

# **Sistema de Gerência Geológico-Geotécnico de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ – 3ª Fase**

Maurício Ehrlich (me@coc.ufrj.br)

Rafael Cerqueira Silva (rafael@enggeotech.com.br)

Luiz André Pinheiro Guedes de Uzeda (luizandre@crt.com.br)

Rene de Broux Marchesini (rene@crt.com.br)

Marcos Faistauer Mendes (marcos.mendes@crt.com.br)

**RESUMO:** Apresenta-se o sistema gerencial de informações que foi desenvolvido para gestão de intervenções em encostas e taludes, Sistema de Gerência Geológico-Geotécnica de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ (SGGR116). Trata-se de uma solução projetada nos moldes de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), em que os dados geológico-geotécnicos são organizados e armazenados no SGGR116. O sistema é continuamente alimentado e acessado por meio de uma plataforma web, que possibilita a consulta de dados espaço-temporais, podendo-se observar as respostas dos agentes predisponentes (geomorfologia, geologia, geotecnia...) frente aos agentes efetivos (chuvas, variações do lençol freático e ações antrópicas) no decorrer do tempo. A ferramenta WebGIS auxilia no controle e gerenciamento do conjunto de dados, na elaboração de mapeamentos e na compreensão dos processos geomecânicos que controlam os comportamentos das encostas e taludes através de cenários obtidos por análises espaço-temporais. Os resultados orientam as análises de susceptibilidade e as tomadas de decisão, que visam à minimização de riscos associados a movimentos de massa, redução de custos e estabelecimento de padrões adequados de segurança.

**PALAVRAS-CHAVE:** Banco de Dados, WebGIS, Taludes, Encostas, Mapeamento.

## **1. Introdução**

A Concessionária Rio-Teresópolis S.A. (CRT) ao longo dos anos acumulou uma gama considerável de informações geológico-geotécnicas, que necessitavam de um arquivamento estruturado em um ambiente informatizado, visando melhor fundamentar tomadas de decisão relativas a movimentos de massa. Assim, concebeu-se a ideia Sistema de Gerência Geológico-Geotécnica de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ (SGGR116). A ferramenta projetada nos moldes de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é alimentada e acessada por meio de uma plataforma web, cujas consultas são realizadas na plataforma do Google Earth (WebGIS). O sistema SGGR116 foi idealizado por Ehrlich e Silva (2013a) e a programação desenvolvida pela JConcept Open Solutions.

Taludes que margeiam as rodovias representam um valioso patrimônio para o País, que exigem manutenções e obras de estabilização para a garantia da integridade do corpo estradal e a segurança do tráfego. Uma intervenção em momento adequado pode exigir, por exemplo, a execução apenas de sistemas de drenagem, com custos relativamente baixos. Entretanto, se a intervenção for efetuada tardiamente, ou somente após o colapso do talude, o processo, além dos riscos inerentes à vida humana, representa perda de patrimônio. Taludes com condições precárias de estabilidade exigem serviços com custos de intervenção, bastante superiores aos do primeiro caso.

São diversas as tipologias dos mecanismos de ruptura, cujas intervenções dependem da compreensão dos processos geomecânicos específicos que controlam o comportamento de

cada encosta. Com base nesses estudos podem ser estabelecidos modelos geológico-geotécnicos essenciais para elaboração de análises de estabilidade e tomadas de decisão quanto a necessidade de intervenção.

## **2. Histórico**

Durante a Fase 1 do SGGR116 o sistema foi alimentado com dados referentes aos maciços terrosos e rochosos interceptados pela rodovia. Basicamente, a base de dados é composta por levantamentos topográficos, resultados de sondagens, ensaios, monitorações, registros de deslizamentos, filmagens e fotografias aéreas e terrestres. Tais informações devidamente armazenadas no SGGR116 contribuíram com o aumento do conhecimento dos maciços da rodovia, dando origem à segmentação geológico-geotécnica das encostas e taludes situados nas áreas de influência direta e indireta da rodovia. A segmentação foi baseada no conceito de similaridade geomorfológica, geológica e comportamental em termos de mecanismos de instabilização, conforme descrito por Ehrlich e Silva (2013b). Um conjunto de encostas que apresentam comportamento e características semelhantes é agrupado em um segmento homogêneo. Isso auxilia no gerenciamento de riscos de deslizamentos, pois se pode aplicar o modelo geológico-geotécnico de uma encosta em outra situada dentro do mesmo segmento. Da mesma forma, pode-se prever o comportamento de uma encosta através de um escorregamento pretérito ocorrido em outra e evitar que equívocos se repitam. Com base nas características de cada segmento geotécnico foi definido o zoneamento geológico-geotécnico.

