



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO WAGNEY PEREIRA DOS SANTOS

ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÕES PARA TALUDES INSTÁVEIS

JOÃO PESSOA

2020

JOÃO WAGNEY PEREIRA DOS SANTOS

ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÕES PARA TALUDES INSTÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal da
Paraíba, Campus I, João Pessoa-PB, como
requisito para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares.

JOÃO PESSOA

2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237e Santos, Joao Wagney Pereira dos.

Estudo sobre soluções de contenções para taludes
instáveis / Joao Wagney Pereira Dos Santos. - João
Pessoa, 2020.

177 f.

Orientação: Prof Dr Fábio Lopes Soares.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Taludes. 2. Movimentos de massa. 3. Erosão. 4.
Contenções. I. Soares, Prof Dr Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/BS/CT

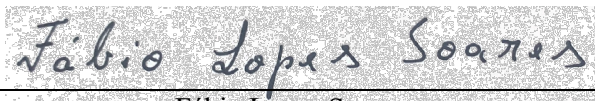
CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOÃO WAGNEY PEREIRA DOS SANTOS

ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÕES PARA TALUDES INSTÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso em 11/12/2020 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

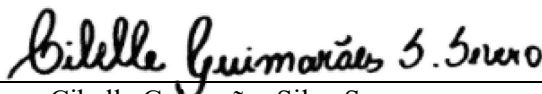
APROVADO



Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Cibelle Guimarães Silva Severo

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof.ª Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 1549557

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à memória dos meus pais Geraldo e Antônia
À minha esposa Adriana de França, meus filhos André Victor e Jean
Lucas, assim como à toda a minha família.*

*Dedico também a todos (as) aqueles (as) que fizeram parte ou
colaboraram com a elaboração deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus que iluminou o meu caminho durante esta jornada.

Agradeço aos meus pais (*in memoriam*), irmãos, minha esposa, meus filhos e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas, pelo incentivo e pelo apoio constante.

Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante a graduação, em especial ao Professor Fábio Lopes Soares e às Professoras Aline Flávia Nunes Remígio Antunes e Cibelle Guimarães Silva Severo, responsáveis pela realização deste trabalho.

RESUMO

No bairro Castelo Branco, em João Pessoa, na Paraíba, dois taludes localizados às margens do quilômetro 19 da BR-230/PB sofrem com o avanço de processos erosivos e movimentos de massa recorrentes, em decorrência de um sistema de drenagem insuficiente, e da ausência de soluções de engenharia que venham a promover a estabilização do maciço, prevenindo a ocorrência de novos deslizamentos e mitigando os efeitos oriundos desses movimentos na região. Com o intuito de propor uma solução de contenção que possa ser adotada pelo poder público para estacionar o processo de degradação desses taludes, no presente trabalho, foram realizados: o levantamento de informações disponíveis acerca do histórico de ocorrências de movimentos de massa e de intervenções nos taludes; o levantamento topográfico da área com o auxílio de *drones* e a partir de projetos existentes; ensaios de campo e laboratório; e análises de estabilidade dos taludes. Como resultado do levantamento de informações, foi possível verificar que deslizamentos na região ocorrem principalmente nos meses de abril, maio e junho, coincidindo com o período em que são registradas as maiores precipitações no município. A partir dos ensaios, verificou-se que o solo dos taludes é composto majoritariamente por areia, o que os torna altamente suscetíveis a ocorrência de processos erosivos. As análises de estabilidade, por sua vez, possibilitaram a identificação de seções críticas ao longo do trecho analisado, nas quais a realização de intervenções deve ser prioritária. Verificou-se que existe um projeto de adequação da rodovia em execução pelo DNIT, no qual são apresentadas soluções para os taludes objetos de estudo desse trabalho, que contemplam o retaludamento de um dos taludes e que levarão à remoção de algumas residências nas comunidades próximas. Com o intuito de possibilitar a permanência dessas residências, haja vista os custos diretos e indiretos associados à desapropriação, e reduzir os volumes de movimentação de terra, foi elaborada uma proposta de solução alternativa composta por uma solução híbrida em cortina atirantada e aterro compactado, complementada pela remoção de árvores de médio e grande porte, plantio de capim vetiver na face dos taludes, execução de canaletas de pé e topo e utilização de barbacãs.

PALAVRAS-CHAVE: Taludes. Movimentos de massa. Erosão. Contenções.

ABSTRACT

In the Castelo Branco quarter, in João Pessoa, Paraíba, two slopes that are located on the margins of kilometer 19 of BR-230/PB suffer with the advance of erosive processes and recurring mass movements, due to an insufficient drainage system and the lack of engineering solutions that promote stabilization to the massif, which would prevent the occurrence of new landslides and mitigate the effects of mass movements in the region. In order to come up with a containment solution that could be adopted by the public administration to stop these slopes' degradation process, in this study, were performed: a survey of available information about the mass movements historic and interventions in slopes; a topographic survey of the area assisted by drones and already existing projects; field and laboratory tests; and slope stability analysis. As a result of the research, it was possible to verify that, in the area, landslides occur mainly in April, May and June, which coincides with the period of greatest rainfall in the city. From the tests, it was found that the slope soil is mainly composed of sand, which makes it highly susceptible to the occurrence of erosive processes. The stability analysis, in turn, enabled the identification of critical sources along the analyzed section, in which the execution of processes must be a priority. It was found that there is a project to adapt the highway, being executed by the National Transport Infrastructure Department, in which solutions are presented for the slopes studied in this work, which contemplate the slope restoration of one of the slopes and which will lead to the removal of some residences in the nearby communities. In order to allow the permanence of these residences, in view of the direct and indirect costs associated with expropriation, and to reduce the volume of earthmoving, a proposal for an alternative solution was elaborated by a hybrid solution in anchored retaining walls and compacted landfill, complemented by removal of medium and large trees, planting of vetiver grass on the slopes' face, execution of foot and top channels and use of barbicans.

