



**DETERMINAÇÃO DA GÊNESE DA RUPTURA DE TALUDE NA ERS-431,
QUILÔMETRO 13+500, NO MUNICÍPIO DE BENTO GONÇALVES-RS**

Porto Alegre, 2016.

ANDREAS OSTERMANN

**DETERMINAÇÃO DA GÊNESE DA RUPTURA DE TALUDE NA ERS-431,
QUILÔMETRO 13+500, NO MUNICÍPIO DE BENTO GONÇALVES-RS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof.(a) Dr.(a) Clovis Gonzatti

Supervisor: Prof.(a) Me. Luiz Alberto Vedana

Porto Alegre, 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Ostermann, Andreas

Determinação da gênese da ruptura de talude na ERS-431, quilômetro 13+500, no município de Bento Gonçalves-RS . / Andreas Ostermann. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.
[53 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2016.

Orientador(es): Clovis Gonzatti
Coorientador(es): Luiz Alberto Vedana

1. Geologia 2. Geotecnia 3. Estabilidade de taludes 4. ERS-431
I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila F. T. Binotto

CRB 10/1743

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “DETERMINAÇÃO DA GÊNESE DA RUPTURA DE TALUDE NA ERS-431, QUILOMETRO 13+500, NO MUNICÍPIO DE BENTO GONÇALVES-RS”, elaborado por ANDREAS OSTERMANN, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dr. Carla Cristine Porcher

Dr. Luiz Antônio Bressani

Dr. Norberto Dani

AGRADECIMENTOS

A conclusão desse trabalho só foi possível com a contribuição muito especial da minha família: minha mãe Neuza, meu Pai Carlos, irmãos Anoula e Cristian e meu sobrinho Alexandre. Agradeço especialmente à minha companheira, Emanuela Pegoraro, pelo apoio incondicional e amor irrestrito, mesmo nos momentos mais árduos dessa etapa da graduação. Também agradeço à família Pegoraro, representados pela minha sogra e sogro, Ema Pegoraro e Ivanor Pegoraro, os quais foram fundamentais ao transmitir boas energias para a conclusão deste projeto.

Agradeço ainda aos meus mestres do curso de Graduação em Geologia. Os quais, por seus diferentes métodos de transmissão de conhecimento nos ensinaram não só a compreender esta fascinante ciência, mas também a compreender as diferenças entre os seres humanos e seus diversos comportamentos.

Também agradeço aos meus colegas e aos grandes amigos que fiz dentro do Curso de Geologia e dentro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo apoio nessa longa caminhada.

Por fim, agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino público, gratuito e de ótima qualidade oferecido. Agradeço ao grande “motor” dessa Universidade que é o contribuinte, que ao cumprir suas obrigações como cidadão investe para que esta Universidade siga projetando profissionais das mais diversas áreas para o desenvolvimento do Brasil.

RESUMO

Este projeto analisou a gênese do rompimento circular ocorrido no talude à jusante do quilômetro 13+500 da ERS-431, em Bento Gonçalves, no distrito de Faria Lemos-RS. Geologicamente, a região onde ocorreu o deslizamento está localizada na Fm. Serra Geral, fácies Gramado e é constituída predominantemente por rochas basálticas, as quais apresentam fragilidade geotécnica, principalmente nos horizontes de deposição coluvionar, potenciais superfícies de deslizamento. Essas superfícies de deslizamento, formadas pelas camadas de paleossolo e por camadas de deposição coluvionar, quando associadas a eventos de alta precipitação pluviométrica e elevação do nível da água do Rio das Antas (elevando também o nível do lençol freático no talude), podem ser uma das possíveis causas para o colapso da rodovia. As retroanálises geotécnicas por modelamentos de seções submetidas a ensaios de estabilidade de taludes, visam obter mais informações quanto à susceptibilidade ao deslizamento de encostas no quilômetro 13+500 da ERS-431, assim como visam estabelecer as dimensões das zonas de fragilidade e da ruptura circular ocorrida na região. As associações de fatores da gênese da ruptura circular, assim como suas dimensões, foram determinadas por estudos geomorfológicos de aerofotogeologia, por execução e análises de furos de sondagens mistas e pelo desenvolvimento de perfil transversal e longitudinal da rodovia. Foram elaborados modelos de estabilidade de taludes das seções transversais levantadas, para estabelecer uma efetiva análise de estabilidade do talude no quilômetro 13+500 da ERS-431 e para realizar uma retroanálise da(s) origem(ns) da ruptura circular. A partir do modelamento de estabilidade gerado no *software GeoSlope* para o quilômetro 13+500 da ERS-431, espera-se contribuir em futuras investigações geotécnicas aplicadas às construções e manutenções rodoviárias. Este projeto tem o intuito de estabelecer com mais clareza os limites de instabilidade geotécnica, esperando contribuir para projetos de engenharia rodoviária ao oferecer maior segurança aos usuários de rodovias e ao oferecer soluções economicamente viáveis ao projetar-se as contenções de taludes, ou ainda, em anteprojeto, sugerir a alteração de traçados rodoviários.

Palavras-Chave: Geologia. Geotecnia. Estabilidade de taludes. ERS-431. Faria Lemos-RS. *GeoSlope*.

ABSTRACT

This project analyzed the circular disruption genesis occurred in the downstream slope of 13 + 500 kilometer at ERS-431, in Bento Gonçalves city, Faria Lemos district, Rio Grande do Sul Estate. Geologically, the region where the slip occurred is located in the Fm. Serra Geral, Gramado facies and is composed predominantly of basaltic rocks, which present geotechnical fragility, especially in the horizons of colluvial deposition, potential landslides surfaces. These sliding surfaces, formed by paleosols layers and colluvium layers deposition, when associated with events of high rainfall and Rio das Antas water level elevation (also raising the water level table on the slope), can be one of the possible causes for the highway collapse. The geotechnical retro-analyzes tests by modeling sections submitted to slope stability aim to obtain more information about the susceptibility to slope at kilometer 13 + 500 of ERS-431, as well as to establish the zones of fragility and circular rupture dimensions. The factors associations of the circular rupture genesis, as well as their dimensions, were determined by geomorphological studies of aerophotogeology, by the execution and analysis of mixed boreholes also by the development of a transversal and longitudinal highway profile. The raised cross sections of slope stability models were developed to establish an effective slope stability analysis at kilometer 13 + 500 from ERS-431 and to perform a retroanalysis of the origin (s) of the circular rupture. From the stability model generated at GeoSlope software for the kilometer 13 + 500 from ERS-431, it is expected to contribute in future geotechnical investigations applied to constructions and road maintenance. This project aims to establish more clearly the geotechnical instability limits, hoping to contribute to road engineering projects by offering greater safety to road users and by providing economically viable solutions when designing slope containments or suggesting altering road layout.

Keywords: Geology. Geotechnics. Stability of slopes. ERS-431. Faria Lemos-RS. GeoSlope.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa geológico, indicando o município de Bento Gonçalves, inserido na Formação Serra Geral, fácies Caxias; a localidade de Faria Lemos e a ERS-431 (quilômetro 13+500), pertencentes à Formação Serra Geral, fácies Gramado.	16
Figura 2: Mapa das Regiões Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul, representando as dimensões e localização do Planalto das Araucárias, situado na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul (modificado de RADAMBRASIL, 1986).	17
Figura 3: Mapa topográfico da região de Faria Lemos. Fonte: Dados da pesquisa (2016)	17
Figura 4: Foto de detalhe da ruptura circular ocorrida no quilômetro 13+500 da ERS-431, de acordo com os padrões de rupturas circulares definidos por OLIVEIRA E BRITO (1998). ...	20
Figura 5: Imagem de satélite destacando a área hachurada, região do quilômetro 13+500 da ERS-431. Modificada de (<i>Google Earth</i>).	23
Figura 6: Caixas de testemunhos de sondagem mista do furo SM-01, onde a base do furo é composta por basalto maciço são e o seu topo é composto por material coluvionar depositado na região e material proveniente do aterro rodoviário. Fonte: Dados da Pesquisa.	24
Figura 7: Foto do túnel ferroviário situado à montante da ERS-431. Fonte: Dados da Pesquisa.	30
Figura 8: Realização do ensaio de densidade de solo coluvionar <i>In Situ</i> . Fonte: Dados da Pesquisa.	31
Figura 9: Mapa topográfico elaborado a partir dos <i>softwares Surfer</i> e com versão apresentada a partir do <i>software DraftSight</i> . Fonte: Dados da Pesquisa.	32
Figura 10: Amostras dos testemunhos de sondagem coletados para análise e suas respectivas lâminas petrográficas. Destacam-se a presença de amígdalas na amostra SM-03, a presença de veios de arenito na amostra SM-01 e as características maciças da amostra SM-04. Fonte: Dados da Pesquisa.	34
Figura 11: 11(a): Foto de lâmina petrográfica da amostra SM-01, em luz polarizada. Visualiza-se ao lado esquerdo, derrame basáltico com sua mineralogia composta majoritariamente por grãos de plagioclásio imersos em matriz vítrea. Ao lado direito visualiza-se injeção de arenito, transportado em condições de fluido hidrotermal. 11(b): Foto da amostra SM-01, onde percebe-se com mais detalhe pequenas inclusões de porções basálticas absorvidas pelo arenito hidrotermalizado. Fonte: Dados da Pesquisa.	34

Figura 12: 12(a): Foto de lâmina petrográfica da amostra SM-03, em luz polarizada. Observa-se presença constante de amígdalas preenchidas preferencialmente por sílica. 12(b): Foto da amostra SM-03, detalhando o contato das amígdalas preenchidas por sílica com cutículas de hematita. Fonte: Dados da Pesquisa.	35
Figura 13: 13(a): Foto de lâmina petrográfica da amostra SM-04, em luz polarizada. Observa-se textura alotriomórfica dos plagioclásios, imersos em matriz vítrea. 13(b): Foto da amostra SM-04, em luz natural, detalhando o contato das amígdalas não preenchidas e que possuem cutículas de hematita. Fonte: Dados da Pesquisa.	35
Figura 14: Perfil transversal ao quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Dados do Projeto.	37
Figura 15: Perfil longitudinal ao eixo da ERS-431, no quilômetro 13+500. Fonte: Dados da Pesquisa.	37
Figura 16: Perfil transversal ao eixo da ERS-431, no quilômetro 13+500, no estágio pré-ruptura. O modelo topográfico deste perfil serviu como base para estimar o perfil transversal ao qual foi submetido ao ensaio de estabilidade de talude. Fonte: <i>Google Earth</i> (2016), modificado por: Ostermann (2016).	40
Figura 17: Tela de trabalho do <i>software GeoStudio – GeoSlope</i> do perfil transversal ao eixo da ERS-431, no quilômetro 13+500, no estágio pré-ruptura. Fonte: Dados da Pesquisa.	41
Figura 18: Perfil transversal ao eixo da ERS-431, gerado pelo <i>software GeoStudio – GeoSlope</i> no quilômetro 13+500, no estágio pré-ruptura, em período de cheia do Rio das Antas. Fonte: Dados da Pesquisa.	43
Figura 19: Perfil diagnóstico das zonas de influência de poro-pressão da água no talude do quilômetro 13+500 da ERS-431, gerado pelo <i>software DraftSight</i> . Fonte: Dados da Pesquisa.	44
Figura 20: Perfil transversal ao eixo da ERS-431, gerado pelo <i>software GeoStudio – GeoSlope</i> no quilômetro 13+500, no estágio pós-ruptura, em período de rebaixamento do nível da água do Rio das Antas. Fonte: Dados da Pesquisa.	45
Figura 21: Perfil diagnóstico das zonas de influência de poro-pressão da água, pós-ruptura, no talude do quilômetro 13+500 da ERS-431, gerado pelo <i>software DraftSight</i> . Fonte: Dados da Pesquisa.	46
Figura 22: Modelo em três dimensões da área de ruptura do quilômetro 13+500 da ERS-431, gerado pelo <i>software DraftSight</i> . Fonte: Dados da Pesquisa.	46
Figura 23: Foto registrada no talude à jusante do quilômetro 13+500 da ERS-431, na qual evidencia-se a ocorrência de vertência de água no talude rodoviário em camada de	

deposição coluvionar e conseqüente carreamento de sedimentos finos de fração silte e argila. Fonte: Dados da Pesquisa.	49
Figura 24: Foto registrada da escavação do talude à jusante do quilômetro 13+500 da ERS-431, em 20/05/2014 (Magna Engenharia, 2014),	50
Figura 25: Foto registrada do enrocamento que reconfirmou o talude do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Dados da Pesquisa.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Locações dos furos de sondagens mistas propostas pelo Plano de Sondagem, elaborado para análise do substrato rochoso do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Dados da Pesquisa.	22
Tabela 2: Memorial descritivo da sondagem mista SM-01, propostas pelo Plano de Sondagem, elaborado para análise do substrato rochoso do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Modificada de RW Geologia e Geotecnia (2014).	25
Tabela 3: Memorial descritivo da sondagem mista SM-02, propostas pelo Plano de Sondagem, elaborado para análise do substrato rochoso do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Modificada de RW Geologia e Geotecnia (2014).	26
Tabela 4: Memorial descritivo da sondagem mista SM-03, propostas pelo Plano de Sondagem, elaborado para análise do substrato rochoso do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Modificada de RW Geologia e Geotecnia (2014).	27
Tabela 5: Memorial descritivo da sondagem mista SM-04, propostas pelo Plano de Sondagem, elaborado para análise do substrato rochoso do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Modificada de RW Geologia e Geotecnia (2014).	28
Tabela 6: Memorial descritivo da sondagem mista SM-05, propostas pelo Plano de Sondagem, elaborado para análise do substrato rochoso do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Modificada de RW Geologia e Geotecnia (2014).	29
Tabela 7: Tabela de graduação de qualidade de rocha (RQD), correlacionado com os resultados obtidos para testemunhos de três furos: SM-01 (qualidade regular), SM-03 (má qualidade) e SM-04 (excelente qualidade). Fonte: Dados da Pesquisa.	33
Tabela 8: Resultados dos ensaios de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de plasticidade do material colvionar típico da área da ERS-431, onde a proporção de argila-silte das amostras ensaiadas chegam a 61% do volume de material para a amostra DEMIPE/4. Fonte: Dados da Pesquisa.	38
Tabela 9: Dados meteorológicos do ano de 2013 gerados pela Estação Agroclimática da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves-RS, coletados no <i>site</i> da Embrapa – http://www.cnpuv.embrapa.br/prodserv/meteorologia/bento-mensais.html . Destaca-se a precipitação pluviométrica do mês de novembro de 2013: 288,5 mm (mês da ocorrência da ruptura do talude da ERS-431 no quilômetro 13+500). Fonte: Embrapa (2016).	40
Tabela 10: Dados meteorológicos médios do período de 1976 a 2012, gerados pela Estação Agroclimática da Embrapa Uva e Vinho, a partir do <i>site</i> da Embrapa para o Município de Bento Gonçalves-RS – http://www.cnpuv.embrapa.br/prodserv/meteorologia/bento-mensais.html . Destaca-se a precipitação pluviométrica média do mês de novembro para o período entre 1976 a 2012: 140 mm. Fonte: Embrapa (2016).	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / HIPÓTESES	13
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	OBJETIVOS E METAS	15
2	ESTADO DA ARTE	15
2.2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
2.3	REVISÃO DOS TRABALHOS JÁ EXISTENTES	18
3	METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO	20
3.1	MÉTODOS PRÉ-CAMPO	21
3.2	MÉTODOS DE CAMPO	23
3.3	MÉTODOS PÓS-CAMPO	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / HIPÓTESES

É sabido e comumente verificado que boa parte da malha rodoviária brasileira teve seu traçado estabelecido com base em históricos caminhos e vias que ligam diferentes localidades. Portanto, são poucas as rodovias que foram contempladas desde a sua fase de projeto, por um estudo geológico/geotécnico adequado, o qual deveria abranger a análise geológica regional e local, do substrato rochoso e do mapeamento de zonas frágeis (suscetíveis ao colapso). Os problemas mais comuns verificados na maioria dos casos e constatados na ERS-431, município de Bento Gonçalves-RS (distrito de de Faria Lemos) são: a instabilidade de taludes dos cortes e a subsidência dos aterros (tanto na área da pista de rolamento quanto na encosta à jusante da pista).