O uso do SGGR116 facilitou o entendimento fenomenológico dos mecanismos de ruptura que ocorrem nos taludes e encostas nas áreas de influência da rodovia e, como resultado, motivou a realização de atividades de mapeamento dos maciços interceptados pela rodovia, dando origem à Fase 2 do projeto de RDT. Na Fase 2 do projeto de RDT, além do aperfeiçoamento do SGGR116, foram elaboradas Mapas Temáticas de 32 Segmentos Geológico-Geotécnicos da rodovia definidos na Fase 1: (i) Mapa Topográfico, com curvas de nível com equidistância máxima de 10m; (ii) Mapa de Declividade; (iii) Mapa Geológico-Geotécnico; (iv) Mapa Hidrogeológico; (v) Mapa de Deslizamentos Pretéritos; (vi) Mapa de Uso e Cobertura do Solo; e (vii) Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.

## **3. Mapeamento**

O mapeamento dos Segmentos Geológico-Geotécnicos foi limitado às Áreas de Influência Direta (AID) e Indireta (AII). As AID são aquelas cuja movimentação de massa pode afetar ou atingir o corpo estradal. As AII são aquelas que estão inseridas dentro da área do segmento geológico-geotécnico, que mesmo a montante ou jusante da rodovia não mobilizarão deslizamentos na sua direção, mas contribuem com o processo (por exemplo, áreas com potencial de infiltração de água). O conceito de AID é muito importante para que a concentração de esforços de mapeamentos seja realizada nos maciços que de fato comprometam a segurança dos usuários e a integridade da rodovia. Os conceitos de AID e AII, pela restrição do mapeamento somente às áreas de influência, têm como alvo principal viabilizar que as rodovias e ferrovias confeccionem seus próprios mapas para gerenciar de forma mais eficaz os riscos geotécnicos.

### **3.1. Mapas Topográficos**

Os Mapas Topográficos foram elaborados a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido através de processamento fotogramétrico analítico, que integra o Projeto RJ-25, escala 1:25.000 (IBGE/DGC/CCAR), disponível *on line*. A resolução do modelo permitiu a geração de curvas de nível equidistantes de 10m. As imagens aéreas apresentam resolução espacial de

1m x 1m, enquanto os MDEs de 20m x 20m. Na Figura 1 apresenta-se o mapa topográfico do segmento geológico-geotécnico Dedo de Deus.

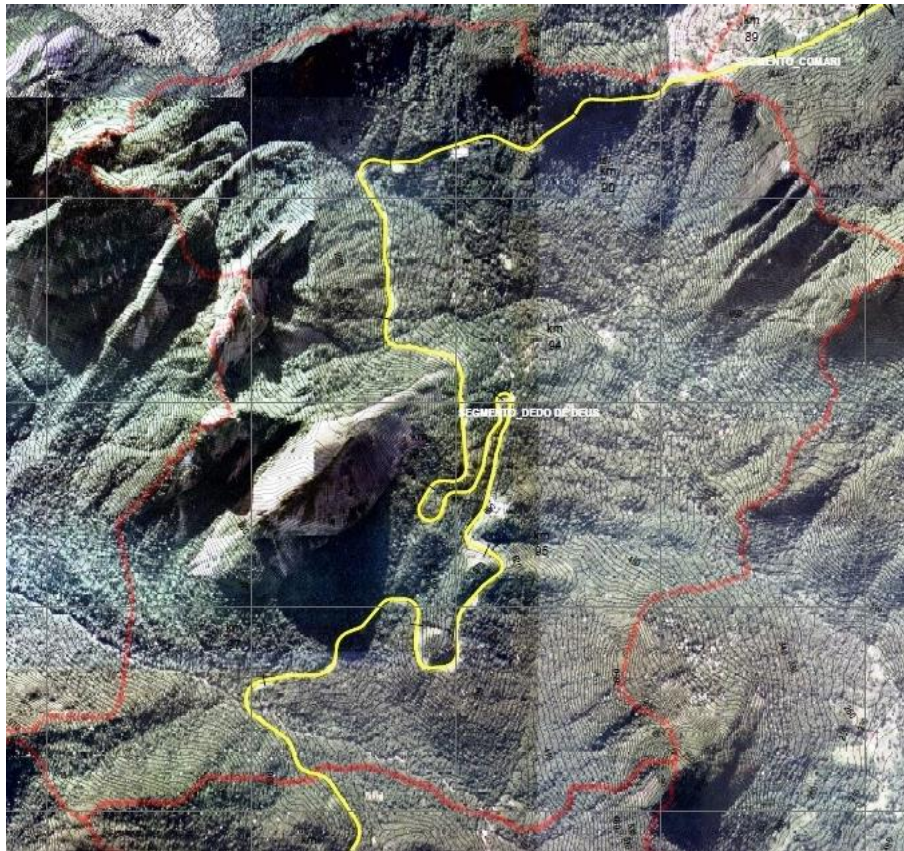


Figura 1 - Mapa Topográfico sobre a base das imagens aéreas (segmento Dedo de Deus).