KEY WORDS: Slopes. Mass movements. Erosion. Containments.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Justificativa	16
1.2.	Objetivos	16
1.2.1.	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	16
1.3.	Estrutura do Trabalho	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1.	Solos e Rochas	18
2.1.1.	<i>Rochas: Definição e Tipos</i>	18
2.1.2.	<i>Solos: Definição e Tipos</i>	20
2.2.	Erosão	21
2.3.	Movimentos de Massa	23
2.3.1.	<i>Definição</i>	23
2.3.2.	<i>Classificações</i>	23
2.4.	Áreas de Risco	29
2.4.1.	<i>Definição</i>	29
2.4.2.	<i>Fatores de Risco</i>	29
2.4.3.	<i>Áreas de Risco de João Pessoa</i>	31
2.5.	Obras de Estabilização	31
2.6.	Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes	50
2.6.1.	<i>O Uso de Programas Computacionais</i>	55
2.7.	A ABNT NBR 11682:2009	56
2.7.1.	<i>Critérios de Cálculo</i>	59
2.7.2.	<i>Fatores de Segurança</i>	59
3.	METODOLOGIA	61
3.1.	Caracterização da Área de Estudo	61
3.2.	Levantamento Topográfico	62
3.3.	Investigações Geológico-Geotécnicas	62
3.4.	Projeto	63
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
4.1.	Caracterização da Área de Estudo	64
4.1.1.	<i>Localização</i>	64
4.1.2.	<i>Cartografia</i>	64
4.1.3.	<i>Hidrologia</i>	65
4.1.4.	<i>Geologia e Geomorfologia</i>	67

4.1.5.	<i>Histórico de Ocorrências</i>	68
4.1.6.	<i>Estudos: Mapeamentos de Riscos</i>	71
4.1.7.	<i>Estudos: Propostas de Soluções</i>	73
4.1.8.	<i>Vistoria da Área</i>	76
4.1.9.	<i>Avaliação da Necessidade de Implantação de Medidas Emergenciais</i>	81
4.1.10.	<i>Verificação da Legislação sobre Construção em Faixas de Domínio de Rodovias</i>	81
4.2.	<i>Levantamento Topográfico</i>	81
4.3.	<i>Investigações Geológico-Geotécnicas</i>	85
4.3.1.	<i>Programação</i>	85
4.3.2.	<i>Investigações de Campo</i>	85
4.3.3.	<i>Investigações em Laboratório</i>	87
4.4.	<i>Projeto</i>	92
4.4.1.	<i>Análise da Estabilidade</i>	92
4.4.2.	<i>Projeto de Adequação da BR-230/PB do DNIT</i>	95
4.4.3.	<i>Proposta de Solução</i>	102
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
6.	REFERÊNCIAS	108
	APÊNDICE	114
	ANEXO	176

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de rochas	18
Figura 2 - Morfologia das feições erosivas: sulcos, ravinas e voçorocas	22
Figura 3 - Queda de Blocos	24
Figura 4 - Tombamento	25
Figura 5 - Rolamento de Blocos	25
Figura 6 - Escorregamento Planar (Translacional)	26
Figura 7 – Escorregamento Circular (Rotacional).....	26
Figura 8 – Escorregamento em Cunha.....	27
Figura 9 – Rastejo (Creep).....	27
Figura 10 - Fluxo de Detritos.....	28
Figura 11 - Fluxo de Lama	28
Figura 12 - Escadaria hidráulica	33
Figura 13 - Dreno Sub-Horizontal Profundo (DHP)	33
Figura 14 - Antes, durante e depois da execução de solo grampeado verde e biomantas antierosivas em talude com instabilidade geral, escorregamento e erosões generalizadas.....	35
Figura 15 - Muro de pedra seca	36
Figura 16 - Muro de pedra argamassada.....	37
Figura 17 - Muro de concreto ciclópico.....	37
Figura 18 - Muro de arrimo celular de peças pré-moldadas de concreto (crib-wall)	38
Figura 19 - Muro de arrimo de gabiões	38
Figura 20 - Muro de arrimo de solo-cimento ensacado	39
Figura 21 - Muro de arrimo de "Bolsacreto"	39
Figura 22 - Muro de arrimo "Rimobloco"	40
Figura 23 - Muro de contenção em LogBlock Contenção.....	40
Figura 24 - Muro de arrimo de concreto armado em "L"	41
Figura 25 - Exemplo do sistema construtivo do solo-pneu	42
Figura 26 - Cortina de estaca ou cortina cravada.....	42
Figura 27 - Seção transversal de uma cortina atirantada	43
Figura 28 - Processo executivo de cortinas atirantadas em taludes de corte e aterro	44
Figura 29 - Solo grampeado.....	45
Figura 30 - Ilustração do processo executivo do solo grampeado	45
Figura 31 - Partes constituintes de um chumbador.....	46
Figura 32 - Fases construtivas do chumbador	47
Figura 33 - Solo reforçado com geossintéticos.....	48
Figura 34 - "Terra Armada"	49
Figura 35 - Sequência executiva do Jet Grouting	50
Figura 36 - Método Sueco	52
Figura 37 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Fellenius	53
Figura 38 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Bishop.....	53
Figura 39 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Janbu simplificado.....	54
Figura 40 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Morgenstern-Price.....	54
Figura 41 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Spencer	55
Figura 42 - Delimitação da área de estudo no Google Earth	64
Figura 43 - Dados cartográficos da área de estudo	65
Figura 44 - Médias climatológicas do município de João Pessoa	66
Figura 45 - Mapa geológico da cidade de João Pessoa-PB	68
Figura 46 - Sinalização viária em trecho com histórico de deslizamentos na BR-230/PB.....	69
Figura 47 - Deslizamentos ocorridos no ano de 2019 em dois pontos da BR-230/PB.....	70
Figura 48 - Deslizamento ocorrido em fevereiro de 2020 na BR-230/PB.....	70

