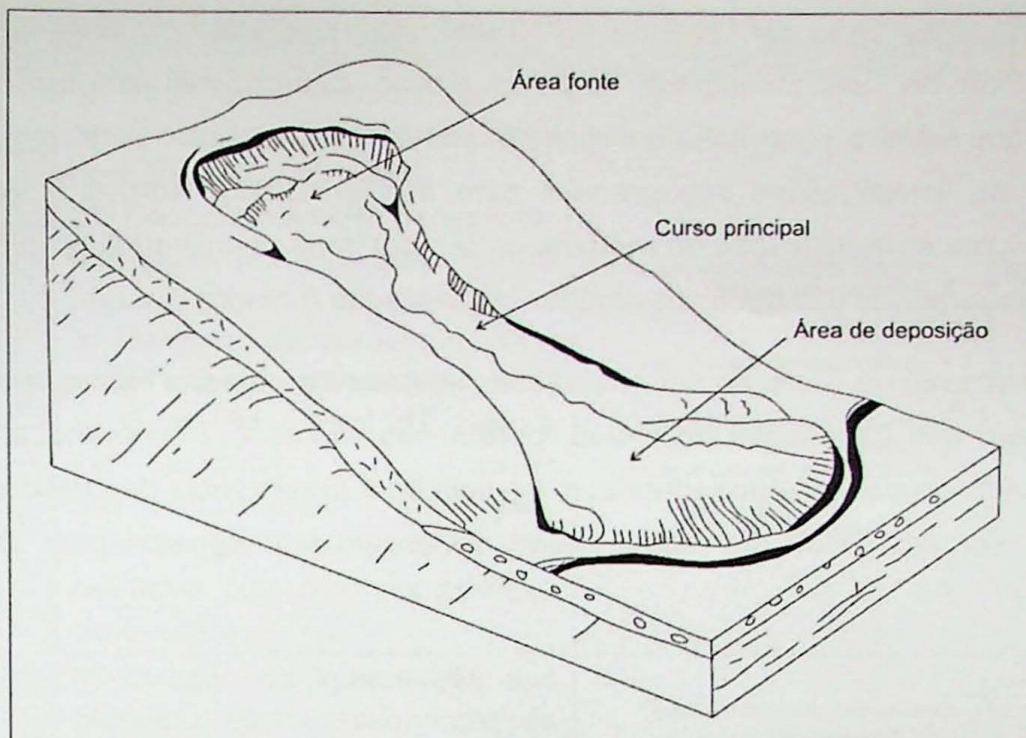


Fig. 4 – Representação esquemática de corrida de terra (Cruden & Varnes 1996).

Com relação aos agentes causadores de instabilidades, Guidicini & Nieble (1981) diferenciam duas classes, sendo elas a dos agentes predisponentes e a dos agentes efetivos. Na primeira classe estão incluídos aqueles de caráter intrínseco, como o complexo geológico, o complexo geomorfológico, o complexo climático-hidrológico, a gravidade, o calor solar e a vegetação original. Já nos agentes efetivos encontram-se aqueles diretamente responsáveis pelo desencadeamento da movimentação, neles se incluindo a ação humana.

3.2. Análise de estabilidade de taludes

A análise de estabilidade de taludes possui diversas finalidades. É utilizada principalmente para avaliar a estabilidade de taludes frente a solicitações em diferentes obras geotécnicas. Critérios de retroanálise são empregados para a elaboração de projetos a serem executados em taludes rompidos e para fornecer subsídios para a compreensão dos mecanismos de ruptura e fatores ambientais. Além disso, o entendimento do processo de evolução de taludes naturais responsável por diferentes características regionais e o estudo de carregamentos extremos são outros alvos da análise de estabilidade.

Um dos métodos que pode ser empregado nos dois casos (antes da construção do talude e em taludes já rompidos) é o de análise geométrica. Ele é utilizado em taludes de rocha e saprolito, e consiste na representação em projeção estereográfica das discontinuidades do maciço (acamamento, fraturas, falhas, foliação etc.). Estas possuem grande influência na estabilidade de taludes e suas importâncias relativas dependem de sua orientação em relação às outras discontinuidades e ao talude; resistência ao movimento ao longo de sua

superfície; persistência e espaçamento; e facilidade de penetração, fluência ou acúmulo de água ao longo da descontinuidade. Essa avaliação é primordial em qualquer projeto geotécnico que envolva escavação em rocha e, por ser relativamente simples, não depende de ensaios ou investigações subterrâneas para sua execução. Norrish & Wyllie (1996) apresentam uma sistematização do método, onde para cada tipo de ruptura (planar, cunha, circular e tombamento) são definidos critérios de avaliação (Quadro1).

A avaliação através de projeção estereográfica sumariza de maneira bidimensional o que é observado em três dimensões no talude, porém não representa de maneira completa a realidade, omitindo dados importantes como repetição e persistência das descontinuidades, que devem ser adquiridos das observações de campo e integrados com os dados da cinemática.

TIPO	CONDIÇÕES	ESTEREOGRAMA
Ruptura planar	1) Direção da descontinuidade apresentar até 20° de diferença com a direção do talude; 2) Descontinuidade apresentar mergulho menor que o do talude; 3) Mergulho da descontinuidade maior que o ângulo de atrito; 4) Extensão lateral da ruptura ser definida por outras descontinuidades ou pela intersecção do plano da estrutura com a forma convexa da encosta.	<p>Grande círculo representativo da face da vertente</p> <p>Rumo do escorregamento</p> <p>Grande círculo representativo do plano correspondente ao centro da concentração de pólos</p> <p>N</p> <p>Crista da vertente</p>
Ruptura em cunha	1) Direção da intersecção dos planos de descontinuidade próxima da direção do mergulho do talude; 2) O mergulho da intersecção menor que o mergulho do talude e maior que o ângulo de atrito.	<p>Grande círculo representativo da face da vertente</p> <p>Rumo do escorregamento</p> <p>Grande círculo representativo do plano correspondente ao centro da concentração de pólos</p> <p>N</p> <p>Crista da vertente</p>
Tombamento	1) Direção da descontinuidade apresentar até 20° de diferença com a direção do talude; 2) Mergulho da descontinuidade para dentro do talude; 3) Normal ao plano de tombamento com mergulho menor que a inclinação do talude e menor que o ângulo de atrito.	<p>Grande círculo representativo da face da vertente</p> <p>Grande círculo representativo do plano correspondente ao centro da concentração de pólos</p> <p>N</p> <p>Crista da vertente</p>
Ruptura circular	É identificada pela exclusão dos modelos anteriores.	<p>Grande círculo representando a face da vertente</p> <p>Crista da vertente</p> <p>N</p>

Quadro 1: Condições necessárias para que ocorra instabilização de taludes em rocha (Norrish & Wyllie 1996).

4. CONTEXTO REGIONAL

4.1. Localização e vias de acesso

A SP-171 é uma rodovia estadual pavimentada de São Paulo. Com setenta quilômetros de extensão, conecta a Rodovia Presidente Dutra (BR-116) a divisa entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. A via possui duas denominações oficiais, sendo conhecida como Rodovia Paulo Virgínio no trecho Guaratinguetá – Cunha, e como Rodovia Vice-Prefeito Salvador Pacetti no trecho Cunha – Paraty. A área de estudo está localizada entre os quilômetros 46 e 70 da SP-171, no trecho entre a cidade de Cunha, no estado de São Paulo, e o limite com o Estado do Rio de Janeiro, onde a via coliga-se com a RJ-165 dentro do Parque Nacional da Serra da Bocaina.

A partir do traçado da rodovia foi criada uma margem de quinhentos metros para cada lado, perfazendo 22 km² de área de estudo. O acesso a região, a partir da cidade de São Paulo, pode ser feito pela Via Dutra (BR-116) até a Rodovia Paulo Virgínio, na cidade de Guaratinguetá, e depois até a cidade de Cunha, de onde parte o trecho de estudo. A localização e principais vias de acesso estão representadas na Fig. 5.

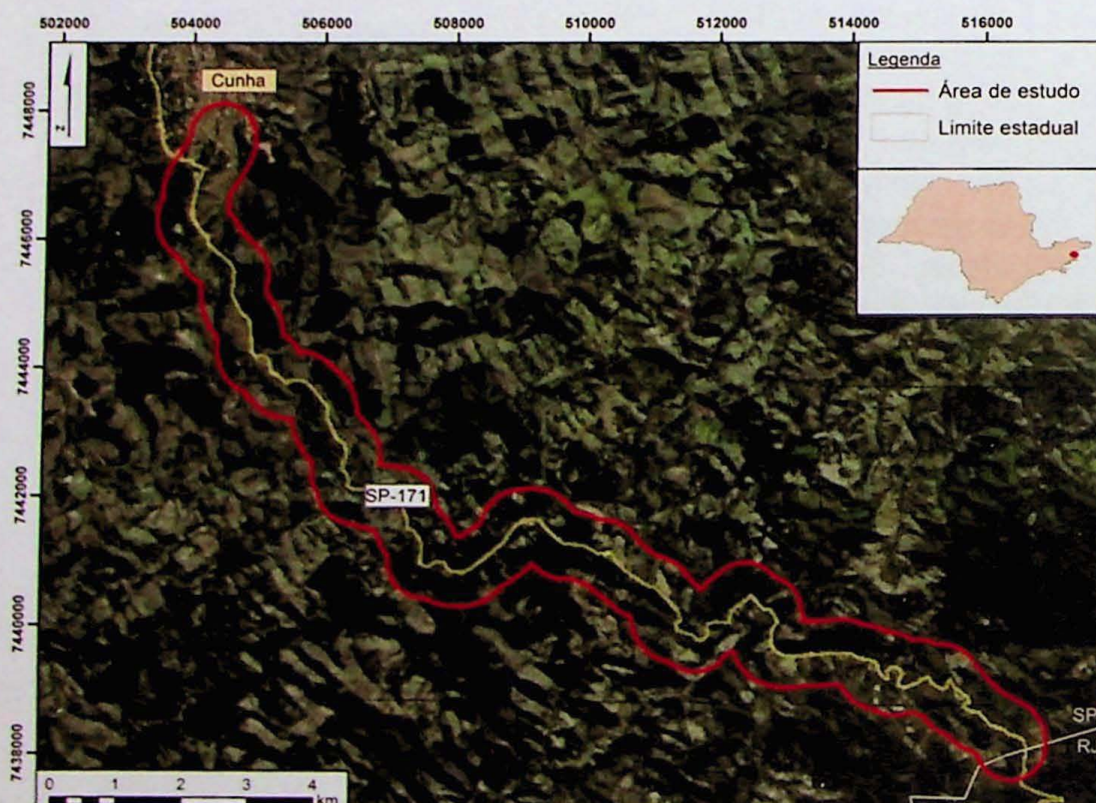


Fig. 5 – Localização da área de estudo e principais vias de acesso. Fonte: Google earth (Google Earth™ 2011).

4.2. Geologia

A área de estudo está inserida no Cinturão Móvel Ribeira (Almeida *et al.* 1973), que constitui um complexo cinturão orogênico localizado por mais de 1.400 km ao longo da costa brasileira (Dias Neto *et al.* 2009), e é cortada pela Falha de Cubatão, de direção NE-SW, que separa os domínios do Terreno Embu e do Complexo Costeiro. O Terreno Embu é limitado a norte e a sul por espessas zonas de cisalhamento destrais (Caucaia-Rio Jaguari e Cubatão, respectivamente) e é diferenciado dos demais terrenos por sua natureza e idade de sua infraestrutura e de seu magmatismo granítico, bem como pelas idades neoproterozoicas mais antigas de seus episódios metamórficos (Heilbron *et al.* 2004). Já o Complexo Costeiro, no Estado de São Paulo, é delimitado a norte pela Falha de Cubatão e a sul pela linha de costa e ilhas vizinhas (Hasui *et al.* 1981; Dias Neto *et al.* 2009).

Segundo o mapa geológico de IPT (1981a) em escala 1:500.000, a área de estudo é composta principalmente por rochas do Grupo Açungui, que compreendem xistos e migmatitos, e do Complexo Costeiro, composto por granulitos, kinzigitos, charnockitos e rochas granito-gnáissicas.

Segundo os mapas de CPRM (2004) e CPRM (2006), nas escalas 1:1.000.000 e 1:750.000 respectivamente, a área de estudo é composta por rochas dos Complexos Paraíba do Sul, Embu e Costeiro, e por rochas ígneas relacionadas ao Orógeno Araçuaí-Rio Doce, que se dispõem em faixas com orientação NE-SW (Anexo 1). As unidades são descritas a seguir.

Complexo Paraíba do Sul

A unidade terrígena com intercalações carbonáticas do Complexo Paraíba do Sul, aflorante na área, é composta por metassedimentos detríticos, pelito-grauvaqueanos, (sillimanita)-granada-biotita, gnaisses quartzo-feldspáticos, com bolsões e veios de leucossoma granítico. Localmente, ocorrem horizontes de xistos grafitosos e intercalações lenticulares descontínuas de quartzitos, metacarbonáticas e calcissilicáticas. Nas porções menos deformadas ocorrem metaturbiditos e estruturas sedimentares preservadas (bandamento primário) (Perrotta *et al.* 2006).

Complexo Embu

O Complexo Embu foi definido inicialmente por Hasui (1975) como uma unidade metamórfica de migmatitos derivados de metabasitos, quartzitos e rochas calcissilicáticas, além de incluir alguns granitoides gnáissicos. Todo o complexo é altamente deformado e cortado por diversas zonas de cisalhamento, além de possuir diversas intrusões graníticas pós-tectônicas. A unidade engloba rochas de diferentes idades e registra a história da evolução crustal do Gondwana ocidental. As datações do Complexo foram obtidas em rochas granitoides e relacionam-o ao Ciclo Orogrênico Brasileiro no Neoproterozóico (Cordani *et al.* 2002).

Na área de estudo afloram duas unidades do complexo. A primeira, a unidade de xistos localmente migmatíticos, ocorre a noroeste da área e é constituída por mica xistos e quartzo xistos alternados ritmicamente. Localmente ocorrem calcissilicáticas, anfibolitos e metaultramáficas (Perrotta *et al.* 2006). A segunda, a unidade paragnáissica, ocorre no extremo noroeste da área. Nela predominam muscovita-granada-sillimanita-biotita gnaisses migmatíticos, com aspecto nebulítico ou schlieren, e biotita gnaisses de composição tonalítica a granodiorítica. Também ocorrem, em bandas ou *boudins*, rochas calcissilicáticas e sillimanita-muscovita-biotita gnaisses quartzosos, com texturas xistosas e estruturas migmatíticas, e bandamento dado pela alternância de sillimanita-biotita xistos, sillimanita-biotita xistos gnaissóides e biotita gnaisses quartzosos.

Complexo Costeiro

O Complexo Costeiro compreende uma faixa que se estende ao longo da costa sudeste do Brasil, sendo composto por rochas gnáissico-migmatíticas de idade paleo-neoproterozóica. Na área de estudo afloram duas unidades pertencentes a este complexo. A primeira, a unidade ortognáissica, ocorre a sudeste em contato com o Complexo Paraíba do Sul e com o granito Parati a sudeste. É composta essencialmente por ortognaisses migmatíticos de natureza provavelmente calcialcalina e estruturas diversas, notadamente nebulítica, schlieren e estromática (Perrotta *et al.* 2006). Na região a sul de Cunha e Paraibuna foram descritos biotita gnaisses granitóides microporfiróides, de composição granítica a monzogranítica, e (hornblenda)-biotita granitóides gnáissicos porfiróides. Ocorre localmente muscovita-biotita granito gnáissico, biotita granito, hornblenda-biotita gnaiss granítico porfirítico, biotita gnaiss, biotita gnaiss granítico e enclaves de biotita-hornblenda tonalito. Nos contatos com o Complexo Embu, apresentam intensa foliação blastomilonítica (Fernandes 1991).

A segunda unidade que ocorre é a unidade quartzítica, localizada em duas faixas, uma mais extensa a noroeste, e outra a sudeste. É constituída por quartzitos, em camadas métricas e persistentes, intercalados com rochas calcissilicáticas e gnaisses peraluminosos (Fernandes, 1991). Possuem espessura decimétrica a métrica, aspecto bandado e placoso. As calcissilicáticas apresentam escapolita, diopsídio, actinolita/tremolita, plagioclásio, titanita e quartzo, e as rochas peraluminosas ocorrem como granada-sillimanita-biotita-quartzo xistos ou gnaisses, podendo estar intercalados com biotita gnaisses tonalito-granodioríticos, por vezes granatíferos (Fernandes 1991).

Granitóides do Orógeno Araçuaí - Rio Doce

Dentro dos granitóides relacionados ao Orógeno Araçuaí – Rio Doce, podemos distinguir dois grupos na área: os sinorogênicos e os tardi orogênicos. Dentro do primeiro grupo encontra-se o granito tipo I Natividade da Serra, com idade U-Pb de 587 ± 7 Ma, que ocorre encaixado nas rochas dos Complexos Costeiro e Embu. O batólito possui mais de

800 km² de área exposta, sendo um dos mais expressivo do leste paulista. Na área ele ocupa uma faixa estreita na porção central, em meio a unidade quartzítica do Complexo Costeiro. O granitóide apresenta uma unidade de borda em que predominam biotita granitos porfiríticos e um núcleo mais diferenciado, de (turmalina)-muscovita-biotita granito equigranular branco. São comuns corpos de granada-turmalina aplito e pegmatito (Janasi *et al.* 2003).

No grupo dos granitoides tardi orogênicos, ocorrem na porção extremo sudeste da área os granitos Carrasquinho e Parati. São granitóides do tipo I, geralmente em contato tectônico com suas encaixantes (Complexo Paraíba do Sul e unidade ortognáissica do Complexo Costeiro), podendo ser transicional no maciço Parati (Perrotta *et al.* 2006). O Complexo Plutônico Parati é formado principalmente por granito porfirítico a localmente equigranular, com porções charnockíticas e enclaves dioríticos. Possui deformação incipiente com fraca foliação, que se torna mais marcante nas bordas sendo subconcordante com a foliação das encaixantes. Podem ocorrer enclaves de rochas máficas dioríticas e de hornblenda-biotita granodiorito equigranular. É intrudido por corpos menores como é o caso do granito Carrasquinho (Eirado *et al.* 2006).

Com relação à evolução estrutural da área, a deformação principal ocorre no ápice do primeiro estágio colisional da Faixa Ribeira, que juntamente com a deformação herdada do estágio pré-colisional, caracterizam duas fases de deformação progressiva (D1 e D2) que são responsáveis pela compartimentação tectônica da área.

Na área de estudo, a região a sudeste da Zona de Cisalhamento Cubatão (ZCC) corresponde ao Terreno Ocidental da Faixa Ribeira, e apresenta maior intensidade de deformação da fase D2, que transpõe as estruturas formadas na D1. A foliação principal (S_2+S_1) é comumente milonítica e paralela ao bandamento composicional dos metassedimentos e apresenta mergulhos altos para NW, localmente para SE. A lineação de estiramento (L_2) demonstra caimento suave para NE e SW, e é paralela ao eixo das dobras apertadas a fechadas pertencentes a esta fase de deformação.

A área a noroeste da ZCC corresponde ao Terreno Embu. Nele a foliação principal S_1 apresenta-se como uma xistosidade nos gnaisses e xistos e uma clivagem nas rochas quartzíticas. Devido à presença de dobras abertas a fechadas da fase D3 (tardicolisional), o caimento da foliação varia ora para NW, ora para SE. A foliação apresenta mergulhos moderados e lineações de estiramento mineral com caimento suave para SW com alguns para SE. Foliação com mergulho suave ocorre próxima a zonas de charneira de dobramentos da D3 ou locais de dobras recumbentes preservadas da D2 (Eirado *et al.* 2006).

Já a fase D4, relacionada ao colapso do Orógeno Ribeira, tem por característica zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis subverticais de direção NW, por vezes NE, com movimentação oblíqua e importante rejeito normal. Nesta fase também ocorrem reativação de zonas de cisalhamento oriundas das fases anteriores (Eirado *et al.* 2006).

Outra característica importante da região é a presença da chamada Zona Sismogênica de Cunha, que apresenta sismos de magnitude em torno de 4 M_b , além daqueles induzidos pelas barragens-reservatório de Paraibuna-Paraitinga (Hiruma 2007).

4.3. Geomorfologia

De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT 1981b) a área está inserida no Planalto Atlântico, e transpõe as zonas Planalto do Paraitinga e Planalto da Bocaina.

O Planalto do Paraitinga (Almeida 1964) constitui a região de drenagem da bacia do rio Paraíba e apresenta-se como um planalto cristalino de estrutura complexa, maturamente dissecado. No contexto da área as formas de relevo são do tipo degradação em planaltos dissecados, donde ocorrem os domínios de Mar de Morros, Morros Paralelos e Serras Alongadas (Anexo 2).

O domínio de Mar de Morros ocorre na porção noroeste da área, correspondendo a cerca de 30% da mesma. Este possui a maior expressão em área no Planalto do Paraitinga, constituindo a subzona denominada Morraria do Paraitinga. É caracterizado por formas suavizadas de topos arredondados e vertentes com perfis convexos a retilíneos (formas em "meia laranja"), que não guardam uma herança estrutural acentuada. A drenagem é de alta densidade, apresentando padrão dendrítico a retangular, vales abertos a fechados com planícies aluvionares interiores desenvolvidas.

O domínio de Morros Paralelos ocorre na região central da área. É caracterizado por formas de topos arredondados e vertentes de perfis retilíneos a convexos. Apresenta drenagem de alta densidade com padrão em treliça a localmente subdendrítica e vales fechados a abertos com planícies aluvionares interiores restritas. Assim como no domínio de Mar de Morros, apresenta declividades médias a altas (superiores a 15%) e amplitudes locais de 100 a 300 m.

O domínio de Serras Alongadas ocorre entre os domínios de morros e representa cerca de 10 % da área. O relevo é do tipo montanhoso com predomínio de declividades médias a altas (acima de 15 %), com amplitudes locais acima de 300 m. É caracterizado por formas de topos angulosos e vertentes ravinadas com perfis retilíneos, por vezes abruptas. O padrão de drenagem é de alta densidade, paralelo pinulado, em vales fechados. Este

domínio separa as morrarias do Paraitinga e Paraibuna, e possui o importante papel de divisor de águas das duas grandes bacias hidrográficas.

No contexto do Planalto da Bocaina, subzona Serrania da Bocaina, ocorre o domínio de Montanhas com Vales Profundos, que é caracterizado por formas de topos angulosos a arredondados e vertentes com perfis retilíneos a convexos. A drenagem é de alta densidade, com padrão dendrítico em vales fechados. Este domínio ocorre a sudeste da área, já dentro do Parque Nacional da Serra da Bocaina.

4.4. Pedologia

De acordo com o mapa pedológico de EMBRAPA (1999), ocorrem duas classes principais de solos na área: a classe dos Cambissolos e dos Latossolos (Anexo 3).