### 3.2. Mapas de Declividades

A carta de declividade de cada segmento geológico-geotécnico foi elaborada com base na metodologia descrita por Coelho Netto *et al.* (2013). Nessa metodologia as declividades foram agrupadas em quatro classes ( $0^{\circ} - 10^{\circ}$ ,  $10^{\circ} - 20^{\circ}$ ,  $20^{\circ} - 35^{\circ}$ , e  $> 35^{\circ}$ ), levando em conta os tipos de deslizamentos considerados. As áreas com declividade inferior a  $10^{\circ}$  foram assumidas como sendo favoráveis a deposição e, de modo geral, estáveis; porém, quando associadas com os depósitos coluviais, estas áreas de baixa declividade foram consideradas como favoráveis ao movimento lento de rastejo como sugerido por Lacerda (1997). Este autor, assim como Lacerda e Avelar (2004) também indicam certa criticidade das encostas em torno de  $17^{\circ}$  de declividade, particularmente associada com a geometria côncava das encostas. A convergência e concentração de fluxos superficiais e subsuperficiais para estes fundos de vales favorece o movimento lento do tipo rastejo (creep), e ou detonação de rápidos fluxos detriticos (*debris flows*) com o prolongamento das chuvas (Avelar, 2003). A classe entre  $20^{\circ}$  e  $35^{\circ}$  apenas intermediou o destaque maior para as áreas com declives superiores a  $35^{\circ}$  que se aproximam do ângulo crítico de ruptura ( $38^{\circ}$ ) dos materiais de encostas no sudeste e sul do Brasil.

Com base nesse conceito as classes foram divididas da seguinte forma:  $0^{\circ} - 10^{\circ}$ ;  $10^{\circ} - 20^{\circ}$ ;  $20^{\circ} - 27^{\circ}$ ;  $27^{\circ} - 33^{\circ}$ ;  $33^{\circ} - 40^{\circ}$ ;  $40^{\circ} - 50^{\circ}$ ;  $50^{\circ} - 65^{\circ}$ ;  $65^{\circ} - 75^{\circ}$ ; e  $> 75^{\circ}$ . Raciocinando sobre as diferentes morfologias das encostas e mecanismos de ruptura mobilizados ao longo das margens da rodovia entendeu-se que uma subdivisão das classes recomendadas por Coelho Netto *et al.* (2013) seria mais adequada para elaboração das análises de susceptibilidade de

deslizamentos. Na Figura 2 apresenta-se o mapa de declividades do segmento geológico-geotécnico Dedo de Deus.