Figura 49 - Intervalos de ocorrências de deslizamentos	71
Figura 50 - Lonas plásticas instaladas na face do talude no ano de 2014.....	71
Figura 51 - Mapa de risco da Comunidade São Rafael	72
Figura 52 - Seção transversal da solução em cortina atirantada idealizada por Almeida (2016).....	73
Figura 53 - Seção transversal da solução em solo grampeado com face verde idealizada por Almeida (2016).....	74
Figura 54 - Complementação da rede de drenagem da área de estudo proposta por Almeida (2016) ..	75
Figura 55 - Solução de contenção em solo reforçado com geossintético proposta por Falcão (2019)..	76
Figura 56 - Cicatrizes de deslizamento ao longo da rodovia BR-230/PB no bairro do Castelo Branco em João Pessoa-PB	77
Figura 57 - Resquícios da lona plástica instalada em períodos chuvosos no talude da BR-230/PB	77
Figura 58 - Vegetação no talude da BR-230/PB.....	78
Figura 59 - Feições erosivas identificadas no talude da BR-230/PB.....	78
Figura 60 - Ruas calçadas nas proximidades do talude	79
Figura 61 - Dispositivos para drenagem de águas pluviais dos tipos (a) canaleta e (b) boca de lobo...	79
Figura 62 - Dispositivos para drenagem das águas pluviais do tipo escadaria hidráulica.....	80
Figura 63 - Muros de arrimo da Comunidade São Rafael	80
Figura 64 - Nuvem de pontos capturados com drone	82
Figura 65 - Interpolação dos pontos capturados	82
Figura 66 - Mosaico de Ortofoto criado a partir das imagens capturadas	82
Figura 67 - Modelo Digital do Terreno, excluindo os imóveis, árvores, entre outros.....	83
Figura 68 - Curvas de nível da área de estudo	84
Figura 69 - Exemplo de um perfil de elevação gerado a partir das curvas de nível	84
Figura 70 - Localização dos furos de sondagem no talude da Comunidade Santa Clara	86
Figura 71 - Localização de onde foi retirada a amostra 1 (Latitude: 7°8'5.4"S; Longitude: 34°51'15.96"O).....	87
Figura 72 - Amostra 1 homogeneizada.....	88
Figura 73 - Localização de onde foram retiradas as amostras 2a, 2b e 2c (Latitude: 7°7'48.13"S; Longitude: 34°51'2.95"O).....	88
Figura 74 - Amostras 2a, 2b e 2c	88
Figura 75 - Resultados do ensaio de cisalhamento direto realizado por Soares et al. (2017).....	91
Figura 76 - Distribuição dos gráficos dos fatores de segurança na área de estudo.....	94
Figura 77 - Mapa dos fatores de segurança ao longo do trecho analisado	94
Figura 78 - Proposta de estabilização para o talude da comunidade Santa Clara.....	96
Figura 79 - Seção do muro de arrimo em "L" proposto para ser construído na Comunidade São Rafael	97
Figura 80 - Seção do muro em terra armada proposto para ser construído na Comunidade São Rafael	98
Figura 81 - Sobreposição do escalonamento previsto para o talude com imagens obtidas por meio de drone	99
Figura 82 - Registros da ocupação na faixa de domínio do DNIT na Comunidade São Rafael em junho/2019 (a) e março/2020 (b)	100
Figura 83 - Solução de contenção alternativa para a estabilização do talude da rodovia BR-230/PB	104
Figura 84 - Análise da estabilidade do talude utilizando a solução proposta pelo autor.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de suscetibilidade segundo Alheiros et al. (2004)	29
Tabela 2 - Fatores de vulnerabilidade segundo Alheiros et al. (2004)	30
Tabela 3 - Etapas de uma obra de estabilização segundo a ABNT NBR 11682 (2009).....	57
Tabela 4 - Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas.....	59
Tabela 5 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.....	60
Tabela 6 - Fatores de segurança mínimos para deslizamento.....	60
Tabela 7 - Normas técnicas brasileiras consultadas para a realização dos ensaios de caracterização...	63
Tabela 8 - Resultados obtidos por Tavares et al. (2018).....	67
Tabela 9 - Resumo da classificação granulométrica de cada amostra segundo o DNER.....	89
Tabela 10 - Resumo dos limites de liquidez e plasticidade obtidos nos ensaios para cada amostra	90
Tabela 11 - Determinação do teor de umidade das amostras 1, 2a, 2b e 2c	90
Tabela 12 - Parâmetros do solo utilizados nas análises dos Fatores de Segurança	91
Tabela 13 - Parâmetros geomecânicos do solo do talude da BR-230/PB obtidos no estudo realizado pela empresa Contécnica.....	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade das seções do talude da comunidade Santa Clara	93
Gráfico 2 – Fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade das seções do talude da comunidade São Rafael	93
Gráfico 3 - Distância do sopé do talude na comunidade Santa Clara ao eixo da rodovia	100
Gráfico 4 - Distância da crista do talude na comunidade São Rafael ao eixo da rodovia (*).....	101
Gráfico 5 - Alturas dos taludes analisados em relação ao nível do eixo da rodovia.....	102

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de movimentos de massa em encostas ocupadas e/ou às margens de rodovias é cada vez mais comum no meio urbano, especialmente em períodos chuvosos. De acordo com Massad (2010), esses movimentos têm causas naturais e antrópicas, derivadas, respectivamente, de uma tendência à peneplanização¹ dos solos das encostas e da intervenção humana e resultam em uma série de implicações econômicas, humanas e ambientais que revelam a necessidade de intervenções preventivas e corretivas.