Geologicamente, a região onde situa-se a rodovia, está inserida na Fm. Serra Geral, fácies Gramado, e é constituída predominantemente por rochas basálticas, apresentando fragilidade principalmente em áreas de deposições coluvionares e entre os derrames que formaram paleossolos no topo das camadas (tornando essas intercalações entre derrames potenciais superfícies de deslizamento). No quilômetro 13+500 da ERS-431, um somatório desses fatores acarretou em uma subsidência parcial da pista de rolamento (na fase inicial) e, posteriormente, em escorregamentos do talude à jusante da rodovia e da pista de rolamento, causando a ruptura total da rodovia e o isolamento do trajeto Faria Lemos – Guaporé (trajeto regional economicamente importante, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, época da safra da uva).

Durante a elaboração de um projeto rodoviário, a primeira abordagem geotécnica deve ser um estudo geológico/geotécnico da região. O qual deve referir-se a uma série de análises geológicas, tais como: estudo aerofotogeológico, estudo topográfico, estudo da geologia estrutural (reologia da rocha por onde se estabelecerá o traçado da rodovia), aferimento e cálculo de estabilidade de taludes e estudos hidrogeológicos. Esses estudos devem ser realizados para que sejam mapeadas com maior precisão as zonas de instabilidade geológica da região a ser construída uma rodovia, ou, na retroanálise, para elaborar o projeto de reconformação de uma rodovia que tenha sofrido colapso geológico/geotécnico. Na ERS-431, trabalharam-se com, pelo menos, três hipóteses para a ocorrência da ruptura total da rodovia. A primeira hipótese é de que a ruptura ocorreu a partir do

lado direito da rodovia em deslizamento rotacional para jusante (em direção ao Rio das Antas), em situação de ruptura somente do material inconsolidado. Na segunda hipótese, também em deslizamento rotacional a partir do lado direito da rodovia com movimentação em direção à jusante, a ruptura ocorreria a partir do contato solo-rocha. Há ainda a possibilidade de ter ocorrido uma associação desses fatores potencializados por eventos de alta precipitação pluviométrica, causando elevação do nível da água do Rio das Antas (que está à jusante da ERS-431, no quilômetro 13+500) e a rápida elevação do nível do lençol freático da região (que “lubrificaria”, por alívio de poro-pressão, as potenciais superfícies de deslizamento os taludes da rodovia).

A partir dessas hipóteses, aplicando-se conhecimentos geológico/geotécnicos, realizando-se a coleta de testemunhos de sondagem a partir de sondagens mistas (rotativa e *SPT-Standard Penetration Test*) e traçando perfis transversais e longitudinais da rodovia, pergunta-se: É possível ter uma melhor compreensão da gênese do deslizamento da ERS-431 a partir da realização de modelamentos geológico/geotécnicos de estabilidade de taludes ao cruzar os perfis geológicos transversais e longitudinais à rodovia?

1.2 JUSTIFICATIVA

A falta de um estudo geológico/geotécnico adequado, durante a fase de projeto rodoviário, pode acarretar em danos materiais, danos à vida dos usuários (condutores), danos aos moradores dos arredores da rodovia e danos a economia da região. Como, historicamente, os projetos de engenharia rodoviária não contemplavam adequadamente um estudo geológico/geotécnico na fase de anteprojeto e na fase de projeto final de engenharia, é muito comum a observação de ocorrências de movimentações de rochas que avariem parcial ou totalmente um corpo estradal. Estas movimentações de massa estão diretamente relacionadas à execução de obras rodoviárias sem a devida atenção às características geológicas da área onde foi ou será projetada a rodovia. Na busca de uma maior compreensão da gênese de deslizamentos e mapeamentos de zonas geotecnicamente instáveis em projetos rodoviários, faz-se necessário que sejam elaborados estudos geológicos/geotécnicos mais aprofundados, modernos e otimizados. A realização de uma retroanálise geológico/geotécnica, a partir de um modelamento de seções de

estabilidade de taludes da região estudada, associada a uma investigação aerofotogeológica de precisão, pode-se otimizar os métodos de reconstrução da rodovia assim como pode otimizar financeiramente a execução de projetos de reconstrução de uma área já afetada (como o quilômetro 13+500 da ERS-431); ou, no caso de realizar-se um estudo de ante-projeto de uma nova rodovia, propor a alteração do traçado rodoviário (caso sejam constatados aspectos de alta fragilidade geotécnica na área a ser instalada uma nova rodovia).

1.3 OBJETIVOS E METAS

A análise e retroanálise a partir de um modelo geológico/geotécnico de estabilidade de taludes, pode ser uma importante ferramenta para a determinação da gênese da ruptura, para determinação dos limites do deslizamento da ERS-431 no quilômetro 13+500 e para um estudo mais adequado da estabilidade dos taludes do local. Uma das metas dessa modelagem de estabilidade do talude do quilômetro 13+500 da ERS-431, é fornecer dados para a obtenção de um diagnóstico mais preciso da gênese de movimentações de massas, com o objetivo de determinar as áreas de risco geológico/geotécnico da região dessa estrada. A partir desse diagnóstico, objetiva-se comprovar a importância dessa análise integrada de seções geológicas para delimitar com precisão as áreas mecanicamente instáveis nas cercanias de obras rodoviárias. A proposta deste Projeto Temático é realizar uma análise da efetividade dos estudos geológicos/geotécnicos, a partir da confecção de modelamentos de estabilidade, para o talude do quilômetro 13+500 da ERS-431. Assim como, espera-se que a análise geológico/geotécnica contribua para que projetos rodoviários, tanto na fase de anteprojeto ou em projetos de reconformação, sejam otimizados economicamente na sua elaboração (reduzindo a área de obras de contenção, ou delimitando com precisão as áreas a serem estabilizadas) fornecendo durabilidade adequada da rodovia e segurança aos usuários da mesma.

2 ESTADO DA ARTE

2.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O distrito de Faria Lemos, pertencente ao município de Bento Gonçalves-RS, está inserido geologicamente na Formação Serra Geral, na fácies Gramado (http://www.cprm.gov.br/Aparados/ap_geol_pag07.htm). As rochas dessa Fácies são, predominantemente, derrames basálticos maciços com espessuras que variam

entre 15 a 35 metros. Ocorrem com frequência texturas de fluxo e zonas vesiculares bem desenvolvidas (principalmente no topo dos derrames e incipientes na base desses derrames). A porção central dos derrames da Fácies Gramado é formada por basaltos homogêneos, com disjunção colunar bem desenvolvida, de textura microfanerítica, compacta e de coloração cinza-escuro a cinza-esverdeado.

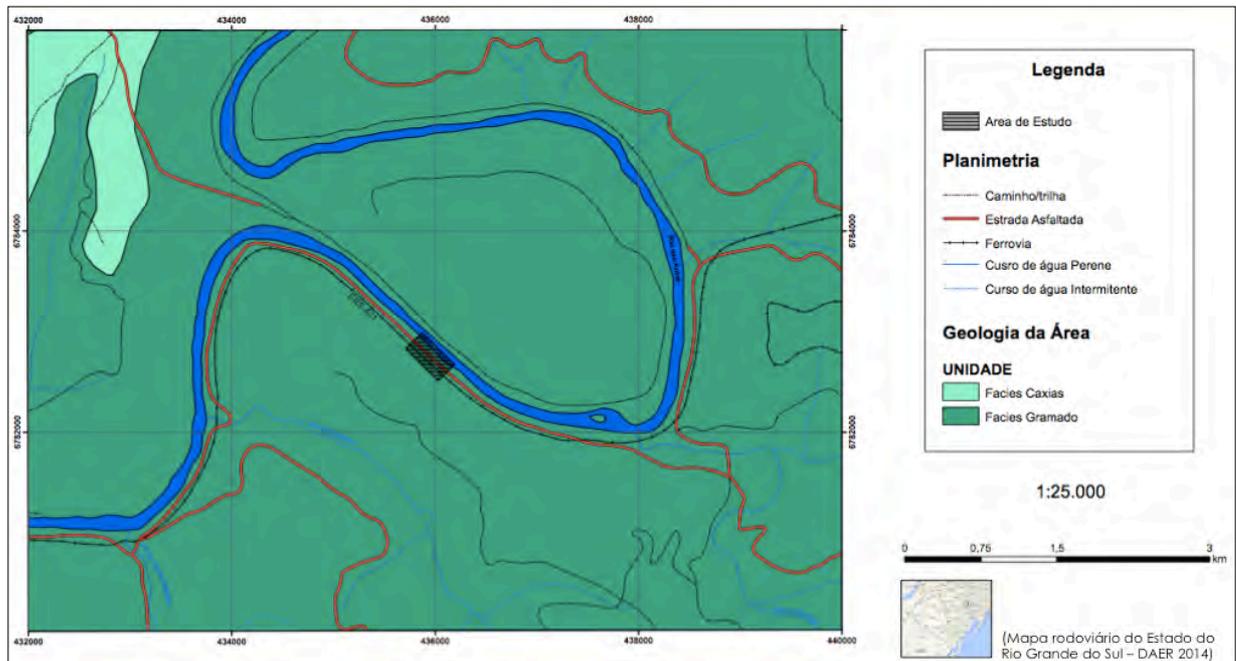


Figura 1. Mapa geológico, indicando o município de Bento Gonçalves, inserido na Formação Serra Geral, fácies Caxias; a localidade de Faria Lemos e a ERS-431 (quilômetro 13+500), pertencentes à Formação Serra Geral, fácies Gramado. A área de estudo, indicada pelo retângulo hachurado, tangencia o Rio das Antas e está na Fácies Gramado da Fm. Serra Geral. Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Geomorfologicamente, o distrito de Faria Lemos está inserido na região denominada de Planalto das Araucárias (RADAMBRASIL, 1986 e IBGE, 2003; ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/cartas_escala_250mil/sh22v_d_geom.pdf).

Essa região possui características geomorfológicas heterogêneas, nas quais as formas de relevo variam desde amplas e aplainadas no topo, até níveis profundos esculpidos, criando vales como o do Rio das Antas. As formas de relevo do Planalto das Araucárias foram esculpidas em rochas efusivas básicas e ácidas da Formação Serra Geral. Nas porções mais básicas, o grau de entalhamento resulta em relevos mais dissecados. O distrito de Faria Lemos, no município de Bento Gonçalves-RS,

possui relevo de características montanhosas sendo esculpido principalmente pelo Rio das Antas, formando vales encaixados nos rios mais representativos da região (Rio das Antas, Rio Turvo, Rio Carreiro e Rio Guaporé).

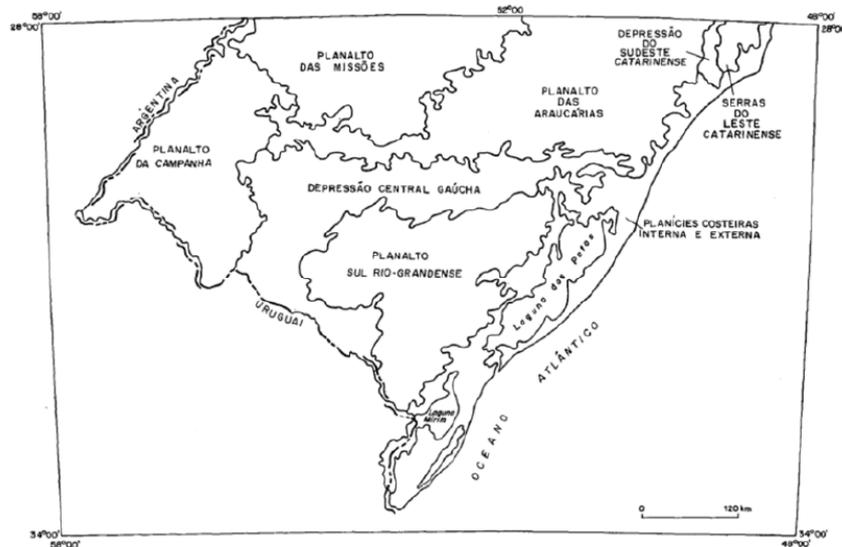


Figura 2. Mapa das Regiões Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul, representando as dimensões e localização do Planalto das Araucárias, situado na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul (modificado de RADAMBRASIL, 1986).

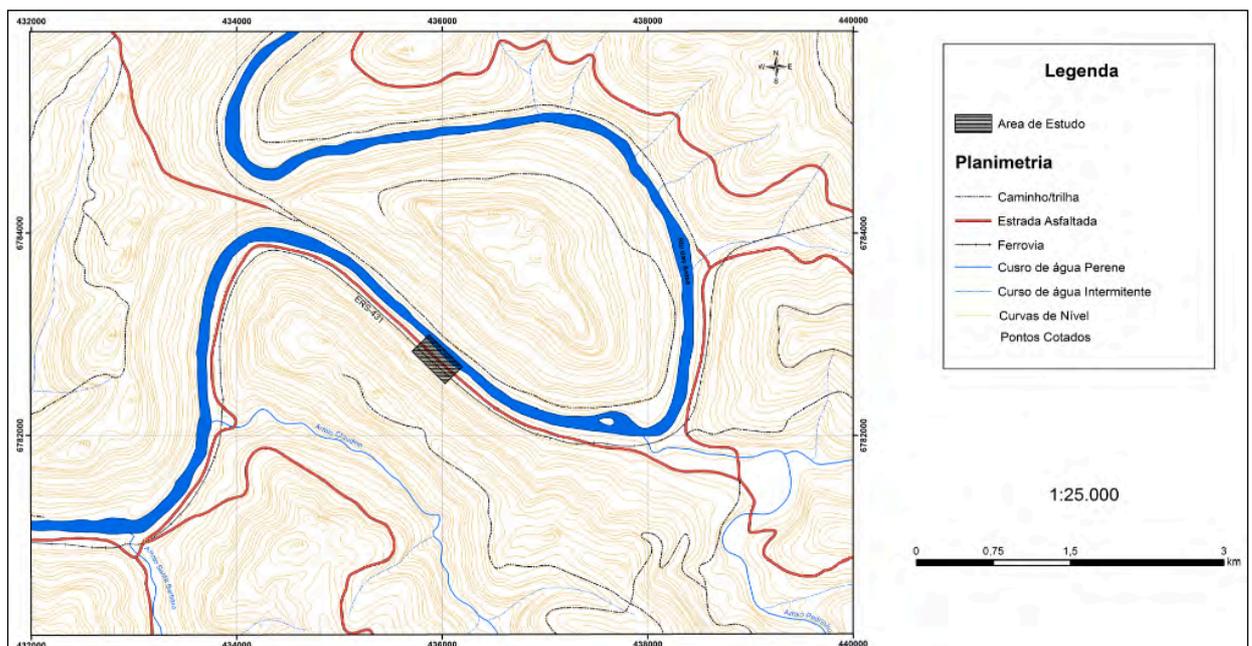


Figura 3. Mapa topográfico da região de Faria Lemos, destacando a alta variação topográfica (evidenciada pela proximidade das curvas de nível) típica de terrenos dissecados da unidade geomorfológica na qual está localizado o quilômetro 13+500 da

ERS-431, situado praticamente no encontro do Rio das Antas com o Rio Carreiro. Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Os solos da localidade de Faria Lemos estão classificados, de acordo com o Mapa pedológico do Estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2002; ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/unidades_federacao/rs_pedologia.pdf) como Associação Complexa de Solos Litólicos eutróficos a chermozêmico e moderado, de textura média, cascalhenta, de fase pedregosa, substrato de basalto com Cambissolo eutrófico (Re24).

2.3 REVISÃO DOS TRABALHOS JÁ EXISTENTES

Semelhantes trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico, com o intuito de determinar áreas de instabilidade geotécnica em rodovias, utilizaram métodos já consagrados pela literatura para definir e dimensionar áreas de risco. RODRIGUES E ZAINÉ (2013), estabeleceram critérios de classificação de propriedades geotécnicas. Tais critérios foram expressos em uma tabela na qual as propriedades do maciço rochoso foram analisadas de acordo com sua espessura do manto de alteração, sua permeabilidade, a relação de escoamento superficial / infiltração, a alterabilidade e o grau de alteração do maciço (ZAINÉ, 2011). Em um segundo quadro, elaborado por ZAINÉ (2011), representado por RODRIGUES E ZAINÉ (2013), são estabelecidos critérios para classificação da susceptibilidade aos processos geológicos, com base na análise e interpretação fotogeológica. Foram comparados os seguintes processos geológicos: erosão, movimentos de massa, enchentes e inundações. Os critérios de análise e interpretação fotogeológica nos processos erosivos foram estabelecidos a partir da análise da declividade, da relação de escoamento superficial e infiltração, do material presente no manto de alteração ou no afloramento rochoso. Nos processos de movimento de massa, a declividade, a alterabilidade, a relação de escoamento superficial, a permeabilidade, a infiltração de água, o nível do lençol freático e a espessura do manto foram os critérios de análise estabelecidos. Nos processos de enchentes e inundações, a declividade e a relação de escoamento superficial e infiltração foram os critérios analisados. A partir dessas análises e critérios de interpretação fotogeológica, as áreas estudadas por RODRIGUES E ZAINÉ (2013), foram classificadas como de baixa, média ou alta susceptibilidade aos processos geológicos de movimentos de

massa.