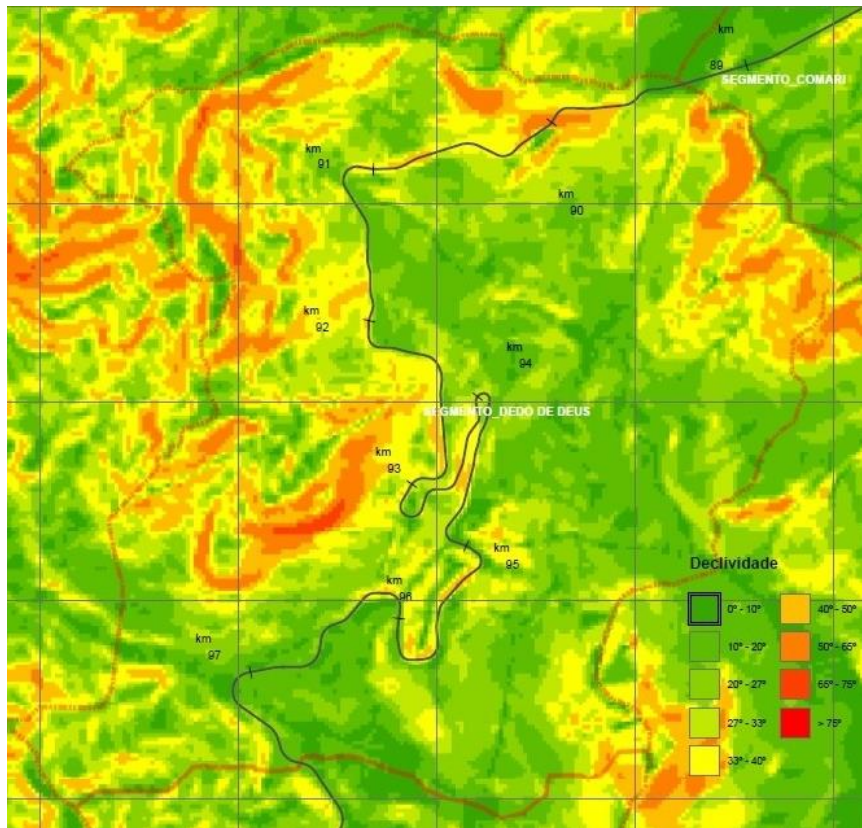


Figura 2 - Mapa de Declividade do segmento Dedo de Deus.

### 3.3. Mapas de Uso e Cobertura do Solo

Os Mapas de Uso e Cobertura do Solo foram elaborados a partir de vetorização das Imagens Aéreas do Projeto RJ-25. Buscou-se definir as classes relevantes de vegetação que possam afetar a estabilidade das encostas: mata, vegetação rasteira e arbustiva, pastagem e plantio. Ainda foram incluídas no mapa, as seguintes categorias: afloramento rochoso, edificações, erosão e solo exposto. Esta simplificação das classes identificadas nas imagens aéreas proporcionou um maior destaque das categorias que influenciam nos mecanismos de Instabilização dos maciços.

### 3.4. Mapas de Deslizamentos Pretéritos

A preparação de um mapa de suscetibilidade a movimentos de massa é normalmente baseada em duas premissas: (i) que o passado é um guia para o futuro, de modo que existe a probabilidade de ocorrer escorregamentos no futuro em áreas que passaram por escorregamentos no passado; e (ii) em áreas com topografia, geologia ou geomorfologia similares a áreas onde ocorreram escorregamentos no passado também existe a probabilidade de ocorrer escorregamentos no futuro. Estas premissas são frequentemente generalizáveis, mas certamente existem exceções quando, por exemplo, a origem de escorregamentos é consumida por escorregamentos anteriores.

Com base no cadastro de eventos de escorregamentos ao longo da rodovia foram montadas as Cartas de Deslizamentos Pretéritos. Trata-se de mapas de inventário de escorregamentos. Com a materialização da cicatriz de ruptura nas imagens aéreas contendo as curvas de nível

foi possível definir as áreas adjacentes de influência. Essas áreas adjacentes de influência são aquelas regiões situadas na lateral (ou laterais), acima, ou abaixo, que apresentam características geomorfológicas “similares” àquelas da região onde houve a ruptura, ou seja, que apresentam uma propensão de também ocorrer o mesmo tipo de deslizamento.

### **3.5. Mapas Hidrogeológicos**

Foram mapeadas as ocorrências que tem interferência direta com a estabilidade das encostas, tais como surgência de água, surgência com bombeamento e lençol freático raso. De maneira geral, essas ocorrências foram visualizadas nas bases das encostas, nas cristas dos taludes de jusante e nos pavimentos. A montante da plataforma rodoviária foram registradas as áreas com morfologia de bacias com potencial de infiltração de água. Projetou-se, a partir do contorno das bacias e das áreas de infiltração, a provável zona de percolação de água subterrânea em direção à rodovia. O mesmo procedimento também foi realizado no caso de represas situadas a montante da rodovia. Também foram registradas as áreas de brejo situadas nas adjacências dos corpos de aterro. As erosões fluviais que ocorrem em taludes de jusante também foram mapeadas. Os talvegues de encosta com declividade e carga hidráulica elevadas com capacidade de afetar o corpo estradal também foram mapeados. Além de contribuir com a elaboração dos mapas de suscetibilidade, o mapeamento dessas áreas também objetivou orientar melhores intervenções de drenagem subterrânea, que venham reduzir poro-pressões indesejáveis à estabilidade das encostas e proteger os taludes de jusante contra processos erosivos de origem fluvial.

### **3.6. Mapas Geológico-Geotécnicos**

As unidades geológico-geotécnicas foram delimitadas na base espacial, contendo imagens com topografia, sendo identificadas através dos dados existentes (sondagens e resultados de ensaios e monitorações), das inspeções *in situ* com uso de GPS e das análises das filmagens e fotografias aéreas. Para facilitar identificação da unidade geológico-geotécnica foi mantido o eixo com os marcos quilométricos nos mapas (Figura 3). A delimitação das unidades geológico-geotécnicas foi complementada e validada através de inspeções *in situ* auxiliadas por imagens (vídeos e fotos) terrestres e aéreas.