Nas últimas décadas, o processo de urbanização acelerado e desordenado de muitas cidades brasileiras, atrelado ao aumento populacional, desencadearam o surgimento de ocupações em áreas naturalmente predispostas à ocorrência de movimentos de massa, inundações e processos erosivos, a exemplo de margens de rios e encostas íngremes. Nessas áreas, a necessidade de intervenções preventivas é urgente devido ao potencial de geração de danos materiais e humanos a uma população que já se encontra em situação de vulnerabilidade social e econômica, bem como ao potencial de dano àqueles que utilizam a infraestrutura de transporte local e à população em geral.

Quando ocorrem em taludes rodoviários, os movimentos de massa provocam bloqueios temporários ou a longo prazo no tráfego e, por vezes, a ocorrência de acidentes de trânsito, afetando motoristas e pedestres. Segundo Donasollo (2017), os problemas de caráter geológico-geotécnico mais frequentes em taludes rodoviários são os movimentos de massa e a erosão, sendo escorregamentos, quedas e rolamentos de blocos os tipos de movimentos mais comuns.

Para Carvalho (1991), problemas em taludes rodoviários, sejam eles de aterro ou corte, são ocasionados basicamente devido à falta de projeto específico; a um projeto inadequado, por falta de conhecimento do meio físico; por deficiências construtivas; e por má conservação. Nesse contexto, a engenharia exerce papel fundamental ao elaborar soluções estruturais e não-estruturais voltadas à prevenção da ocorrência de novos desastres e à mitigação dos seus efeitos.

Dentre as soluções de engenharia empregadas na prevenção e/ou na mitigação dos efeitos decorrentes de movimentos de massa e processos erosivos, estão as contenções, “estruturas projetadas para resistir a empuxos de terra e/ou água, cargas estruturais e quaisquer outros esforços induzidos por estruturas ou equipamentos adjacentes, propiciando uma

¹ Série de ações erosivas que tornam uma superfície regular e plana.

configuração de estabilidade ao maciço” (MAGALHÃES E AZEVEDO, 2016); e que possui diversas aplicações, compreendendo desde a estabilização de taludes rodoviários até o subsolo de edifícios residenciais e comerciais.

1.1. Justificativa

Na cidade de João Pessoa, na Paraíba, a ocorrência de movimentos de massa pode ser evidenciada a partir do deslizamento de um talude localizado às margens da BR-230/PB (Rodovia Governador Pedro Gondim). Nos últimos anos, o trecho da rodovia em que está localizado esse talude vem sendo bloqueado e algumas residências instaladas na sua crista são interditadas. Apesar da cobrança da população por intervenções que resolvam esse problema, a única solução aplicada tem sido a implantação de lonas plásticas que funcionam como um paliativo, o que não impede a recorrência do deslizamento no próximo evento chuvoso.

Diante desse contexto, no presente trabalho é feito um estudo acerca das soluções de contenção para taludes instáveis e pretende apresentar uma proposta de solução para os dois taludes que margeiam a BR-230/PB, no trecho localizado nas proximidades do quilômetro 19.

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo Geral*

Realizar um estudo acerca das soluções de contenções para taludes instáveis e elaborar proposta de solução para um talude localizado no município de João Pessoa-PB.

1.2.2. *Objetivos Específicos*

- Verificar a ocorrência de movimentos de massa e de intervenções nos taludes estudados junto ao poder público e por meio de trabalhos científicos realizados anteriormente na área de estudo;
- Realizar o levantamento topográfico da área estudada a partir de imagens aéreas obtidas com o auxílio de *drones* e ferramentas computacionais;
- Realizar ensaios de campo e em laboratório afim de se determinar os parâmetros geotécnicos dos solos presentes na área estudada;
- Realizar análise da estabilidade de dois taludes que margeiam a BR-230/PB na altura do quilômetro 19;

- Propor uma solução de contenção que possa ser adotada pelo poder público para estacionar o processo de degradação das encostas;

1.3. Estrutura do Trabalho

O presente Trabalho de Conclusão de Curso encontra-se dividido em cinco capítulos.

No primeiro capítulo foi feita uma introdução ao tema, por meio da exposição de argumentos que demonstram a sua relevância e justificam a sua escolha, e apresentados os objetivos geral e específicos da pesquisa.

No segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica da pesquisa, incluindo a definição dos tipos de solos e rochas, talude, processos erosivos e dos tipos de movimentos de massa, tipos de soluções de contenção, metodologias de análise de estabilidade de taludes, programas computacionais que auxiliam na realização de análises de estabilidade e aspectos normativos referentes à elaboração de projetos e obras de estabilidade de taludes.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia empregada no levantamento de dados cartográficos, topográficos, geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e hidrológicos da área de estudo e no cálculo da estabilidade dos taludes estudados.

No quarto capítulo são apresentados os parâmetros geométricos e geotécnicos obtidos a partir de ensaios de campo e em laboratório e de estudos realizados anteriormente, o resultado da análise de estabilidade dos taludes e a solução de contenção proposta.