Os Cambissolos são solos constituídos por material mineral, com horizonte A de espessura menor que 40cm e horizonte B incipiente. São divididos em Cambissolos Húmicos (horizonte A húmico) e Cambissolos Háplicos (outros Cambissolos, exclusive os com horizonte A Hístico). Esta classe de solos ocorre em duas situações de paisagem: locais de relevo bastante acidentado, variando de forte ondulado a escarpado, e terrenos planos de planícies aluviais. Nos terrenos acidentados, como o da área de estudo, os solos apresentam elevada erodibilidade e forte a muito forte limitação à trafegabilidade, sendo frequentes os afloramentos de rochas e a presença de solos rasos. É comum também a presença de solos apresentando horizonte saprolítico, constituído por rocha parcialmente intemperizada a profundidades menores que 1,5 m (Oliveira 1999).

Dentro dos limites da área, os Cambissolos apresentam horizonte A proeminente e moderado, e se distribuem da seguinte maneira:

- na porção sudeste, próximo ao limite com o Estado do Rio de Janeiro, ocorrem Cambissolos Háplicos distróficos. Juntamente ocorrem Cambissolos Húmicos distróficos. Ambos apresentam textura média e argilosa, com fase não rochosa e rochosa, associados à relevo montanhoso e escarpado;
- na região central da área ocorrem Cambissolos Háplicos distróficos com textura argilosa a média, em associação com Latossolos Vermelhos Amarelos distróficos de textura argilosa. Ambos ocorrem associados a relevo forte ondulado;
- em uma pequena área da região central ocorrem Cambissolos Háplicos distróficos de textura média, associado a relevo montanhoso e forte ondulado. Juntamente ocorrem Latossolos Vermelhos Amarelos distróficos de textura argilosa, associado a relevo forte ondulado.

A classe dos Latossolos constitui o agrupamento de solos mais extenso do Estado de São Paulo. É caracterizada por solos constituídos por material mineral, horizonte B latossólico

imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 2,0 m da superfície do solo ou dentro de 3,0 m se o horizonte A possui mais de 1,5m de espessura. Apresentam baixa erodibilidade quando argilosos e são mais suscetíveis à erosão quando arenosos (Oliveira 1999). Na área os Latossolos são do tipo Vermelhos Amarelos distróficos de textura argilosa, e ocorrem a noroeste da área, próximos ao Município de Cunha. Ocorrem associados à Cambissolos Háplicos distróficos de textura argilosa e média. Ambos apresentam horizonte A moderado e proeminente e ocorrem em relevo forte ondulado (Oliveira 1999).

4.5. Geotecnia

Segundo IPT (1994), do ponto de vista geotécnico a área apresenta dois processos dominantes: erosão e movimentos de massa (Anexo 4). As áreas com predomínio de erosão ocorrem a noroeste e na porção central da área, em um total de 11 km. Estas regiões apresentam alta suscetibilidade à erosão acelerada por sulcos e ravinas em horizonte C, erosão pouco significativa em solos superficiais, exposição de solos de alteração associada a movimentos de terra em obras civis diversas e assoreamento generalizado de drenagens. Como processo secundário há média suscetibilidade a rastejos e escorregamentos de solo planares e circulares em encostas com declividades acima de 20° e em depósitos detríticos (tálus/colúvio).

Já os setores onde predominam os movimentos de massa se localizam a sudeste da área (aproximadamente 8 km de rodovia) e na região central (trecho de 3 km). Estas áreas apresentam alta suscetibilidade a escorregamentos de solo (predominantemente planares), rastejos em encostas, rastejos e escorregamentos em depósitos detríticos, potencial de desenvolvimento de corridas restritas a alguns anfiteatros, queda e rolamento de blocos em áreas de ocorrência de rochas graníticas e escorregamentos e deslocamentos rochosos condicionados por estruturas planares em rochas xistosas, foliadas e bandadas. Cabe ressaltar ainda que o mapa do IPT (1994) indica que os processos citados acima ocorrem de maneira natural, deflagrados por eventos pluviométricos intensos, ou de maneira induzida pela execução de terraplenagem e mudanças na dinâmica das águas (e. g. obras viárias e exploração mineral)

4.6. Clima

A região sudeste, do ponto de vista climático, apresenta um fluxo de energia considerável ao longo do ano, precipitações irregulares no espaço e tempo, e elevada evaporação em setores ao norte e continentais, o que faz com que a região apresente variada gama de regimes climáticos, que vão do tropical ao subtropical (Nunes *et al.* 2009).

Segundo a classificação climática de Koeppen, o clima da região de Cunha é o *Cwa* (Subtropical úmido), que abrange toda a parte central do Estado de São Paulo e é caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (Miranda *et al.* [s.d]) e índices anuais de chuva com médias superiores a 2000 mm (Nunes *et al.* 2009).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de estabilidade de taludes e encostas envolve uma série de procedimentos. São analisados dados sobre a geologia, geomorfologia, pedologia, estruturas geológicas e dados climáticos. Com o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), diversas análises de extrema utilidade no estudo de estabilidade de vertentes podem ser extraídas de dados secundários em pouco tempo, de maneira precisa e eficiente. O desenvolvimento deste trabalho foi focado nas características estruturais e geomorfológicas do terreno, estas condicionadas à ocorrência dos diferentes litotipos da área.

A fim de uma análise completa utilizando as ferramentas mais atuais disponíveis, foram feitas diversas etapas de análise interligadas com o objetivo de caracterizar da melhor maneira a área de estudo, para que esta servisse de base à compreensão das instabilidades ocorridas. A seguir são descritas em detalhe cada uma das etapas envolvidas.

5.1. Construção do banco de dados

Durante a etapa de construção da base de dados, foram coletados e compilados dados oriundos de diferentes fontes, dentre elas material cartográfico (mapas geológicos, geomorfológico, topográfico e pedológico) e imagens de satélite de alta resolução. Todo o material foi digitalizado, vetorizado e armazenado em ambiente SIG, utilizando o programa ArcMap 10 (ESRI), onde os dados foram georreferenciados com suas respectivas coordenadas e datums geodésicos. O quadro a seguir apresenta a relação de bases cartográficas utilizadas.

Tipo	Fonte	Escala
Mapa geológico do Estado de São Paulo (arquivo raster)	IPT (1981a)	1:500.000
Mapa geológico do Estado de São Paulo (arquivo vetorial)	CPRM (2006)	1:750.000
Mapa geológico folha SF.23 – Rio de Janeiro	CPRM (2004)	1:1.000.000
Carta Geotécnica do Estado de São Paulo – Folha Cruzeiro	IPT (1994)	1:500.000
Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo	IPT (1981b)	1:1.000.000
Mapa Pedológico do Estado de São Paulo	EMBRAPA (1999)	1:500.000
Carta Topográfica -Cunha (SF-23-Z-C-I-1)	IBGE (1974)	1:50.000

5.2. Levantamento de campo e apresentação dos dados

O levantamento de campo consistiu na identificação e documentação de feições indicativas de instabilizações em encostas naturais e taludes de corte ao longo da rodovia SP-171 (trecho Cunha – Paraty). IPT (2007) propõe uma metodologia de mapeamento voltada principalmente a assentos precários, com vistas à implementação de uma política pública de gerenciamento de riscos. A proposta foi adaptada para atender aos objetivos do trabalho, sendo levantados dados relevantes do meio físico local tais como: aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, interferências antrópicas, além de dados específicos voltados diretamente para a avaliação geotécnica ao longo do traçado da rodovia (Quadro 2).

No caso de taludes em rocha, são descritos também o tipo de rocha, grau de alteração, forma geométrica dos blocos rochosos, condições de contato e descontinuidades. Foram levantadas ainda as obras de estabilização dos taludes, como concreto projetado, drenos, gabiões etc.

PARÂMETROS CONTEMPLADOS NA DESCRIÇÃO DE CAMPO
Tipo de talude (<i>Natural / Corte / Aterro</i>)
Material (<i>Solo / Aterro / Rocha</i>)
Ocorrência de blocos de rocha ou matacões
Presença de água
Vegetação (<i>Árvores / Cultivo / Vegetação rasteira / Área desmatada / Solo exposto</i>)
Feições de instabilidade (<i>Trincas / Degraus de abatimento / Cicatriz de deslizamento / Inclinação de postes, muros ou árvores</i>)
Elementos geométricos dos taludes (<i>Dimensões / Orientação / Declividade</i>)
Tipologia do processo (<i>Escorregamento planar, circular ou em cunha / Corrida de lama, terra ou detritos / Queda, tombamento ou rolamento / Rastejo</i>)
Aspectos lito-estruturais (<i>Tipologia das descontinuidades / persistência / espaçamento / presença de água / preenchimento / rugosidade / abertura / atitudes</i>)

Quadro 2: Dados descritos em campo.

Os pontos foram numerados de forma sequencial, e identificados com a sigla do Município seguida do ano e do número do ponto (Ex.: CNH-12-01) (Anexo 5). As descrições de campo, juntamente com os estereogramas construídos e a documentação fotográfica são apresentados em fichas de pontos em anexo. Ao longo do texto, os estereogramas são referidos através do número da ficha, e as fotografias dos pontos com a notação composta pelo número da ficha seguido do número da foto, separados por ponto. Já nos mapas apresentados, optou-se por reduzir a notação dos pontos, utilizando somente o número sequencial para melhor visualização.

5.3. Modelo Digital de Terreno (MDT)

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é produto da interpolação de dados altimétricos do terreno, a fim de gerar uma superfície que possa representá-lo, sem a interferência de edificações ou dosséis de árvores por exemplo. Este tipo de produto é de extrema utilidade em análises geomorfológicas, além de ser uma forma rápida, barata e eficiente de reproduzir o relevo de uma área.

Na área de estudo, o MDT foi gerado a partir de duas fontes com objetivos diferentes. O primeiro foi extraído de imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da área obtida no acervo *online* da EMBRAPA, e foi utilizado para a extração de lineamentos no contexto regional.

O segundo modelo resultou da interpolação das cotas altimétricas e pontos cotados digitalizados da carta topográfica do IBGE (1974), utilizando a ferramenta *Topo to raster* do ArcMap 10 (ESRI). Este modelo serviu de base para a elaboração dos atributos morfométricos do relevo.

5.4. Morfometria

A morfometria ou geomorfometria consiste na caracterização essencialmente quantitativa das formas de terreno, com base na obtenção de diferentes parâmetros numéricos, baseados em dados topográficos e da rede de drenagens. Os parâmetros podem representar tamanho, direção, inclinações, elevação, razões de área, densidades relativas etc., a partir dos quais podem ser elaborados mapas, modelos tridimensionais, perfis e análises estatísticas. O MDT foi utilizado como dado base para obtenção dos diversos mapas temáticos e parâmetros de interesse.

Na realização deste estudo, foram obtidos os seguintes parâmetros morfométricos: hipsometria, declividades, orientação de vertentes e forma do terreno, considerados relevantes para a análise dos processos da dinâmica externa responsáveis pela instabilização das encostas.

5.4.1. Mapa hipsométrico

Consiste na classificação altimétrica do relevo em intervalos regulares ou não de cotas e forma permitir um melhor entendimento da topografia da área de estudo ou visando destacar porções específicas do terreno. Para este estudo, as classes foram selecionadas levando em consideração o histograma de distribuição da variação topográfica da área (Anexo 6).

5.4.2. Mapa de declividades

Devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), a declividade do terreno é uma variável básica em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial, além da sua utilização óbvia na interpretação geomorfológica. É definida como a inclinação da vertente em relação à horizontal. O tema declividades foi elaborado a partir do modelo digital de terreno, aplicando a função *slope* (Anexo 7). O procedimento resultou em um mapa de declividades em grau no formato raster.

5.4.3. Forma do terreno

A forma da encosta é um importante fator de contribuição a movimentos de massa, sendo a curvatura em planta a mais importante, já que sua forma côncava configura superfícies de concentração de fluxo.

O mapa de forma do terreno foi gerado a partir dos mapas temáticos de curvatura, elaborados com o recurso *curvature* do programa. O procedimento resultou em dois mapas no formato raster que mostram, em planta, a forma convergente, planar ou divergente do terreno (Anexo 8), e em perfil a forma côncava, retilínea ou convexa (Anexo 9), levando em conta uma superfície basal. Estes mapas foram combinados utilizando a ferramenta *raster calculator*, onde cada valor obtido representa uma forma de vertente (Anexo 10). O esquema de cores adotado na legenda foi baseado no trabalho de Guasselli *et al.* (2009).

5.4.4. Orientação de vertentes

É definida como o ângulo azimutal correspondente a maior inclinação do terreno no sentido descendente. Juntamente com a declividade, expressa a geometria de exposição do terreno, apresentando de forma complementar a descrição tridimensional do terreno. O tema foi desenvolvido a partir da ferramenta *aspect* do programa ArcMap 10 (Anexo 11).

5.5. Tratamento de dados estruturais

Os diversos tipos de descontinuidades em maciços rochosos têm grande influência na estabilidade de taludes, sendo que sua importância depende principalmente de sua orientação em relação ao talude e as demais descontinuidades.

O tratamento estrutural dos dados consistiu na classificação das medidas de acordo com o tipo de estrutura e a análise das mesmas em projeção estereográfica utilizando o programa Dips (Rocscience, 2006). A sistemática teve início com a definição das famílias de fraturas que ocorrem nos diferentes litotipos, onde foram definidas direções médias baseadas em janelas de busca nas áreas de maior concentração de pontos no estereograma.

No caso da análise geométrica de taludes em rocha e saprolito, foram empregados os parâmetros de Norrish & Wyllie (1996), apresentados no capítulo de fundamentação teórica. O valor do ângulo de atrito utilizado para os saprolitos de granitos é de 32° (Lambe 1996) e para taludes em rocha são de 45° (Hoek & Bray 1974). No caso dos quartzitos e xistos, Guidicini & Nieble (1981) sugerem 64° para os primeiros, e o intervalo de 26° a 70° para o segundo grupo, sendo que o menor ângulo é adotado para o plano da foliação e o maior para planos ortogonais ao mesmo. Tendo como base os parâmetros citados anteriormente, foram definidas áreas de risco a rupturas de diferentes tipos, e os planos de descontinuidades dentro dessas áreas foram considerados potenciais a instabilização.

6. RESULTADOS

Durante as etapas de campo foram descritos trinta e três pontos com taludes de corte e aterro ao longo da rodovia, sendo estes divididos entre três tipos principais: taludes estáveis, taludes com feições de instabilização e taludes com tratamento de contenção.

Neste item são apresentados os resultados obtidos, relacionando os condicionantes propostos no trabalho com as observações de campo. Os aspectos geológicos e pedológicos são descritos em conjunto, já que são intimamente relacionados.

O governo do Estado de São Paulo aprovou um projeto de recuperação da rodovia após os desastres ocorridos entre os anos de 2009 e 2010, portanto uma grande quantidade de taludes da rodovia passou por modificações, inclusive entre as duas etapas de campo. Estes receberam a intervenção de obras de estabilidade, sendo que em alguns é possível observar estruturas originais da rocha. De modo a contemplar todos os taludes ao longo da rodovia, os tratamentos foram descritos a parte, já que podem indicar o tipo de processo ocorrido.

6.1. Geologia e pedologia

Os litotipos descritos na área podem ser separados em três grupos principais com características bem distintas. O primeiro é composto por rochas graníticas, reunindo aquelas relacionadas ao Orógeno Araçuaí - Rio Doce. Ocorre nas áreas de relevo mais acidentado, a sudeste da área e localmente em porções isoladas. São descritos biotita granitos inequigranulares porfíricos, com fraca orientação de fluxo magmático e fraturamento variável (Fig.6). Este grupo é responsável por gerar alta densidade de blocos e matacões arredondados em encostas naturais e solos residuais arenosos e areno-siltosos, com grande ocorrência de depósitos de tálus no sopé das encostas.

O segundo grupo engloba as rochas granitoides gnáissicas, compostas principalmente por biotita gnaisses localmente migmatíticos. Apresentam foliação milonítica bem marcada e ocorrem associados a solos arenosos micáceos (Fig. 7).

O terceiro grupo corresponde aos xistos e quartzitos, que são encontrados em intercalações métricas a decimétricas, variando entre mica xistos, xistos quartzosos e quartzitos bandados (Fig. 8). Possuem foliação bem marcada e podem ocorrer intercalações com biotita gnaisses. São descritos também dentro desta unidade a presença de bolsões pegmatíticos (quartzo, feldspato, muscovita e turmalina) chegando a atingir dimensões métricas.

A maior densidade de taludes instabilizados foi registrada nos granitos. Associados a eles são descritos queda de blocos em rocha muito fraturada e escorregamentos planares rasos, tanto na interface solo/rocha como em depósitos de tálus. Outro ponto relevante é a dimensão dos escorregamentos, já que os taludes apresentam maior extensão em virtude do relevo acidentado.

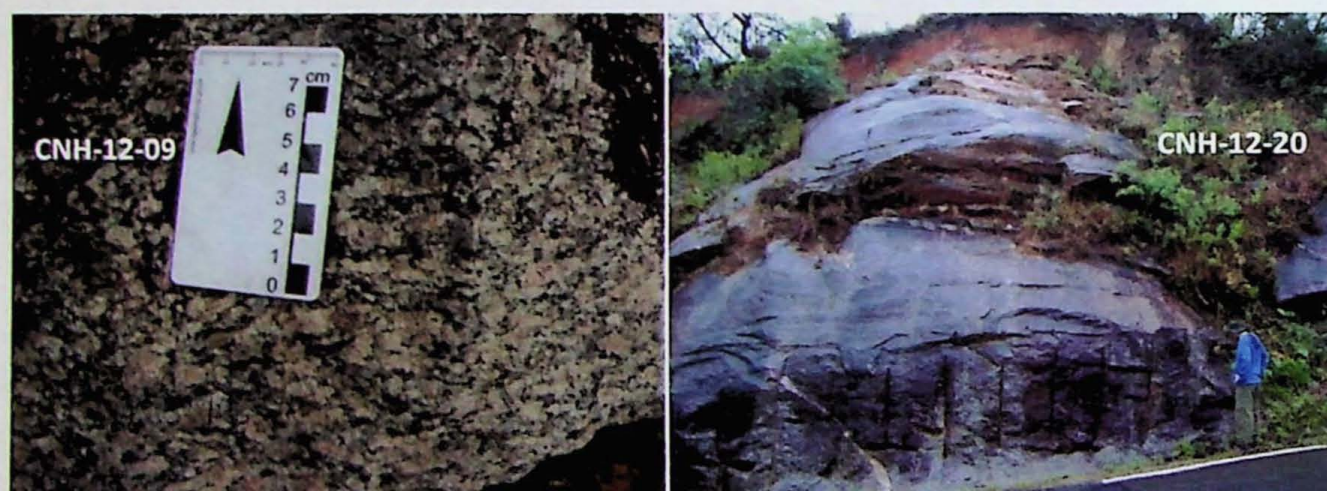


Fig. 6 – Detalhe do granito porfirítico (esq.) e vista geral do afloramento de granito mostrando perfil de solo raso no topo do corte (dir.)

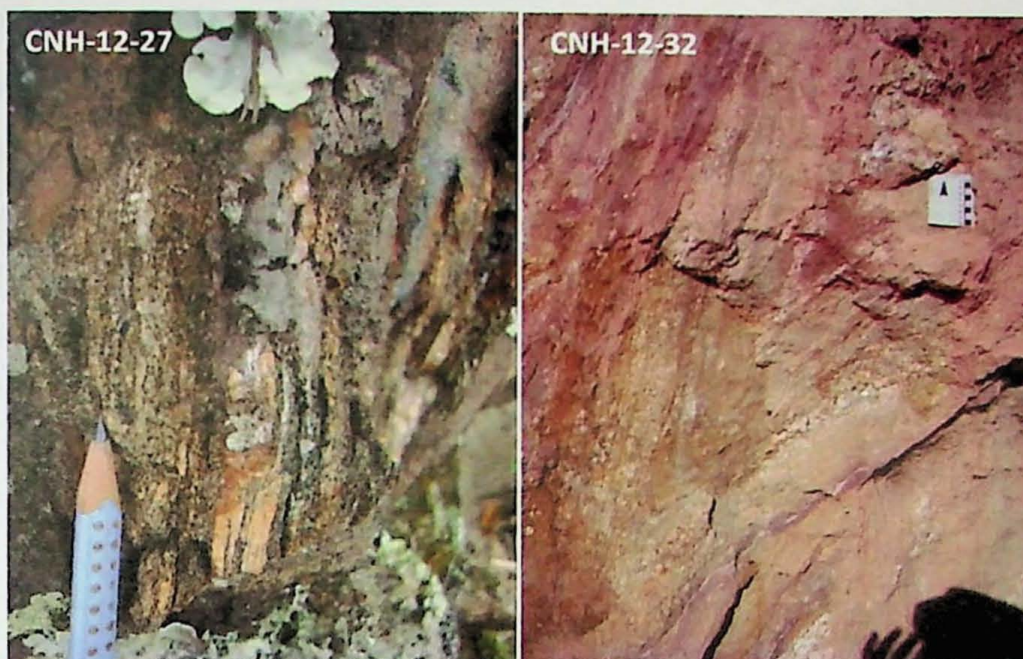


Fig. 7 – Detalhe do gnaiss (esq.) e vista geral do gnaiss, com indicação de dobramento (dir.)



Fig. 8 – Detalhe do xisto (esq.) e aspecto geral do quartzito (dir.)

Já no caso das outras duas unidades, os problemas geotécnicos são principalmente devido à erosão linear superficial, com algumas ocorrências de escorregamento raso em solo residual maduro.

6.2. Geomorfologia

A descrição dos elementos de relevo da região de Cunha foi feita por Garcia (no prelo), em conjunto com o desenvolvimento deste trabalho. Na área de estudo foram identificados quatro elementos de relevo. No domínio da Serra do Mar ocorrem de sudeste para noroeste os elementos B.2.1, B.1.2 e B.1.1, limitados a noroeste pelo Córrego da Caratuba, Ribeirão da Aparição e Córrego da Encruzilhada, respectivamente. Já no domínio do Relevo de Morros, ocorre o elemento A.2.1, no extremo noroeste da área. O aspecto geral de cada elemento é apresentado no modelo 3D do anexo 11, e seus respectivos atributos

morfométricos no quadro 3. Os taludes instabilizados encontram-se principalmente em B.2.1, que possui amplitude máxima acima de 400m e declividade média entre 15 e 20°.

Com relação à orientação das vertentes, a maior concentração de ocorrências está naquelas orientadas NW, ou seja, paralelas à estruturação geral da área, as quais também apresentam as maiores declividades, como pode ser observado no respectivo mapa (Anexo 6). O mapa de formas de terreno mostra que a maior densidade de ocorrências encontra-se em encostas convergentes convexas e divergentes convexas.

A. Relevo de Morros	A.2 Morros e morrotes: Padrão de drenagem dendritico a subdendritico; altitudes entre 800 e 1200 metros; declividade predominante entre 0 e 15 graus, apresentando localmente valores de até 25 graus.	A.2.3 Amplitudes máximas de 400 metros; declividade média predominante de 15 graus, com valores máximos locais superiores a 25 graus; comprimento de onda entre 2500 e 3500 metros e alongação média de 0,68; vertentes côncavas, retilíneas e, predominantemente, convexas.
B. Serra do Mar	B.1 Serras alongadas e estreitas: Padrão de drenagem dendritico a subdendritico; altitudes entre 900 e 1400 metros; valor da declividade média entre 5 e 15 graus, porém com declividades de até 25 graus em pontos localizados.	B.1.1 Amplitudes máximas de 400 metros, declividade média entre 15 e 20 graus; formas alongadas com comprimento de onda entre 2000 e 4000 metros e alongação média de 0,3; vertentes predominantemente convexas, e localmente côncavas e retilíneas.
		B.1.2 Amplitudes máximas de 300 metros; declividade média de 10 graus, localmente com valores de 20 graus; comprimento de onda entre 3000 e 4500 metros e alongação média de 0,8; vertentes predominantemente convexas e retilíneas.
	B.2 Serras escarpadas: Padrão de drenagem subdendritico; altitudes entre 1000 e 1700 metros; declividade com valores médios de 10 a 25 graus, com valores localmente mais elevados.	B.2.1 Amplitude máxima acima de 400 metros; declividade média entre 15 e 20 graus; comprimento de onda de 2000 metros e alongação de 0,4; vertentes predominantemente convexas, localmente retilíneas.