A classificação proposta por RODRIGUES E ZAINÉ (2013) pode ser aplicada no estudo geotécnico-geológico da ERS-431, em Faria Lemos. Mesmo que as aplicações destes autores tenham sido realizadas em rochas de formações diferentes à da localidade de Faria Lemos (a qual são basaltos da Fm. Serra Geral, fácies Gramado), os critérios de estudos de susceptibilidade aos processos geológicos de movimento de massa, estabelecidos por RODRIGUES E ZAINÉ (2013), são perfeitamente aplicáveis para o quilômetro 13+500 da ERS-431, por estabelecerem critérios que também atendem mecanicamente aos movimentos de massa de rochas situadas na Formação Serra Geral. A caracterização das denominações de rochas e solos foram estabelecidos a partir da NBR-6502 (Rochas e Solos).

Para a avaliação da estabilidade de taludes deste projeto, serão aplicados conceitos estabelecidos pela NBR-11682/1991, da ABNT, para Estabilidade de Taludes. A NBR-11682/1991, também contribuirá para estabelecer o grau de risco da instabilidade nas obras de proteção contra os processos indutores de instabilidade (presentes na NBR-11682/1991 na Tabela 2, página 11), assim como, no grau de risco da instabilidade nos processos e nas obras de proteção contra os efeitos da instabilidade (Tabela 3, página 11, da NBR-11682/1991). Dentre os conceitos fundamentais, estabelecidos a partir dessa norma, foram avaliados os quadros de critérios para analisar os graus de risco do processo em função do valor da movimentação (Tabela 1, NBR 11682/1991, página 8).

O processo de ruptura circular ocorrida no quilômetro 13+500 da ERS-431, foi determinado a partir de análises de campo, realizadas em fevereiro de 2014 pela Equipe de Pavimentação do DAER-RS. O processo de ruptura circular foi definido como tal por OLIVEIRA E BRITO, na publicação Geologia de Engenharia, 1998, ABGE, capítulo 9. A mesma publicação de OLIVEIRA E BRITO, nos capítulos 12 e 15, contribuiu para a análise mecânica da rocha do quilômetro 13+500 da ERS-431.

Para realizar a análise de estabilidade do talude da área estudada, foi necessário obter conhecimento dos modelos matemáticos utilizados para determinação desta estabilidade. Modelos matemáticos são utilizados pelo *software GeoSlope* para geração de superfícies de ruptura. O primeiro método é o de Bishop (1955), que considera a análise da estabilidade de taludes utilizando a divisão da cunha de escorregamento em diversas fatias que associam-se ao segundo método,

dos ábacos para elaboração do fator de segurança da estabilidade de taludes, de Bishop e Morgenstern (1960). Tais modelos estão representados por FIORI E CARMIGNANI, na publicação Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas – Aplicação na Estabilidade de Taludes, 2011, 2ª edição.



Figura 4. Foto de detalhe da ruptura circular ocorrida no quilômetro 13+500 da ERS-431, de acordo com os padrões de rupturas circulares definidos por OLIVEIRA E BRITO (1998).

Para elaboração de modelos de estabilidade de taludes, proposto nesse Projeto Temático, aplicado no quilômetro 13+500 da ERS-431, foram consultados *softwares* utilizados para estudos semelhantes, como o realizado por DAMASCENO (2008) na sua dissertação de mestrado. DAMASCENO (2008) utilizou diversos *softwares* para elaborar seus modelos geológico/geotécnicos em 3D, dentre eles o AUTOCAD 2004, Petrel 2004 e o Slide 5.0. Para esse projeto temático, os modelos de estabilidade de taludes a serem gerados para delimitar a superfície da ruptura circular do quilômetro 13+500, assim como definir a sua gênese, serão os *softwares*: *DraftSight*, *ArcGIS* e *GeoStudio 2012 (GeoSlope)*.

3 METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

Houve a realização de uma série de investigações geológico/geotécnicas para obtenção das informações pretendidas desse projeto. Os métodos e estratégias de ação desse projeto temático foram definidos de acordo com uma sequência de abordagens, as quais foram divididas em três etapas: sendo a primeira etapa para realização de estudos pré-campo, os quais foram compostos principalmente por estudos de aerofotogeologia, no qual foram usadas como ferramentas de apoio o *software Google Earth* e fotografias aéreas da área de estudo. A segunda etapa do projeto envolveu estudos realizados em campo, compostos por quatro etapas principais: (a) levantamento topográfico da área; (b) realização de sondagens mistas – manual/percussão; (c) realização de levantamentos de dados da geologia estrutural local; (d) coleta de amostras de material coluvionar para posterior aplicação de ensaios de densidade *In Situ*. Os estudos pós-campo consistiram na confecção do mapa topográfico final (ferramenta fundamental para elaboração dos perfis e para determinar a estabilidade do talude, a ser verificado pelo *software GeoSlope*); nas análises de laboratório elaboradas a partir dos testemunhos de sondagem (incluindo análises de lâminas petrográficas – 3 lâminas no total, análise de RQD – *Rock Quality Designation*); na elaboração dos perfis geológico/geotécnicos a partir do *software DraftSight* (os perfis forneceram dados que permitiram correlacionar diferentes profundidades do substrato rochoso, permitindo diagnosticar aspectos da geologia estrutural do local – ângulo de basculamento dos derrames, mapeamento de possíveis famílias de fraturas e geometria da ruptura circular); na elaboração de um modelo de estabilidade de taludes do quilômetro 13+500 gerado a partir dos *softwares DraftSight, ArcGIS e GeoSlope* (modelo que auxiliou na interpretação geológica/geotécnica que determinou o dimensionamento da ruptura circular e forneceu uma melhor interpretação da gênese da ruptura); e elaboração da retroanálise geotécnica (na qual confirmaram-se hipóteses da gênese do processo de ruptura e a delimitação do mesmo a partir da geração de modelamento de estabilidade de taludes).

3.1 MÉTODOS PRÉ-CAMPO

Nessa primeira etapa pré-campo, para entender melhor a contextualização geológica local, foram coletados inicialmente os seguintes dados: imagens aéreas de satélite (Figura 5) da região estudada, geradas a partir do *software Google Earth*,

com o intuito de realizar uma primeira abordagem geomorfológica da área de pesquisa e para auxiliar nos estudos topográficos realizados posteriormente. Nesta primeira abordagem, verificou-se que a declividade da encosta esculpida pelo Rio das Antas é acentuada, assim como verificou-se que a proximidade com as margens deste rio, caracteriza fator potencial para interações constantes ocorridas entre o talude da rodovia as variações do nível freático desta drenagem.

Em seguida, foram realizadas análises geomorfológicas da área a partir do mapa topográfico local (Figura 3), associado a bibliografias referentes aos estudos geomorfológicos já produzidos na região do município de Bento Gonçalves-RS, principalmente o mapa geomorfológico produzido pelo IBGE em 2002. A partir de uma melhor compreensão da geologia local, foi elaborado um plano de sondagem da área. Os pontos selecionados para execução das sondagens mistas foram distribuídos de forma que representasse a área de ruptura em seções transversais e longitudinais à ERS-431, no quilômetro 13+500. O plano de sondagem definiu a execução de cinco furos de sondagens mistas:

Tabela 1. Locações dos furos de sondagens mistas propostas pelo Plano de Sondagem, elaborado para análise do substrato rochoso do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Dados da Pesquisa.

	DATUM Córrego Alegre, fuso 22 S	
FURO	UTM (mE)	UTM (mS)
SM-01	435933.40	6782784.00
SM-02	435918.24	6782744.80
SM-03	435891.35	6782733.57
SM-04	435948.38	6782750.73
SM-05	435894.17	6782803.61

Após coleta e análise desses dados, foram obtidos maiores detalhes quanto a possíveis zonas de instabilidade geotécnica ainda presentes no quilômetro 13+500 da ERS-431 e nas suas adjacências.

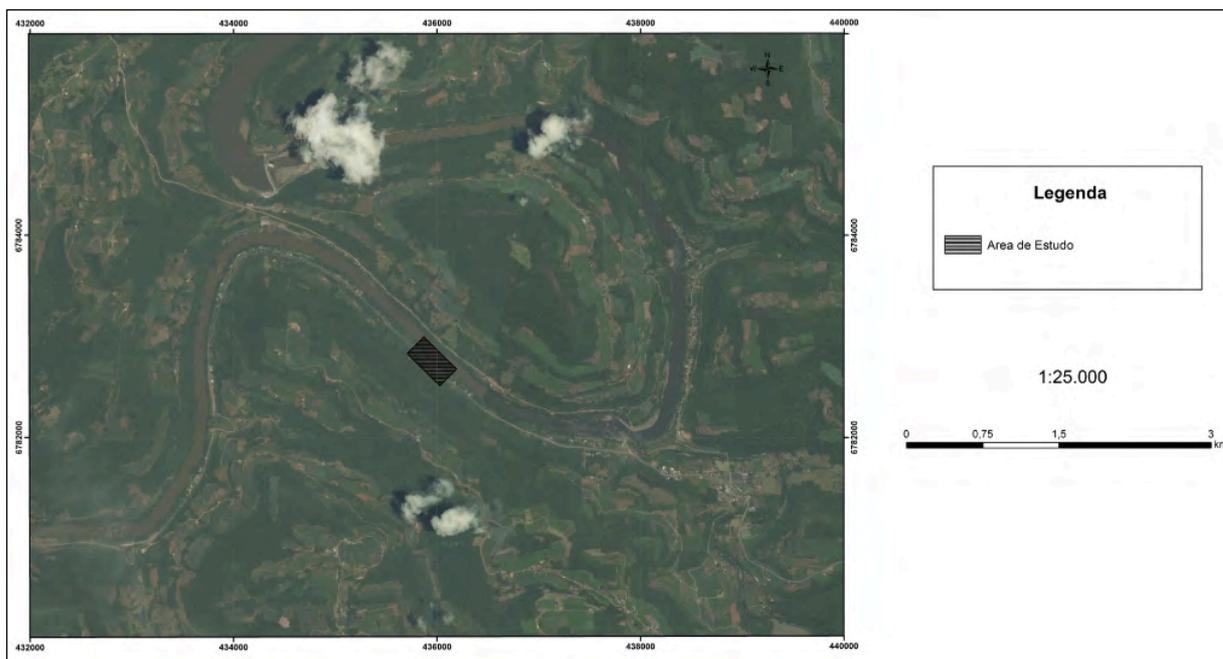


Figura 5. Imagem de satélite destacando a área hachurada, região do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: modificada de (*Google Earth*). Esta área está classificada, no Modelo de Dissecação, como homogênea de dissecação fluvial. É definida pela combinação das seguintes variáveis: densidade e aprofundamento da drenagem, de alta predisposição à erosão.

3.2 MÉTODOS DE CAMPO

Na etapa de campo, dividida em três visitas ao local de estudo (em fevereiro de 2015, em janeiro e maio de 2016), houve a divisão de métodos de coletas de dados relevantes ao projeto. Em uma primeira etapa, fevereiro de 2015, houve o acompanhamento e supervisão da coleta de dados topográficos e da execução dos cinco furos de sondagens mistas. Na etapa de levantamento topográfico, ocorrida na etapa pós-ruptura do quilômetro 13+500 da ERS-431, obteve-se dados que permitiram confeccionar as curvas de nível dos taludes da ERS-431, no quilômetro 13+500, assim como definiram-se associações de desníveis e a delimitação de cotas da superfície de ruptura circular ocorrida. Essa etapa de campanha topográfica auxiliou na averiguação em superfície da geometria da ruptura (confeccionados a partir do *software DraftSight*). Simultaneamente ao levantamento topográfico foram executadas as cinco sondagens mistas, realizadas pela equipe de sondagem da empresa RW Geologia. Os cinco furos de sondagem mista (manual e a percussão) foram executados de acordo com os métodos previstos pela norma NBR-6484 – Solo – Sondagem de simples reconhecimento

com SPT – *Standard Penetration Test*). As sondagens forneceram cinco testemunhos, que disponibilizaram parâmetros relativos ao maciço rochoso como: coerência e alteração mineralógica, descontinuidades da rocha (grau de faturamento, características da superfície e inclinação das descontinuidades), parâmetros mistos (condutividade hidráulica, *Rock Quality Designation* – RQD, coerência e rugosidade das descontinuidades). As sondagens serviram como base para a elaboração dos perfis transversais e longitudinais ao quilômetro 13+500 da ERS-431.



Figura 6. Caixas de testemunhos de sondagem mista do furo SM-01, onde a base do furo é composta por basalto maciço são e o seu topo é composto por material coluvionar depositado na região e material proveniente do aterro rodoviário.

Os cinco testemunhos coletados a partir furos de sondagem, foram descritos posteriormente na sede da empresa executora da sondagem, RW-Geologia. Após a análise visual dos testemunhos, foram gerados boletins de sondagem para auxiliar a

Tabela 5. Memorial descritivo da sondagem mista SM-04, propostas pelo Plano de Sondagem, elaborado para análise do substrato rochoso do quilômetro 13+500 da ERS-431.
 Fonte: Modificado de RW Geologia e Geotecnia (2014).

		DESLIZAMENTO RODOVIA ERS - 431		ENEC/CÃO NÍCIO : 3110/14 FÉRMISO : 3112/14 PROFISSIONAL : 13.100 INCLIC/AZIMUTE : Vertical		COORDENADAS X : Y : Z :		SONDAGEM MISTA SM - 04 LOCAL: km 13+500		FOLHA 01/01											
PROP. (m)	LINSOL. FREÁTICO	N.º PERCUSSÃO	N.º REVESTIMENTO	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CARACTERÍSTICAS (VAL. PROVAS)	ALTERAÇÃO A	COERÊNCIA C	N.º de golpes (1 e 2) (3 e 4)	PERCUSSÃO		TRECHO DE	VAGÃO	LITOPHIA	LITOLIA	LITOLIA	LITOLIA	LITOLIA	LITOLIA	
											RECUP. %	RECUPERAÇÃO %									A
										20-40 (5) 80	20-40-60-80										
0				1,90		Argila arenosa, cor marrom, com presença de raízes, consistência média.				60%											
1,90				5,70		Pedras e pedregulhos com argila silteosa, cor marrom-avermelhada, consistência média passando para dura.				91%											
5,70				8,70		Argila com areia fina, cor marrom, consistência rija.				91%											
8,70				10,50		Basalto amigdaloidal-vesicular, cor cinza, muito alterado, fragmentado, com presença de alteração entre os fragmentos.		A4	C4	F5	0%	30%									
10,50				11,80		Basalto amigdaloidal-vesicular, cor marrom, pouco fraturado; ocorrem amígdalas milimétricas e pequenos veios.	(2,20m x 0,10, 1-1) (2,20m x 0,10, 1-1)	A2	C2	F1	100%	100%									
11,80				15,10		Basalto denso, cor cinza, são, pouco fraturado; ocorrem amígdalas milimétricas e pequenos veios.	(2,20m x 0,10, 1-1) (2,20m x 0,10, 1-1)	A1	C1	F1	94%	100%									
15,10						Limite de sondagem				F2	95%	95%									
										F1											