### **3.7. Mapas de Suscetibilidade a Movimentos de Massa**

O resultado final do mapeamento de suscetibilidade dependeu das verificações dos resultados das análises através de inspeções de campo norteadas pelos Mapas Preliminares de Suscetibilidade (atividades de calibração). Os mapas preliminares de suscetibilidade foram sendo ajustados com base nas inspeções de campo e nas avaliações das imagens aéreas (filmagens e fotografias). À medida que os ajustes eram realizados, os mapas sofriam alterações e os resultados eram novamente avaliados até se obter uma resposta mais consistente com as observações de campo, históricos de deslizamentos e monitorações anuais das condições das encostas.

Nas análises com uso de SIG foram utilizados os Mapas de Declividade, Geológico-Geotécnicos, Hidrogeológicos, de Deslizamentos Pretéritos e Uso e Cobertura do Solo. Para produzir os mapas de suscetibilidade utilizou-se a ferramenta ArcGIS que sobrepõe o conjunto de mapas utilizando a função *Weighted Sum*. As atividades de calibração foram essenciais para a definição das notas adotadas para cada unidade mapeada por tema e dos pesos de cada mapa. Na Figura 4 apresenta-se o resultado final das análises de suscetibilidade obtido para o segmento Dedo de Deus.

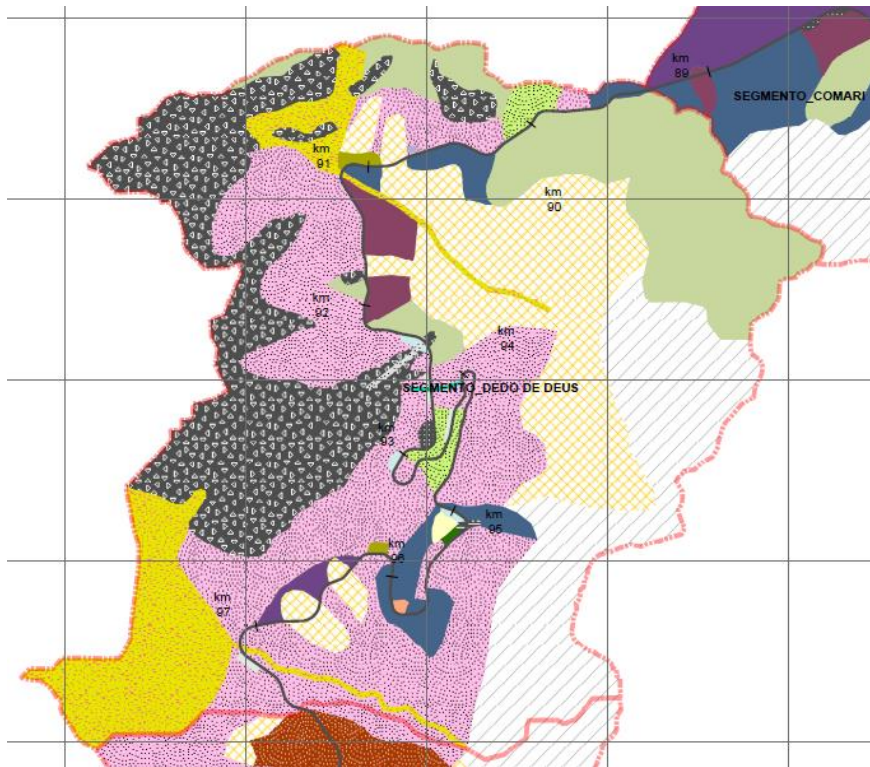


Figura 3 - Mapa Geológico-Geotécnico do segmento Dedo de Deus.