Quadro 3 – Descrição dos elementos de relevo que ocorrem na área de estudo segundo Garcia (no prelo).

6.3. Estrutural

Os condicionantes estruturais observados na área são principalmente fraturas e foliação milonítica. Localmente ocorrem planos de falha, caracterizados por superfícies planas, estriadas e sem preenchimento (CNH-12-02 e CNH-12-07). No caso das fraturas, sua ocorrência é mais intensas nas rochas graníticas e em geral são abertas, sem preenchimento e não apresentam água ou umidade. Já a foliação milonítica está presente nas unidades dos gnaisses, xistos e quartzitos. Nas porções mais quartzosas dos gnaisses e nas rochas quartzíticas, foram observadas fitas de quartzo, características da foliação milonítica. Nas

camadas mais puras de quartzito a foliação apresenta aspecto planar bem desenvolvido. Já nas porções mais pelíticas dos quartzitos, bem como nos xistos e gnaisses, esta apresenta perfil de aspecto anastomosado.

Na análise geométrica das discontinuidades foram definidas seis famílias de fraturas principais (Fig. 9), que foram identificadas nos estereogramas individuais dos pontos. Para as medidas de foliação, a representação gráfica indica grande densidade de dados com caimento para NW, com dispersão em arco de direção N335/85NE, e alguns dados sugerem uma segunda dispersão de direção N250/60NW (Fig.10). Além das famílias, foram plotadas estruturas de ocorrência restrita a determinados pontos, que configuram importantes condicionantes estruturais. Os estereogramas construídos para cada talude podem ser vistos nas fichas de campo no anexo 13.

FAMÍLIA	ATITUDE	ERRO ESTATÍSTICO (±)	FAMÍLIA	ATITUDE	ERRO ESTATÍSTICO (±)
F1	N089/88SE	3,1°	F3b	N047/81SE	3°
F2	N007/88SE	2,8°	F4	N135/60SW	0°
F2b	N161/76SW	2,8°	F5	N324/87NE	3,2°
F3	N243/69NW	2,3°	F6	N302/88NE	1,5°

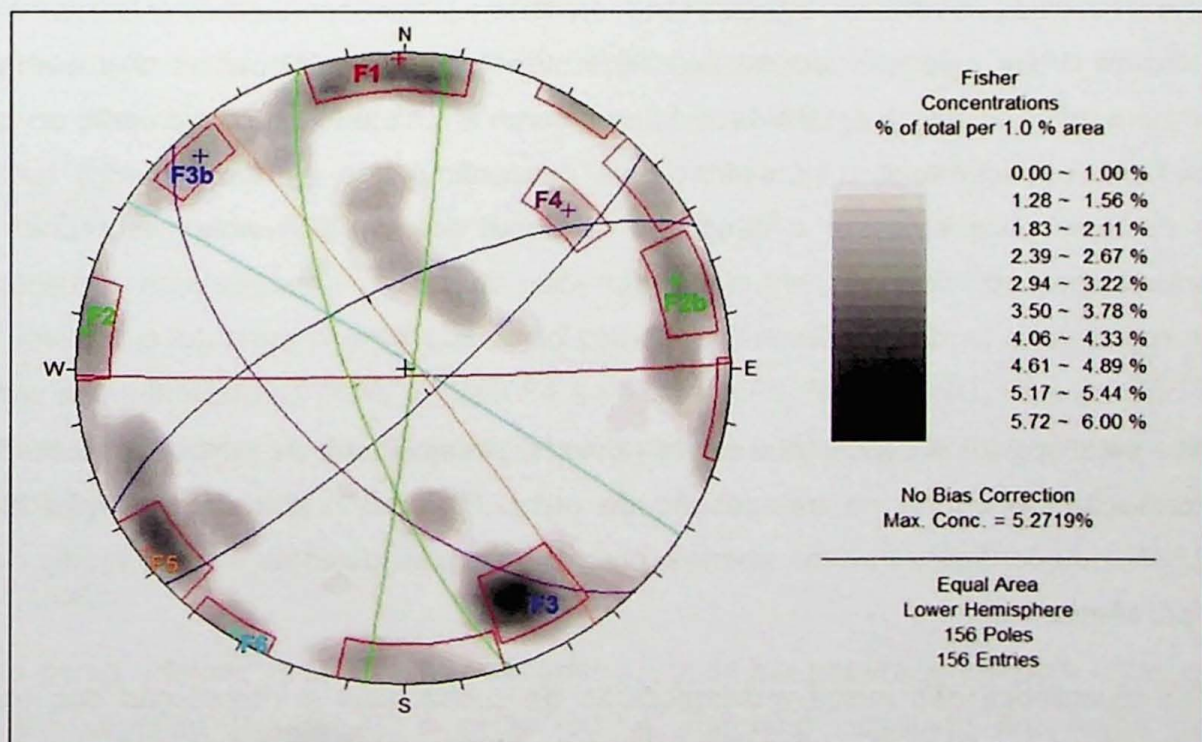


Fig. 9 – Projeção estereográfica das medidas de fraturas, com indicação das janelas de busca utilizada na definição das principais famílias.

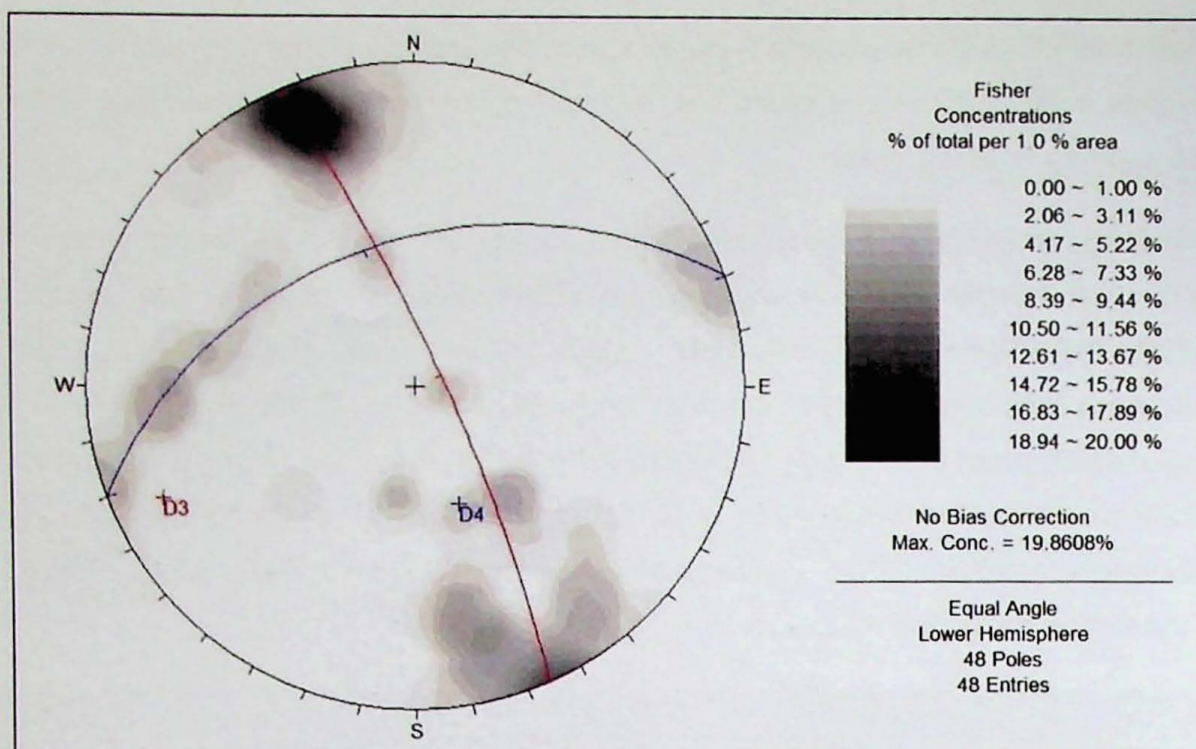


Fig. 10 – Projeção estereográfica das medidas de foliação, indicando os planos AC das fases de deformação D3 (em vermelho) e D4 (em azul).

A descrição das possibilidades de instabilização foi feita para todos os taludes que apresentavam sugestão de condicionamento estrutural. Vale lembrar que os cones de atrito adotados foram obtidos a partir de dados secundários. Sendo assim, algumas estruturas geometricamente desfavoráveis a gerar movimentação por apresentarem ângulo menor que o de atrito da rocha, não são totalmente descartadas como condicionantes do movimento, pois também influenciam na estabilidade fatores como a resistência ao movimento ao longo da superfície, espaçamento e persistência da descontinuidade. Foram incluídos também taludes estáveis para embasar a descrição do papel dos condicionantes estruturais nas instabilidades geotécnicas.

CNH-12-02

A análise estereográfica conclui que neste ponto há possibilidade de tombamento no plano F4 e formação de cunha na intersecção do plano F1 com o plano de direção média N047/32SE, que configura fraturas abertas, planas e rugosas, de espaçamento médio de 1,5 fratura por metro.

A análise cinemática não indica movimentação da cunha, pois a intersecção dos planos possui ângulo de mergulho menor que o ângulo de fricção adotado. Já a descrição de campo indica a presença de blocos decimétricos a métricos formados pela intersecção das fraturas, suscetíveis a instabilização do tipo queda devida à remoção de material da base do talude (Fig. 2.1).

CNH-12-03

Neste ponto, a análise das estruturas indica possibilidade de tombamento no plano F4, escorregamento planar em F5 e formação de cunha na intersecção dos planos F1 e F2, que configura fraturas abertas, planas e rugosas, de espaçamento médio de 1 fratura por metro. No caso deste talude, as cunhas formadas geram blocos suscetíveis a escorregamento e queda, devido ao alto ângulo do corte (Fig. 3.1).

CNH-12-04

Neste ponto são descritos dois taludes de corte com aproximadamente noventa graus de diferença entre eles (taludes A e B). O estereograma indica possibilidade de escorregamento planar em F6 (paralelo à intersecção dos dois taludes).

No talude A ocorre formação de cunhas nas intersecções formadas entre o plano N260/36NE e as famílias F2 e F3b, sendo que apenas a primeira possui ângulo maior que o determinado pelo cone de atrito. Porém, cabe ressaltar que o ângulo de atrito em saprolitodiminui de acordo com o grau de alteração.

No talude B, há possibilidade de escorregamento planar no plano N260/36NW. Em campo a ruptura observada em saprolito inicia ao longo deste plano e comporta-se como solo em direção a base do talude. Observa-se ainda a possibilidade de escorregamento em cunha na intersecção de F2 com o plano N260/36NW e entre esse mesmo plano com o padrão F3b.

CNH-12-05

A análise do estereograma construído para este ponto indica possibilidade de tombamento no plano F6 e escorregamento planar no plano F1. Também é observada a formação de cunhas nas intersecções entre o plano F4 e os planos F3, N070/80SE, F2 e F1. Em campo, as cunhas formadas possuem dimensões métricas e foram registrados blocos caídos na base do talude (Fig. 5.1).

CNH-12-07

Neste ponto o talude possui grande dimensão e pode ser separado em dois tipos: corte de 60° em saprolito (talude A); e corte (80° a mergulho negativo) em rocha pouco a medianamente alterada (talude B). A análise de famílias sugere tombamento por F1 nos dois taludes. No caso do talude de alto ângulo em rocha, é observada a formação de cunha na intersecção do plano F3 com os planos F2, F2b e F5, e entre os planos F2b e F5. Em campo foram descritas falhas e fraturas que condicionavam a formação de blocos

prismáticos alongados, são elas: falha de atitude N080/84SE (família F1) e fraturas dadas pelos planos N344/50NE e N164/35SW.

No talude A, foi observado escorregamento planar limitado por estruturas de atitudes médias N125/82SW e N235/70NW. Já no talude B são descritos problemas geotécnicos associados a queda de blocos e escorregamentos em cunha, sendo que os blocos instabilizados chegam a atingir a pista sentido Parati (Fig. 7.3).

CNH-12-14

Neste ponto, por se tratar de blocos rochosos e saprolito, foram mantidos os dois cones de atrito. O estereograma sugere escorregamento planar em F2. Há também a presença de outras fraturas que não comprometem a estabilidade do talude.

CNH-12-19

O estereograma indica a possibilidade de escorregamento planar em F5. É possível observar que a foliação milonítica é oblíqua à direção do talude (67°), portanto não configuram planos suscetíveis a movimentação.

CNH-12-20

A projeção estereográfica indica a formação de cunha entre os planos médios N079/43SE e N255/48NW, e escorregamento planar em N255/48NW. Porém o talude encontra-se estável, já que em nenhum dos dois casos o mergulho das estruturas é maior que o do ângulo de atrito.

CNH-12-21

Neste ponto foram utilizadas medidas da rocha do entorno do talude, e das estruturas sugeridas no talude tratado (Fig. 21.1). O estereograma indica possibilidade de tombamento condicionado pelo plano F3. Também há formação de cunha entre F2 e F2b. São consideradas estruturas geometricamente estáveis o escorregamento planar ao longo do plano de atitude N083/28SE e a formação de cunha entre o plano N083/28SE e os planos F2, F2b, F3b e F5.

CNH-12-22/ CNH-12-27/ CNH-12-29/ CNH-12-32

Nestes pontos não ocorrem estruturas geometricamente favoráveis a movimentação, sendo que em todos a foliação apresenta mais de 40° em relação a direção do talude, exceto no ponto CNH-12-29, que encontra-se revestido com concreto projetado, portanto não é possível saber o tipo de descontinuidade medida.

6.4. Obras de estabilização

Foram identificados sete tipos principais de obras de estabilização nos taludes rodoviários e suas descrições são dadas a seguir.

***Gabiões* (CNH-12-11/ CNH-12-28/ CNH-12-29)**

São caixas ou gaiolas de arame preenchidas com pedra britada ou seixos, colocadas lado a lado e costuradas com arame para formar muros de diferentes formas. São utilizados como proteção superficial de encostas ou muros de contenção até a altura de alguns metros.

Nos pontos observados as caixas possuem 1m de altura, e compõem muros de contenção na base dos taludes com até três fileiras de caixas, chegando a ocorrer por mais de setenta metros ao longo da rodovia.

***Retaludamento* (CNH-12-29/ CNH-12-30)**

Processo de terraplenagem em que o formato original do talude é alterado por cortes e aterros para obter-se a estabilização da encosta. Normalmente é associado a obras de drenagem superficial.

Nos dois pontos, os novos taludes possuem aproximadamente quatro metros de altura e bermas de dois metros, com instalação de canaletas e revestimento de gramíneas.

***Drenagem superficial* (CNH-12-09/ CNH-12-11/ CNH-12-21/ CNH-12-27/ CNH-12-30)**

São obras para disciplinar o escoamento superficial e reduzir a infiltração de água no terreno. Foram observadas em toda a extensão da rodovia, ocorrendo as de tipo canaletas, valas, sarjetas, caixas de captação e escadas d'água.

***Drenagem profunda* (CNH-12-09/ CNH-12-10/ CNH-12-11/ CNH-12-21/ CNH-12-27/ CNH-12-30)**

Consiste de drenos sub-horizontais instalados no maciço que captam parte da água de percolação interna de aterros ou cortes saturados. Na área ocorrem em seis taludes, associadas a obras de drenagem superficial e proteção de concreto projetado na face do talude.

***Revestimento vegetal* (CNH-12-29/ CNH-12-30)**

É realizada a proteção da face do talude com gramíneas para evitar a ação de processos superficiais. Na área são associados a obras de drenagem superficial, principalmente nos taludes de grande extensão, mas podem ocorrer isoladamente em alguns pontos da rodovia.

Enrocamento (CNH-12-10)

Consiste em um maciço de blocos geralmente graníticos compactados colocados na face do talude para proteção contra erosão. No caso do ponto CNH-12-10, o talude foi feito na margem de um rio canalizado para a geração de uma pequena queda d'água em uma residência.

Concreto projetado (CNH-12-09/ CNH-12-10/ CNH-12-11/ CNH-12-21/ CNH-12-27/ CNH-12-30)

A proteção superficial de taludes por meio de concreto projetado é uma solução eficiente para manter a estabilidade do maciço, evitando-se a erosão e escorregamentos provocados pela ação das águas pluviais. Normalmente é feito em conjunto com obras de drenagem profunda, que retiram a água do interior do maciço, evitando assim que esta fique acumulada atrás da camada de concreto, levando a sua danificação.

Uma característica observada na maioria dos taludes com concreto é a forma côncava em perfil. Nos taludes CNH-12-21 e CNH-12-27, o revestimento de concreto, por se tratar de uma camada que em geral não ultrapassa 10 cm, permitiu a identificação de estruturas do maciço.

7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

A evolução estrutural da área descrita na bibliografia pode ser correlacionada com os dados da foliação representados no estereograma da fig. 10. Observa-se caimento geral da foliação para NW/SE (D1 e D2), com dispersão em arco, indicando dobramento com eixo SW (D3). A dispersão observada na direção NE/SW pode ser relacionada com a influência das zonas de cisalhamento de direção NW (D4), gerando foliações miloníticas com caimentos ora para NE, ora para SW.

A análise conjunta dos dados levou a definição de três áreas principais. A primeira, localizada no extremo sudeste da rodovia, é composta por rochas graníticas em relevo montanhoso pertencente ao domínio da Serra do Mar. Nela, as estruturas, dadas principalmente por famílias de fraturas e algumas zonas de cisalhamento isoladas, se mostram de grande importância no condicionamento das instabilidades, já que formam blocos e cunhas passíveis de movimentação. Esta característica também se reflete na grande densidade de blocos e matacões em encostas naturais (Fig. 11) que, considerando-se processos de evolução do terreno, como erosão e escorregamentos, também podem sofrer movimentação.



Fig. 11 – Encosta natural com grande densidade de blocos e matacões arredondados.

Outra ressalva a respeito desta área é a presença de perfis de solo rasos, em sua maioria compostos por depósitos de tálus no sopé das encostas. Essa característica pode ser explicada pelas grandes altitudes, declividades altas (entre 20 e 75%) e formas predominantemente convergentes. A concentração de fluxo em altas declividades faz com que ocorram escorregamentos periódicos, principalmente em episódios de chuva intensa ou durante longos períodos, que encharcam o maciço aumentando seu peso específico. Outro fator importante é que as unidades graníticas geram solos residuais arenosos de granulação grosseira, com uma variável porcentagem de argila (caulim) derivada dos feldspatos, sendo solos facilmente drenáveis.

A segunda área é composta por rochas gnáissicas ortoderivadas e quartzitos bandados, com ocorrência restrita de um corpo granítico (Granito Natividade da Serra). Esses litotipos são associados ao domínio da Serra do Mar, de serras alongadas e estreitas com declividades de 3 a 20%. Foram observadas algumas ocorrências de instabilização em solo residual, majoritariamente nas porções mais miloníticas dos quartzitos, e dois taludes com obras de estabilização. No que se refere à forma das encostas, há uma distribuição próxima de homogênea entre as diferentes formas, com uma maior concentração de formas divergentes no entorno da rodovia.

Por último, a terceira área ocorre no extremo noroeste da rodovia em xistos localmente migmatíticos e paragneisses, em relevo de morros e morrotes, com altitudes inferiores a 1.100m e declividades predominantes entre 8 e 20%. Nesta região, as ocorrências de movimentação são principalmente nos gnaisses e nas porções mais quartzosas dos xistos. A maioria dos taludes encontra-se estável, em cortes de 60° (ângulo amplamente aplicado

em obras geotécnicas) com extensões que chegam a atingir mais de 100m. Nos escorregamentos observados, o material mobilizado apresenta feições erosivas superficiais (sulcos e ravinas). Essas feições são observadas também na face dos taludes, já que estas se encontram desprovidas de cobertura vegetal, o que facilita a desagregação e remoção inicial de finos, dando condições para a continuidade da evolução de processos erosivos superficiais.

As análises geométricas nas rochas desta área mostraram que a foliação regional, para os cortes adotados, favorece a estabilidade dos taludes, já que nas áreas onde esta apresenta maior expressividade, os cortes foram feitos na direção oblíqua a foliação. A situação de estabilidade seria alterada em cortes paralelos a foliação, ou seja, taludes de direção NE/SW, com inclinações próximas a da foliação, que em geral apresenta ângulos altos, entre 70 e 89°. A condição estável também é favorecida pela presença de argilominerais nas rochas, que aumenta a coesão do material. Outro fator importante a forma de terreno, que neste caso é predominantemente plana, dirigindo o fluxo de maneira praticamente uniforme ao longo da encosta.

Levando em consideração as condições descritas, é possível avaliar os tipos de obras de estabilização adotadas. A maior parte dos taludes foi tratada com concreto projetado na superfície e drenagem profunda, sendo que em alguns deles ainda é possível observar a geometria das estruturas da rocha. Esta medida é indicada principalmente para taludes em solo, pois atenua os efeitos da gravidade, da erosão superficial e da pressão d'água. Levando em conta que os perfis de solo da área são rasos, atingindo profundidades inferiores a dois metros, a utilização do revestimento e drenagem é positiva no sentido que impede movimentações que possam ocorrer na interface solo/rocha, uma importante descontinuidade na estabilidade de taludes. O uso de gabiões, também indicado para solo, foi observado naqueles taludes que, por possuírem grandes dimensões ou estarem no aterro da rodovia, impossibilitam a movimentação de grandes volumes de material, sendo a solução efetiva e de custo relativamente reduzido. As demais intervenções, como drenagem superficial e sub-superficial (barbacãs) e proteção vegetal, foram utilizadas em taludes de grandes dimensões, aparentemente como medidas preventivas a movimentações futuras, e ao longo de diversos pontos da rodovia.