 Departamento de Engenharia de Estruturas e Materiais
 Escala: 1:100
 LEGENDA:
 A1 - 1 - argila arenosa
 A2 - 2 - argila arenosa
 A3 - 3 - argila arenosa
 A4 - 4 - argila arenosa
 A5 - 5 - argila arenosa
 A6 - 6 - argila arenosa
 A7 - 7 - argila arenosa
 A8 - 8 - argila arenosa
 A9 - 9 - argila arenosa
 A10 - 10 - argila arenosa
 A11 - 11 - argila arenosa
 A12 - 12 - argila arenosa
 A13 - 13 - argila arenosa
 A14 - 14 - argila arenosa
 A15 - 15 - argila arenosa
 A16 - 16 - argila arenosa
 A17 - 17 - argila arenosa
 A18 - 18 - argila arenosa
 A19 - 19 - argila arenosa
 A20 - 20 - argila arenosa
 A21 - 21 - argila arenosa
 A22 - 22 - argila arenosa
 A23 - 23 - argila arenosa
 A24 - 24 - argila arenosa
 A25 - 25 - argila arenosa
 A26 - 26 - argila arenosa
 A27 - 27 - argila arenosa
 A28 - 28 - argila arenosa
 A29 - 29 - argila arenosa
 A30 - 30 - argila arenosa
 A31 - 31 - argila arenosa
 A32 - 32 - argila arenosa
 A33 - 33 - argila arenosa
 A34 - 34 - argila arenosa
 A35 - 35 - argila arenosa
 A36 - 36 - argila arenosa
 A37 - 37 - argila arenosa
 A38 - 38 - argila arenosa
 A39 - 39 - argila arenosa
 A40 - 40 - argila arenosa
 A41 - 41 - argila arenosa
 A42 - 42 - argila arenosa
 A43 - 43 - argila arenosa
 A44 - 44 - argila arenosa
 A45 - 45 - argila arenosa
 A46 - 46 - argila arenosa
 A47 - 47 - argila arenosa
 A48 - 48 - argila arenosa
 A49 - 49 - argila arenosa
 A50 - 50 - argila arenosa
 A51 - 51 - argila arenosa
 A52 - 52 - argila arenosa
 A53 - 53 - argila arenosa
 A54 - 54 - argila arenosa
 A55 - 55 - argila arenosa
 A56 - 56 - argila arenosa
 A57 - 57 - argila arenosa
 A58 - 58 - argila arenosa
 A59 - 59 - argila arenosa
 A60 - 60 - argila arenosa
 A61 - 61 - argila arenosa
 A62 - 62 - argila arenosa
 A63 - 63 - argila arenosa
 A64 - 64 - argila arenosa
 A65 - 65 - argila arenosa
 A66 - 66 - argila arenosa
 A67 - 67 - argila arenosa
 A68 - 68 - argila arenosa
 A69 - 69 - argila arenosa
 A70 - 70 - argila arenosa
 A71 - 71 - argila arenosa
 A72 - 72 - argila arenosa
 A73 - 73 - argila arenosa
 A74 - 74 - argila arenosa
 A75 - 75 - argila arenosa
 A76 - 76 - argila arenosa
 A77 - 77 - argila arenosa
 A78 - 78 - argila arenosa
 A79 - 79 - argila arenosa
 A80 - 80 - argila arenosa
 A81 - 81 - argila arenosa
 A82 - 82 - argila arenosa
 A83 - 83 - argila arenosa
 A84 - 84 - argila arenosa
 A85 - 85 - argila arenosa
 A86 - 86 - argila arenosa
 A87 - 87 - argila arenosa
 A88 - 88 - argila arenosa
 A89 - 89 - argila arenosa
 A90 - 90 - argila arenosa
 A91 - 91 - argila arenosa
 A92 - 92 - argila arenosa
 A93 - 93 - argila arenosa
 A94 - 94 - argila arenosa
 A95 - 95 - argila arenosa
 A96 - 96 - argila arenosa
 A97 - 97 - argila arenosa
 A98 - 98 - argila arenosa
 A99 - 99 - argila arenosa
 A100 - 100 - argila arenosa
 A101 - 101 - argila arenosa
 A102 - 102 - argila arenosa
 A103 - 103 - argila arenosa
 A104 - 104 - argila arenosa
 A105 - 105 - argila arenosa
 A106 - 106 - argila arenosa
 A107 - 107 - argila arenosa
 A108 - 108 - argila arenosa
 A109 - 109 - argila arenosa
 A110 - 110 - argila arenosa
 A111 - 111 - argila arenosa
 A112 - 112 - argila arenosa
 A113 - 113 - argila arenosa
 A114 - 114 - argila arenosa
 A115 - 115 - argila arenosa
 A116 - 116 - argila arenosa
 A117 - 117 - argila arenosa
 A118 - 118 - argila arenosa
 A119 - 119 - argila arenosa
 A120 - 120 - argila arenosa
 A121 - 121 - argila arenosa
 A122 - 122 - argila arenosa
 A123 - 123 - argila arenosa
 A124 - 124 - argila arenosa
 A125 - 125 - argila arenosa
 A126 - 126 - argila arenosa
 A127 - 127 - argila arenosa
 A128 - 128 - argila arenosa
 A129 - 129 - argila arenosa
 A130 - 130 - argila arenosa
 A131 - 131 - argila arenosa
 A132 - 132 - argila arenosa
 A133 - 133 - argila arenosa
 A134 - 134 - argila arenosa
 A135 - 135 - argila arenosa
 A136 - 136 - argila arenosa
 A137 - 137 - argila arenosa
 A138 - 138 - argila arenosa
 A139 - 139 - argila arenosa
 A140 - 140 - argila arenosa
 A141 - 141 - argila arenosa
 A142 - 142 - argila arenosa
 A143 - 143 - argila arenosa
 A144 - 144 - argila arenosa
 A145 - 145 - argila arenosa
 A146 - 146 - argila arenosa
 A147 - 147 - argila arenosa
 A148 - 148 - argila arenosa
 A149 - 149 - argila arenosa
 A150 - 150 - argila arenosa
 A151 - 151 - argila arenosa
 A152 - 152 - argila arenosa
 A153 - 153 - argila arenosa
 A154 - 154 - argila arenosa
 A155 - 155 - argila arenosa
 A156 - 156 - argila arenosa
 A157 - 157 - argila arenosa
 A158 - 158 - argila arenosa
 A159 - 159 - argila arenosa
 A160 - 160 - argila arenosa
 A161 - 161 - argila arenosa
 A162 - 162 - argila arenosa
 A163 - 163 - argila arenosa
 A164 - 164 - argila arenosa
 A165 - 165 - argila arenosa
 A166 - 166 - argila arenosa
 A167 - 167 - argila arenosa
 A168 - 168 - argila arenosa
 A169 - 169 - argila arenosa
 A170 - 170 - argila arenosa
 A171 - 171 - argila arenosa
 A172 - 172 - argila arenosa
 A173 - 173 - argila arenosa
 A174 - 174 - argila arenosa
 A175 - 175 - argila arenosa
 A176 - 176 - argila arenosa
 A177 - 177 - argila arenosa
 A178 - 178 - argila arenosa
 A179 - 179 - argila arenosa
 A180 - 180 - argila arenosa
 A181 - 181 - argila arenosa
 A182 - 182 - argila arenosa
 A183 - 183 - argila arenosa
 A184 - 184 - argila arenosa
 A185 - 185 - argila arenosa
 A186 - 186 - argila arenosa
 A187 - 187 - argila arenosa
 A188 - 188 - argila arenosa
 A189 - 189 - argila arenosa
 A190 - 190 - argila arenosa
 A191 - 191 - argila arenosa
 A192 - 192 - argila arenosa
 A193 - 193 - argila arenosa
 A194 - 194 - argila arenosa
 A195 - 195 - argila arenosa
 A196 - 196 - argila arenosa
 A197 - 197 - argila arenosa
 A198 - 198 - argila arenosa
 A199 - 199 - argila arenosa
 A200 - 200 - argila arenosa
 A201 - 201 - argila arenosa
 A202 - 202 - argila arenosa
 A203 - 203 - argila arenosa
 A204 - 204 - argila arenosa
 A205 - 205 - argila arenosa
 A206 - 206 - argila arenosa
 A207 - 207 - argila arenosa
 A208 - 208 - argila arenosa
 A209 - 209 - argila arenosa
 A210 - 210 - argila arenosa
 A211 - 211 - argila arenosa
 A212 - 212 - argila arenosa
 A213 - 213 - argila arenosa
 A214 - 214 - argila arenosa
 A215 - 215 - argila arenosa
 A216 - 216 - argila arenosa
 A217 - 217 - argila arenosa
 A218 - 218 - argila arenosa
 A219 - 219 - argila arenosa
 A220 - 220 - argila arenosa
 A221 - 221 - argila arenosa
 A222 - 222 - argila arenosa
 A223 - 223 - argila arenosa
 A224 - 224 - argila arenosa
 A225 - 225 - argila arenosa
 A226 - 226 - argila arenosa
 A227 - 227 - argila arenosa
 A228 - 228 - argila arenosa
 A229 - 229 - argila arenosa
 A230 - 230 - argila arenosa
 A231 - 231 - argila arenosa
 A232 - 232 - argila arenosa
 A233 - 233 - argila arenosa
 A234 - 234 - argila arenosa
 A235 - 235 - argila arenosa
 A236 - 236 - argila arenosa
 A237 - 237 - argila arenosa
 A238 - 238 - argila arenosa
 A239 - 239 - argila arenosa
 A240 - 240 - argila arenosa
 A241 - 241 - argila arenosa
 A242 - 242 - argila arenosa
 A243 - 243 - argila arenosa
 A244 - 244 - argila arenosa
 A245 - 245 - argila arenosa
 A246 - 246 - argila arenosa
 A247 - 247 - argila arenosa
 A248 - 248 - argila arenosa
 A249 - 249 - argila arenosa
 A250 - 250 - argila arenosa
 A251 - 251 - argila arenosa
 A252 - 252 - argila arenosa
 A253 - 253 - argila arenosa
 A254 - 254 - argila arenosa
 A255 - 255 - argila arenosa
 A256 - 256 - argila arenosa
 A257 - 257 - argila arenosa
 A258 - 258 - argila arenosa
 A259 - 259 - argila arenosa
 A260 - 260 - argila arenosa
 A261 - 261 - argila arenosa
 A262 - 262 - argila arenosa
 A263 - 263 - argila arenosa
 A264 - 264 - argila arenosa
 A265 - 265 - argila arenosa
 A266 - 266 - argila arenosa
 A267 - 267 - argila arenosa
 A268 - 268 - argila arenosa
 A269 - 269 - argila arenosa
 A270 - 270 - argila arenosa
 A271 - 271 - argila arenosa
 A272 - 272 - argila arenosa
 A273 - 273 - argila arenosa
 A274 - 274 - argila arenosa
 A275 - 275 - argila arenosa
 A276 - 276 - argila arenosa
 A277 - 277 - argila arenosa
 A278 - 278 - argila arenosa
 A279 - 279 - argila arenosa
 A280 - 280 - argila arenosa
 A281 - 281 - argila arenosa
 A282 - 282 - argila arenosa
 A283 - 283 - argila arenosa
 A284 - 284 - argila arenosa
 A285 - 285 - argila arenosa
 A286 - 286 - argila arenosa
 A287 - 287 - argila arenosa
 A288 - 288 - argila arenosa
 A289 - 289 - argila arenosa
 A290 - 290 - argila arenosa
 A291 - 291 - argila arenosa
 A292 - 292 - argila arenosa
 A293 - 293 - argila arenosa
 A294 - 294 - argila arenosa
 A295 - 295 - argila arenosa
 A296 - 296 - argila arenosa
 A297 - 297 - argila arenosa
 A298 - 298 - argila arenosa
 A299 - 299 - argila arenosa
 A300 - 300 - argila arenosa
 A301 - 301 - argila arenosa
 A302 - 302 - argila arenosa
 A303 - 303 - argila arenosa
 A304 - 304 - argila arenosa
 A305 - 305 - argila arenosa
 A306 - 306 - argila arenosa
 A307 - 307 - argila arenosa
 A308 - 308 - argila arenosa
 A309 - 309 - argila arenosa
 A310 - 310 - argila arenosa
 A311 - 311 - argila arenosa
 A312 - 312 - argila arenosa
 A313 - 313 - argila arenosa
 A314 - 314 - argila arenosa
 A315 - 315 - argila arenosa
 A316 - 316 - argila arenosa
 A317 - 317 - argila arenosa
 A318 - 318 - argila arenosa
 A319 - 319 - argila arenosa
 A320 - 320 - argila arenosa
 A321 - 321 - argila arenosa
 A322 - 322 - argila arenosa
 A323 - 323 - argila arenosa
 A324 - 324 - argila arenosa
 A325 - 325 - argila arenosa
 A326 - 326 - argila arenosa
 A327 - 327 - argila arenosa
 A328 - 328 - argila arenosa
 A329 - 329 - argila arenosa
 A330 - 330 - argila arenosa
 A331 - 331 - argila arenosa
 A332 - 332 - argila arenosa
 A333 - 333 - argila arenosa
 A334 - 334 - argila arenosa
 A335 - 335 - argila arenosa
 A336 - 336 - argila arenosa
 A337 - 337 - argila arenosa
 A338 - 338 - argila arenosa
 A339 - 339 - argila arenosa
 A340 - 340 - argila arenosa
 A341 - 341 - argila arenosa
 A342 - 342 - argila arenosa
 A343 - 343 - argila arenosa
 A344 - 344 - argila arenosa
 A345 - 345 - argila arenosa
 A346 - 346 - argila arenosa
 A347 - 347 - argila arenosa
 A348 - 348 - argila arenosa
 A349 - 349 - argila arenosa
 A350 - 350 - argila arenosa
 A351 - 351 - argila arenosa
 A352 - 352 - argila arenosa
 A353 - 353 - argila arenosa
 A354 - 354 - argila arenosa
 A355 - 355 - argila arenosa
 A356 - 356 - argila arenosa
 A357 - 357 - argila arenosa
 A358 - 358 - argila arenosa
 A359 - 359 - argila arenosa
 A360 - 360 - argila arenosa
 A361 - 361 - argila arenosa
 A362 - 362 - argila arenosa
 A363 - 363 - argila arenosa
 A364 - 364 - argila arenosa
 A365 - 365 - argila arenosa
 A366 - 366 - argila arenosa
 A367 - 367 - argila arenosa
 A368 - 368 - argila arenosa
 A369 - 369 - argila arenosa
 A370 - 370 - argila arenosa
 A371 - 371 - argila arenosa
 A372 - 372 - argila arenosa
 A373 - 373 - argila arenosa
 A374 - 374 - argila arenosa
 A375 - 375 - argila arenosa
 A376 - 376 - argila arenosa
 A377 - 377 - argila arenosa
 A378 - 378 - argila arenosa
 A379 - 379 - argila arenosa
 A380 - 380 - argila arenosa
 A381 - 381 - argila arenosa
 A382 - 382 - argila arenosa
 A383 - 383 - argila arenosa
 A384 - 384 - argila arenosa
 A385 - 385 - argila arenosa
 A386 - 386 - argila arenosa
 A387 - 387 - argila arenosa
 A388 - 388 - argila arenosa
 A389 - 389 - argila arenosa
 A390 - 390 - argila arenosa
 A391 - 391 - argila arenosa
 A392 - 392 - argila arenosa
 A393 - 393 - argila arenosa
 A394 - 394 - argila arenosa
 A395 - 395 - argila arenosa
 A396 - 396 - argila arenosa
 A397 - 397 - argila arenosa
 A398 - 398 - argila arenosa
 A399 - 399 - argila arenosa
 A400 - 400 - argila arenosa
 A401 - 401 - argila arenosa
 A402 - 402 - argila arenosa
 A403 - 403 - argila arenosa
 A404 - 404 - argila arenosa
 A405 - 405 - argila arenosa
 A406 - 406 - argila arenosa
 A407 - 407 - argila arenosa
 A408 - 408 - argila arenosa
 A409 - 409 - argila arenosa
 A410 - 410 - argila arenosa
 A411 - 411 - argila arenosa
 A412 - 412 - argila arenosa
 A413 - 413 - argila arenosa
 A414 - 414 - argila arenosa
 A415 - 415 - argila arenosa
 A416 - 416 - argila arenosa
 A417 - 417 - argila arenosa
 A418 - 418 - argila arenosa
 A419 - 419 - argila arenosa
 A420 - 420 - argila arenosa
 A421 - 421 - argila arenosa
 A422 - 422 - argila arenosa
 A423 - 423 - argila arenosa
 A424 - 424 - argila arenosa
 A425 - 425 - argila arenosa
 A426 - 426 - argila arenosa
 A427 - 427 - argila arenosa
 A428 - 428 - argila arenosa
 A429 - 429 - argila arenosa
 A430 - 430 - argila arenosa
 A431 - 431 - argila arenosa
 A432 - 432 - argila arenosa
 A433 - 433 - argila arenosa
 A434 - 434 - argila arenosa
 A435 - 435 - argila arenosa
 A436 - 436 - argila arenosa
 A437 - 437 - argila arenosa
 A438 - 438 - argila arenosa
 A439 - 439 - argila arenosa
 A440 - 440 - argila arenosa
 A441 - 441 - argila arenosa
 A442 - 442 - argila arenosa
 A443 - 443 - argila arenosa
 A444 - 444 - argila arenosa
 A445 - 445 - argila arenosa
 A446 - 446 - argila arenosa
 A447 - 447 - argila arenosa
 A448 - 448 - argila arenosa
 A449 - 449 - argila arenosa
 A450 - 450 - argila arenosa
 A451 - 451 - argila arenosa
 A452 - 452 - argila arenosa
 A453 - 453 - argila arenosa
 A454 - 454 - argila arenosa
 A455 - 455 - argila arenosa
 A456 - 456 - argila arenosa
 A457 - 457 - argila arenosa
 A458 - 458 - argila arenosa
 A459 - 459 - argila arenosa
 A460 - 460 - argila arenosa
 A461 - 461 - argila arenosa
 A462 - 462 - argila arenosa
 A463 - 463 - argila arenosa
 A464 - 464 - argila arenosa
 A465 - 465 - argila arenosa
 A466 - 466 - argila arenosa
 A467 - 467 - argila arenosa
 A468 - 468 - argila arenosa
 A469 - 469 - argila arenosa
 A470 - 470 - argila arenosa
 A471 - 471 - argila arenosa
 A472 - 472 - argila arenosa
 A473 - 473 - argila arenosa
 A474 - 474 - argila arenosa
 A475 - 475 - argila arenosa
 A476 - 476 - argila arenosa
 A477 - 477 - argila arenosa
 A478 - 478 - argila arenosa
 A479 - 479 - argila arenosa
 A480 - 480 - argila arenosa
 A481 - 481 - argila arenosa
 A482 - 482 - argila arenosa
 A483 - 483 - argila arenosa
 A484 - 484 - argila arenosa
 A485 - 485 - argila arenosa
 A486 - 486 - argila arenosa
 A487 - 487 - argila arenosa
 A488 - 488 - argila arenosa
 A489 - 489 - argila arenosa
 A490 - 490 - argila arenosa
 A491 - 491 - argila arenosa
 A492 - 492 - argila arenosa
 A493 - 493 - argila arenosa
 A494 - 494 - argila arenosa
 A495 - 495 - argila arenosa
 A496 - 496 - argila arenosa
 A497 - 497 - argila arenosa
 A498 - 498 - argila arenosa
 A499 - 499 - argila arenosa
 A500 - 500 - argila arenosa
 A501 - 501 - argila arenosa
 A502 - 502 - argila arenosa
 A503 - 503 - argila arenosa
 A504 - 504 - argila arenosa
 A505 - 505 - argila arenosa
 A506 - 506 - argila arenosa
 A507 - 507 - argila arenosa
 A508 - 508 - argila arenosa
 A509 - 509 - argila arenosa
 A510 - 510 - argila arenosa
 A511 - 511 - argila arenosa
 A512 - 512 - argila arenosa
 A513 - 513 - argila arenosa
 A514 - 514 - argila arenosa
 A515 - 515 - argila arenosa
 A516 - 516 - argila arenosa
 A517 - 517 - argila arenosa
 A518 - 518 - argila arenosa
 A519 - 519 - argila arenosa
 A520 - 520 - argila arenosa
 A521 - 521 - argila arenosa
 A522 - 522 - argila arenosa
 A523 - 523 - argila arenosa
 A524 - 524 - argila arenosa
 A525 - 525 - argila arenosa
 A526 - 526 - argila arenosa
 A527 - 527 - argila arenosa
 A528 - 528 - argila arenosa
 A529 - 529 - argila arenosa
 A530 - 530 - argila arenosa
 A531 - 531 - argila arenosa
 A532 - 532 - argila arenosa
 A533 - 533 - argila arenosa
 A534 - 534 - argila arenosa
 A535 - 535 - argila arenosa
 A536 - 536 - argila arenosa
 A537 - 537 - argila arenosa
 A538 - 538 - argila arenosa
 A539 - 539 - argila arenosa
 A540 - 540 - argila arenosa
 A541 - 541 - argila arenosa
 A542 - 542 - argila arenosa
 A543 - 543 - argila arenosa
 A544 - 544 - argila arenosa
 A545 - 545 - argila arenosa
 A546 - 546 - argila arenosa
 A547 - 547 - argila arenosa
 A548 - 548 - argila arenosa
 A549 - 549 - argila arenosa
 A550 - 550 - argila arenosa
 A551 - 551 - argila arenosa
 A552 - 552 - argila arenosa
 A553 - 553 - argila arenosa
 A554 - 554 - argila arenosa
 A555 - 555 - argila arenosa
 A556 - 556 - argila arenosa
 A557 - 557 - argila arenosa
 A558 - 558 - argila arenosa
 A559 - 559 - argila arenosa
 A560 - 560 - argila arenosa
 A561 - 561 - argila arenosa
 A562 - 562 - argila arenosa
 A563 - 563 - argila arenosa
 A564 - 564 - argila arenosa
 A565 - 565 - argila arenosa
 A566 - 566 - argila arenosa
 A567 - 567 - argila arenosa
 A568 - 568 - argila arenosa
 A569 - 569 - argila arenosa
 A570 - 570 - arg