No quinto capítulo são feitas as considerações finais do trabalho apresentado e sugeridos temas para pesquisas futuras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

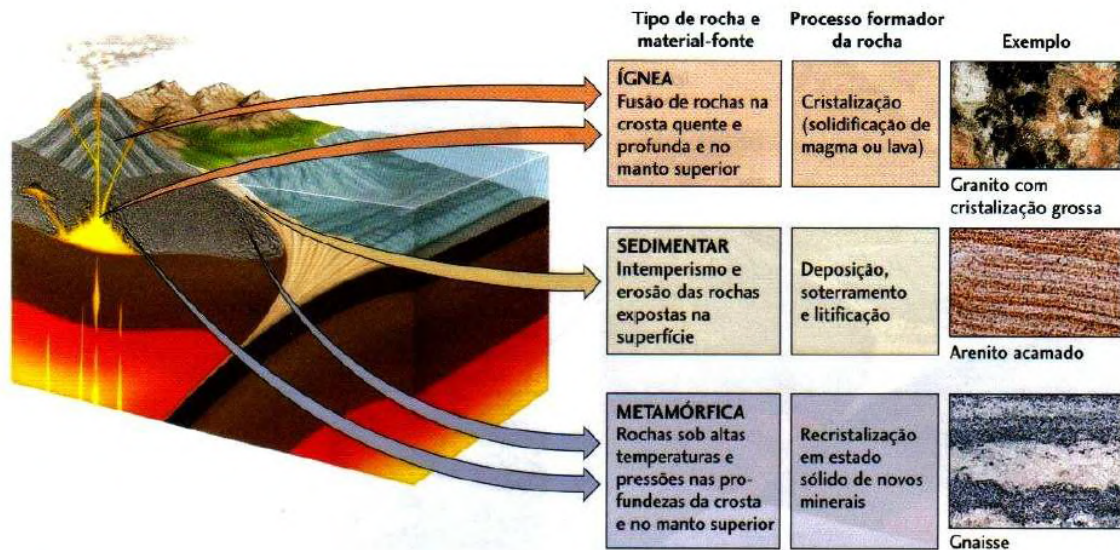
2.1. Solos e Rochas

Solos e rochas constituem o suporte para todas as obras de engenharia. Dessa forma, a realização de qualquer pesquisa em engenharia requer o conhecimento das características desses materiais e do seu comportamento quando expostos à diversas solicitações, sendo esse o objeto de estudo da geotecnia.

2.1.1. Rochas: Definição e Tipos

Segundo Press *et al.* (2006), uma rocha é um agregado sólido de minerais que ocorre naturalmente; formada pela solidificação de rochas fundidas (rochas ígneas), como produto do soterramento de camadas de sedimentos em terra ou no mar (rochas sedimentares), ou pela transformação de rochas sólidas pré-existentes sob a influência de alta pressão e temperatura (rochas metamórficas) (Figura 1).

Figura 1 - Tipos de rochas



Fonte: Press *et al.* (2006).

▪ Rochas Ígneas

As rochas ígneas podem ser classificadas com base no tamanho dos seus cristais em:

→ Intrusivas: são caracterizadas por apresentarem cristais visíveis a olho nu, que se desenvolvem quando o magma é gradualmente resfriado. Um exemplo de rocha ígnea intrusiva é o granito (PRESS *et al.*, 2006);

- Extrusivas: apresentam uma granulação fina e texturas vítreas e são formadas a partir do resfriamento rápido do magma que chega à superfície por meio de erupções vulcânicas. Um exemplo de rocha ígnea extrusiva é o basalto (PRESS *et al.*, 2006).

- Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são formadas a partir dos sedimentos encontrados na superfície terrestre (camadas de partículas soltas, areia, silte e conchas) advindos da decomposição ou erosão de outras rochas. A decomposição ou desintegração de rochas é o resultado de um conjunto de processos químicos e físicos, denominados de intemperismo; enquanto a erosão corresponde a um conjunto de processos que promovem o desprendimento e o transporte de partículas de solos e rochas que posteriormente se depositam na superfície dando origem às rochas sedimentares (PRESS *et al.*, 2006). Esses processos dão origem a dois tipos de sedimentos:

- Sedimentos Clásticos: são depositados pela água corrente, pelo vento e pelo gelo, formando camadas de areia, silte e cascalho (PRESS *et al.*, 2006);
- Sedimentos Químicos e Bioquímicos: são substâncias químicas que se formam pela dissolução de componentes das rochas pelo intemperismo, que posteriormente são carregados pelos rios ao mar e retornam à superfície a partir da precipitação (PRESS *et al.*, 2006).

A conversão dos sedimentos em rocha sólida é o resultado de um processo denominado Litificação que pode ocorrer por compactação, quando as partículas são compactadas pelo peso do sedimento sobreposto, ou por cimentação, quando minerais se precipitam ao redor das partículas depositadas, promovendo a agregação dessas partículas. Uma característica das rochas sedimentares é a estratificação das camadas de sedimentos que são delimitadas à medida em que são depositadas as partículas (PRESS *et al.*, 2006).

- Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas são formadas quando altas temperaturas e pressões atuam em rochas ígneas, sedimentares ou em outras rochas metamórficas, promovendo mudanças na sua mineralogia, textura ou composição química (PRESS *et al.*, 2006). Esse processo de mudança pode ser classificado, segundo a extensão da área em que ocorre, em:

- Metamorfismo Regional: quando as altas pressões e temperaturas estendem-se por regiões amplas, comum na colisão de placas tectônicas que resultam na formação de cadeias de montanhas e no dobramento e fraturamento de camadas sedimentares;
- Metamorfismo de Contato: quando as rochas estão próximas ou em contato com uma intrusão.