8. CONCLUSÕES

A busca por uma metodologia de atuação visando à estabilização de taludes em rodovias deve levar em consideração diversos aspectos do meio físico e antrópico. A abordagem proposta ao tema teve por objetivo compreender a atuação dos agentes intrínsecos, a saber, o complexo geológico, a geomorfologia e o arcabouço estrutural da região, com

enfoque principal no papel dos condicionantes estruturais. Considera-se que o trabalho atingiu o seu objetivo principal de aprimorar o entendimento dos condicionantes impostos pelo meio nos processos de instabilização de taludes de corte, aterro e encostas naturais, fornecendo subsídios geológico-geotécnicos para a escolha das soluções mais eficazes, efetivas e seguras de estabilização e contenção. O desenvolvimento do presente trabalho levou as seguintes conclusões:

- As rochas graníticas apresentam maior concentração de processos de movimentação de massa, ocorrendo principalmente escorregamentos em cunha e planares rasos em solo residual;
- A geomorfologia da área favorece escorregamentos no domínio da Serra do Mar, que apresenta maiores cotas e declividades, com formas de relevo que concentram o fluxo, levando a ocorrência de movimentações em períodos de chuva intensa ou por longos períodos;
- Na porção sul da área, também marcada pela ocorrência de rochas graníticas especificamente onde o relevo propicia a acumulação de blocos e matacões de rocha na superfície do terreno, em grande parte, oriundos de processos antigos de instabilização ocorridos nas porções mais íngremes e elevadas das encostas, apresenta uma grande susceptibilidade a rolamento de blocos;
- A avaliação dos taludes, principalmente os de corte, demonstrou que num número significativo de instabilizações, existe algum tipo de condicionamento das estruturas geológicas, cujas análises de detalhe tendem a contribuir para a escolha e dimensionamento das melhores medidas de recuperação ou prevenção;
- A foliação milonítica regional, associada a presença de argilominerais nos xistos e em algumas porções dos quartzitos, favorece a estabilidade de taludes na rodovia, já que os cortes da mesma são sempre oblíquos às estruturas e com inclinações menores que a da foliação;
- As medidas de estabilização adotadas no projeto de recuperação da rodovia foram consideradas eficientes devido à natureza da dinâmica dos processos observados na região;

Por fim, recomenda-se a continuidade das investigações na região, principalmente no trecho Cunha-Guaratinguetá da rodovia, onde foram observados taludes instabilizados de grandes dimensões. Outro ponto importante que deve ser estudado com maior atenção é a influência das formas de relevo nos processos gravitacionais de massa com destaque para as áreas

sujeitas a rolamento de blocos que, nestes locais, recomenda-se a realização de um mapeamento de detalhe com identificação e caracterização individual dos blocos mais instáveis, apontando as respectivas medidas de contenção (calçamento, chumbamento, desmonte a frio, obra local de drenagem) para os casos onde existe risco destes atingirem a rodovia.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F.F.M. de 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: Instituto Geográfico e Geológico. Geologia do Estado de São Paulo. São Paulo: IGG. p. 167-263. (IGG. Boletim, 41)
- Almeida F. F. M., Amaral G., Cordani U. G., Kawashita K. 1973. The precambrian evolution of the South American Cratonic Margin South of Amazonas River. In: Nairn A. E. M & Stehli F. G. (Eds.). *The ocean basin and margins*. New York: Plenum Press. 1973, v. 1, p.: 411-446.
- Augusto Filho O. 1992. Caracterização geológica-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ ABGE/ PCRJ, v.2, p.721-33.
- Bloom A. L. 1988. Superfície da Terra. Série textos básicos de geociências, São Paulo, Ed. Edgard Blücher/Edusp, 184 p.
- Cordani U. G., Coutinho J. M. V., Nutman A. P. 2002. Geochronological constraints on the evolution of the Embu Complex, São Paulo, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 14(8): 903-910.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL 2004. Mapa geológico Folha SF.23 – Rio de Janeiro. Programa Geologia do Brasil, escala 1:1.000.000.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL 2006. Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo. Ministério de Minas e Energia, escala 1:750.000.
- Cruden D. M. 1990. Suggested nomenclature for a landslide summary. *Bulletin IAEG*, n 41, pp. 12-18.
- Cruden D.M. & Varnes D.J. 1996. Landslide types and processes. In: Turner A.T. & Schuster R.L. [eds.] *Landslides - Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report No. 247, National Academy Press, Washington DC, pp.36-75.

- Dias Neto C. M, Correia C. T., Tassinari C. C. G., Munha J. M. U. 2009. Os anfibólitos do complexo costeiro na região de São Sebastião, SP. Disponível em: http://www.revistasusp.sibi.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-874X2009001000005&lng=pt&nrm=iso. Acessado em 3 mar 2012.
- Eirado L. G., Heilbron M., Almeida J. C. H. 2006. Os terrenos tectônicos da Faixa Ribeira na Serra da Bocaina e na Baía da Ilha Grande, sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*,36(3): 426-436.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA 1999. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Embrapa Produção de Informações. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Rio de Janeiro, Embrapa Solos, escala 1:500.000.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute 2010. ArcGIS 10. Conjunto de programas.
- Fernandes A J. 1991. O Complexo Embu no leste do estado de São Paulo: contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 120 p.
- Fernandes N. F. & Amaral C. P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: A. J. T. Guerra & S. B. da Cunha (Eds.) *Geomorfologia e meio ambiente*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p.: 123-194.
- Folha 2010. Deslizamento em São Luiz do Paraitinga (SP) deixa uma pessoa soterrada. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u674123.shtml>. Acessado em 24 jun 2012.
- Freire E. S. M. 1965. Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e Sua Moderna Sistemática. *Construção*, Rio de Janeiro, 8, p.: 10-18.
- Garcia G. P. B. (no prelo) Proposta metodológica para elaboração de carta geotécnica em escala regional a partir de modelos digitais de elevação (MDE). Monografia de trabalho de formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Google earth2011– Google earth™, serviço de mapas.
- Guasselli L. A., Evers H., Oliveira M. G., Suertegaray D. M. A. 2009. Definição de padrões de formas das vertentes relacionadas com a ocorrência de areais, através de dados geomorfométricos, em sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí – RS. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, pp. 3867-3874.

- Guidicini G. & Nieble C. M. (Eds.) 1983. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. Edgarg Blücher, 2ª Edição, 194 pp.
- Hasui Y. 1975. Geologia da folha de São Roque. Bol. IG, vol.6, p.157-183
- Hasui Y., Dantas A. S. L., Carneiro C. D. R., Bistrichi C. A. 1981. O embasamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo. In: Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Pró-Minério, IPT. v. 1, p.: 12-45.
- Heilbron M., Pedrosa-Soares A. C, Campos Neto M. C., Silva L. C., Trouw R. A. J., Janasi V. A. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Dal Ré Carneiro C., Brito-Neves B. B. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, São Paulo, p.: 203-234.
- Hiruma S. T. 2007. Significado morfotectônico dos planaltos isolados da Bocaina. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 205 p.
- Hoek E. & Bray J. W. 1974. Rock slope engineering. Institution of Mining and Metalurgy, 358 p.
- Hutchinson J. N. 1988. General Report: Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne, Vol. 1, p.: 3-35.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA 1974. Folha SF-23-Z-C-I-1 - Cunha. Mapa Topográfico, escala 1:50.000.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1981a. Mapa geológico do Estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo, escala 1:500.000
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1981b. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, escala 1:500.000.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1991. Ocupação de encostas. Publicação IPT N°1831, 216 p.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 1994. Carta Geotécnica do Estado de São Paulo – Folha Cruzeiro. SCTDE/DCET/IPT, escala 1:500.000.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 2007. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Carvalho C. S., Macedo E. S., Ogura A. T. (Eds.) Ministério das Cidades – Brasília: 176 p.

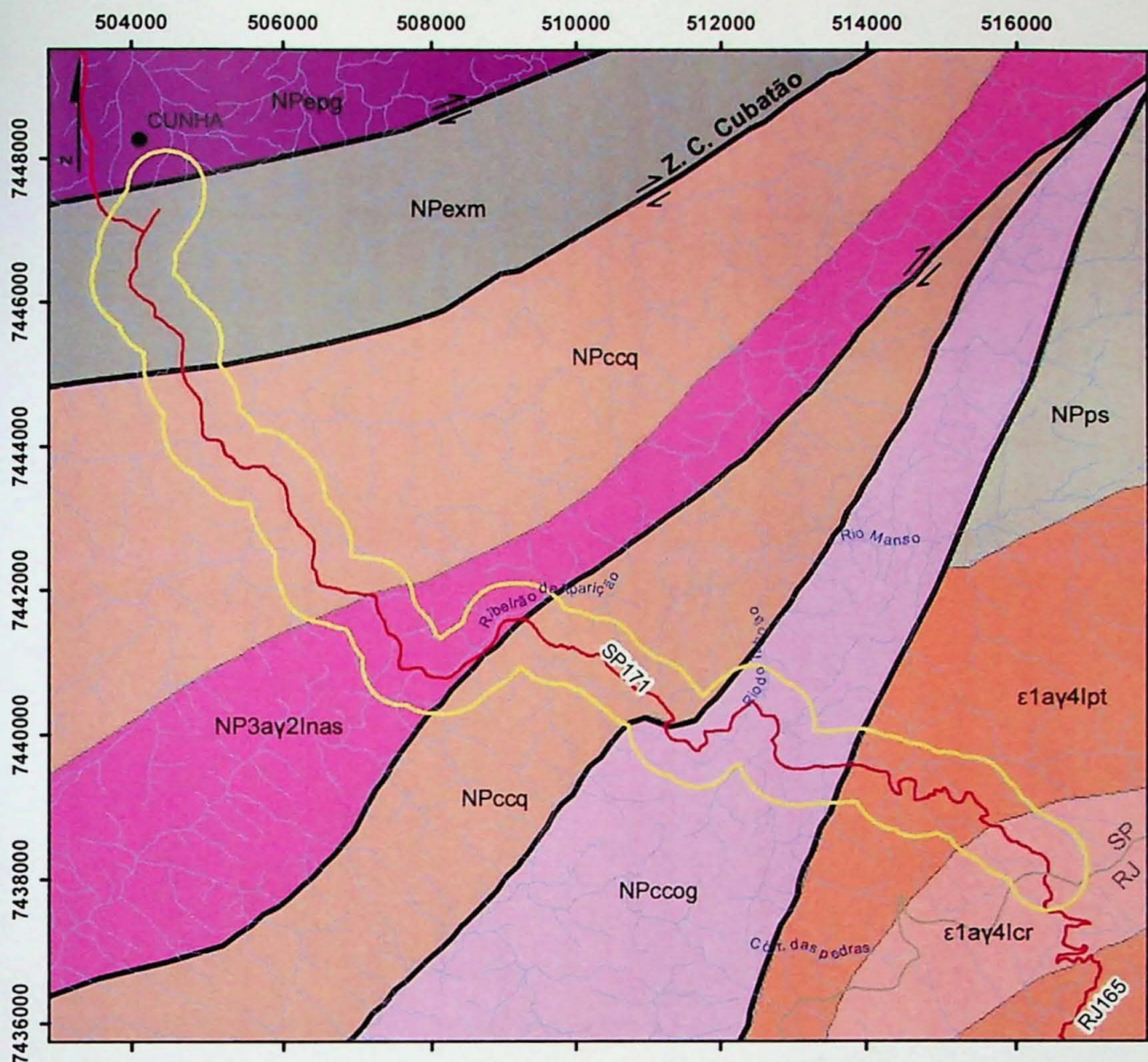
- Infanti Jr. N. & Fornasari Filho N. 1998. Processos da dinâmica superficial. *In*: Brito S.N.A. & Oliveira A.M.S (Eds). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE, Cap.9, p.132-152.
- Janasi V. A., Alves A., Vlach S. R. F., Leite, R. J. 2003. Granitos peraluminosos da porção central da Faixa Ribeira, Estado de São Paulo: sucessivos eventos de reciclagem da crosta continental no neoproterozóico. *Geol. USP, Sér. cient.*, vol.3,p.: 13-24. Disponível em: http://www.revistasusp.sibi.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-874X2003000100002&lng=pt&nrm=iso. Acessado em 11 jul 2012.
- Lambe P. C. 1996. Residual Soils. *In*: Turner A.T. & Schuster R.L. [eds.] *Landslides - Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report No. 247, National Academy Press, Washington DC, pp.507-523.
- Miranda M. J.; Pinto H. S.; Zullo Jr J.; Fagundes R. M.; Fonsechi D. B.; Calve L.; Pellegrino G. Q. [s.d.]. *Clima dos Municípios Paulistas*. Cepagri– Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura / UNICAMP. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acessado em 23 jun 2012.
- Monbeig P. 1949 A divisão regional do Estado de São Paulo. *Anais Associação Geógrafos Brasileiros*, 1, São Paulo.
- Norrish N. I. & Wyllie D. C. 1996. Rock Slope Stability Analysis. *In*: Turner A.T. & Schuster R.L. [eds.] *Landslides - Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report No. 247, National Academy Press, Washington DC, pp.391-424.
- Nunes L. H.; Vicente A. K.; Candido D. H. 2009. Clima da Região Sudeste do Brasil. *In*: Cavalcanti I. F. A.; Ferreira N. J.; Silva M. G. A. J.; Dias M. A. F. S. [orgs.] *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos, pp: 243-256.
- Oliveira J. B. 1999. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Instituto Agrônomo, Campinas, 112 p.
- Perrotta M. M., Salvador E. D., Marconato A., Turra B. B., Chieregati L. A. D'Agostino L. Z., Lopes R. C. 2006. Breve Descrição das Unidades Litoestratigráficas Aflorantes no Estado de São Paulo. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Programa Geologia do Brasil.
- Ross J. L. S. & Moroz I. C. 1996. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. *RDG - Revista do Departamento de Geografia / Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo*, n. 10, pp: 42 – 60.
- Sassa K. 1989. Geotechnical Classification of Landslides. *Landslide News*, 3, p.: 21-24.

- Sharpe C. F. S. 1938. Landslide and Related Phenomena. Pageant, New Jersey, 137 p.
- Silva O. C. A., Almeida T. I. R., Corsi A. C., Ogura A. T. 2009. Análise da evolução da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Paraty, RJ, baseada em dados de sensoriamento remoto óptico multitemporal e dados de campo. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Natal, p. 3371-3378.
- Summerfield M. A. 1991. Global geomorphology: An introduction to the study of landforms. Prentice Hall, 537 p.
- Varnes D. J. 1958. Landslides Types and Processes. Highway Research Board, Special Report, Vol. 29, p.: 20-47.
- Varnes D. J. 1978. Slope movement types and processes. *In*: Schuster & Krizek (eds.) Landslides: analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC, p.: 11-33.

QUADRO 1

Classificação de movimentos de massa de acordo com Augusto Filho (1992).

Rastejo (<i>Creep</i>)	Quedas (<i>Falls</i>)
<p><u>Características do movimento:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Vários planos de deslocamento (internos) • Velocidades muito baixas a baixas (cms/ano) e decrescentes com a profundidade • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada • Geometria indefinida 	<p><u>Características do movimento:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento • Movimento tipo queda livre ou em plano inclinado • Velocidades muito altas (vários m/s) • Material rochoso • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lascas, placas, blocos etc.
Escorregamentos (<i>Slides</i>)	Corridas (<i>Flows</i>)
<p><u>Características do movimento:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamento (externos) • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • Pequenos a grandes volumes de material • Geometria e materiais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> ○ <u>Planares</u>: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; ○ <u>Circulares</u>: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; ○ <u>Em cunha</u>: solos e rochas com dois planos de fraqueza. 	<p><u>Características do movimento:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo das drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solo, rocha, detritos e água • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas



Legenda

Magmatismo relacionado ao Orógeno Araçuaí - Rio Doce

- ε1ay4lcr Granito Carrasquinho
- ε1ay4lpt Granito Parati
- NP3ay2lnas Granito Natividade da Serra

Complexo Costeiro

- NPccq Unidade quartzítica
- NPccog Unidade ortognaissica

Complexo Embu

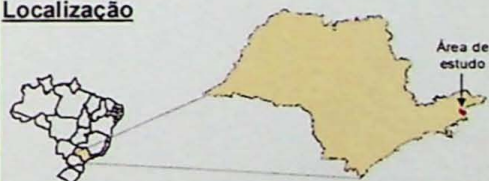
- NPpexm Unidade paragnaissica
- NPpexm Unidade de xistos, localmente migmatíticos

Complexo Paraíba do Sul

- NPps Unidade terrígena com intercalações carbonáticas

- Limites estaduais
- Sedes municipais
- SP171 Rodovias
- Rios e drenagens
- Zonas de cisalhamento
- Área de estudo

Localização



Anexo 1

Mapa Geológico Regional

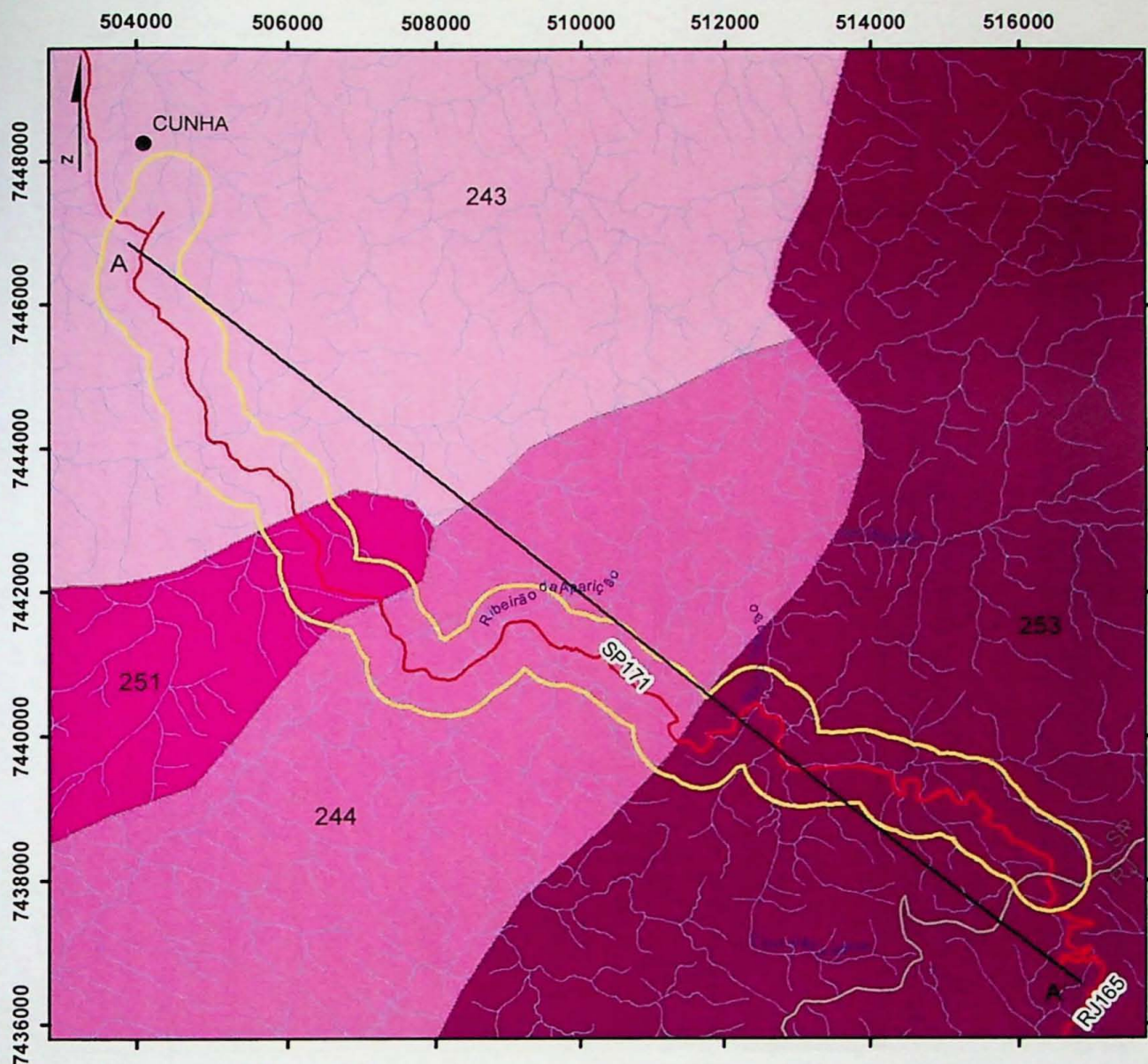
1:100.000

0 1 2 3 4 km

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Córrego Alegre - Zona 23S

Fonte:
CPRM 2004

Folha SF.23 - Rio de Janeiro
Escala original : 1:1.000.000



Legenda

Relevo de morros

(Predominam declividades médias a altas - acima de 15% - e amplitudes locais de 100 a 300 m)

243 Mar de morros

244 Morros paralelos

Relevo montanhoso

(Predominam declividades médias a altas - acima de 15% - e amplitudes locais acima de 300 m)

251 Serras alongadas

253 Montanhas com vales profundos

— Limites estaduais

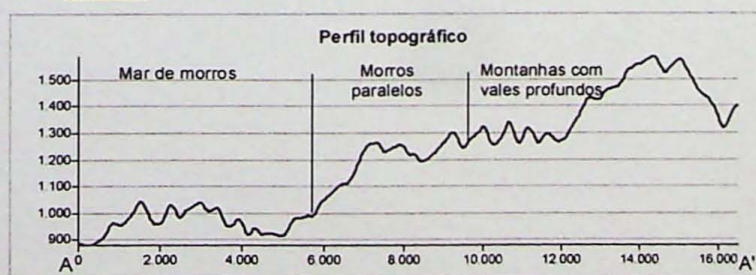
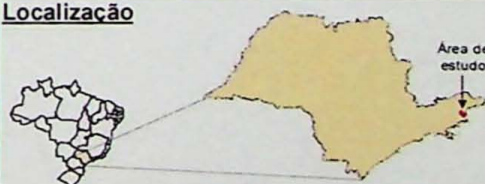
● Sedes municipais

SP171 Rodovias

— Rios e drenagens

— Área de estudo

Localização



Fonte:

Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo
Escala original : 1:1.000.000