montante do corpo estradal do quilômetro 13+500 da ERS-431. Na abordagem de geologia estrutural de campo, pôde-se comprovar que o basculamento dos derrames basálticos está em direção ao Rio das Antas, com a direção do mergulho principal dos derrames para NE (comprovado pela profundidade dos horizontes de derrames e de zonas de alterabilidade, fornecidos a partir de testemunhos de sondagem).



Figura 7. Foto do túnel ferroviário situado à montante da ERS-431, onde foi possível averiguar a atitude de camadas de derrames basálticos concordantes com o leito do Rio das Antas (atitudes comprovadas pelos testemunhos de sondagens mistas). Fonte: Dados da Pesquisa.

Em terceira abordagem de campo, o foco principal deu-se na coleta de amostras de solos coluvionares para a realização dos ensaios de caracterização de densidade dos solos coluvionares presentes na área de estudo, necessários para complementar a análise da estabilidade do talude e da gênese da ruptura circular ocorrida. A coleta consistiu em duas amostras de solos coluvionares, DEMIPE/3 (AM-01) e DEMIPE/4 (AM-02), enviados para análises na CIENTEC-RS e em ensaio de densidade *In Situ* (o qual consistiu na cravação, em zona de deposição coluvionar, de um cilindro metálico de volume de $2868,02 \text{ cm}^3$, na qual a massa de

colúvio que preencheu esse cilindro é de 4108 g. A partir do volume e da massa de colúvio obtidos, foi possível determinar a densidade *In Situ* do solo coluvionar em $1,432 \text{ g/cm}^3$.



Figura 8. Realização do ensaio de densidade de solo coluvionar *In Situ*. Fonte: Dados da Pesquisa.

3.3 MÉTODOS PÓS-CAMPO

Os estudos pós-campo abrangeram a confecção do mapa topográfico final (ferramenta fundamental para elaboração dos perfis e para determinação da estabilidade do talude, verificado pelo *software GeoSlope*), as análises de laboratório foram elaboradas a partir dos testemunhos de sondagem, dos quais foram extraídas amostras para confecção de lâminas petrográficas – 3 lâminas no total, análise de RQD (*Rock Quality Designation*), elaboração dos perfis geológico/geotécnicos a partir do *software DraftSight*, elaboração de um modelo geotécnico para estabilidade de taludes do quilômetro 13+500 a partir dos *softwares DraftSight* e *GeoSlope* – modelo que auxiliou na interpretação geológica/geotécnica ao determinar o dimensionamento da ruptura circular ao fornecer uma melhor interpretação da gênese da ruptura e elaboração da retroanálise geotécnica, objetivando confirmar as hipóteses da gênese do processo de ruptura e a delimitação do mesmo a partir do modelamento de perfil transversal de estabilidade

de taludes.

O mapa topográfico foi elaborado a partir de dados coletados em campo e confeccionados a partir dos *softwares Surfer e DraftSight*. O mapa elaborado já fornece uma geometria melhor definida da ruptura do talude do quilômetro 13+500 da ERS-431.

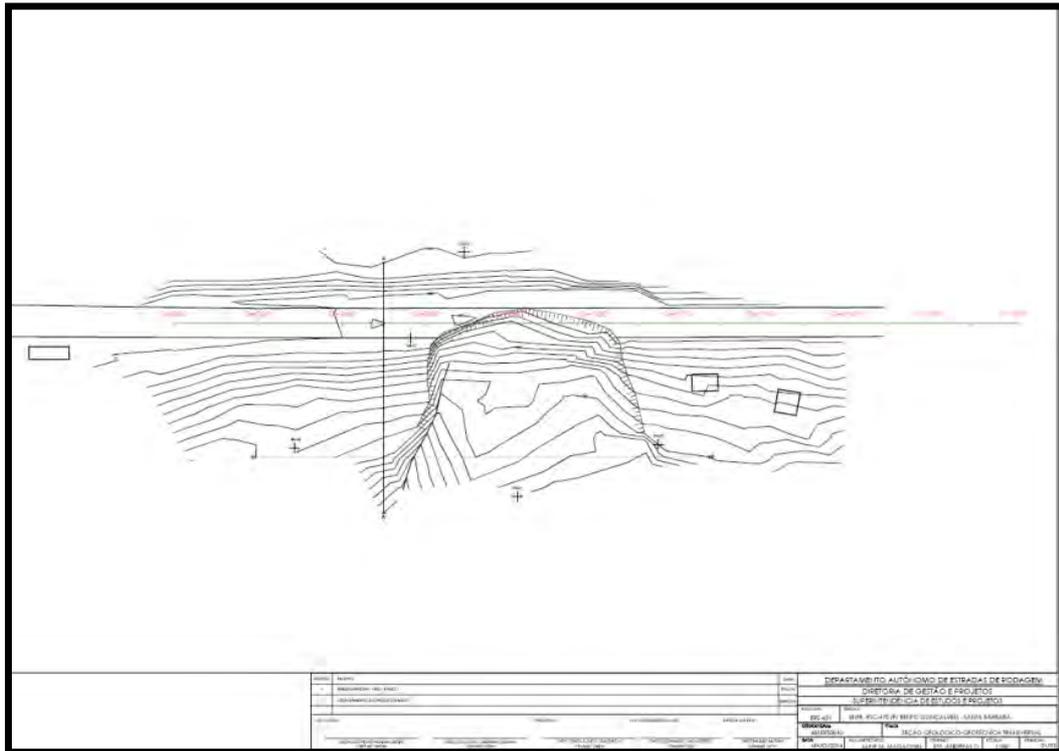


Figura 9. Mapa topográfico elaborado a partir dos *softwares Surfer* e com versão apresentada a partir do *software DraftSight*.. Fonte: Dados da Pesquisa.

Os testemunhos de sondagem forneceram importantes informações sobre o maciço rochoso e do seu material de alteração, de origem coluvionar. Foram coletados cinco testemunhos de sondagem mista (denominados: SM-01, SM-02, SM-03, SM-04 e SM-05). A partir dos testemunhos selecionados (SM-01, SM-03 e SM-04) os quais caracterizam as variações mais representativas dos substrato do talude rodoviário, foram correlacionados os parâmetros principais para obtenção do RQD (*Rock Quality Designation*).

Tabela 7. Tabela de graduação de qualidade de rocha (RQD), correlacionado com os resultados obtidos para testemunhos de três furos: SM-01 (qualidade regular), SM-03 (má qualidade) e SM-04 (excelente qualidade). Fonte: Dados da Pesquisa.

GRAU	%	QUALIDADE DA ROCHA
R1	100-91	Excelente
R2	90-76	Boa
R3	75-51	Regular
R4	50-26	Má
R5	25-0	Péssima

Rock Quality Designation:

SM-01: 61%

SM-03: 30%

SM-04: 95%

As lâminas petrográficas foram confeccionadas no Laboratório de Preparação de Amostras do IGEO, a partir de amostras extraídas de três furos de sondagem que foram submetidos ao RQD (SM-01, SM-03 e SM-04). As amostras para estudo petrográfico foram selecionadas e analisadas nos horizontes litológicos mais representativos do contexto local. As amostras selecionadas para confecção de lâminas petrográficas foram coletadas nas seguintes profundidades dos testemunhos: SM-01 (caixa 2 – 7,8 metros); SM-03 (caixa 2 – 9,0 metros) e SM-04 (caixa 3 – 13,65 metros). Após a análise das lâminas petrográficas dos testemunhos selecionados, diagnosticou-se que a amostra SM-01 é constituída, nos seus minerais principais, por plagioclásio sódico (euédrico a subédrico), com tamanho variando entre 2,2 mm a 0,3 mm (compõe 50% da rocha). Os cristais de plagioclásio são aciculares e isótipos (não apresentando, portanto, orientação entre si). Os cristais de plagioclásio estão imersos em uma matriz vítrea, que compõe aproximadamente 30% da rocha. A SM-01 possui amígdalas de quartzo (de tamanho entre 8,0 mm a 2,8 mm) circundadas por mineral de alteração de cor verde, seladonita. A amostra SM-01 é uma rocha basáltica maciça, de textura fina e matriz vítrea, com amígdalas preenchidas por quartzo e é cortada por um veio de arenito (comportando-se como um fluido hidrotermal, já apresentando evidências diagenéticas).

A SM-03 é constituída, mineralogicamente, por cristais de plagioclásio sódico, de tamanho que varia entre 2,2 mm a 0,3 mm, euédricos a subédricos, com cristais aciculares isótipos (constituindo 50% da rocha). Alguns minerais de plagioclásio apresentam alteração para sericita e outros, oxidados, formaram cutículas de hematita. Ocorre a presença de olivinas (compondo 2% da rocha), subédricas, bem fraturadas e de tamanho de grão entre 1,2 mm a 0,4 mm. Também há presença de augitas fraturadas (compondo 5% da rocha), subédricas e de tamanho de grão variando entre 1,2 mm a 0,4 mm. Esses minerais estão imersos em uma matriz vítrea, que compõe 30% da rocha. A rocha é maciça, de textura fina e matriz vítrea,

com presença de amígdalas de quartzo e zeolita. É uma rocha de cor marrom, devido a presença de minerais de alteração dos minerais principais.

A amostra SM-04, tem minerais principais em plagioclásio sódico e sílica em proporções semelhantes às amostras SM-01 e SM-03, porém não conta com a presença de amígdalas e com a mesma abundância de argilominerais presentes nas demais amostras.

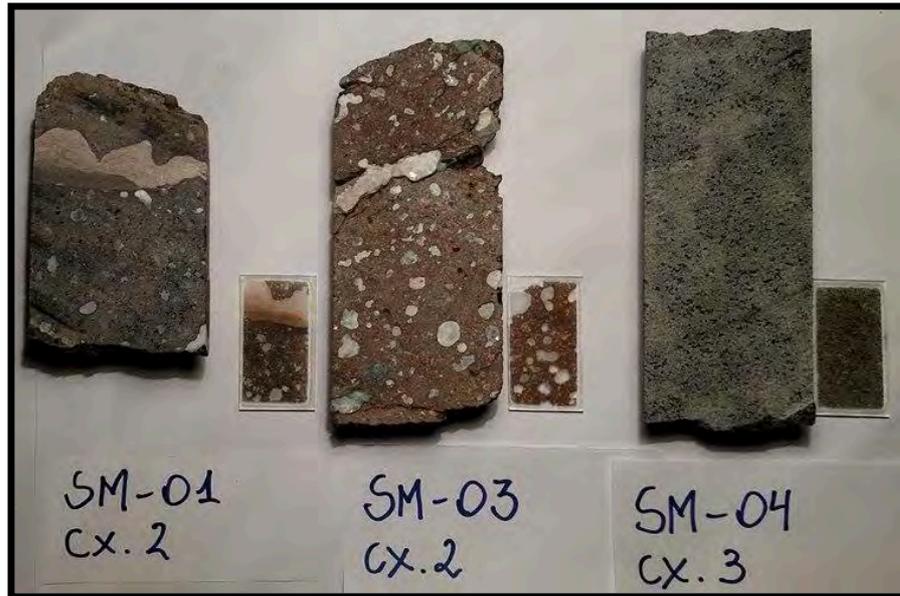


Figura 10. Amostras dos testemunhos de sondagem coletados para análise e suas respectivas lâminas petrográficas. Destacam-se a presença de amígdalas na amostra SM-03, a presença de veios de arenito na amostra SM-01 e as características maciças da amostra SM-04. Fonte: Dados da Pesquisa.