2.1.2. Solos: Definição e Tipos

Segundo Caputo (2015), “solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química”, sendo a composição das partículas resultantes da desagregação das rochas dependente da composição da rocha matriz (PINTO, 2006).

De acordo com Pinto (2006), a classificação dos solos, sob o ponto de vista da engenharia, tem por objetivo estimar o provável comportamento do solo ou, pelo menos, orientar o programa de investigação necessário para permitir uma análise adequada do problema. Ainda segundo Pinto (2006), os solos podem ser classificados pela sua origem, pela sua evolução, pela presença ou não de matéria orgânica, pela estrutura e pelo preenchimento dos vazios, sendo os sistemas de classificação baseados no tipo e no comportamento das partículas que constituem os solos, os mais conhecidos na engenharia geotécnica.

Segundo a sua origem, os solos podem ser classificados em:

- Residuais ou Autóctones: ocorrem quando a velocidade de decomposição da rocha é maior do que a velocidade de remoção por agentes externos (PINTO, 2006), permanecendo no local da rocha de origem;
- Sedimentares ou Alóctones: também conhecidos como solos transportados por sofrerem a ação de agentes transportadores (CAPUTO, 2015). As características desse tipo de solo são determinadas em função do agente transportador:
 - Coluvionares: são formados pela ação da gravidade e constituídos por materiais muito diversos e sujeitos a movimentos de massa do tipo rastejo (PINTO, 2006);
 - Aluvionares: são carregados pela água e sua constituição depende da velocidade das águas no momento da deposição (PINTO, 2006);

- Eólicos: transportados pelo vento que provoca o arredondamento das partículas em virtude do atrito constante (PINTO, 2006);
- Drifts ou Glaciares: transportados por geleiras, sendo comuns na Europa e nos Estados Unidos (PINTO, 2006);
- Orgânicos: contém uma quantidade considerável de matéria orgânica de origem vegetal ou animal em vários estágios de decomposição e são caracterizados pela cor escura e odor característico (PINTO, 2006).

Existe também o solo laterítico, altamente relevante para o Brasil devido à sua origem em clima quente e com regime de chuvas moderadas a intensas. São caracterizados por uma coloração avermelhada, decorrente de uma elevada concentração de ferro e alumínio em sua composição; apresentam pequena capacidade de suporte quando em estado natural, devido a um índice de vazios elevado, porém quando compactados, têm sua capacidade de suporte elevada, sendo empregados em pavimentação e aterros (PINTO, 2006).

2.2. Erosão

O relevo da superfície terrestre está em constante transformação em decorrência de processos naturais que promovem modificações através da ação de agentes internos (que atuam no interior da Terra) e externos (que atuam diretamente sobre a superfície terrestre) (ARMESTO, 2012). Segundo Guerra e Jorge (2013), “a erosão é um dos principais processos responsáveis pela esculturação do relevo terrestre, podendo ser percebida de forma direta em áreas urbanas e rurais”.

A erosão corresponde a um conjunto de processos que atuam na superfície terrestre capazes de desagregar, remover e transportar partículas e fragmentos de rochas para as partes mais baixas do relevo onde são depositados (ARMESTO, 2012). De acordo com Bezerra (2013), existem diversas formas de erosão, sendo o tipo provocado pelos escoamentos superficial e subsuperficial, o que apresenta a maior distribuição geográfica no mundo.

Os processos erosivos podem ser classificados de acordo com o tipo de agente erosivo, em função da sua forma de atuação ou, ainda, pela intensidade das modificações geradas. Quando o agente responsável pela modificação do relevo é a água, a erosão é classificada como hídrica e pode ser provocada pela ação das águas das chuvas (erosão pluvial); águas dos rios (erosão fluvial); água do mar, ondas, marés e correntes (abrasão ou erosão marinha); ou gelo

(erosão glacial ou glacial); já quando o agente erosivo é o vento, o processo é denominado de erosão eólica.

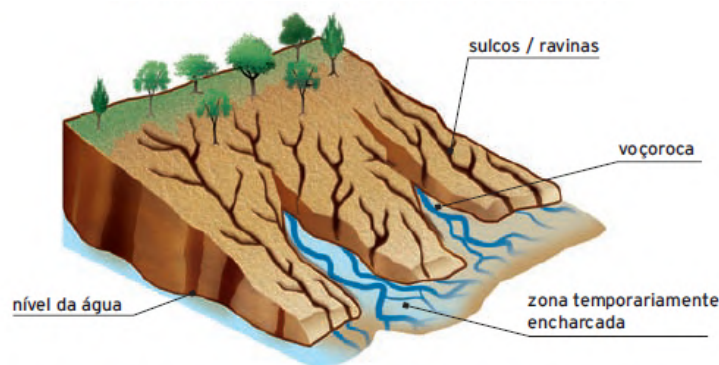
De acordo com Armesto (2012), a erosão pluvial é o processo erosivo mais comum nas regiões de clima tropical como o Brasil, sendo mais intensa em áreas desprovidas de vegetação, que atuam protegendo o solo do impacto das gotas de chuva e favorecem a infiltração de água, diminuindo o escoamento superficial. Além disso, o efeito erosivo é mais intenso quanto maior for a declividade do terreno, o que influencia na velocidade de escoamento da água da chuva, sendo a erosão pluvial facilitada à medida que a capacidade de infiltração de água do solo é reduzida.