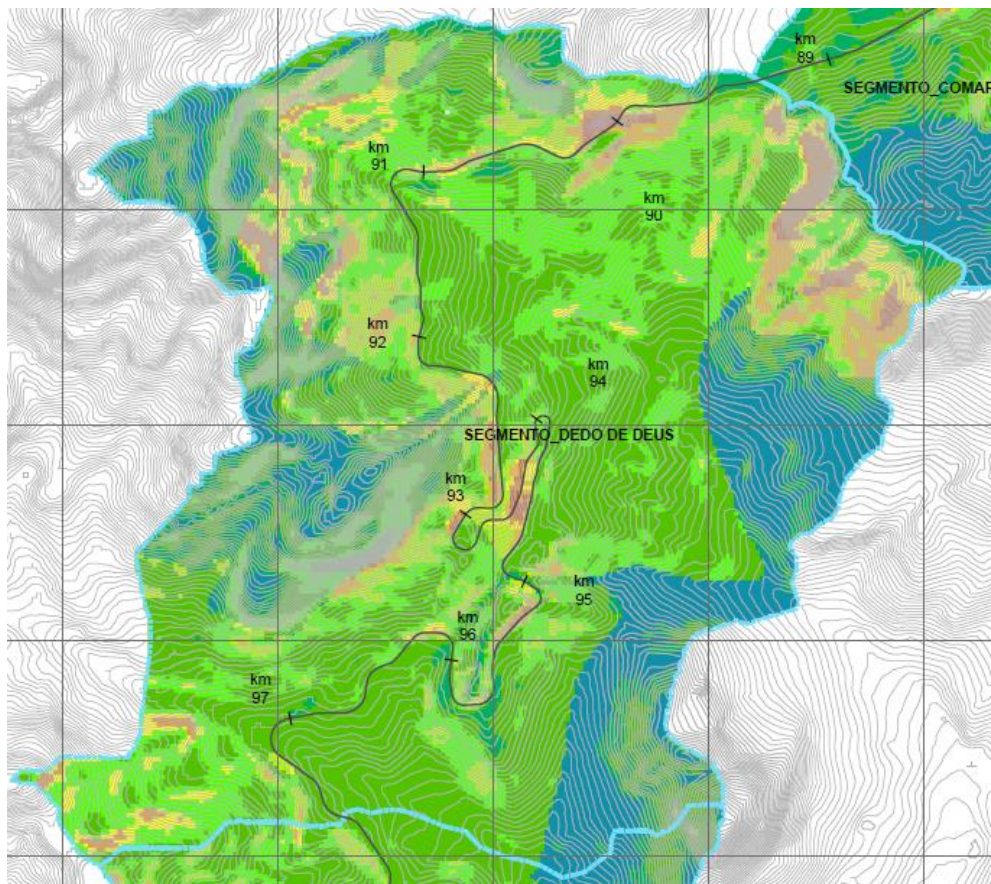


Figura 4- Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa do segmento Dedo de Deus.

A necessidade de conferir iterações do modelo SIG em campo é essencial para produzir um mapa de zoneamento de alta qualidade, que reflete a realidade, da melhor maneira possível. O tempo e os recursos dedicados à reunião de dados precisos, abrangentes e de qualidade são considerados como uma tarefa muito importante em qualquer projeto de modelagem e compilação de inventário baseado em SIG. O uso de SIG não é um substituto para o envolvimento de profissionais geotécnicos com as habilidades necessárias para realizar o zoneamento de escorregamentos. O SIG é uma ferramenta para ajudá-los a fazer o zoneamento de modo eficiente.

Com os Mapas de Suscetibilidade a Movimentos de Massa em mãos a equipe envolvida nas análises inspecionou *in loco* as áreas classificadas com potencial de movimentação de massa nos mapas e aquelas que se espera uma movimentação de massa e não foram acusadas nas análises. Essa tarefa foi necessária para conferir os resultados gerados visando a calibração dos critérios, métodos e parâmetros (notas ou pesos dos mapas e unidades). Nessa fase foram utilizados os mapas de suscetibilidade em planta com as curvas de nível e sobre o modelo 3D do terreno (Figura 5). Esses elementos (mapas em planta e em 3D) auxiliaram as análises, principalmente as inspeções *in loco*.