IPT 1981

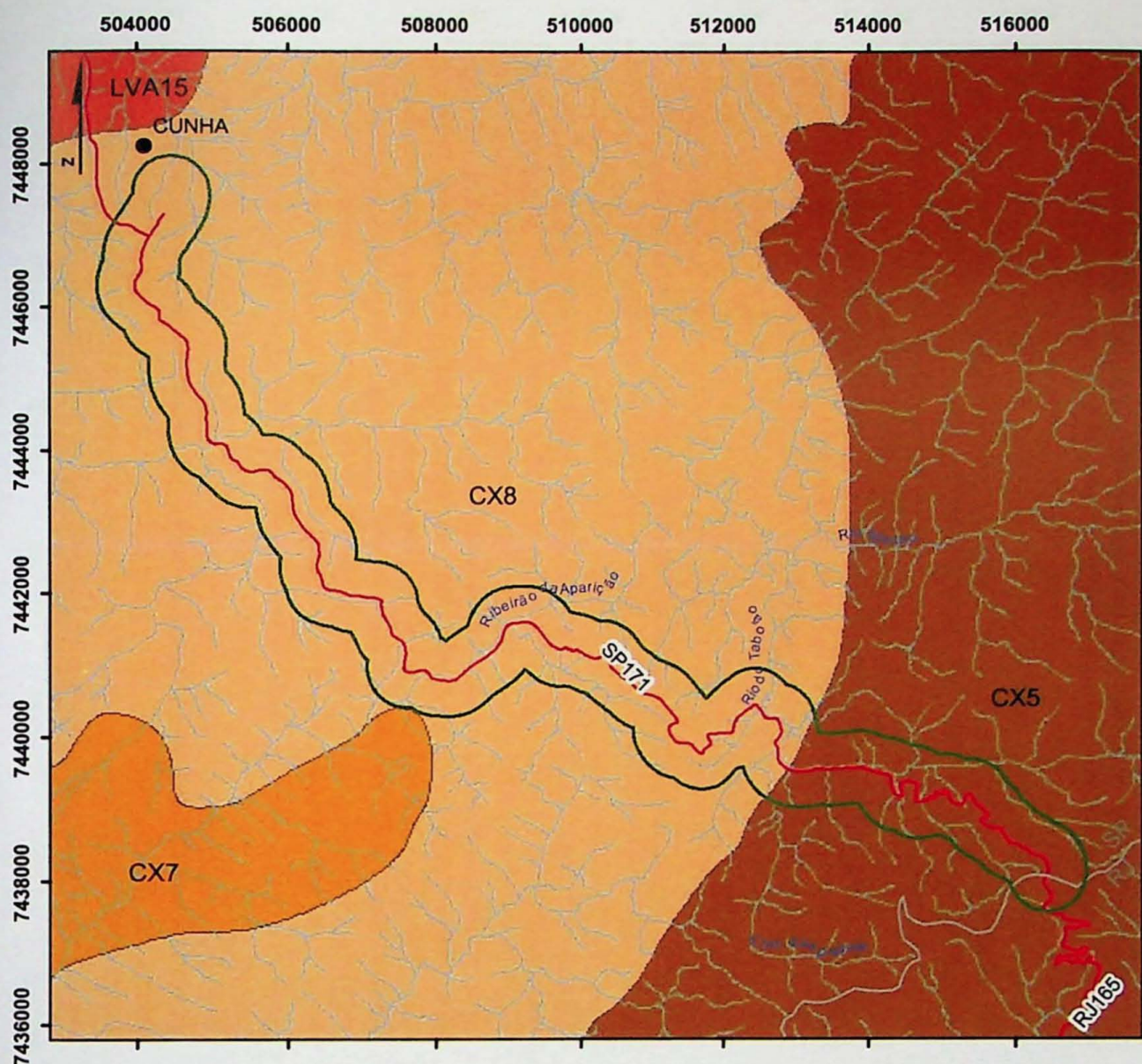
Anexo 2

Mapa Geomorfológico Regional

1:100.000

0 1 2 3 4 km

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Córrego Alegre - Zona 23S



Legenda

Cambissolos Háplicos

- CX5
- CX7
- CX8

Latossolos Vermelhos - Amarelos

- LVA15

— Limites estaduais

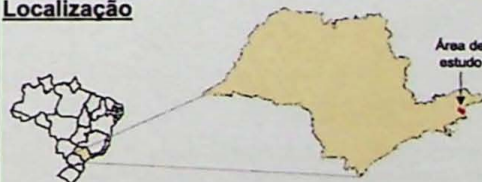
● Sedes municipais

SP171 Rodovias

Rios e drenagens

— Área de estudo

Localização



Anexo 3

Mapa Pedológico Regional

1:100.000

0 1 2 3 4 km

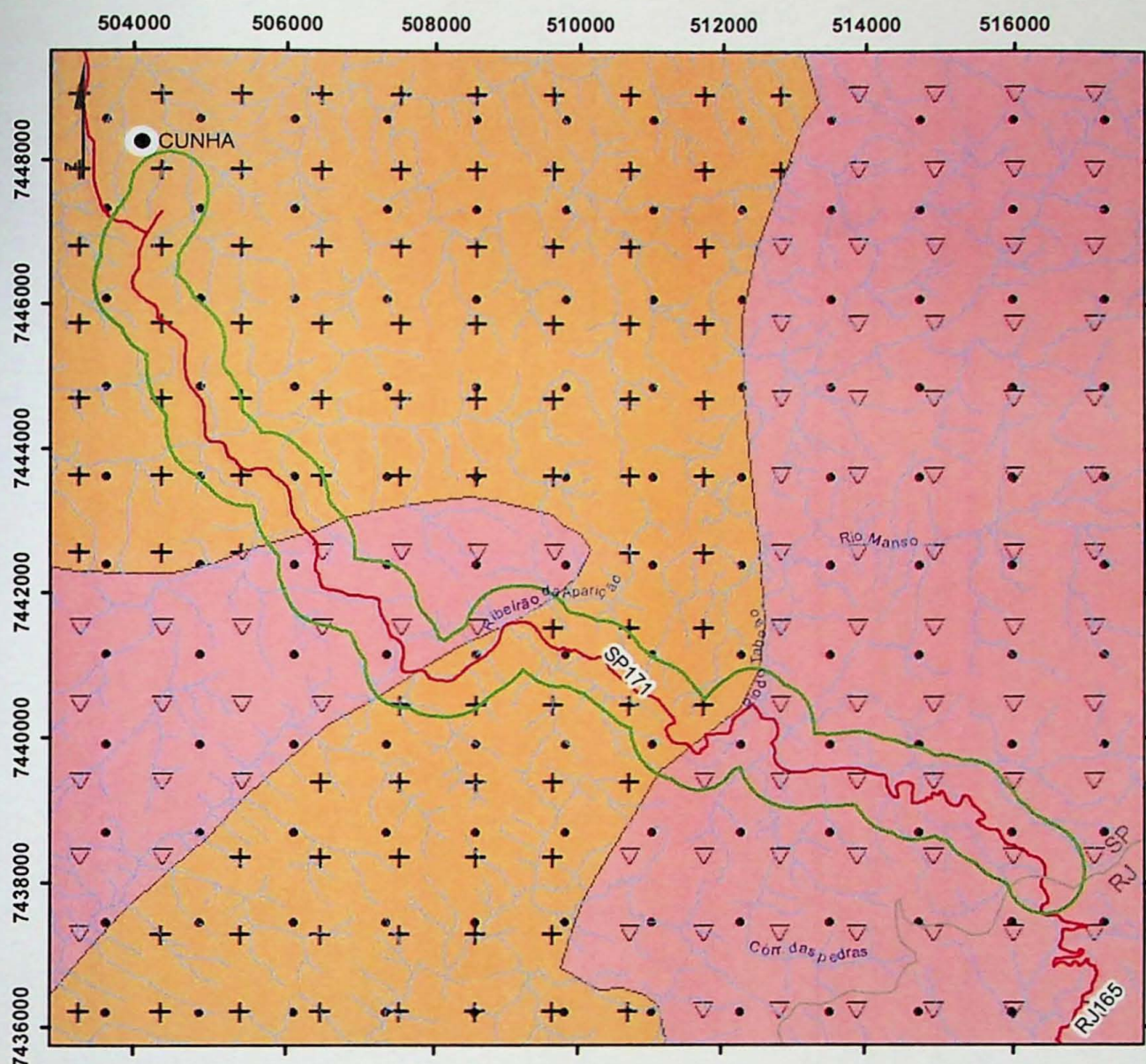
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Córrego Alegre - Zona 23S

Fonte:

EMBRAPA 1999

Mapa Pedológico do Estado de São Paulo

Escala original : 1:500.000



Legenda

EROSÃO

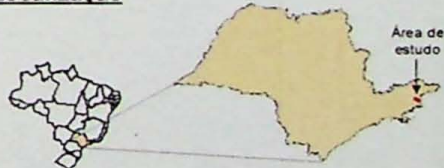
- Alta suscetibilidade a: erosão acelerada por sulcos e ravinas, desenvolvidas a partir da concentração do escoamento superficial, exclusivamente sobre Horizonte C (solos de alteração) *in situ* e nos aterros; exposição dos solos de alteração associada aos movimentos de terra em loteamentos habitacionais e industriais, e obras civis diversas; erosão sobre os solos superficiais (horizontes A e B) pouco significativa; assoreamento generalizado nas drenagens e reservatórios de abastecimento, como consequência da erosão das áreas de expansão urbana e do lançamento de resíduos/entulhos diversos no sistema de drenagem.

MOVIMENTOS DE MASSA

- △ Alta suscetibilidade a: escorregamentos de solo com geometria predominantemente planar; rastejo frequente nas encostas; rastejo e escorregamentos associados a depósitos detríticos (tálus/cólúvio); escorregamentos planares em solo frequentes; potencialidade para a geração de corridas de massa restrita a alguns anfiteatros; queda e rolamento de blocos em afloramentos restritos de rochas graníticas; escorregamentos e deslocamentos rochosos condicionados por estruturas planares em afloramentos restritos de rochas xistosas, foliadas e bandadas.
- + Média suscetibilidade a: rastejos e escorregamentos de solos planares e circulares associados aos setores de encostas acima de 20°; rastejos e escorregamentos associados a depósitos detríticos, localizados principalmente a jusante de compartimentos de alta e muito alta suscetibilidades.

- Limites estaduais
- Sedes municipais
- SP171 Rodovias
- Rios e drenagens
- Área de estudo

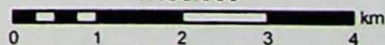
Localização



Anexo 4

Mapa Geotécnico Regional

1:100.000



Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Córrego Alegre - Zona 23S

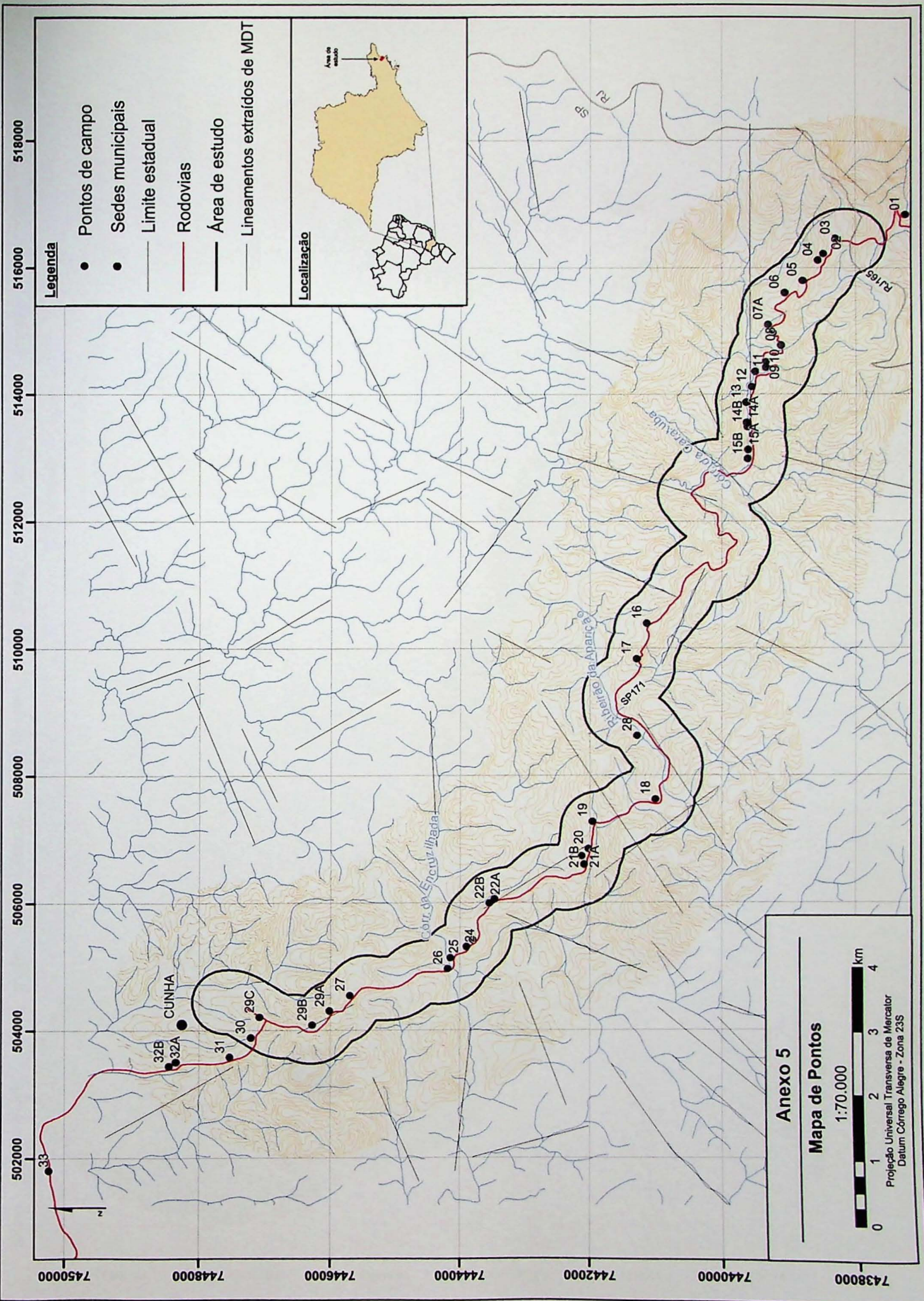
Fonte:

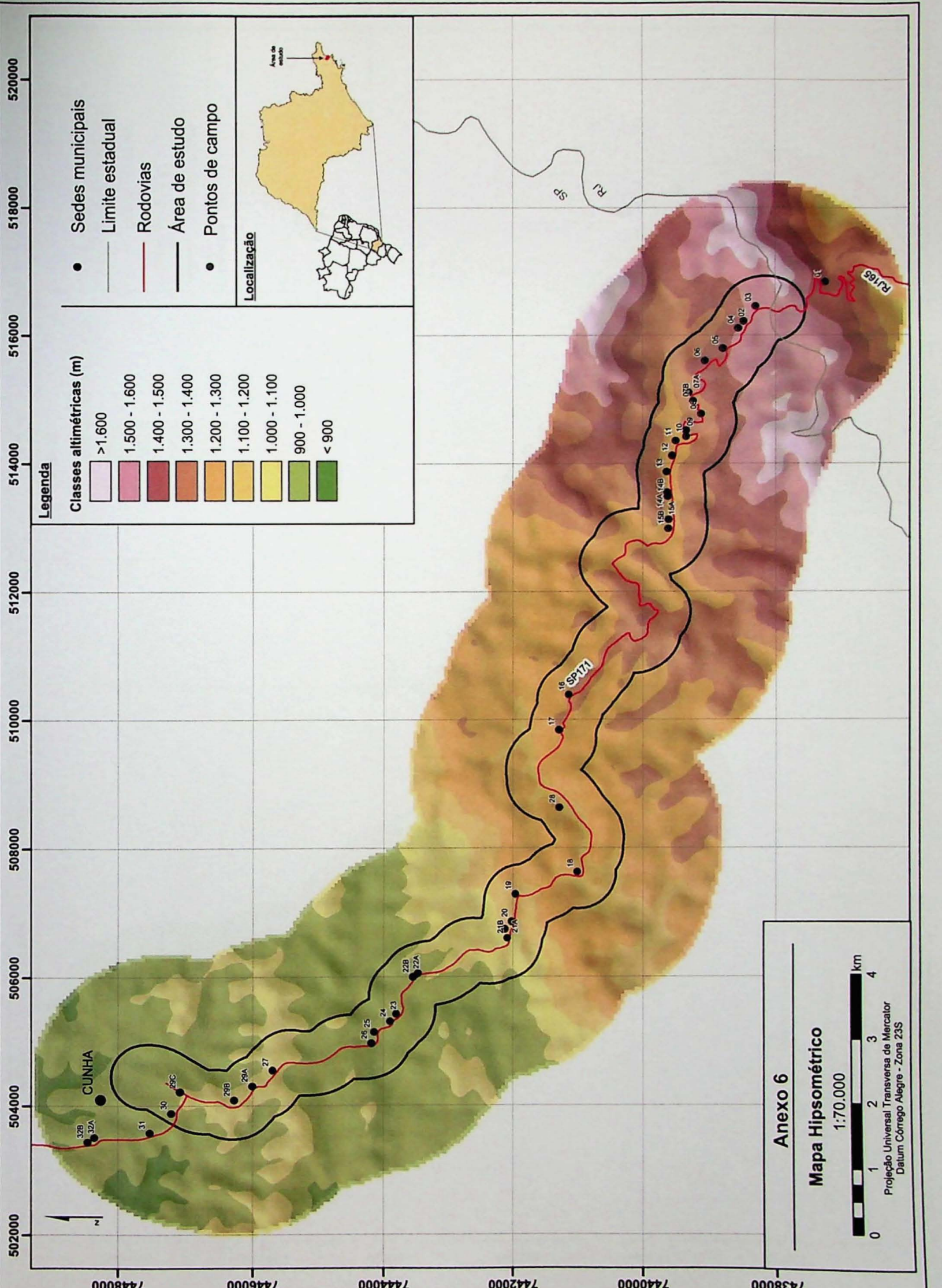
IPT 1994

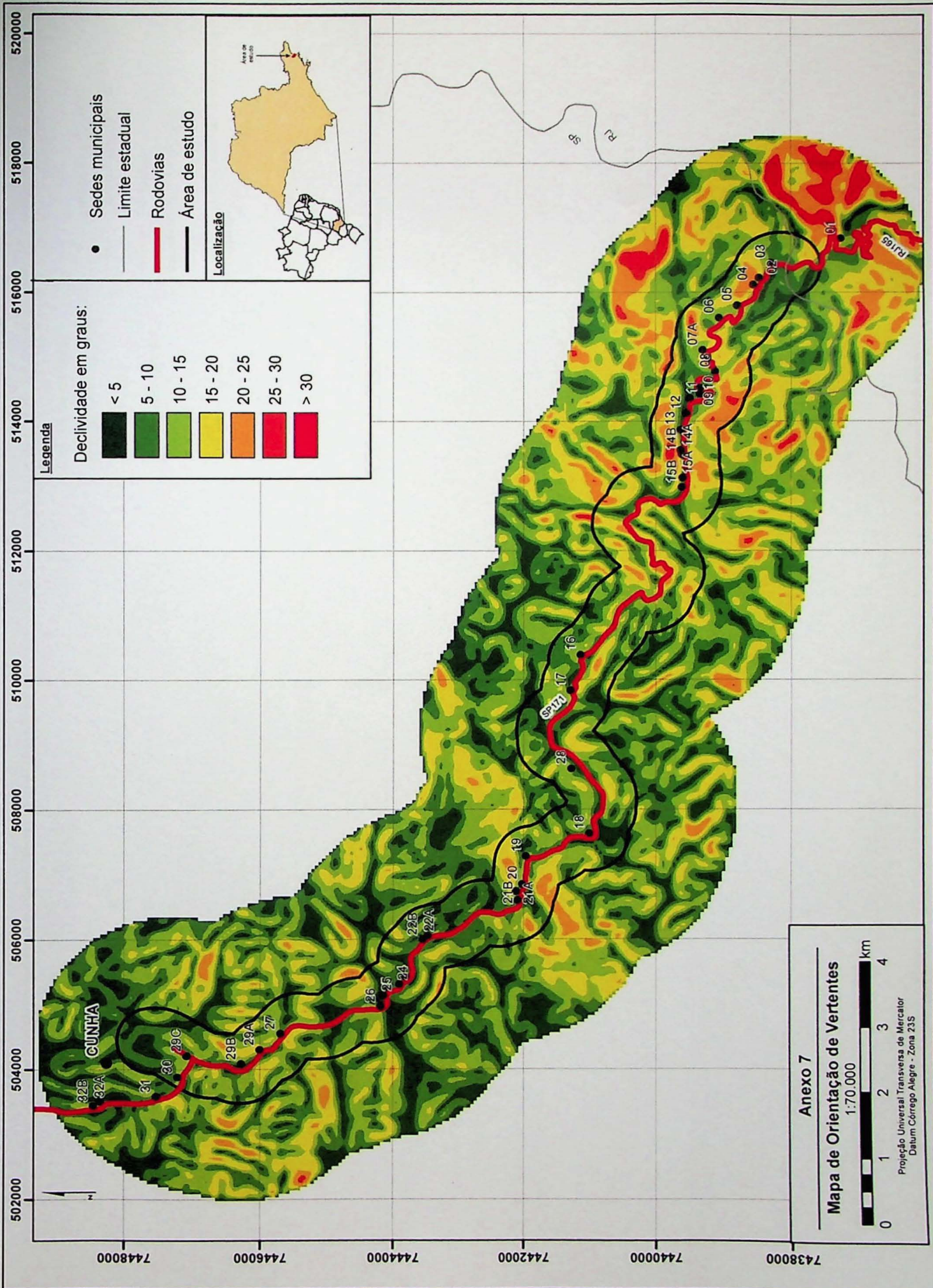
Mapa Geotécnico do Estado de São Paulo

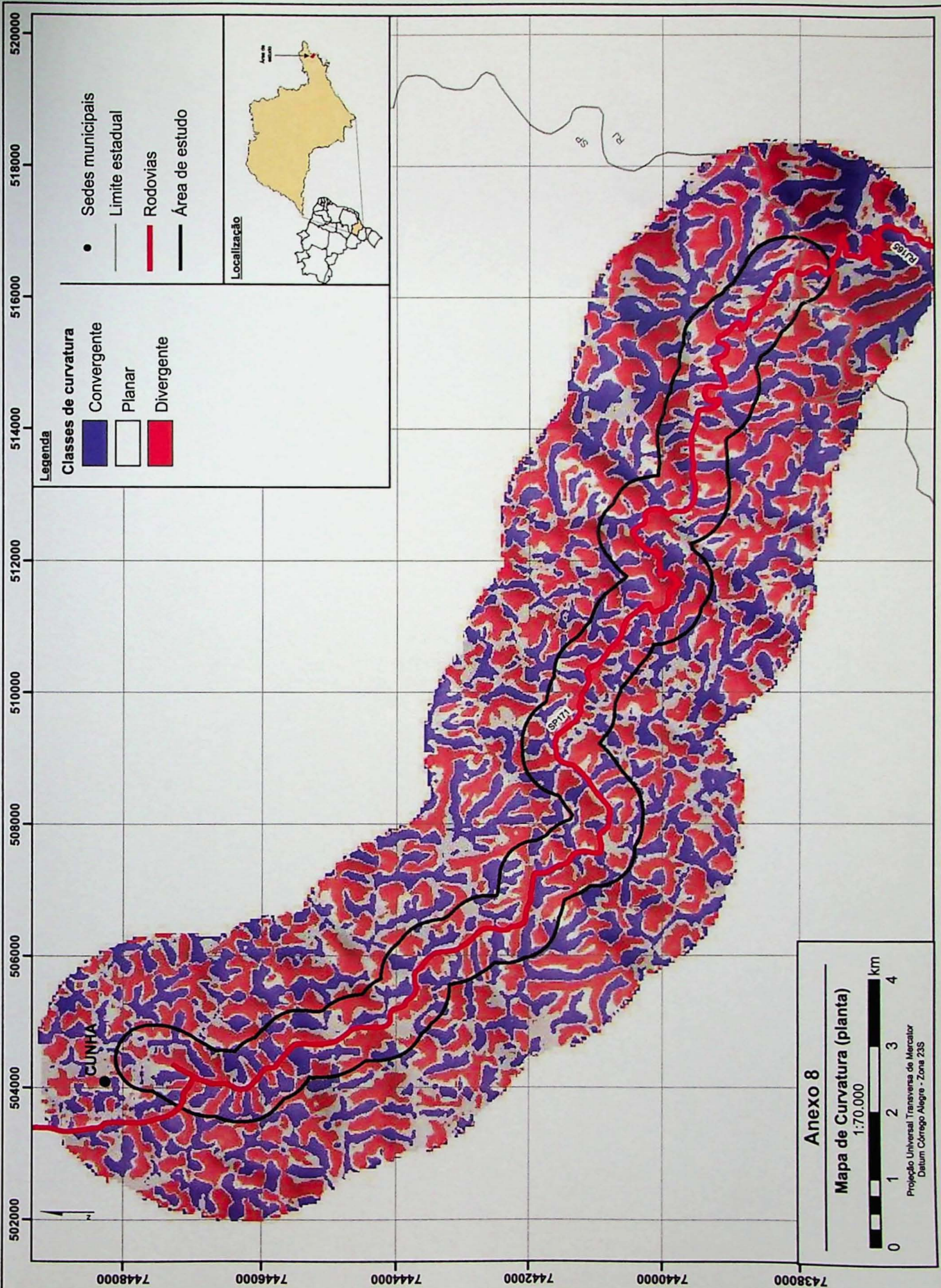
Escala original: 1:500.000

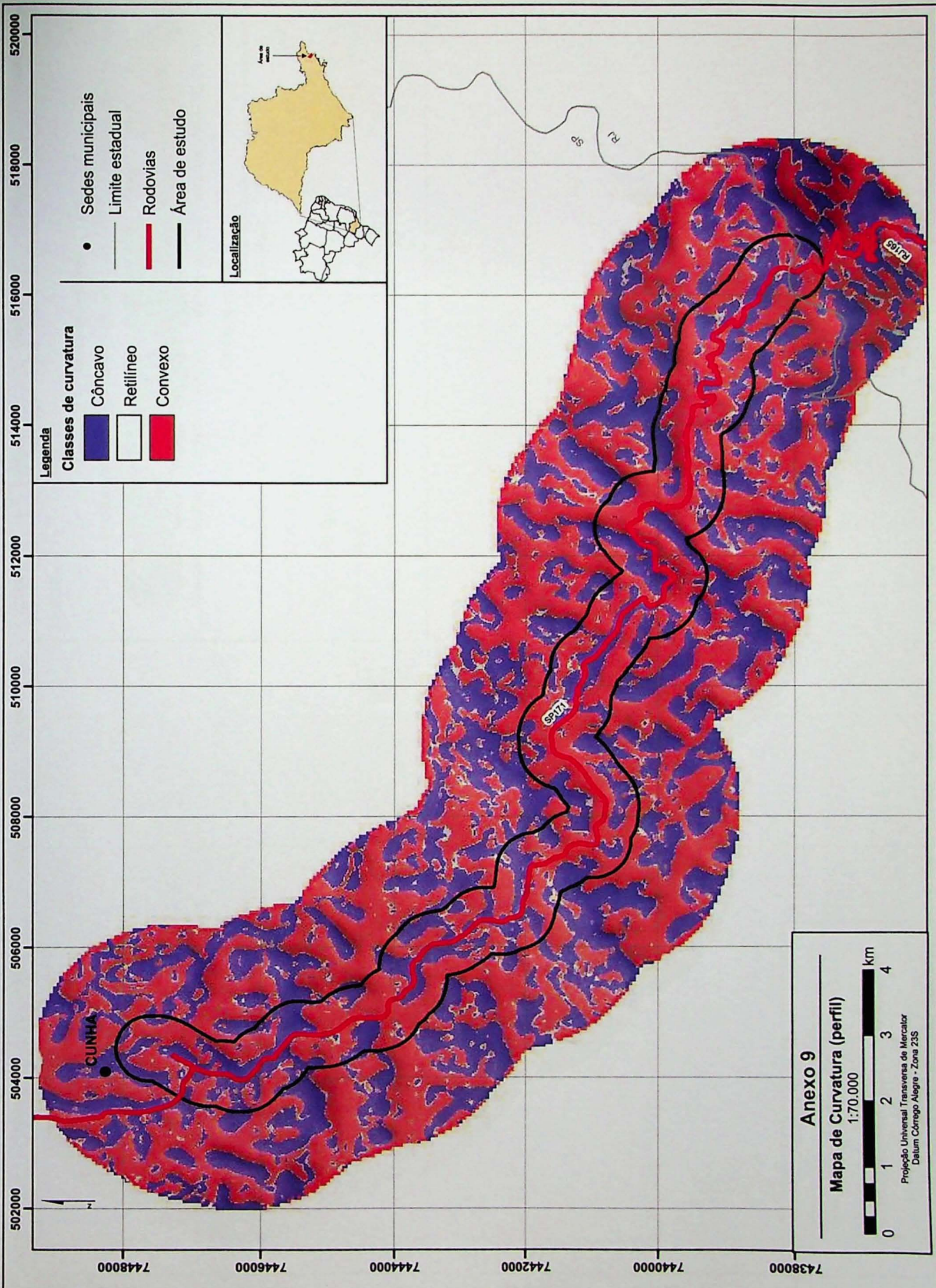
Obs: A cor indica o processo dominante na unidade e sua hachura mostra o grau de suscetibilidade. As hachuras sobrepostas indicam os processos secundários.

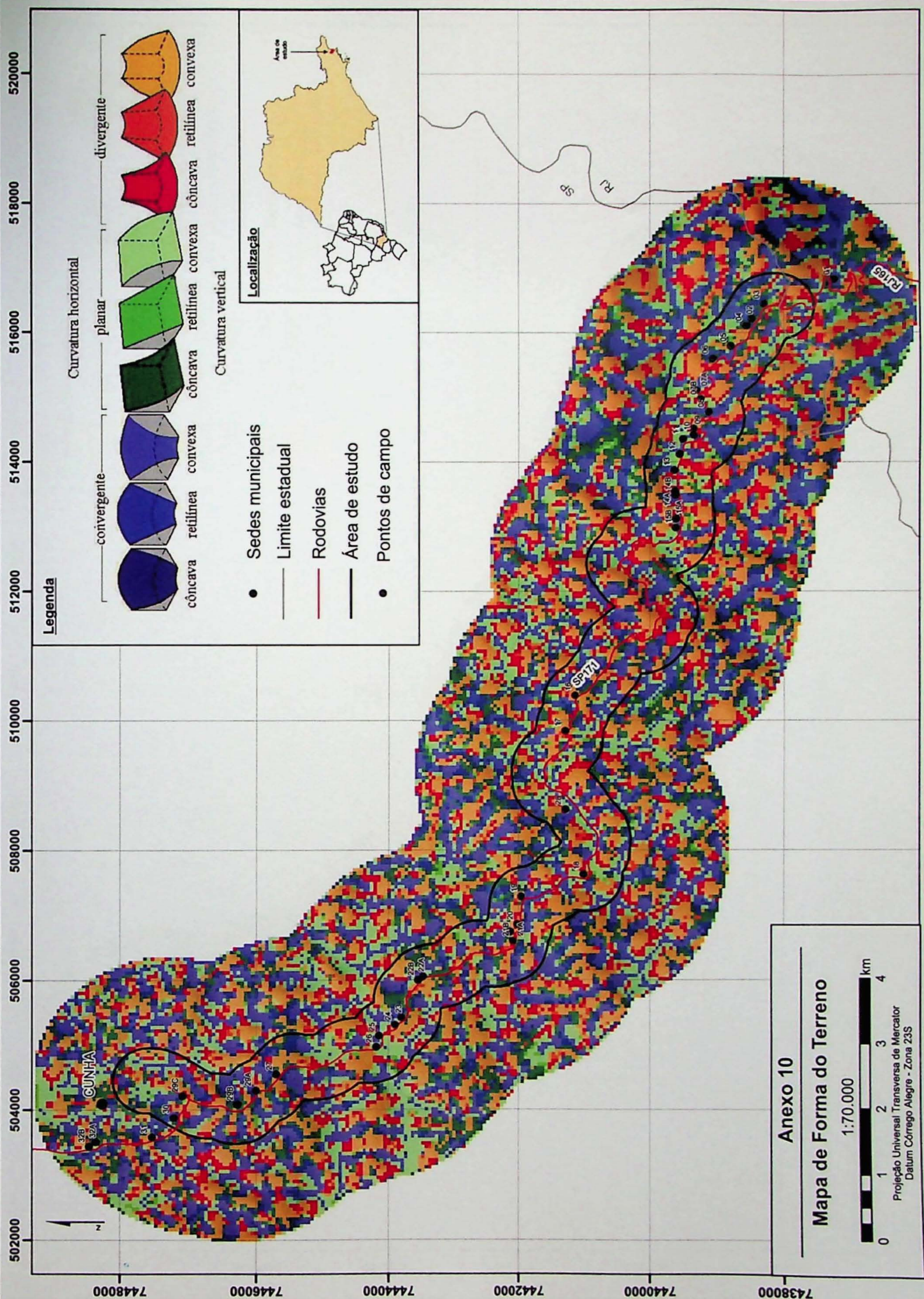


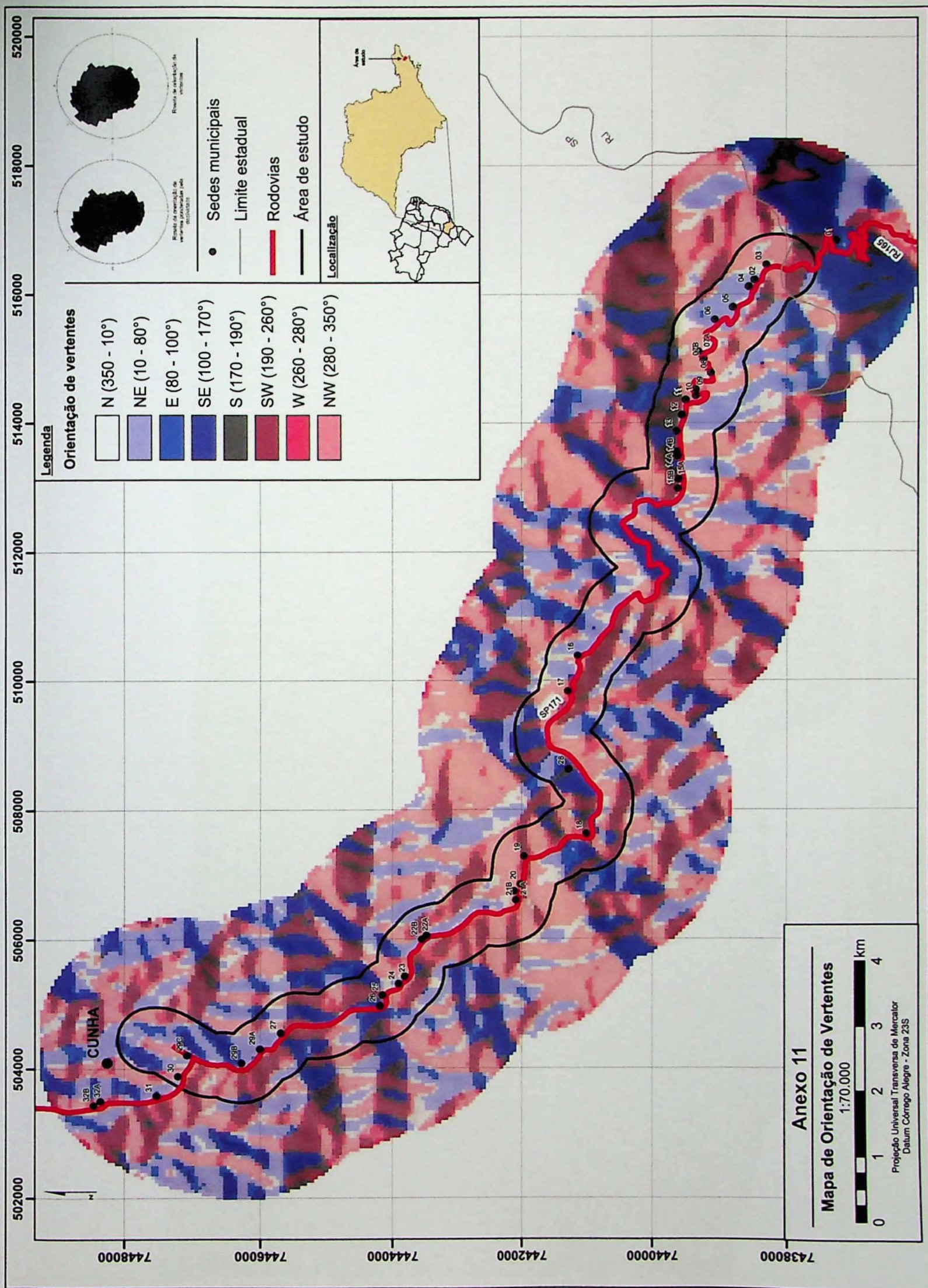












CUNHA



SP-471

A.2.1

B.1.1

B.1.2

SP-171

B.2.1

N

SEM ESCALA / Exagero vertical 5x

Anexo 12 - Distribuição de elementos de relevo. Modelo digital extraído de fotos aéreas vôo USAF (1966) em escala 1:60 000.

Anexo 13

Fichas de Afloramento

FICHA 1**Ponto**

CNH-12-01

UTM

0516846/7437286

Descrição

Talude de corte do lado esquerdo da estrada (sentido Cunha) de direção aproximada N110, com 60° de inclinação e 6 m de altura (Fig. 1.1), formado por colúvio composto por blocos decimétricos de granito alterado de granulação fina a média (30%) em matriz de solo silto-arenoso micáceo de cor marrom (70%). Acima do corte é possível observar a encosta natural com aproximadamente 15 m de altura e grande densidade de blocos de granito, de dimensões decimétricas a métricas (até 5 m) (Fig. 1.2).

Documentação fotográfica

Fig. 1.1 – Talude de corte em colúvio encimado por encosta natural com blocos.



Fig. 1.2 – Detalhe dos blocos no topo do talude.

FICHA 2**Ponto** CNH-12-02**UTM**

0516229/7438492

Descrição

Afloramento de granito equigranular de granulação média, com

presença de veios pegmatóides e diversas fraturas (Fig. 2.1). Foi identificada a orientação de cristais de biotita junto à superfície de fratura F5 e indicação de movimentação inversa nesse plano dada por rejeito em torno de 2 cm de veio pegmatóide.

Estruturas**Medidas**

F1 – Superfície plana, rugosa, aberta, sem preenchimento, persistência > 2m e isolada.

015/70; 019/50; 008/70; 009/60; 012/64; 025/68

F2 – Superfície plana, rugosa, aberta, persistência > 1m e isolada.

315/82

F3 – Superfície plana, rugosa, aberta, persistência < 1m e repetição de 1,5/m.

225/60

F4 – Superfície plana, rugosa, aberta, persistência < 1m e repetição de 1,5/m.

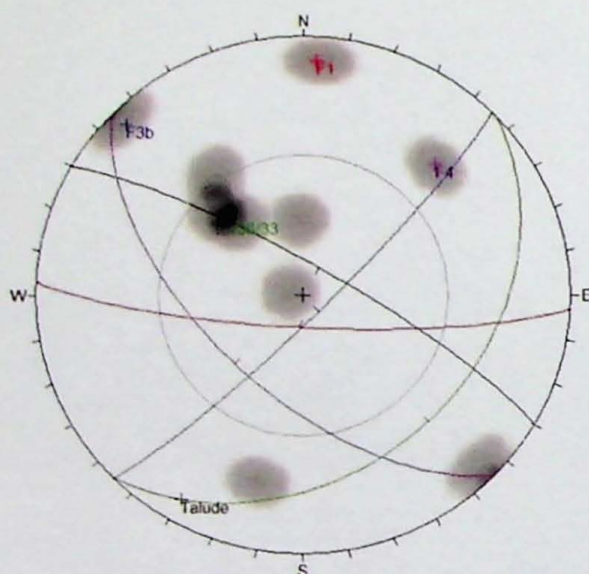
184/80

F5 – Superfície plana, rugosa, aberta, persistência < 1m e isolada.

145/48; 135/38; 140/30

F6 – Superfície subvertical, planam lisa, localmente aberta (até 4mm).

135/85

EstereogramaFisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.00 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 18.3783%

Equal Area
Lower Hemisphere
10 Poles
10 Entries

Cone de atrito 45°
representado pela
linha cinza.

Documentação fotográfica

Fig. 2.1 – Detalhe dos blocos formados pela intersecção de fraturas.

FICHA 3**Ponto** CNH-12-03**UTM**

0516467/7438315

Descrição

Afloramento de blocos arredondados, métricos a decamétricos do lado direito da estrada (sentido Cunha). Granito cinza rosado, equigranular, granulação média, IC' = 10%, homogêneo, com feldspatos arredondados.

Do lado esquerdo da estrada ocorrem dois blocos métricos de aproximadamente 15 m³ e talude de corte (Fig. 3.1) com aproximadamente 3 m de altura composto por blocos de granito pouco alterado e fraturado (Fig. 3.2 e 3.3). Ocorrem juntas de alívio com superfície irregular, sub-horizontais e com espaçamento métrico.

Estruturas**Medidas**

F1 – Superfície plana a irregular, rugosa, persistência > 4 m, repetição de 1/m.

002/78;011/80;012/82;
174/88; 014/88

F2 – Superfície plana, rugosa, persistência decimétrica (máximo de 1 m), repetição de 1/m.

104/78;095/85;097/80

F3 – Superfície plana, rugosa, persistência < 1 m, isolada.

315/90

F4 – Superfície plana, rugosa, persistência < 1 m, isolada.

119/86

F5 – Superfície plana, rugosa, persistência métrica, espaçamento de 1 fratura a cada 2 m.

064/83;073/70;054/80

F6 – Superfície plana, rugosa, persistência < 1 m.

120/21

F7 – Superfície plana, rugosa, persistência de aproximadamente 10 cm, espaçamento de 3 fraturas a cada metro.

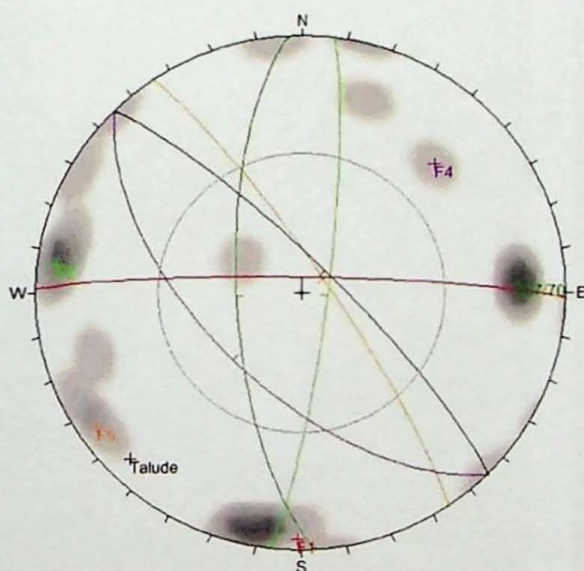
267/70;265/72;270/72

F8 – Superfície plana, lisa, alterada e isolada.

198/68

F9 – Superfície plana, lisa, alterada, persistência < 1 m, isolada.

225/60

Estereograma

Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 15.3663%

Equal Area
Lower Hemisphere
19 Poles
19 Entries

Cone de atrito 45°
representado pela
linha cinza.

Continua

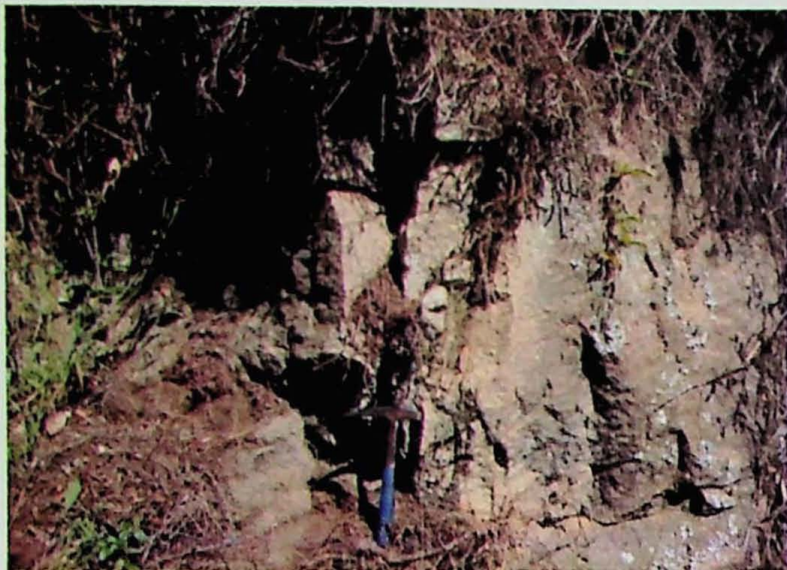


Fig. 3.1 – Detalhe do talude com formação de cunhas decimétricas.

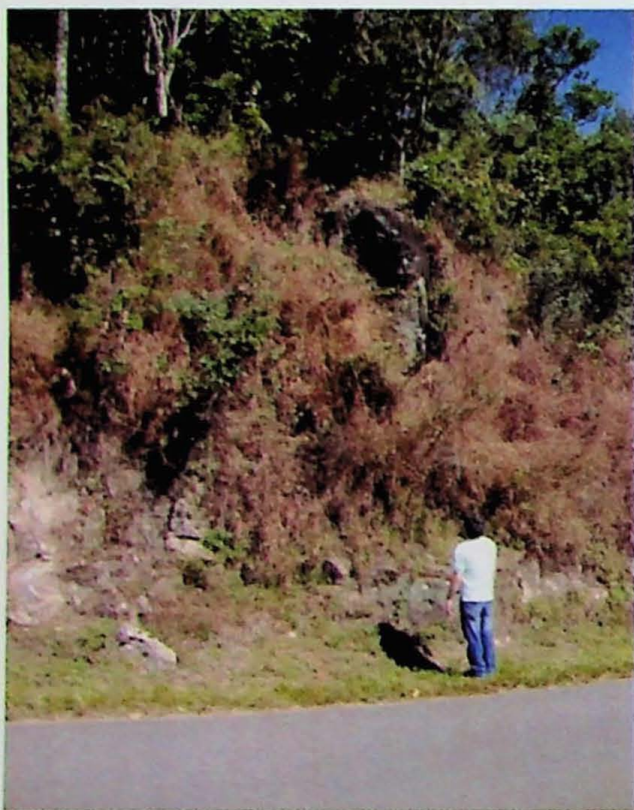


Fig. 3.2 – Bloco de dimensões métricas com possibilidade de instabilização



Fig. 3.3 – Bloco de aproximadamente 15 m³ com possibilidade de instabilização

FICHA 4**Ponto**

CNH-12-04

UTM

0516121/7438576

Descrição

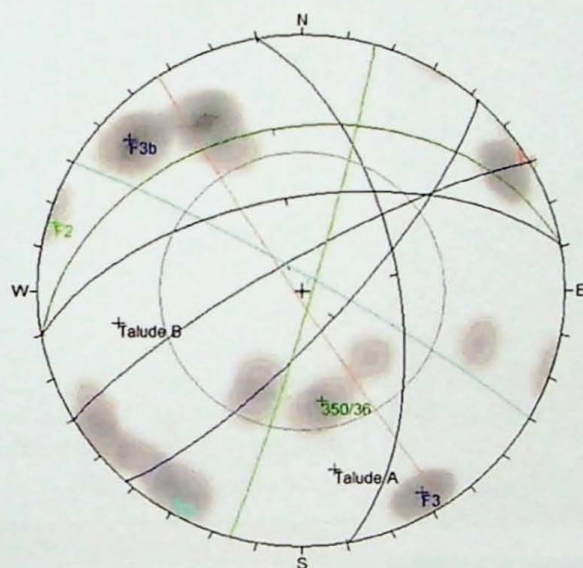
Talude de corte de aproximadamente 8 m de altura com duas feições distintas de escorregamento: (A) Escorregamento planar superficial em saprolito (direção aproximada N330) (Fig. 4.1); e (B) escorregamento planar em saprolito (direção aproximada N260). O talude é composto por uma cobertura de solo que varia de 0,5 a 1 m de espessura acima de horizonte de rocha de composição granítica muito alterada (saprolito). A faixa direita (sentido Cunha) da rodovia apresenta diversas fissuras no asfalto e *guard rail* curvo na região a frente do escorregamento II (Fig. 4.2 e 4.3).