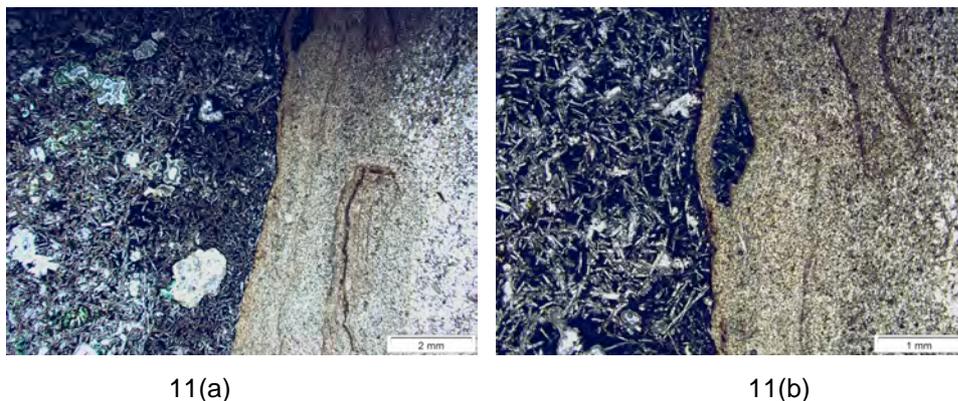


Figura 11. 11(a): Foto de lâmina petrográfica da amostra SM-01, em luz polarizada. Visualiza-se ao lado esquerdo, derrame basáltico com sua mineralogia composta majoritariamente por grãos de plagioclásio imersos em matriz vítrea. Ao lado direito visualiza-se injeção de arenito, transportado em condições de fluido hidrotermal. 11(b): Foto da amostra SM-01, onde percebe-se com mais detalhe pequenas inclusões de porções

basálticas absorvidas pelo arenito hidrotermalizado. Fonte: Dados da Pesquisa.

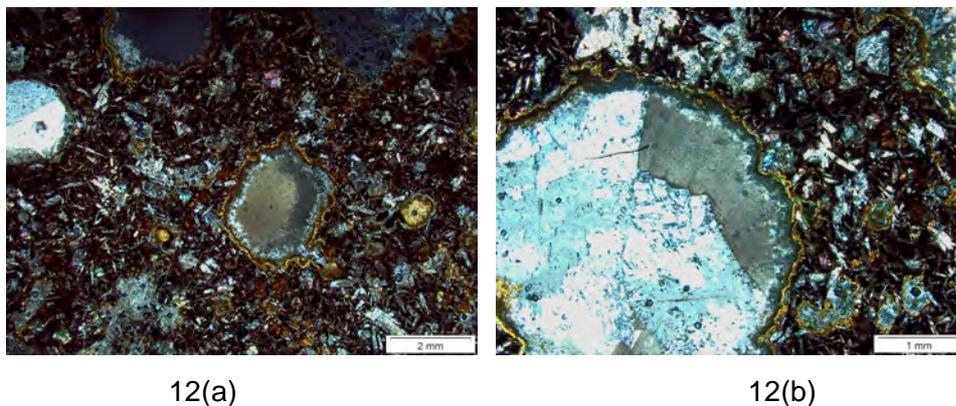


Figura 12. 12(a): Foto de lâmina petrográfica da amostra SM-03, em luz polarizada. Observa-se presença constante de amígdalas preenchidas preferencialmente por sílica. 12(b): Foto da amostra SM-03, detalhando o contato das amígdalas preenchidas por sílica com cutículas de hematita. Fonte: Dados da Pesquisa.

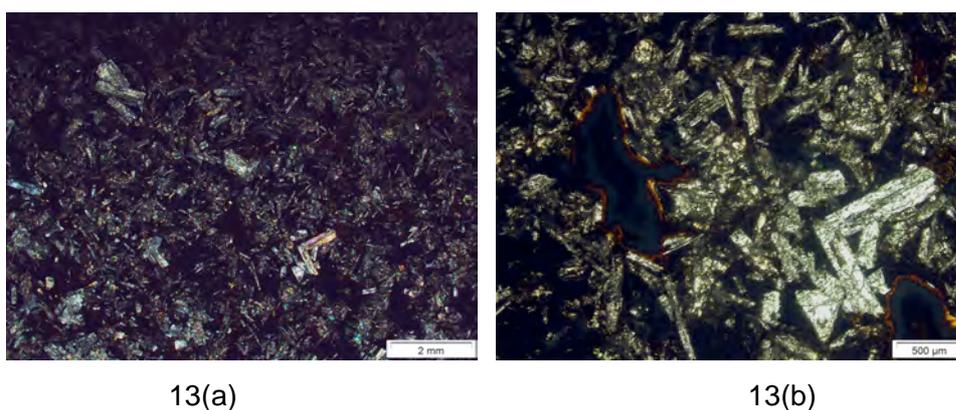


Figura 13. 13(a): Foto de lâmina petrográfica da amostra SM-04, em luz polarizada. Observa-se textura alotriomórfica dos plagioclásios, imersos em matriz vítrea. 13(b): Foto da amostra SM-04, em luz natural, detalhando o contato das amígdalas não preenchidas e que possuem cutículas de hematita. Fonte: Dados da Pesquisa.

A coleta dos testemunhos de sondagem mista forneceu dados para a elaboração de um perfil transversal e de um perfil longitudinal a rodovia. Os perfis foram criados a partir de uma base topográfica, gerada pelo mapa topográfico da área, via *software DraftSight*, e foram elaborados a partir da análise das intercalações das distintas profundidades das camadas reconhecidas. Ao interligar-se as profundidades das camadas, pôde-se obter uma tendência estrutural dos derrames que, no quilômetro 13+500, mergulham para NE, em direção à margem

dos Rio das Antas. As cotas das profundidades das camadas estão representadas pelos perfis de sondagem representados nos pontos locados (no perfil transversal estão representados os perfis SM-03, SM-02, SM-04 e SM-01; no perfil longitudinal estão representados os perfis SM-04, SM-01 e SM-05). Com o levantamento dos perfis transversais e longitudinais do quilômetro 13+500 da ERS- 431, foram obtidas importantes informações quanto a tendência principal da atitude dos derrames basálticos, quanto a disposição das zonas de deposição coluvionar e quanto ao próprio aterro da rodovia. Percebe-se, ao correlacionar os dois perfis, que ocorrem espessas camadas de deposição coluvionar a jusante da rodovia, assim como o grau de basculamento do maciço rochoso tende a mergulhar em direção ao leito do Rio das Antas. Ao diagnosticar-se a tendência do mergulho dos derrames e das deposições coluvionares em direção à margem do Rio das Antas, foi presumido que um dos possíveis fatores facilitadores para ocorrência da ruptura deste talude foi a atitude destas camadas concordantes ao leito do rio. O reconhecimento das profundidades dessas camadas foi importante ao fornecer informações para o posterior projeto de reconformação da ERS-431 no quilômetro 13+500, pois, a partir do reconhecimento das profundidades das camadas de basalto são, a equipe de engenharia pôde estimar a profundidade de escavação a ser realizada para atingir essa camada são (mecanicamente estável para servir como base para a projeção e construção de enrocamento, com a finalidade de reconstituir o talude rodoviário). O reconhecimento dessas profundidades também permitiu à equipe de engenharia projetar a cota de base, para cálculo de volume e para determinação da inclinação do enrocamento que reconstituiu este talude.

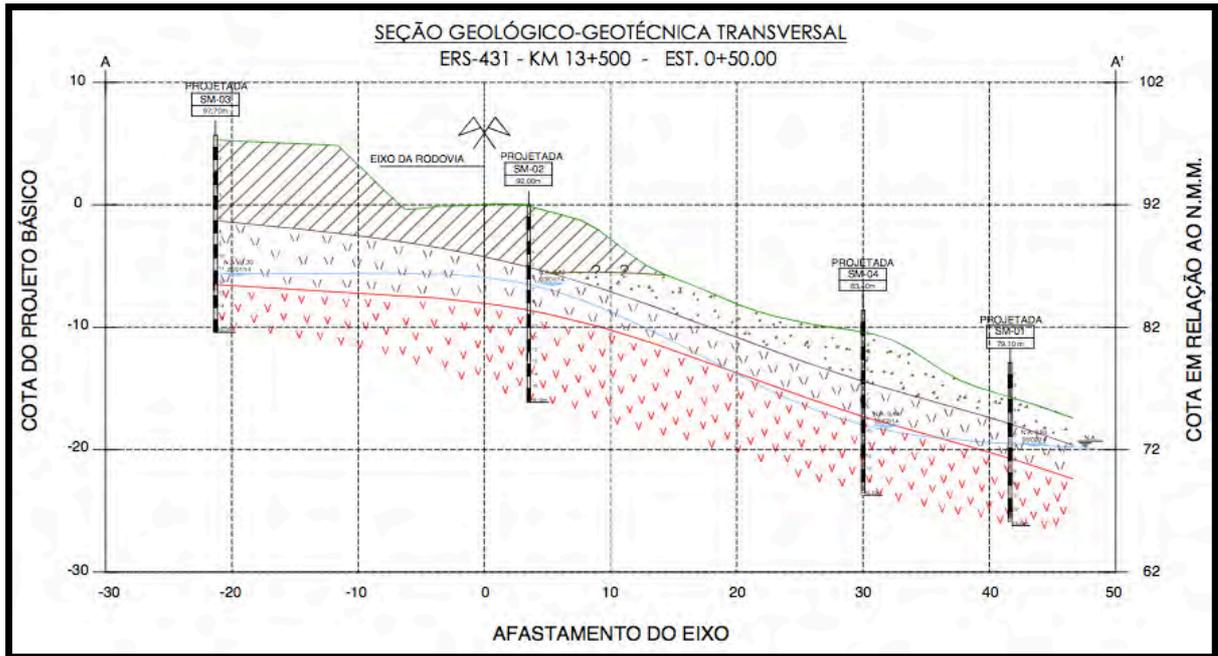


Figura 14. Perfil transversal ao quilômetro 13+500 da ERS-431, definindo horizontes de derrames do basalto maciço, as camadas superiores de rocha basáltica alterada com amígdalas e a região de topo, representando o aterro rodoviário e a deposição coluvionar à jusante do Rio das Antas. Fonte: Dados da Pesquisa.

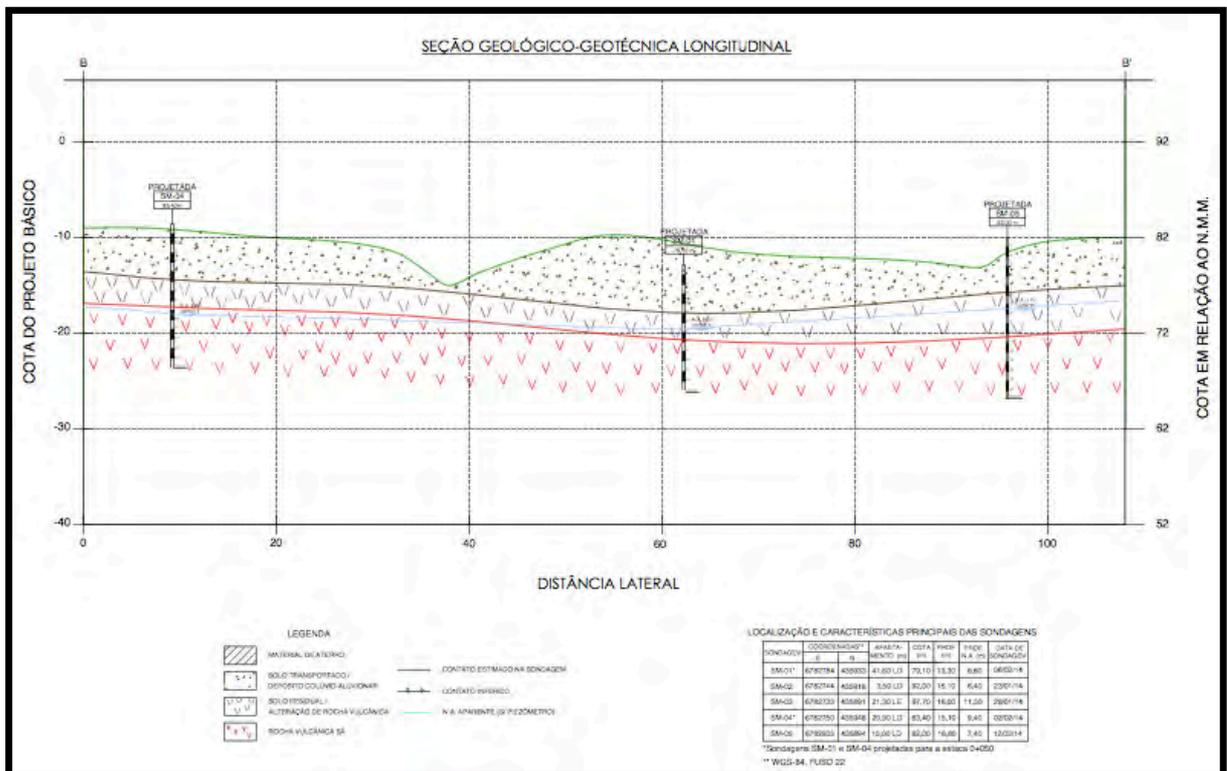


Figura 15. Perfil longitudinal ao eixo da ERS-431, no quilômetro 13+500, apresentando

outro ângulo de observação das camadas. Fonte: Dados do Projeto.

As amostras de solo coluvionar, coletadas em campo, foram destinadas às análises geocaracterísticas na CIENTEC-RS. Foram executados ensaios para obtenção de análises granulométricas de solo (ABNT NBR 7181:1998), determinação do limite de liquidez do solo (ABNT NBR 6459:1984) e limite de plasticidade (ABNT NBR 7180:1988). Os ensaios resultaram na seguinte tabela, geradora do Índice de Plasticidade das amostras DEMIPE/3 e DEMIPE/4.

Tabela 8. Resultados dos ensaios de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de plasticidade do material coluvionar típico da área da ERS-431, onde a proporção de argila-silte das amostras ensaiadas chegam a 61% do volume de material para a amostra DEMIPE/4. Fonte: Dados da Pesquisa.

CIENTEC Amostra n°	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
DEMIPE/3	46	30	16
DEMIPE/4	63	32	31

A etapa posterior à coleta e a análise das amostras de campo, na qual reuniram-se as características acima descritas, passou por compilar dados topográficos, dados dos resultados da análise visual dos testemunhos de sondagem e seus horizontes, representados nos perfis transversal e longitudinal a rodovia, e geocaracterização de cada camada representada nos perfis para inserção no software *GeoStudio – 2012, GeoSlope*.

A inserção de dados no *GeoSlope* teve como etapa primária a confecção das bases topográficas para elaboração de perfil na plataforma do *software*. Esses dados foram estabelecidos a partir da confecção das cotas topográficas anteriores a ruptura (o perfil das cotas do terreno foram estimados a partir de imagens fornecidas pelo *software Google Earth*, com imagens datadas de julho de 2013), da inserção de valores geocaracterísticos para as três camadas principais elaboradas (aterro rodoviário / solo residual; deposição coluvionar e derrames basálticos) e da determinação do nível da água do Rio das Antas e dos níveis piezométricos que acompanham a geometria do talude da área estudada. Tais valores são

fundamentais para serem calculados a partir dos modelos matemáticos para estabilidade de taludes propostos por Bishop (1955) e Morgenstern (1960), executados no *software GeoSlope*.

Para compreensão dos limites de estabilidade de taludes da região nas fases pré-ruptura de talude e pós-ruptura de talude (em período posterior a recuperação do talude rodoviário), foram realizadas comparações dos perfis transversais elaborados no *software GeoSlope*.

Na fase pré-ruptura foram estabelecidos critérios para elaboração do perfil de acordo com imagens de satélite coletadas via *software Google Earth*, datadas do mês de julho de 2013 (antes da ruptura ocorrida no mês de novembro de 2013). Para corroborar com as informações obtidas quanto ao evento de elevação do nível freático do Rio das Antas, na teria antecedido o momento do colapso do talude do quilômetro 13+500 da ERS-431, foram coletadas informações quanto aos registros de precipitações pluviométricas locais. As tabelas 9 e 10 apresentam dados de precipitação pluviométrica para o ano de 2013 e para as médias de precipitação pluviométrica entre 1976 e 2012. Destaca-se a precipitação pluviométrica para novembro de 2013 (288,5 mm) e para as médias obtidas para os meses de novembro entre os anos de 1976 a 2012 (140 mm). Tanto o perfil quanto o nível da água estimado para o período da ruptura, foram estimados a partir da elevação do Rio das Antas em ocasiões de cheia, ou em eventos torrenciais (Figura 16). Os níveis piezométricos estimados acompanham a elevação do nível do Rio das Antas, nos níveis locados no primeiro perfil transversal, elaborado e submetido ao ensaio de estabilidade de talude (Figura 17).

Tabela 9. Dados meteorológicos do ano de 2013 gerados pela Estação Agroclimática da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves-RS, coletados no *site* da Embrapa – <http://www.cnpuv.embrapa.br/prodserv/meteorologia/bento-mensais.html>. Destaca-se a precipitação pluviométrica do mês de novembro de 2013: 288,5 mm (mês da ocorrência da ruptura do talude da ERS-431 no quilômetro 13+500). Fonte: Embrapa (2016).