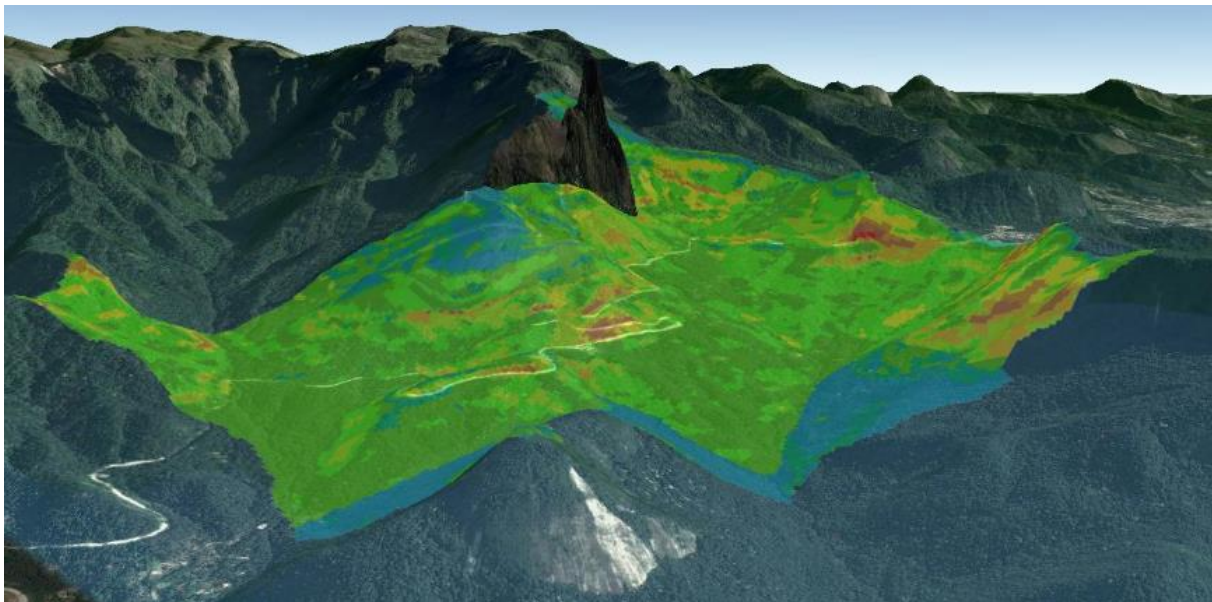


Figura 5 - Exemplo de imagem tridimensional utilizada para as atividades de calibração.

Nessa etapa do estudo denominada de Calibração foram elaborados diversos mapas de um mesmo Segmento Geológico-Geotécnico. A cada ajuste, era elaborado um novo mapa de cada segmento até que os parâmetros de entrada no SIG conduzissem a resultados consistentes com aqueles esperados ou com aqueles que de fato ocorreram (deslizamentos pretéritos). O refinamento das análises acontecia à medida que a resposta ia se aproximando do esperado. Nessa fase houve muitas inspeções de campo, análises de informações existentes e de imagens terrestres e aéreas (vídeos e fotos), assim como reuniões entre os diversos profissionais inseridos no estudo para definir os parâmetros a serem utilizados nas análises.

#### 4. SGGR116 – 3ª Fase

A concepção da Fase 3 do SGGR116 foi idealizada a partir dos resultados observados na Fase 2. Para obter uma resposta consistente com as condições das encostas, nas análises de suscetibilidade com uso de SIG observou-se que o mapa geológico-geotécnico em conjunto com o mapa de declividade são os que mais influenciam nos resultados das análises de

suscetibilidades. O peso do mapa geológico-geotécnico foi o mesmo que o do mapa de declividades, sendo da ordem de 38,75%. Os demais mapas (Uso e Cobertura do Solo, Hidrogeológico e Deslizamentos Pretéritos) somaram um peso total de 22,5%. Visto a importância dos aspectos geológico-geotécnicos e topográficos para compreender os comportamentos geomecânicos das encostas tornou-se fundamental aprofundar o nível dessas informações. O entendimento dos mecanismos de ruptura que se desenvolveram em uma determinada encosta, cujas condições de contorno, reguladas pelos agentes predisponentes e efetivos, é “similar” a outras encostas da rodovia constitui uma importante informação para orientar as intervenções preventivas e emergenciais, bem como para nortear análises de estabilidade nessas encostas.

Assim, na Fase 3 do SGGR116 o conteúdo dos dados contidos no sistema será aprimorado, por meio de informações mais detalhadas dos processos geomecânicos que se manifestam nas encostas e taludes da rodovia. Serão elaboradas modelagens geológico-geotécnicas construídas com base na topografia e resultados de ensaios de campo e laboratoriais de Maciços de Amostragem (MAs). Os MAs encontram-se inseridos em compartimentos geomorfológicos com padrões de encostas e taludes típicos das áreas de influência dos principais eixos rodoviários e populacional. Foram privilegiadas as encostas e taludes que já sofreram rupturas, pois por meio das superfícies de ruptura mobilizada pode-se elaborar estudos de retro-análise, que diminuam a incerteza inerentes às análises de estabilidade. A ampliação do banco de dados do SGGR116 com resultados dos estudos realizados nos MAs será uma importante fonte de consulta para diversas regiões do Brasil. O acesso a essas informações é de grande relevância para o desenvolvimento de modelos mais realistas representativos das condições particulares brasileiras, que variam significativamente de local para local. Haverá aprimoramento da compreensão das manifestações geotécnicas e da gerência de risco geotécnico tanto da rodovia BR-116/RJ, quanto de outras rodovias e municípios do Brasil. A previsibilidade de comportamento das encostas fundamentará melhor as intervenções de melhoria das condições de estabilidade de encostas e taludes.