A forma de atuação dos processos erosivos varia em função do tipo de rocha e de fatores como clima e declividade do terreno, podendo ser classificada em:

- Erosão Diferencial: caracterizada pelo desgaste desigual de rochas diferentes, mas que foram submetidas à ação de um mesmo agente erosivo (ARMESTO, 2012);
- Erosão Esferoidal: esse tipo de erosão se inicia com o desgaste das arestas e vértices das rochas, que constituem seus pontos mais fracos, fazendo com que a rocha assuma um formato arredondado e passe a "descascar" de forma concêntrica como as camadas de uma cebola (ARMESTO, 2012).

Quanto à intensidade do processo erosivo, as erosões podem ser classificadas em sulcos e ravinas, formados pela ação erosiva do escoamento superficial concentrado em linhas; e voçorocas, geradas pela ação da água subterrânea (TEIXEIRA *et al.*, 2007) (Figura 2).

Figura 2 - Morfologia das feições erosivas: sulcos, ravinas e voçorocas



Fonte: Teixeira *et al.* (2007).

Segundo Armesto (2012), apesar da erosão ser um processo natural, a ação humana pode acelerar esse processo em função de práticas como o desmatamento, realização de queimadas, exploração excessiva do solo, plantação de monoculturas por tempo muito prolongado e plantio de vegetação em encostas sem obedecer ao contorno das curvas de nível. Além disso, o solo carreado pela erosão pluvial contribui para o assoreamento de rios e lagos, comprometendo o escoamento e a qualidade das águas.

2.3. Movimentos de Massa

2.3.1. Definição

Os movimentos de massa constituem o principal tipo de processo de instabilização de massa. De acordo com CEMADEN (2016), esses movimentos são geralmente potencializados pela ação da água, sendo o Brasil considerado muito suscetível à ocorrência desses processos “devido às condições climáticas marcadas por verões de chuvas intensas em regiões de grandes maciços montanhosos”.

Segundo Gerscovich (2016), uma das formas mais frequentes de movimentos de massa são os escorregamentos de taludes, que têm sua instabilidade deflagrada quando as tensões cisalhantes mobilizadas na massa de solo ou rocha atingem a resistência ao cisalhamento do material, sendo essa condição alcançada pela intervenção de agentes externos ou internos.

Os agentes externos são decorrentes de atividades humanas, que resultam em alterações nas redes de drenagem e no uso e ocupação do solo, a partir da eliminação da cobertura vegetal, execução de cortes e aterros, lançamento de lixo, entulho e águas servidas, construção de muros e taludes mal dimensionados, entre outras. Enquanto os agentes internos promovem alterações na resistência do solo por intemperismo (GERSCOVICH, 2016).

2.3.2. Classificações

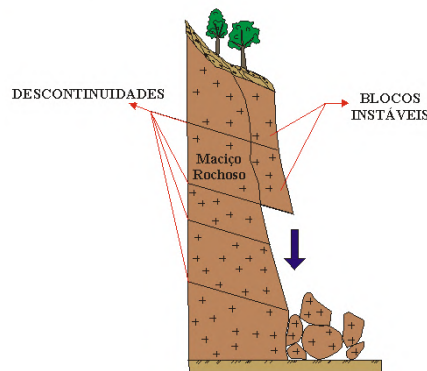
Segundo Mattos (2009), classificar os movimentos de massa constitui uma tarefa complexa pois envolve uma grande variedade de materiais e processos, devendo ser analisados parâmetros como: velocidade e mecanismo do movimento, características dos materiais, modo de deformação, geometria do movimento e quantidade de água envolvida.

De acordo com CEMADEN (2016), os movimentos de massa podem ser classificados em: Quedas, Tombamentos, Rolamentos, Deslizamentos, Escorregamentos, Fluxo de Detritos,

Fluxo de Lama, Subsidiências e Colapsos; sendo deslizamentos, o principal tipo monitorado no Brasil.

O movimento de massa do tipo queda consiste no desprendimento e posterior queda, salto ou rolamento de parte do material que compõe o talude (solo, rocha ou ambos os materiais) (Figura 3), sendo desencadeado por processos erosivos, intervenções humanas, terremotos e outras vibrações intensas. Seus efeitos são mitigados a partir da execução de muros de contenção, paredes, cortinas e outros tipos de cobertura, ancoragem dos blocos, remoção dos materiais instáveis por explosão e sinalização nas áreas de perigo (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

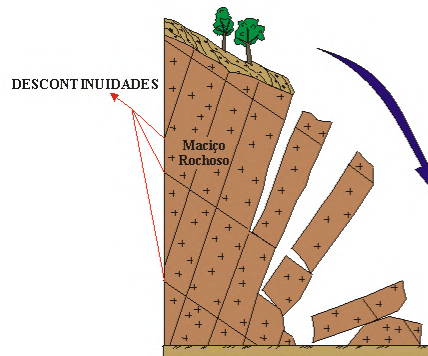
Figura 3 - Queda de Blocos



Fonte: Reis (2001)

O tombamento é desencadeado pela ação da gravidade sobre o material do topo da massa deslocada, por fissuras presentes no interior do maciço, por processos erosivos, pela intervenção humana ou por vibrações, consistindo na rotação de blocos de solo ou rocha, para fora do talude, em torno de um ponto ou eixo abaixo do centro de gravidade da massa deslocada (Figura 4). São medidas mitigadoras a estabilização de taludes instáveis, ancoragem rochosa e mecânica, e a implantação de sistemas de drenagem (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

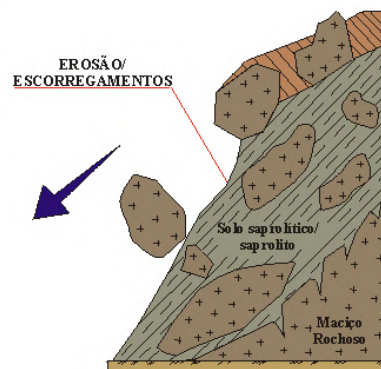
Figura 4 - Tombamento



Fonte: Reis (2001).