Mês	Temperatura do ar (°C)			Precipitação Pluviométrica (mm)	Dias com precipitação (nº)	Umidade relativa do ar (%)	Insolação	Veloc. média vento (m/s)
	Média	Máxima	Mínima					
Janeiro	20,9	26,5	15,9	114,1	10	71	280,2	2,2
Fevereiro	21,3	26,5	17,2	108,5	15	80	194,4	2,2
Março	18,3	22,9	14,6	191,8	12	81	155,2	2,2
Abril	17,6	23,4	13,0	114,1	05	75	239,9	2,1
Mai	14,6	19,6	10,5	131,7	11	78	173,8	2,0
Junho	12,9	17,2	9,2	143,5	15	87	129,3	2,0
Julho	12,1	17,7	7,3	97,9	8	77	206,0	2,2
Agosto	12,0	17,3	7,8	312,0	14	79	168,4	2,2
Setembro	15,3	20,5	10,8	187,7	13	76	166,7	2,1
Outubro	17,0	22,4	12,2	128,4	11	75	212,7	2,4
Novembro	20,0	25,9	14,9	288,5	13	70	247,6	2,8
Dezembro	22,2	28,2	17,0	147,9	9	73	282,6	1,9

Tabela 10. Dados meteorológicos médios do período de 1976 a 2012, gerados pela Estação Agroclimática da Embrapa Uva e Vinho, a partir do *site* da Embrapa para o Município de Bento Gonçalves-RS – <http://www.cnpuv.embrapa.br/prodserv/meteorologia/bento-mensais.html>. Destaca-se a precipitação pluviométrica média do mês de novembro para o período entre 1976 a 2012: 140 mm. Fonte: Embrapa (2016).

Mês	Temperatura do ar (°C)			Precipitação pluviométrica (mm)	Dias com precipitação (nº)	Umidade relativa do ar (%)	Insolação*	Direção predom. do vento	Veloc. média vento (m/s)
	Média	Máxima	Mínima						
Janeiro	21,8	27,8	17,3	140	12	75	233	NE;SE	1,5
Fevereiro	21,7	27,5	17,3	139	11	77	200	NE;SE	1,5
Março	20,3	26,0	16,1	128	10	78	211	SE;NE	1,5
Abril	17,5	22,9	13,3	114	9	78	178	NE;SE	1,5
Mai	14,5	20,0	10,4	107	9	79	161	NE;SE	1,5
Junho	12,8	17,9	8,6	157	10	79	139	NE;SE	1,6
Julho	12,9	18,2	9,1	161	11	78	157	NE;SE	1,8
Agosto	13,6	19,2	9,3	165	11	76	163	NE;SE	1,8
Setembro	14,9	20,4	10,6	185	12	76	164	NE;SE	1,9
Outubro	17,0	22,8	12,3	156	11	74	193	NE;SE	1,8
Novembro	18,9	24,8	14,2	140	10	73	220	SE;NE	1,7
Dezembro	20,7	26,7	16,0	144	10	72	242	NE;SE	1,6
Média/Total Anual	17,2	22,9	12,9	1.736	128	76	2.261	NE;SE	1,6



Figura 16. Perfil transversal ao eixo da ERS-431, no quilômetro 13+500, no estágio pré-ruptura. O modelo topográfico deste perfil serviu como base para estimar o perfil transversal ao qual foi submetido ao ensaio de estabilidade de talude. Fonte: Modificado de *Google Earth* (2016).

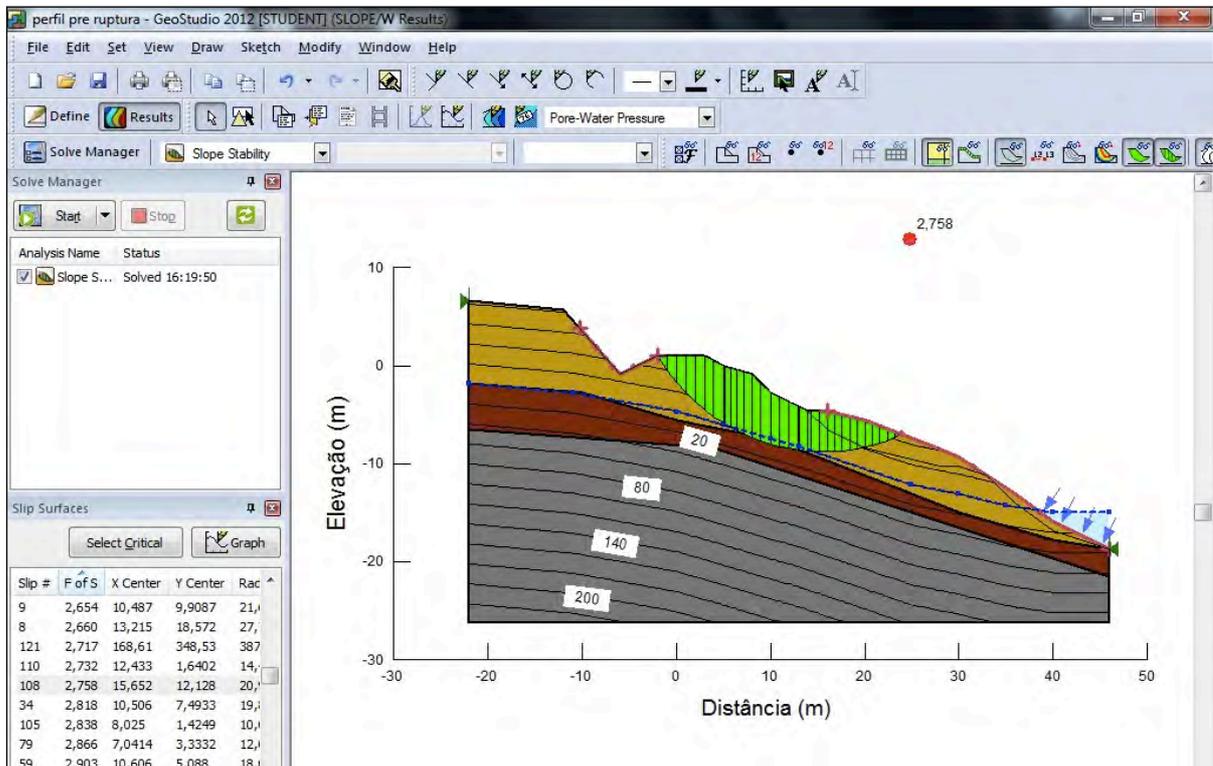


Figura 17. Tela de trabalho do *software* GeoStudio – GeoSlope do perfil transversal ao eixo da ERS-431, no quilômetro 13+500, no estágio pré-ruptura. Os limites das camadas foram definidos de acordo com as profundidades diagnosticadas a partir dos furos de sondagem. Na cor cinza destaca-se o horizonte de derrame basáltico maciço, na cor marrom está destacada a camada de deposição coluvionar, na camada amarela estão destacados os aterros rodoviários e deposições de aterro e solo transportado. A seção circular em verde representa a porção removida pela ruptura circular ocorrida e seu contato inferior à superfície de ruptura ocorrida. Fonte: Dados do Projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados gerados a partir do *software* GeoSlope permitiram diagnosticar com mais clareza as áreas de estabilidade do talude nos dois momentos em que foram simulados esses ensaios: pré-ruptura, com simulação de talude natural do terreno e submetido a interação com momento de cheia do Rio das Antas (portanto, com nível da água aproximadamente 2,5 metros acima do nível normal para o período) e pós-

ruptura com talude da rodovia em projeto de reconformação (esta última simulação, realizada pela equipe de Engenharia Civil da EPPA/SEP – DAER-RS, foi configurada para servir de apoio ao Projeto de Reconstrução do Quilômetro 13+500 da ERS-431), com talude modificado a partir da construção de enrocamento projetado para suportar mecanicamente aos esforços a que a rodovia deve ser submetida, interagindo com nível da água do Rio das Antas na cota normal.

No estágio pré-ruptura, após a simulação de estabilidade do talude pelo *software GeoSlope*, obteve-se a elaboração da superfície da ruptura circular resultante da aplicação do modelo matemático proposto por Bishop (1955), que considerou a análise da estabilidade de taludes ao utilizar a divisão da cunha de escorregamento em diversas fatias. A partir do estabelecimento dessas diversas fatias, pôde-se obter âbacos para elaboração do fator de segurança da estabilidade do talude, Bishop e Morgenstern (1960). Para desenvolvimento e elaboração dos perfis, foram inseridos dados geocaracterísticos das camadas reconhecidas. Para definição das características do lençol frático, foi determinado que o peso unitário da água igual a $9,807 \text{ kN/m}^3$. Para a camada de aterro rodoviário e solo transportado foi estabelecido, de acordo com modelo de Mohr-Coulomb, peso unitário igual a 19 kN/m^3 , coesão de 20 kPa e ângulo Phi de 30 graus. Para a camada de depósito coluvionar o peso unitário é igual a 17 kN/m^3 , com coesão igual a 10 kPa e ângulo Phi de 18 graus. A camada basáltica não foi definida como impenetrável, não sendo, portanto, inseridas características geomecânicas como as estabelecidas nas camadas sobrejacentes, pois os horizontes determinados como derrames basálticos não apresentaram RQD acima de 90% (Tabela 7, amostra SM-04 no horizonte representativo para derrame basáltico não).

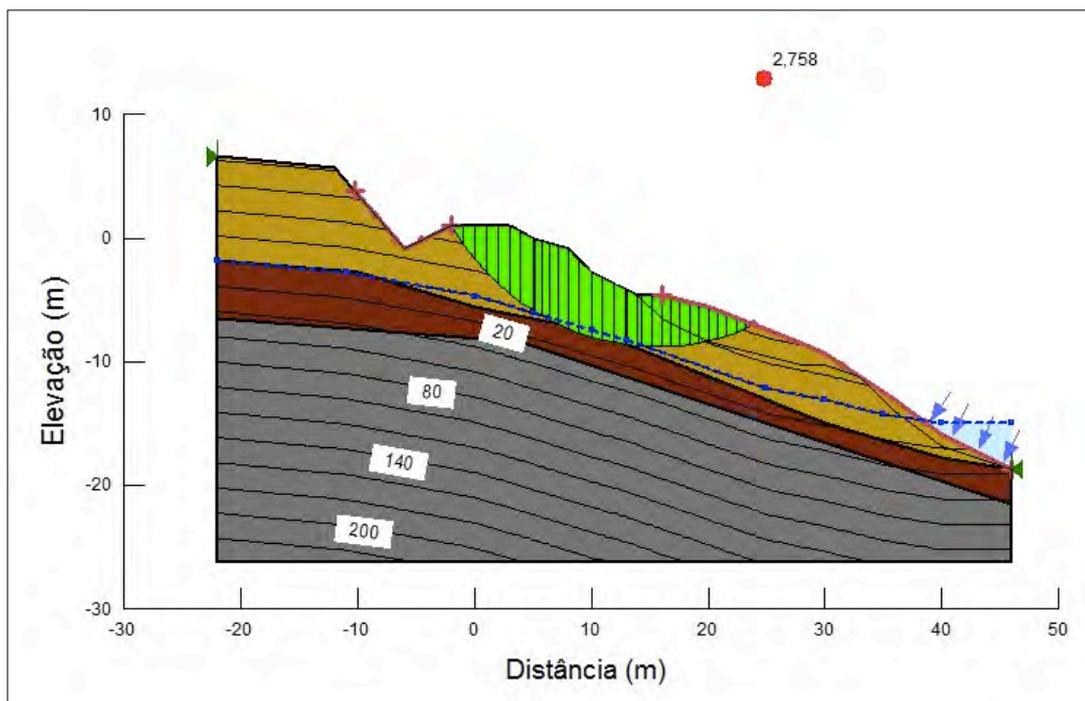


Figura 18. Perfil transversal ao eixo da ERS-431, gerado pelo *software* GeoStudio – GeoSlope no quilômetro 13+500, no estágio pré-ruptura, em período de cheia do Rio das Antas. Os limites das camadas foram definidos de acordo com as profundidades diagnosticadas a partir dos furos de sondagem. Na cor cinza destaca-se o horizonte de derrame basáltico são, na cor marrom está destacada a camada de deposição coluvionar, na camada amarela estão destacados os aterros rodoviários e depósitos de aterro e solo transportado. A seção circular em verde representa a simulação da porção removida pela ruptura circular ocorrida e seu contato inferior à superfície de ruptura ocorrida. Fonte: Dados da Pesquisa.

Neste estágio pré-ruptura, após a realização da simulação de estabilidade do talude pelo *software* GeoSlope, obteve-se perfil com informações referentes aos possíveis horizontes de interação das camadas reconhecidas com o nível nível piezométrico estimado para períodos de cheia do Rio das Antas. Tal estimativa de horizontes piezométricos (para estas condições de altas precipitações pluviométricas ocorridas no mês de novembro de 2013 e consequente ascensão do nível do Rio das Antas no talude do quilômetro 13+500 da ERS-431) possibilitou a geração de horizontes de poro-pressão da água para o perfil transversal. Esse perfil (figura 19) torna-se importante para entender a influência da elevação e do nível do Rio das Antas em períodos de cheia ou em períodos de chuvas torrenciais. A influência da poro-pressão de água no substrato rochoso explica-se pela infiltração e percolação

da água nos poros vazios presentes no talude principalmente na camada de deposição coluvionar e na camada de aterro rodoviário, elevando o nível piezométrico a níveis mais rasos no talude rodoviário. Para a situação de cheia do Rio das Antas, a infiltração de água ocorre nas camadas superiores (em ordem ascendente: depósito coluvionar e aterro / solo transportado) preenchendo espaços vazios entre os grãos e alterando a coesão normal das camadas do talude, realizando poro-pressão positiva no espaço entre os grãos, atuando como força atenuante em relação à força normal aplicada ao talude em períodos com nível da água mais baixos. As zonas de influência da poro-pressão da água estimadas para períodos de cheia do Rio das Antas, na região onde está situado o quilômetro 13+500 da ERS-431, estão representadas na figura 20.

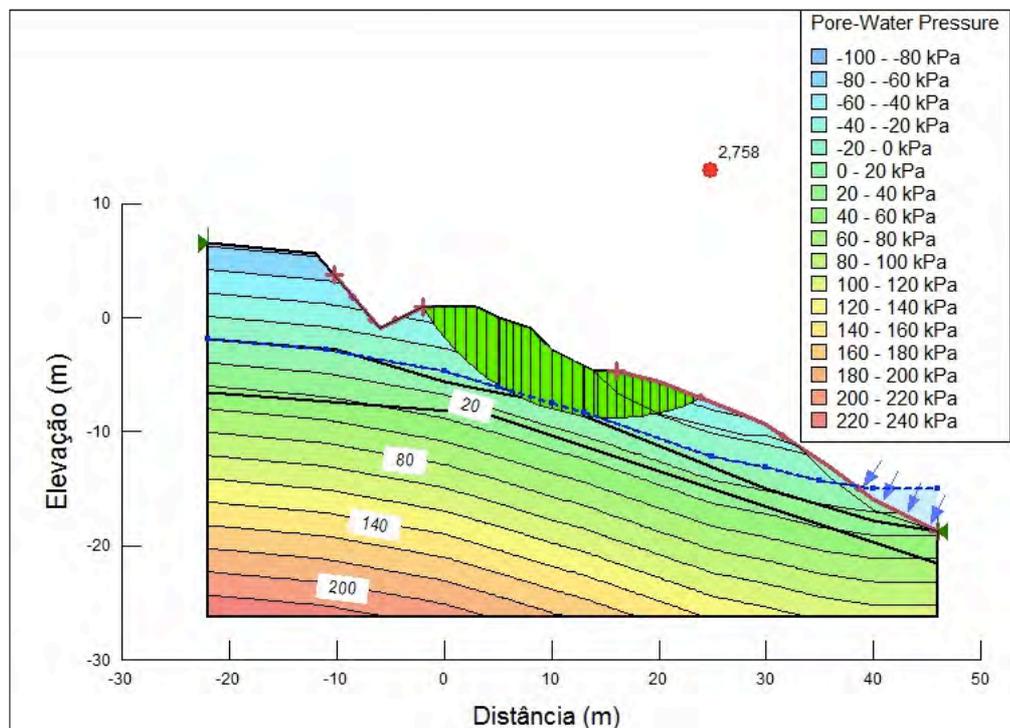


Figura 19. Perfil diagnóstico das zonas de influência de poro-pressão da água no talude do quilômetro 13+500 da ERS-431, gerado pelo software *DraftSight*. Fonte: Dados da Pesquisa.