## **5. Conclusão**

A rodovia BR-116/RJ vem sendo investigada desde o início de sua construção, havendo uma quantidade significativa de informações geológico-geotécnicas. O sistema SGGR116 foi desenvolvido com base nos moldes de uma WebGIS para melhor organizar e estruturar esses dados. Pela forma como o sistema SGGR116 foi concebido pode-se realizar análises espaço-temporais que permitem a continuidade dos estudos e, por consequência, prever o comportamento das encostas. Com o uso da ferramenta houve um melhor entendimento fenomenológico dos mecanismos de ruptura que controlam o comportamento das encostas e taludes interceptados pela rodovia BR-116/RJ. Tais conhecimentos associados ao Banco de Dados do SGGR116 contribuíram com a elaboração de mapas temáticos e de suscetibilidade a movimentos de massa.

Nos estudos realizados no projeto de RDT (2013 e 2104), devida inviabilidade de levantar dados e elaborar análises para cada maciço interceptado pela rodovia foram definidos os segmentos geológico-geotécnicos (2013) e mapeados os pontos que podem desenvolver os mecanismos de ruptura descritos (2014). A segmentação foi fundamentada no conceito da similaridade geológico-geotécnica (Ehrlich e Silva, 2013b), em que o conjunto de encostas que apresentam comportamento e características semelhantes foi agrupado em um segmento homogêneo, podendo-se inferir os aspectos e tipo de modelagem geológico-geotécnica de uma encosta em outra situada dentro do mesmo segmento. Os maciços com suscetibilidade a movimentos de massa foram identificados por meio de uma ferramenta SIG. Tais



metodologias visaram definir as encostas e taludes representativos do mecanismo de ruptura que se desenvolve em um determinado conjunto (agrupamento) de maciços ao longo da rodovia – Maciços de Amostragem (MAs). Nos Maciços de Amostragem (MAs) serão realizados levantamentos topográficos, ensaios de campo e laboratoriais, modelagens geológico-geotécnicas e análises dos processos geomecânicos. Aprofundar o nível de informação dos MAs permitirá uma melhor compreensão dos processos geomecânicos típicos dos segmentos. A previsibilidade do comportamento das encostas será importante para a gerência dos problemas encontrados, tomadas de decisão, mitigação de riscos associados a movimentos de massa e redução de custos, contribuindo com o objetivo do SGGR116.

## REFERÊNCIAS

- AVELAR, A. S. (2003). *Iniciação e desenvolvimento de fluxos detríticos em encosta: ensaios triaxiais de choque e em caixa experimental abordando o caso do Soberbo (RJ)*. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.
- COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; SATO, A. M.; FERNANDES, M. C.; OLIVEIRA, R. R.; COSTA, R. V. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, P. H. M.; LACERDA, W. A. (2013). *Metodologia para elaboração de cartas de suscetibilidade e risco a movimentos de massa (escala 1:5.000): aplicação na área central de Angra dos Reis (RJ)*. In: VI Conferência Brasileira de Encostas COBRAE, 2013, Angra dos Reis/RJ.
- EHRlich, M.; SILVA, R. C. (2013a). *Sistema de Gerência Geológico-Geotécnico de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ*. Plano de Trabalho para Recursos de Desenvolvimento Tecnológico RDT nas Concessões Rodoviárias, ANTT, CRT.
- EHRlich, M.; SILVA, R. C. (2013b). *Sistema de Gerência Geológico-Geotécnico de Encostas e Taludes da Rodovia BR-116/RJ, Relatório Trimestral RT-3 do Recurso de Desenvolvimento Tecnológico RDT*. Agência Nacional de Transportes Terrestres ANTT e Concessionária Rio-Teresópolis CRT.
- LACERDA W.A. (1997). *Stability of natural slopes along the tropical coast of Brazil*. Symp. on Recent Develop. In Soil and Pavement Mechanics, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Almeida, M.S.S. (ed), Balkema, pp. 17-40.
- LACERDA, W. A.; AVELAR, A. S. (2004). *Flume tests on sand subjected to seepage with the influence of hidden barriers*. Proc. of the International Workshop on Occurrences and Mechanisms of Flows in Natural Slopes and Earthfill, Sorrento, Italy, v.1, pp. 136-144.