Estruturas

Diversas fraturas ao longo do talude, porém não foi possível separá-las em famílias. No talude B foram observados três planos (025/70; 030/76; 030/85) que podem configurar os condicionantes da movimentação.

Medidas

060/80; 052/85; 330/80; 150/60;
330/82; 154/65; 150/70; 108/90;
287/60; 238/78; 024/40; 025/30;
042/78; 155/50; 315/30; 345/35;
355/40; 135/75; 132/70; 130/80

Estereograma

Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 11.6821%

Equal Area
Lower Hemisphere
23 Poles
23 Entries

Cone de atrito 45°
representado pela
linha cinza.

Continua



Fig. 4.1 –
Vista
geral do
talude A.

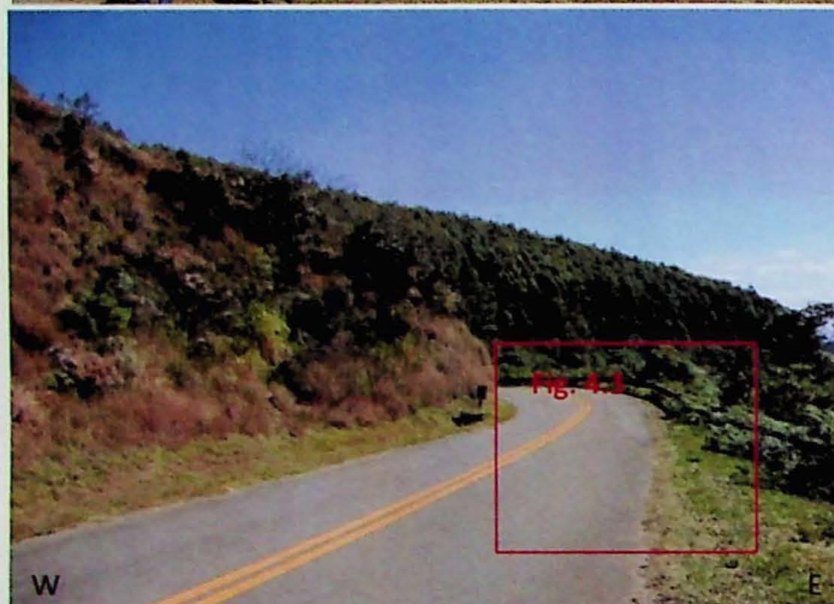


Fig. 4.2 – Estrada cedendo
em frente ao talude B.



Fig. 4.3 – Detalhe do asfalto
trincado e *guard rail* curvado.

FICHA 5**Ponto** CNH-12-05**UTM**

0515800/7438809

Descrição

Talude de corte (direção aproximada N110), com aproximadamente 3 m de altura (lado esquerdo da rodovia, sentido Cunha), com blocos caídos de dimensões decimétricas a métricas, e um bloco de aproximadamente 6 m³ (Fig. 5.1). É possível observar que a queda e tombamento dos blocos são condicionados por fraturas do granito. Na intersecção entre os planos de fraturas é possível observar a presença de esfoliação esferoidal dos blocos.

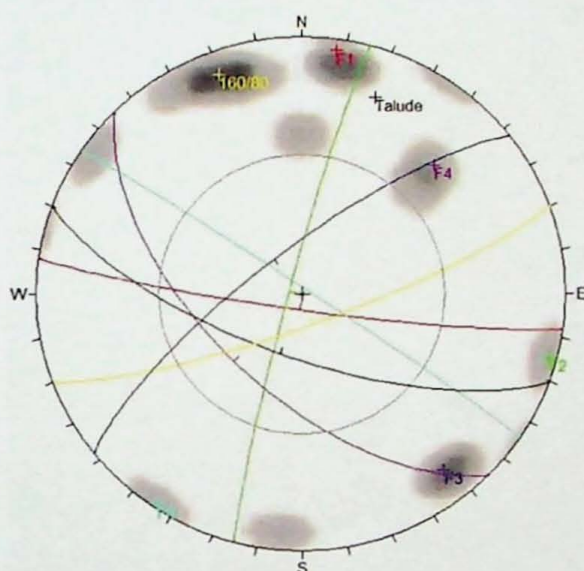
Estruturas

Conjunto de fraturas que configura a superfície de desprendimento do bloco caído.

Fraturas sem famílias definidas.

Medidas

125/85; 180/52; 225/60

190/80; 168/75; 320/80; 322/76;
160/76; 190/78; 034/88; 160/82;
226/50; 005/82; 285/86; 150/82**Estereograma**

Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 17.6270%

Equal Area
Lower Hemisphere
15 Poles
15 Entries

Cone de atrito 45°
representado pela
linha cinza.

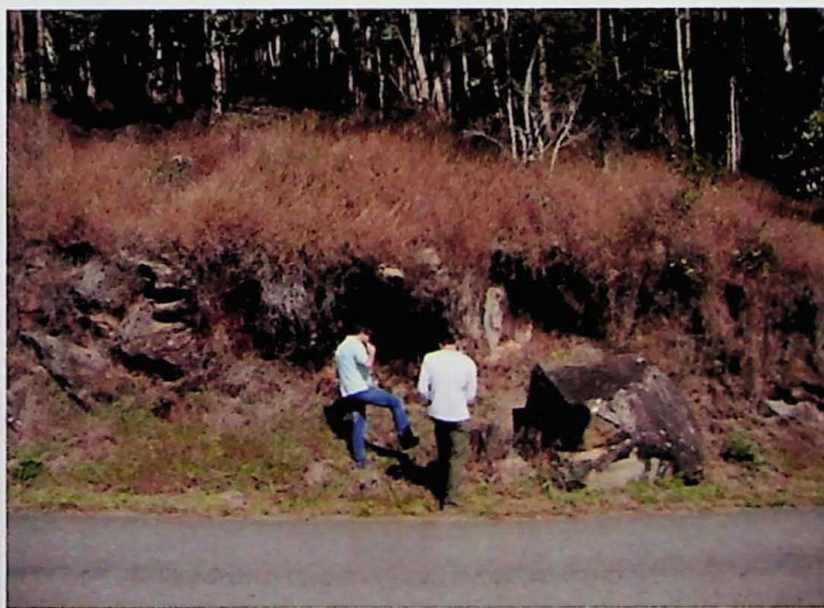
Documentação fotográfica

Fig. 5.1 – Bloco (cunha)
rolado do talude.

FICHA 6

Ponto CNH-12-06

UTM

0515610/7439077

Descrição

Talude de corte com feições de escorregamento planar em solo residual maduro/colúvio, lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha) com aproximadamente 15 m de altura. São observadas árvores tortas e um degrau no horizonte pedológico (orgânico + horizonte B incipiente) de 50 cm (Fig. 6.1). O talude possui direção aproximada N300. Não foram observados condicionantes estruturais.

Documentação fotográfica



Fig. 6.1 – Vista geral do talude. Detalhe para degrau no topo da ruptura (horizonte pedológico).

FICHA 7**Ponto**

CNH-12-07

UTM

0515112/7439321

Descrição

Talude de corte do lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha) com feição de escorregamento (Talude A) (Fig. 7.1). O talude possui aproximadamente 10 m de altura, 60° de inclinação e direção N279. Trata-se de escorregamento em solo residual jovem de granito com granulação média a grossa. O material escorregado apresenta sulcos e feições erosivas (Fig. 7.2). Aparentemente a superfície de ruptura apresenta condicionamento estrutural (fraturas da rocha).

Trinta metros a frente (UTM 0514980/7439251), ocorre talude de corte com blocos caídos e rolados de granito medianamente a muito alterado com intrusões pegmatíticas, fraturado (Talude B) (Fig. 7.3).

Estruturas

Três direções de fraturas que formam os condicionantes da ruptura, sendo uma delas subparalela a direção do talude com mergulho subvertical (Talude A).

Fraturas sem famílias definidas

Fraturas condicionantes das quedas de blocos.

Plano com indicação de transcorrência (*slikensides*), provável movimentação sinistral.

Plano de falha com estrias sub-horizontais, sem indicadores de movimento.

Medidas

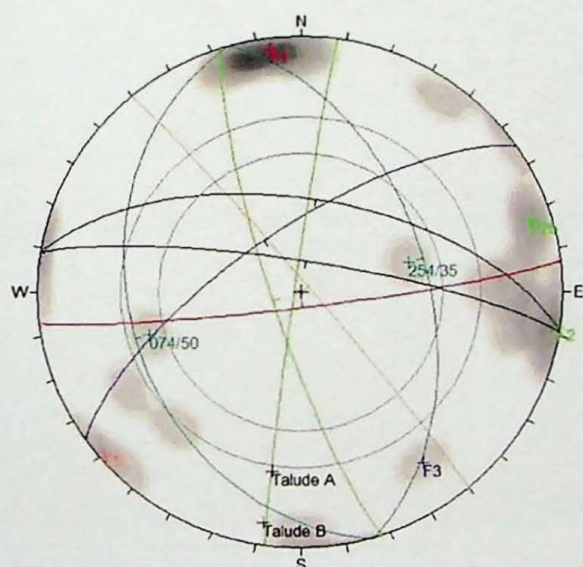
215/82; 325/70

280/70; 268/60; 172/82; 165/84; 162/80; 000/82; 060/65; 170/84; 250/82; 265/72

170/84 (plano de falha); 254/35; 074/50

144/78 – Plano
212/40; 218/42 – Estrias

180/80/ 180/85

Estereograma

Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 15.4377%

Equal Area
Lower Hemisphere
24 Poles
24 Entries

Cones de atrito 45° e
32° representados
pelas linhas cinza.

Continua

FICHA 7 (cont.)

Documentação fotográfica



Fig. 7.1 – Vista geral do talude A, com grande volume de material mobilizado.



Fig. 7.2 – Sulcos erosivos no material escorregado.



Fig. 7.3 – Vista geral do talude B.

FICHA 8**Ponto** CNH-12-08**UTM** 0514779/7439136**Descrição**

Talude de corte (marcas de detonação por explosivos) em biotita-gnaiss com titanita e diversas fases de intrusões graníticas e pegmatíticas, do lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha) (Fig. 8.1 e 8.2). Neste ponto é observada uma cachoeira (direção NE-SW), e o curso d'água corre por debaixo da estrada, através de canal construído (em parte revestido por concreto) em direção ao vale. A rocha encontra-se sã a pouco alterada.

Estruturas**Medidas**

Fraturas

184/80; 350/80

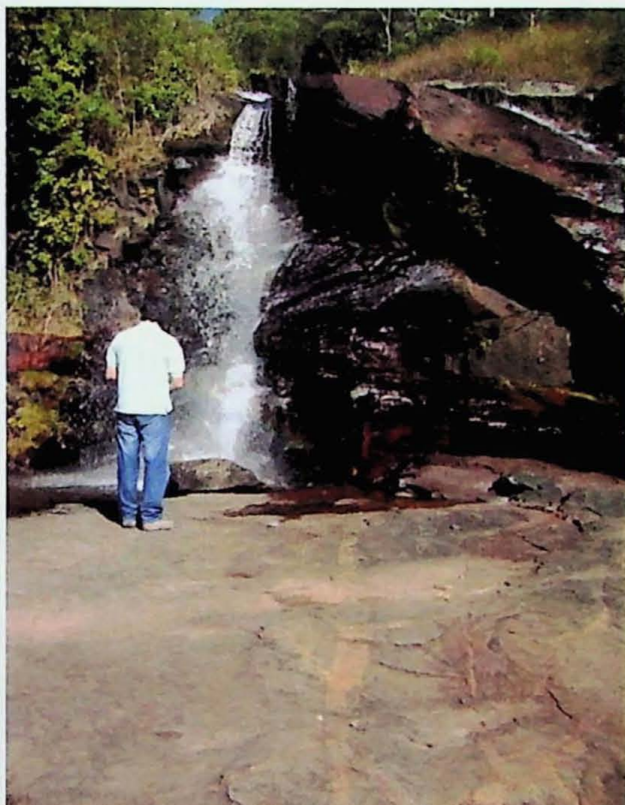
Documentação fotográfica

Fig. 8.1 – Vista geral do talude.



Fig. 8.2 – Detalhe das intrusões graníticas e pegmatíticas no gnaiss.

FICHA 9**Ponto** CNH-12-09**UTM**

0514519/7439360

Descrição

Neste ponto foram observados 3 taludes de corte do lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha). O primeiro (Fig. 9.1) com 4m de altura e 12m de largura, inclinação de 60°, com feição de escorregamento planar raso em solo areno siltoso, com aproximadamente 12m³ de material escorregado; o segundo (Fig. 9.2), de dimensões 8x25m e inclinação de 50°, apresenta revestimento de concreto projetado e drenos e nas bordas onde não há revestimento são observadas árvores tortas; o terceiro talude (mais a N), de dimensões 10x15m e 55° de inclinação está revestido com placas de grama.

Documentação fotográfica

Fig. 9.1 – Talude com feição de escorregamento planar raso em solo areno siltoso.



Fig. 9.2 – Talude tratado com concreto projetado e drenos. Possível observar árvores com troncos tortos na parte superior do talude.

FICHA 10**Ponto** CNH-12-10**UTM**

0514427/7439359

Descrição

Talude de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 4x8m e inclinação de 60° em saprolito de granito. No lado direito da rodovia, em direção ao rio, é observado talude de corte com proteção de enrocamento (Fig. 10.1).

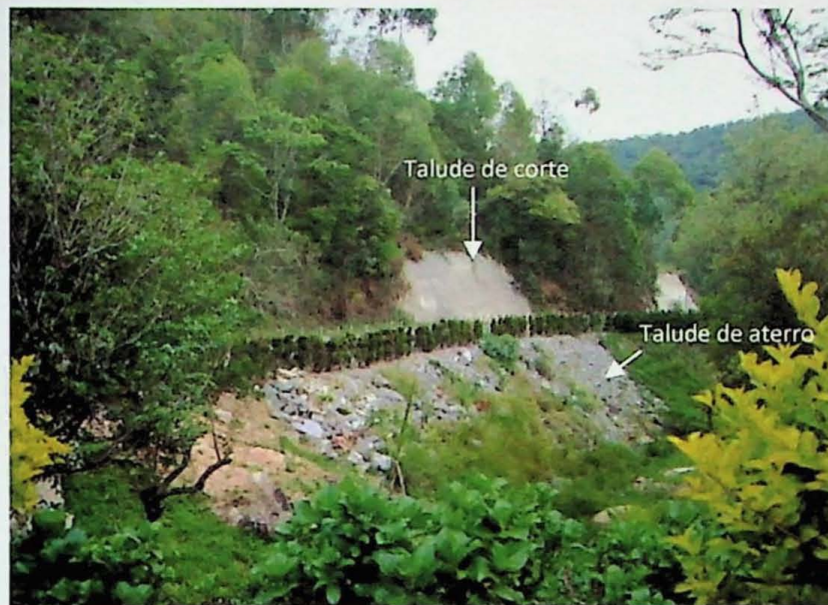
Documentação fotográfica

Fig. 10.1 – Talude de corte com tratamento de concreto projetado e talude de corte na margem do rio com proteção de enrocamento.

FICHA 11**Ponto** CNH-12-11**UTM**

0514364/7439517

Descrição

Talude de corte lado esquerdo (sentido Cunha), de direção N029, 60° de inclinação e dimensões 8x30m. O talude apresenta revestimento de concreto projetado e drenos. No lado oposto da rodovia, há um segundo talude (aterro da rodovia) com gabiões na base.

Documentação fotográfica

Fig. 11.1 – Talude de corte com tratamento de concreto projetado.

FICHA 12**Ponto** CNH-12-12**UTM**

0514125/7439571

Descrição

Talude de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 2,5x30m, inclinação de aproximadamente 70°, em solo residual jovem de rocha granítica, com estruturas de injeções pegmatíticas preservadas. A área foi aberta recentemente para servir de área de apoio para o projeto de reforma da rodovia. Acima do talude de corte, são observadas árvores tortas na encosta natural, indicando movimentações lentas do tipo rastejo (Fig. 12.1).

Documentação fotográfica

Fig. 12.1 – Talude de corte e árvore torta em encosta natural.

FICHA 13**Ponto** CNH-12-13**UTM**

0513876/7439653

Descrição

Talude de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 3x8m e inclinação de 60°. Feição de escorregamento planar raso em solo areno argiloso, amarelo avermelhado (Fig. 13.1). 30 m a frente ocorrem blocos métricos de granito em encosta natural. 15m a frente é observada feição de escorregamento planar raso em talude de corte (4x12m, inclinação 60°) (Fig. 13.2). O material mobilizado apresenta blocos de até 40cm de rocha granítica muito intemperizada em meio a solo arenoso (tálus).

Documentação fotográfica

Fig. 13.1 – Talude de corte em solo areno argiloso.



Fig. 13.2 – Talude de corte com material mobilizado (tálus).

FICHA 14**Ponto**

CNH-12-14

UTM

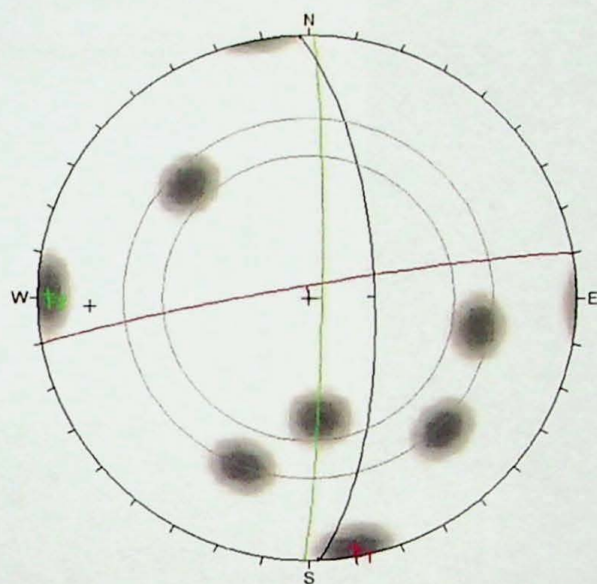
0513555/7439/649

Descrição

Talude de corte (088/70), com 2x8m (lado esquerdo da rodovia, sentido Cunha), com blocos de granito porfírico, com presença de solo argiloso amarelo claro. São observados pequenos escorregamentos de solo entre os blocos do granito (Fig. 14.1).

Estruturas

Fraturas sem famílias definidas

Medidas280/54; 134/52; 021/58; 355/38;
315/60; 091/86; 350/86**Estereograma**Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 14.2573%Equal Area
Lower Hemisphere
7 Poles
7 EntriesCone de atrito 45°
e 32° representado
pela linha cinza.**Documentação fotográfica**

Fig. 14.1 – Talude com escorregamentos de solo entre os blocos de granito.

FICHA 15**Ponto** CNH-12-15**UTM**

0513131/7439625

Descrição

Talude de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 4x10m, em solo amarelo avermelhado, com blocos de até 50cm de granito porfíritico com esfoliação esferoidal (Fig. 15.1). Acima do talude, em encosta natural, ocorrem blocos arredondados métricos de granito porfíritico em situação estável e cicatrizes de escorregamento.

Documentação fotográfica

Fig. 15.1 – Vista geral do talude.

FICHA 16

Ponto	CNH-12-16	UTM	0510394/744115
--------------	-----------	------------	----------------

Descrição

Talude de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 4x50m e direção aproximada EW, em solo residual jovem/saprolito de rocha quartzítica, com bandamento composicional (Fig. 16.1) e foliação milonítica (ultramilonito) (Fig. 16.2). São observadas também fitas de quartzo e planos verticalizados com presença de estrias.

Estruturas**Medidas**

Foliação milonítica

305/80; 116/58; 130/59; 100/60

Planos de falha com estrias

305/90 // 334/90

Documentação fotográfica

Fig. 16.1 – Aspecto geral do quartzito milonitizado.



Fig. 16.2 – Bandamento composicional no talude, com foliação milonítica paralela e bem marcada.

FICHA 17

Ponto	CNH-12-17	UTM	0509839/7441310
--------------	-----------	------------	-----------------

Descrição

Talude de corte no lado direito da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 5x8m, inclinação de 60° e direção aproximada N90, em saprolito de quartzito milonítico. A maior parte do talude encontra-se estável (Fig. 17.1), salvo a porção mais a norte, onde é observado escorregamento de material mais arenoso, de granulação mais grossa (Fig. 17.2).

Estruturas

Foliação milonítica

Medidas


136/86; 155/80; 175/77

Documentação fotográfica

Fig. 17.1 – Vista geral da parte estável do talude.



Fig. 17.2 – Feição de escorregamento raso em material arenoso, parte norte do talude.

FICHA 18			
Ponto	CNH-12-18	UTM	0507628/7441024
Descrição			
<p>Talude de corte estável no lado direito da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 5x20m, inclinação de 80° em colúvio de 1,5m sobre solo residual jovem. Pelas ranhuras na superfícies do talude, este deve ter sido escavado recentemente, possivelmente como parte da segunda fase da obra na rodovia (Fig. 18.1).</p>			
Documentação fotográfica			
			
<p>Fig. 18.1 – Vista geral do talude. A seta vermelha indica a linha de seixos</p>			

FICHA 19**Ponto**

CNH-12-19

UTM

0507280/7441983

Descrição

Talude de corte no lado direito da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 8x20m, em solo argiloso com blocos decimétricos a métricos de diabásio amigdaloidal (Fig. 19.1). Mais a frente é observado quartzito com foliação milonítica. Estima-se que, na estrada, o dique apresente 15m de espessura.

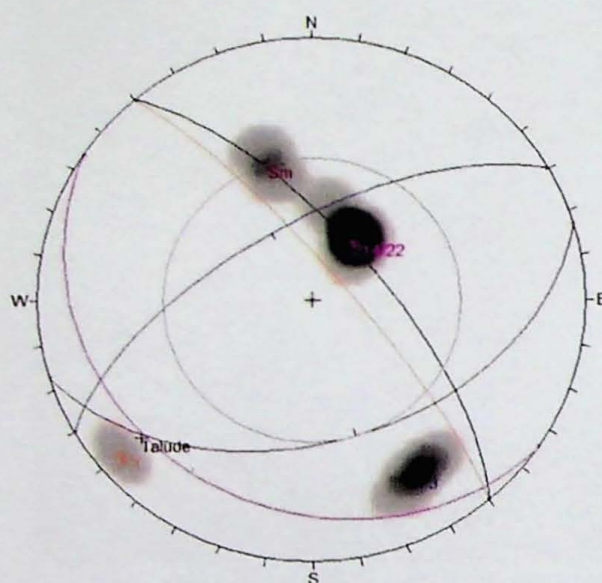
Estruturas**Medidas**

Fraturas sem famílias definidas

215/24; 220/18; 216/25; 212/24; 190/30; 330/64; 324/64;
336/70; 050/80

Foliação milonítica

165/40; 162/50

EstereogramaFisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 34.7403%

Equal Area
Lower Hemisphere
11 Poles
11 Entries

Cone de atrito 45°
representado pela
linha cinza.