Após o abrupto rebaixamento do nível da água do Rio das Antas e durante o rebaixamento do nível piezométrico do talude da área estudada, ocorreram as condições do colapso do talude da ERS-431 no quilômetro 13+500. Portanto, para obter melhor compreensão da condição ideal para o momento da ruptura do talude

do quilômetro estudado, foi elaborado novo perfil de estabilidade de talude para as condições expostas e foram redefinidos os níveis do freático esperados para o momento do rebaixamento do nível da água do Rio das Antas (com o intuito de redefinir a superfície de ruptura mais próxima da ocorrida no local, como expresso na figura 20).

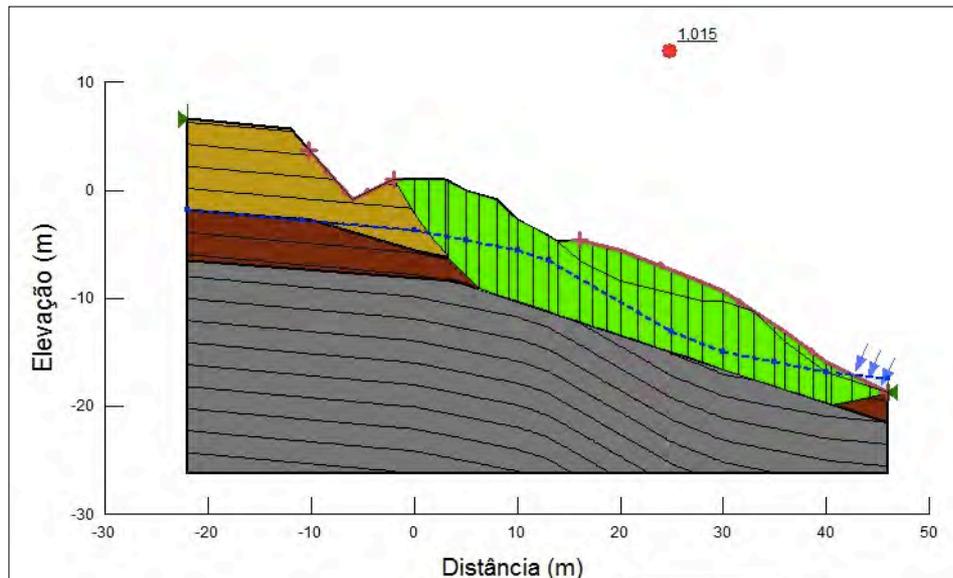


Figura 20. Perfil transversal ao eixo da ERS-431, gerado pelo *software GeoStudio – GeoSlope* no quilômetro 13+500, no estágio pós-ruptura, em período de rebaixamento do nível da água do Rio das Antas. Destaca-se, na linha tracejada azul, o rebaixamento do nível freático do talude na porção à jusante. A seção circular em verde representa a simulação da porção removida pela ruptura circular ocorrida e seu contato inferior à superfície de ruptura ocorrida. Fonte: Dados da Pesquisa.

Após a elaboração do perfil transversal para representar as condições de rebaixamento do nível da água do Rio das Antas e do rebaixamento do nível freático interno do talude, foi gerado novo gráfico de caracterização das zonas de influência do efeito de poro-pressão da água no talude, onde destaca-se como maior característica o desnível abrupto do lençol freático na porção mais à jusante do perfil, indicado pelo rebaixamento do nível do lençol freático representado no perfil (figura 21). Também no gráfico gerado para interpretação da poro-pressão da água pós-rebaixamento do nível da água do Rio das Antas, evidencia-se a influência direta do abatimento do nível do lençol freático interno ao talude rodoviário na geração das zonas de poro-pressão da água, positivas e negativas.

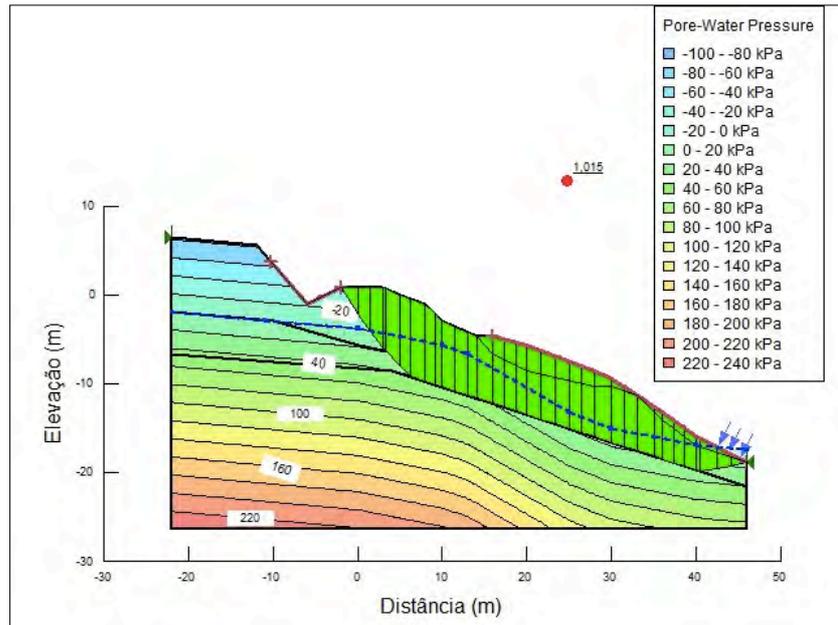


Figura 21. Perfil diagnóstico das zonas de influência de poro-pressão da água no talude do quilômetro 13+500 da ERS-431, gerado pelo *software DraftSight*. Fonte: Dados da Pesquisa.

A partir da concepção dos perfis geológico/geotécnicos transversais e longitudinais ao quilômetro 13+500 da ERS-431 e da interpretação da provável geometria da ruptura circular nos perfis pós-rebaixamento do nível da água do Rio das Antas, pelo *software GeoSlope*, pôde-se elaborar, via *software DraftSight* modelo geológico em três dimensões da área estudada. Tal modelo serviu como base para posterior interpretação da geometria e dos limites da superfície de ruptura do talude, assim como para interpretação do volume de material remobilizado pelo colapso do talude rodoviário (figura 22).

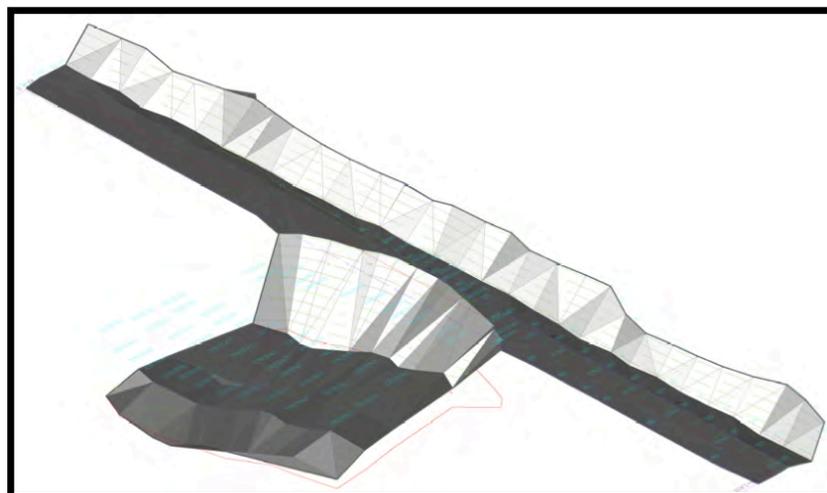


Figura 22. Modelo em três dimensões da área de ruptura do quilômetro 13+500 da ERS-431, gerado pelo *software DraftSight*. Fonte: Dados da Pesquisa.

5 CONCLUSÕES

No estágio pré-ruptura, foram detectadas sucessões de condicionantes que contribuíram para a gênese da ruptura circular da ERS-431 no quilômetro 13+500. Dentre elas, a própria instalação do talude rodoviário sobre camadas de deposição coluvionar (diagnosticado pela coleta de testemunhos de sondagem), a atitude dos derrames basálticos e das deposições coluvionares sobrejacentes em direção ao leito do Rio das Antas (no ponto do quilômetro 13+500), a proximidade do corpo estradal da ERS-431 em relação à margem do Rio das Antas, a falta de limpeza e manutenção das drenagens projetadas para a rodovia à montante e a característica de margem erosiva do meandro do Rio das Antas, surgiram como potenciais fatores de risco à estabilidade do talude já existentes na concepção do traçado desta rodovia.

Porém, o fator agravante principal da ruptura ocorrida no talude do quilômetro 13+500 da ERS-431, foi a associação de rápida elevação do leito do Rio das Antas (devido a evento de precipitação pluviométrica torrencial, como as precipitações ocorridas no mês de novembro de 2013), a qual propiciou na elevação do nível piezométrico do talude gerando preenchimento por água nos espaços vazios dos poros existentes entre os grãos, tanto da deposição coluvionar quanto da camada de aterro e solo transportado, com o rápido rebaixamento do nível da água do Rio das Antas e conseqüente rebaixamento do nível do lençol freático interno ao talude rodoviário.

O período de elevação do nível do Rio das Antas, ao gerar a conseqüente elevação do nível do lençol freático do talude, favorece o preenchimento dos poros existentes entre grãos das camadas inconsolidadas do talude (aterro rodoviário e deposição coluvionar) por água decorrente dessa elevação do nível freático. A água, ao preencher os espaços vazios entre esses grãos, ocupa os poros vazios intersticialmente, acarretando na ocorrência de efeito de poro-pressão positiva da água entre os grãos inconsolidados, realizando forças atenuantes a força normal exercida sobre o talude quando em condições de baixo nível piezométrico do talude, no qual há menor presença de água intersticial entre os poros das camadas de deposição coluvionar, de aterro rodoviário e de solos transportados.

Com o fim do período de precipitação pluviométrica, gerador da condição de cheia do Rio das Antas, iniciou-se o estágio de rebaixamento do mesmo. Diferentes taxas de rebaixamento entre o nível do Rio das Antas e o nível piezométrico do talude do quilômetro 13+500 da ERS-431 foram diagnosticadas, principalmente ao considerar-se que a taxa de escoamento no leito do Rio das Antas ocorre com maior velocidade quando comparado ao lento escoamento de água no interior do talude, pois ocorre aprisionamento de água intersticial entre os poros preenchidos e lento fluxo de água decorrente das barreiras físicas internas do talude (fluxo entre grãos e hidratação de argilas – principalmente as existentes na camada de deposição coluvionar) , gerando lento rebaixamento piezométrico.

Ao comparar-se os perfis gerados pelo *software GeoSlope* nos estágios de alta do nível da água do Rio das Antas, e a conseqüente ascensão do nível piezométrico do talude, com perfil gerado pelo mesmo *software* para condições pós rebaixamento do nível do Rio das Antas, percebeu-se um curva de abatimento do nível piezométrico no talude. Tal curva de abatimento estabeleceu-se justamente ao simular diferentes taxas de escoamento e rebaixamento para o nível do Rio das Antas e o nível piezométrico do talude.

Durante o rebaixamento do nível piezométrico do talude, o fluxo interno da água ao escoar em direção ao leito do Rio das Antas, carregou grãos internos (principalmente grãos da fração silte e argila) das camadas coluvionares, de aterro rodoviário e de solo transportado. Esse carregamento de grãos levados pelas águas intersticiais do talude ao acompanhar o rebaixamento piezométrico, gerou novos espaços vazios internos, os quais aumentaram a porosidade interna e, possivelmente, diminuíram a taxa de compactação tanto da camada de depósito coluvionar quanto da camada superior de aterro rodoviário. Ao aumentar a porosidade interna do talude, amplia-se a possibilidade de maior interação de água intersticial em nova ocorrência de elevação do lençol freático, provocando a ação de maior carregamento de sedimentos argilosos ao ocorrer novo rebaixamento do nível da água interno ao talude (figura 23).



Figura 23. Foto registrada no talude à jusante do quilômetro 13+500 da ERS-431, na qual evidencia-se a ocorrência de vertência de água no talude rodoviário em camada de deposição coluvionar e consequente carreamento de sedimentos finos de fração silte e argila. Fonte: Dados da Pesquisa.

As variações de elevação do nível piezométrico e consequente preenchimento de água nos interstícios das camadas inconsolidadas (causando o efeito de poro-pressão positiva d'água) e rebaixamento do nível piezométrico do talude e consequente carreamento das partículas finas internas (fração silte e argila), atuaram como principais agentes para a geração novos espaços vazios internos à estrutura rodoviária, aumentando a instabilidade do talude.

Portanto, ao agregar-se as informações geradas em retroanálise geológica/geotécnica desta área, pôde-se diagnosticar os principais fatores da gênese da ruptura circular ocorrida no quilômetro 13+500 da ERS-431. Tais fatores, mesmo que alguns tenham sido constatados somente após a reconformação do talude do quilômetro citado, foram considerados para a reconstrução deste corpo estradal, durante o ano de 2014. Dentre as principais ações recomendadas para a reconstrução da rodovia, foram a determinação de escavação do material removido pela ruptura e de horizontes de deposições coluvionares até o horizonte basáltico são - informação gerada pelos horizontes diagnosticados a partir dos furos de sondagem mista, que permitiram a elaboração de perfil geológico/geotécnico (Figura

24).



Figura 24. Foto registrada da escavação do talude à jusante do quilômetro 13+500 da ERS-431, em 20/05/2014 (Magna Engenharia, 2014),

Após a escavação do material inconsolidado até o horizonte basáltico são, gerou-se a superfície adequada para receber as fundações do enrocamento projetado (a partir dos estudos de retroanálise geológica/geotécnica) pela equipe de engenharia do DAER-RS, com objetivo de reconstruir o talude rodoviário do quilômetro 13+500 da ERS-431 (figura 25).



Figura 25. Foto registrada do enrocamento que reconformou o talude do quilômetro 13+500 da ERS-431. Fonte: Dados da Pesquisa.

O enrocamento projetado para a reconformação do novo talude e para elaboração do novo corpo estradal, obedeceu a recomendações fornecidas a partir da retroanálise geológica/geotécnica, a qual, posteriormente, tornou-se a origem para a realização deste Projeto Temático (no qual aprofundaram-se os métodos anteriores e empregaram-se novos métodos para interpretação da gênese da ruptura circular ocorrida no local). Para que fossem contempladas as necessidades evidentes de novas drenagens à montante da rodovia, com o intuito de eliminar os processos de percolação de água pelo interior do talude projetado e a consequente vertência de água pela superfície do talude, foram projetadas novas drenagens longitudinais ao corpo estradal e nova drenagem (galeria) transversal a rodovia. Tais drenagens foram redimensionadas para suportar o volume de águas originadas de precipitações pluviométricas, principalmente para suportar carga pluviométrica em eventos torrenciais.

Espera-se a partir dos resultados elaborados na realização deste Projeto Temático, contribuir para a compreensão da importância dos estudos geológicos/geotécnicos na elaboração de projetos de engenharia rodoviária, onde é de essencial importância o conhecimento da geologia e dos processos geológicos atuantes no local de interesse, tanto na etapa de ante-projeto (ao planejar-se o traçado economicamente menos susceptível a acidentes geológico/geotécnicos para

a construção de nova rodovia), quanto para a etapa de reconformação de rodovia que sofreu colapso por ação geológica/geotécnica local. Espera-se também que este Projeto Temático possa contribuir para estudos futuros na área de geologia de engenharia, objetivando agregar as aplicações e interpretações geológicas geradas nesta determinação da gênese da ruptura circular do quilômetro 13+500 da ERS-431, tornando o geólogo um profissional cada vez mais importante para decisões em projetos de engenharia rodoviária.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR-11682, Estabilidade de taludes, Rio de Janeiro, setembro de 1991; 39 páginas, p. 1 – 17;

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR-6484, Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio, Rio de Janeiro, fevereiro de 2001; 17 páginas, p. 1 -17;

DAMASCENO, C.S.R. Modelagem geológica e geomecânica 3D e análises de estabilidade 2D dos taludes da mina de Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete-MG. 2008. 165 folhas. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ.

FIORI, P. A.; CARMIGNANI, L. Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas – Aplicação na Estabilidade de Taludes, 2011, 2ª edição, Curitiba, p. 213 – 228.

OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. Geologia de Engenharia. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. Cap. 9, Cap. 12 e Cap.15.

RODRIGUES, F.H¹, ZAINE, J.E.². Mapeamento geológico-geotécnico da Estrada de Castelhanos, Ilhabela (SP). 14º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 2013, Rio de Janeiro-RJ, p. 1 -10;