Documentação fotográfica

Fig. 19.1 – Vista geral do talude.

FICHA 20**Ponto**

CNH-12-20

UTM

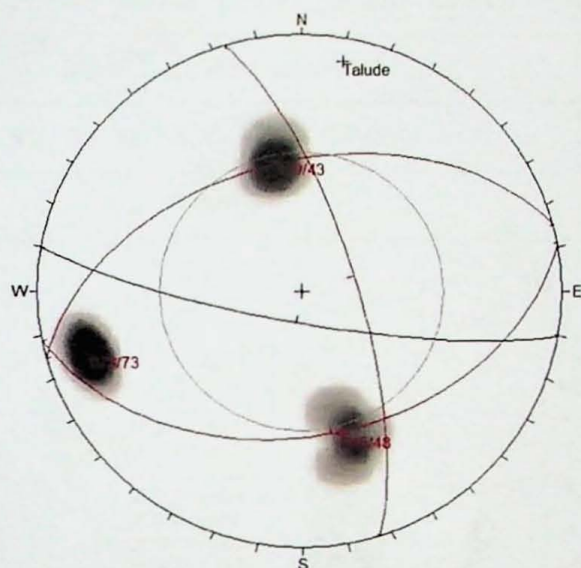
0506852/7442042

Descrição

Talude de corte no lado direito da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 8x15m e inclinação variável, em granito com feldspatos de até 1,5cm, estirados e arredondados. A rocha encontra-se pouco alterada e são observadas marcas de detonação por explosivos (Fig. 20.1).

Estruturas

Fraturas sem famílias definidas

Medidas074/72; 075/76; 070/72; 345/40; 346/58;
338/50; 165/40; 170/40; 170/50**Estereograma**Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 32.1637%Equal Area
Lower Hemisphere
9 Poles
9 EntriesCone de atrito 45°
representado pela
linha cinza.**Documentação fotográfica**

Fig. 20.1 – Vista geral do talude em rocha, com cobertura de solo no topo de aproximadamente 2m.

FICHA 21

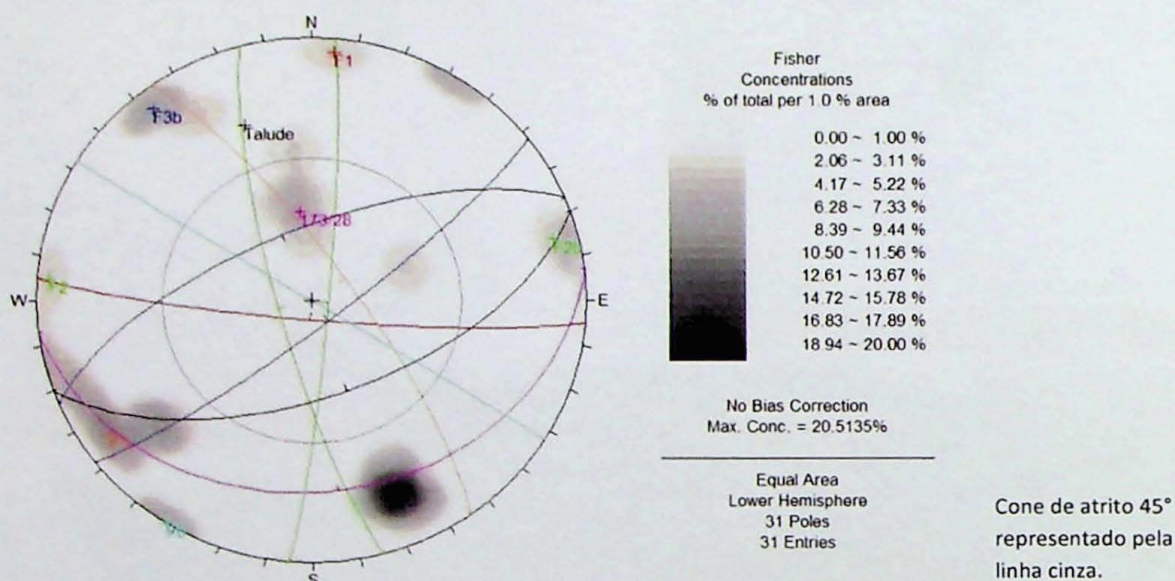
Ponto	CNH-12-21	UTM	0506737/7442142
-------	-----------	-----	-----------------

Descrição

Ponto composto por um talude de corte no lado direito da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 10x30m, inclinação de 60°, direção aproximada N70 e revestimento de concreto. Este talude apresenta feições geométricas que podem ser da rocha (Fig. 21.1). Seguindo na direção norte é observado afloramento de rocha gnáissica pouco alterada, com foliação milonítica e fraturas.

Estruturas	Medidas
Possíveis fraturas em talude tratado (planos indicados na fig. 21.1)	I- 212/90, 260/88; II- 142/82, 185/84; III- 150/70; IV- 177/32, 250/30; V- 095/85; VI- 156/60, 160/60
Fraturas abertas, planas, rugosas, persistência 1m e espaçamento 1cm	335/75; 335/78; 338/66; 341/68; 336/60; 337/59
Fraturas abertas, planas, rugosas, persistência 10cm e espaçamento 40cm	174/48; 165/32; 176/20
Fraturas abertas, planas, lisas, persistência 20cm e espaçamento 30cm	052/77; 050/64; 047/58; 050/78
Fraturas abertas, planas, rugosas, persistência métrica e espaçamento >1m	255/80

Estereograma



Documentação fotográfica



Fig. 21.1 – Talude de corte com revestimento de concreto e sistema de drenagem profunda. As indicações são dos planos medidos em campo, conforme referência na tabela de estruturas.

FICHA 22**Ponto**

CNH-12-22

UTM

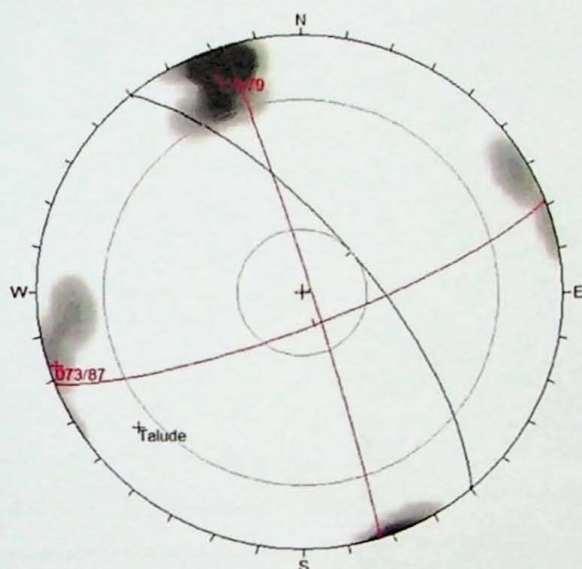
0506058/7443496

Descrição

Talude de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 3x20m, direção aproximada N320 e inclinação 70° em gnaiss muito alterado. Seguindo na estrada a partir do ponto de coordenada 0505997/7443570 aparece solo residual jovem de xisto com coloração avermelhada, composto principalmente por muscovita e argilominerais, com pequena porcentagem de quartzo de granulação muito fina. O talude encontra-se estável (Fig. 22.1)

Estruturas

Foliação milonítica

Medidas156/90; 075/88; 162/86; 162/80;
152/68; 240/84; 085/76; 162/81**Estereograma**Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 37.7015%Equal Area
Lower Hemisphere
9 Poles
9 EntriesCone de atrito 26° e
70° representados
pelas linhas cinzas.**Documentação fotográfica**

Fig. 22.1 – Vista geral do talude estável.

FICHA 23

Ponto	CNH-12-23	UTM	0505421/7443829
--------------	-----------	------------	-----------------

Descrição

Talude de corte estável (Fig. 23.1) em ambos lados da rodovia, com dimensões de 5x15m e inclinação 63° em solo residual jovem (silto arenoso) de gnaiss. Seguindo na estrada a partir do ponto de coordenada 0505997/7443570 aparece solo residual jovem de xisto com coloração avermelhada, composto principalmente por muscovita e argilominerais, com pequena porcentagem de quartzo de granulação muito fina.

Estruturas**Medidas**

Foliação milonítica

250/87

Fraturas sem famílias definidas

080/86; 236/80

Documentação fotográfica

Fig. 23.1 – Vista geral do talude estável.

FICHA 24

Ponto	CNH-12-24	UTM	0505308/7443922
--------------	-----------	------------	-----------------

Descrição

Talude de corte de direção N100 em solo residual jovem de xisto, silto argiloso, com feição de escorregamento planar raso. O material mobilizado apresenta feições erosivas evoluídas (sulcos e ravinas) (Fig. 24.1).

Estruturas

Foliação milonítica

Medidas

174/90; 048/52

Documentação fotográfica

Fig. 24.1 – Vista geral do talude, com indicação de feições erosivas no material escorregado.

FICHA 25

Ponto	CNH-12-25	UTM	0505140/7444169
--------------	-----------	------------	-----------------

Descrição

Talude de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 4x15m e direção N072, em solo residual maduro, com feição de escorregamento planar raso (Fig. 25.1). No topo do talude foram observados degraus no horizonte pedológico.

Documentação fotográfica

Fig. 25.1 – Vista geral do talude, com indicação do material mobilizado.

FICHA 26**Ponto** CNH-12-26**UTM**

0504965/744210

Descrição

Talude de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 6x30m e direção N210, em solo residual maduro areno siltoso, sem estruturas. Parece ter sido escavado recentemente (Fig. 26.1).

Documentação fotográfica

Fig. 26.1 – Vista geral do talude estável escavado recentemente.

FICHA 27**Ponto** CNH-12-27**UTM**

0504965/7444210

Descrição

Ponto composto por três taludes de corte do lado direito sendo, de sul para norte: I – 10x15m, direção N150 e inclinação 60°; II – 6x20m, direção N140 e inclinação 60° (Fig. 27.1); III – 10x50m, direção N325 e inclinação 60°, com presença de possíveis estruturas da rocha. Entre os taludes I e II é observado afloramento de rocha quartzítica (N340) com foliação milonítica (ultramilonito) e intercalações de pacotes pelíticos.

Estruturas

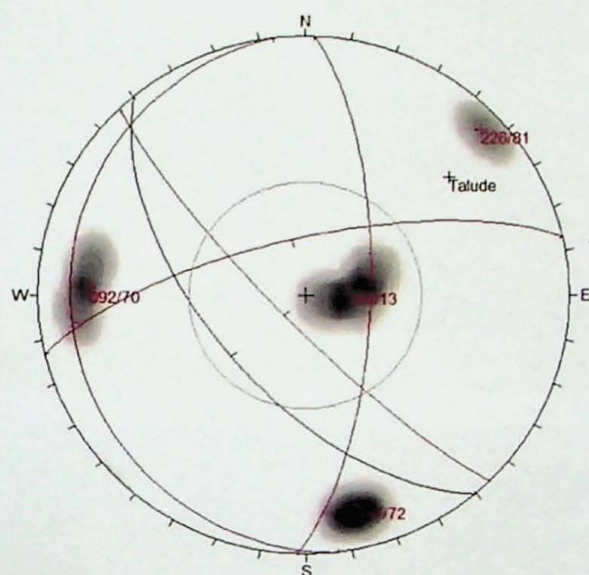
Possíveis fraturas em talude tratado

Medidas

227/82; 250/22

Fraturas

347/72; 348/78; 276/16; 285/06; 098/70/ 86/74

Estereograma

Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 24.0437%

Equal Area
Lower Hemisphere
8 Poles
8 Entries

Cone de atrito 45°
representado pela
linha cinza.

Documentação fotográfica

Fig. 27.1 – Talude de corte (II) com revestimento de concreto e sistema de drenagem profunda. Possíveis estruturas da rocha são indicadas.

FICHA 28**Ponto** CNH-12-28**UTM**

0508631/7441300

Descrição

Talude de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha), com dimensões de 5x30m e direção N050, em depósito de tálus, com blocos de até 50cm. Foram utilizados gabiões no pé do talude (Fig. 28.1).

Documentação fotográfica

Fig. 28.1 – Terminação direita do talude, onde é possível visualizar o material do corte e o tratamento dado ao talude.

FICHA 29

Ponto CNH-12-29

UTM

0504310/7446033

Descrição

Dois taludes de corte no lado esquerdo da rodovia (sentido Cunha). O primeiro, estável, com dimensões 6x30m e direção N134, em xisto de granulação fina, intercalando bandas mais grossas e mais ricas em quartzo; são observados bolsões pegmatóides (Fig. 29.1). O segundo, de dimensões 7x75m com gabiões na base. Do lado oposto da rodovia, em direção ao vale, há um talude de aterro tratado com grama e canaletas (Fig. 29.2).

Documentação fotográfica



Fig. 29.1 – Vista geral do talude estável.



Fig. 29.2 – Vista geral dos taludes tratados, com indicação da medida estrutural adotada.

FICHA 30

Ponto CNH-12-30

UTM

0503886/7447240

Descrição

Talude de corte e aterro no lado direito da rodovia (sentido Cunha), composto por 4 bancadas de aproximadamente 4 metros cada, e bermas de 2m de largura (Fig. 30.1). O primeiro talude, abaixo da rodovia, foi tratado com concreto projetado e drenos. Os demais foram revestidos com grama e foram instaladas canaletas no topo das bermas.

No lado esquerdo foi observado talude de corte com dimensões 6x10m com feição de escorregamento planar raso e sulcos e ravinas no material escorregado (Fig. 30.2).

Documentação fotográfica



Fig. 30.1 – Talude com concreto projetado, drenagem profunda e superficial, proteção vegetal e retaludamento.

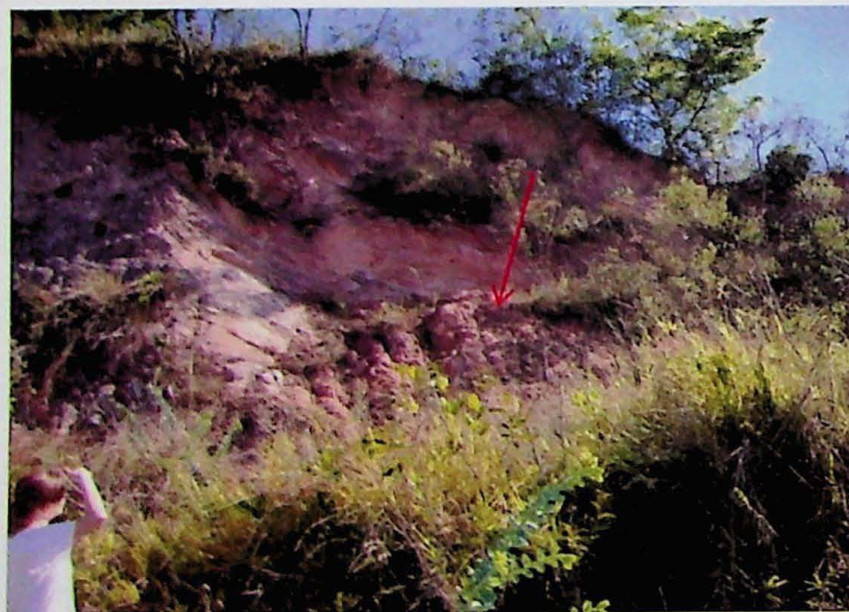


Fig. 30.2 – Vista geral do talude instabilizado, com indicação do material escorregado.

FICHA 31**Ponto**

CNH-12-31

UTM

0503584/7447556

Descrição

Talude de corte lado esquerdo de dimensões 6x15m e direção N015 em solo residual maduro com feição de escorregamento raso (Fig. 31.1). O material mobilizado apresenta evolução de processos erosivos, com presença de sulcos e ravinas.

Documentação fotográfica

Fig. 31.1 – Vista geral do talude.

FICHA 32

Ponto	CNH-12-32	UTM	0503511/7448373
--------------	-----------	------------	-----------------

Descrição

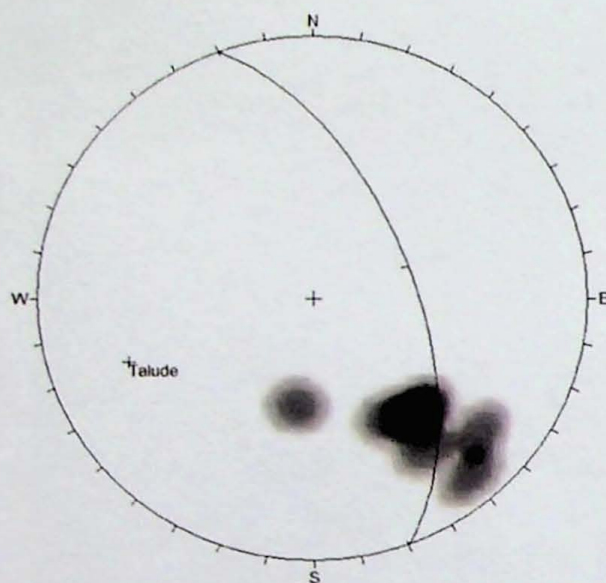
Talude de corte do lado direito de dimensões 10x40m, direção N340 e 60° de inclinação em solo residual jovem de biotita gnaiss migmatítico. O talude possui forma convexa e apresenta duas feições de escorregamento raso nas suas laterais (Fig. 32.1 e 32.2). 30m a norte (32B - 0503445/7448470) é observado outro talude de corte de dimensões 10x60m, também em solo residual jovem de granito, porém totalmente instabilizado. É possível observar grande volume de material mobilizado no pé do talude (Fig. 32.3), com erosão em estágio inicial e grande quantidade de vegetação (árvores de pequeno porte e vegetação rasteira).

Estruturas

Foliação

Medidas

008/34; 310/68; 330/44; 320/78; 325/60; 315/48; 320/48

Estereograma

Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 1.00 %
2.06 ~ 3.11 %
4.17 ~ 5.22 %
6.28 ~ 7.33 %
8.39 ~ 9.44 %
10.50 ~ 11.56 %
12.61 ~ 13.67 %
14.72 ~ 15.78 %
16.83 ~ 17.89 %
18.94 ~ 20.00 %

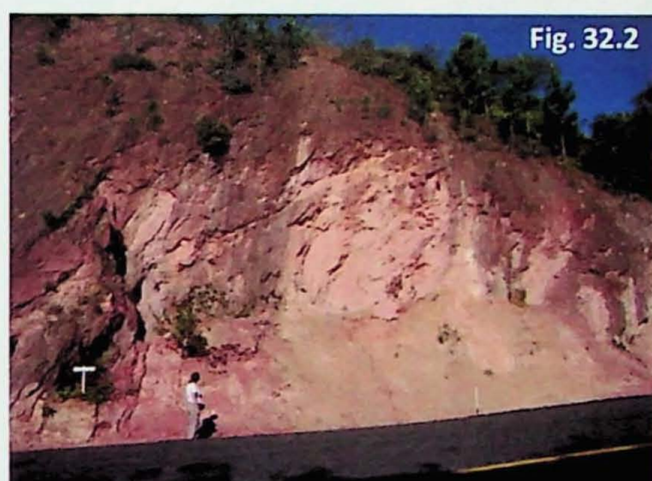
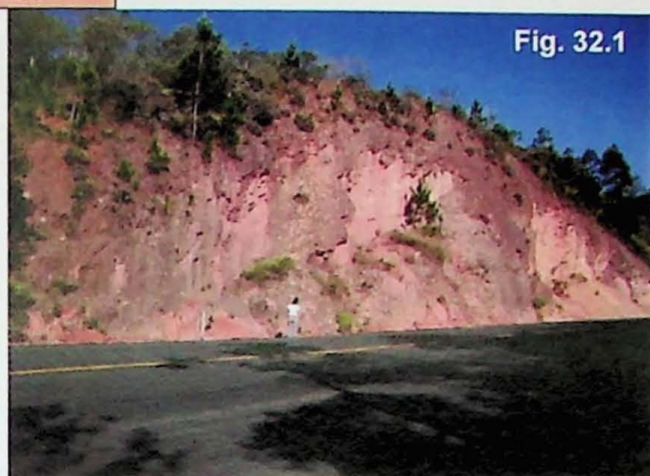
No Bias Correction
Max. Conc. = 36.4861%

Equal Area
Lower Hemisphere
7 Poles
7 Entries

Continua

FICHA 32 (cont.)

Documentação fotográfica



FICHA 33**Ponto**

CNH-12-33

UTM

0501810/7450255

Descrição

Talude de corte do lado direito de dimensões 25x20m, direção N260 e 60° de inclinação em saprolito de biotita gnaiss. A parte central do talude apresenta um volume de material mobilizado que não foi retirado durante a execução das obras de reconstrução e revitalização da rodovia, já que o novo asfalto contorna o material. São observados sulcos erosivos na superfície do talude (Fig. 33.1).

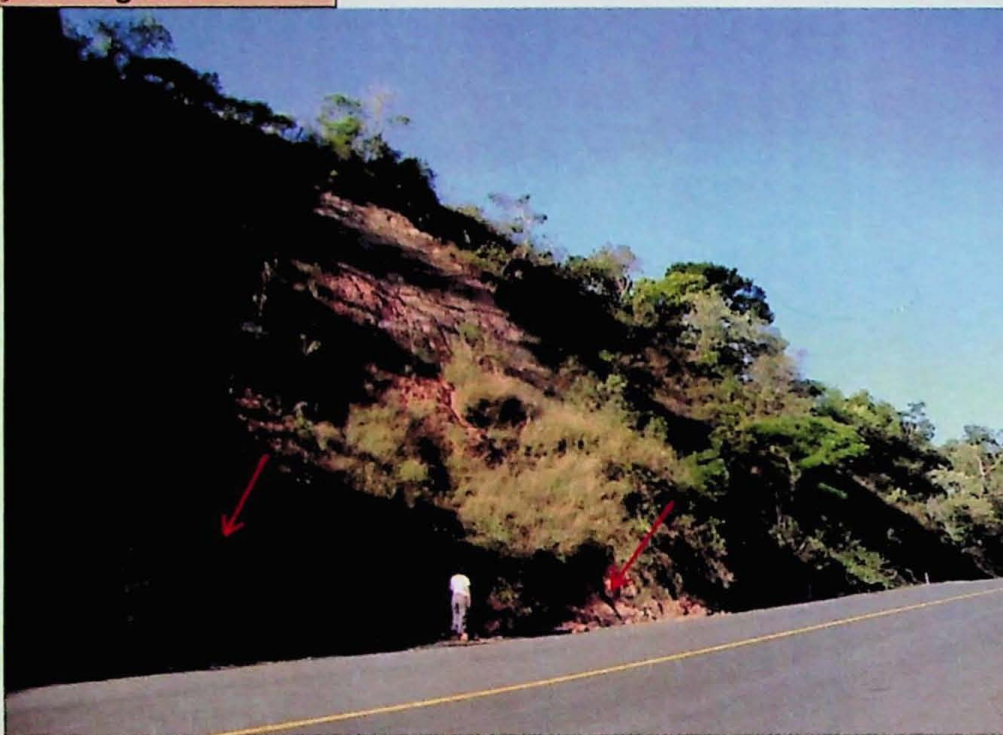
Documentação fotográfica

Fig. 33.1 – Vista geral do talude com indicação de feições erosivas em sua superfície.

DOAÇÃO

IGC-USP

Data: 18/03/2013