Segundo Reis (2001), o rolamento de blocos é causado pelo descalçamento ou perda de apoio de blocos rochosos, devido ao intemperismo de rochas ígneas ou metamórficas, que gera matacões ou saprólito que contêm blocos de rocha envoltos em uma matriz de solo alterado (Figura 5). A remediação de situações de risco de rolamentos consiste no desmonte parcial ou total de blocos na iminência de rolamento e na execução de obras de contenção (REIS, 2001).

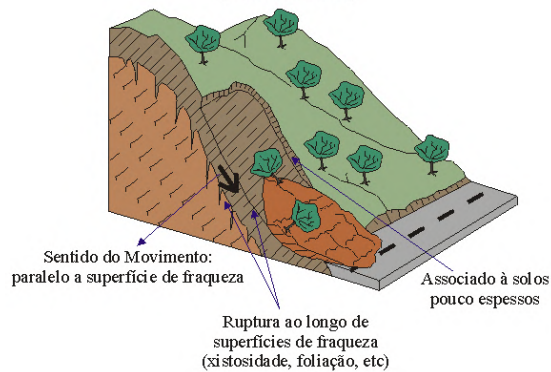
Figura 5 - Rolamento de Blocos



Fonte: Reis (2001).

Os escorregamentos podem ser divididos em: planar ou translacional, circular ou rotacional e em cunha. O escorregamento planar apresenta superfície de ruptura relativamente plana, gerada a partir do deslocamento de massa para fora ou para baixo e para fora do talude (Figura 6), sendo desencadeado pela saturação do solo em decorrência de chuvas intensas, inundações ou vazamentos, por processos erosivos ou terremotos. São medidas mitigadoras a implantação de sistemas de drenagem, o nivelamento do solo, terraplanagem, a construção de muros de arrimo e a ancoragem de blocos rochosos com tirantes e grampos (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

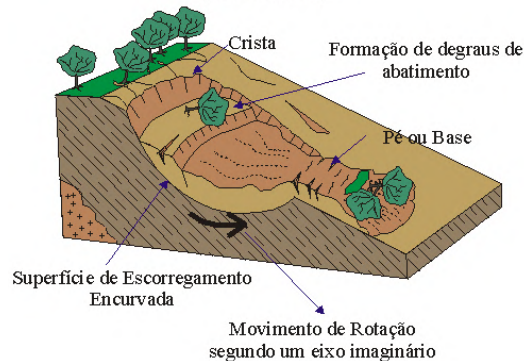
Figura 6 - Escorregamento Planar (Translacional)



Fonte: Reis (2001).

A superfície de ruptura do escorregamento rotacional é curvada, em formato de colher, e o movimento se dá em torno de um eixo paralelo ao contorno talude (Figura 7). Esse tipo de movimento é desencadeado a partir da saturação do talude, devido à ação das chuvas intensas e/ou contínuas, e por processos erosivos, devido ao escoamento rápido de rios e ao aumento na quantidade de água subterrânea. São medidas mitigadoras o monitoramento instrumental de taludes instáveis, a manutenção de sistemas de drenagem, o retaludamento e a construção de muros de arrimo (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

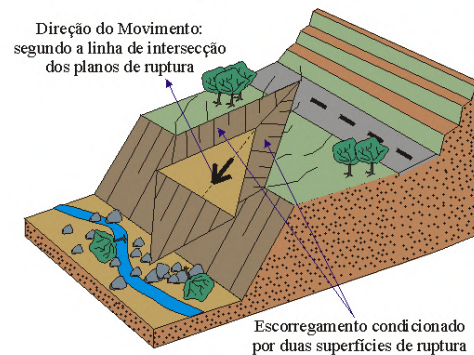
Figura 7 – Escorregamento Circular (Rotacional)



Fonte: Reis (2001).

Segundo Reis (2001), escorregamentos em cunha (Figura 8) são caracterizados pela direção do movimento ao longo da linha de interseção das superfícies de ruptura, sendo condicionados por estruturas planares de maciços rochosos e comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico.

Figura 8 – Escorregamento em Cunha



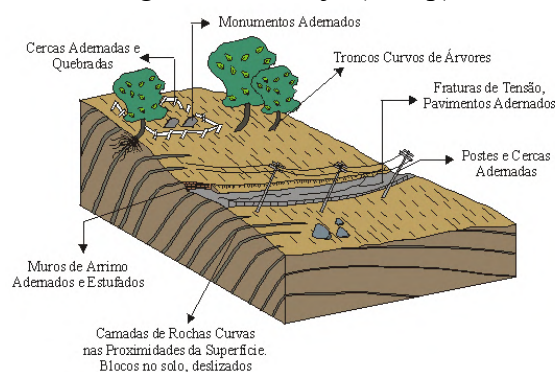
Fonte: Reis (2001).

O rastejo é caracterizado pela velocidade de deslocamento lenta, consistindo em um movimento vagaroso, imperceptível e contínuo (Figura 9), causado por uma tensão de cisalhamento interna suficiente para causar deformação, mas insuficiente para causar rupturas (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008). Pode ser classificado em:

- Sazonal: decorrente de alterações na composição e na temperatura do solo;
- Contínuo: quando a tensão de cisalhamento contínua excede a resistência do material;
- Progressivo: quando o talude atinge o ponto de ruptura causando outros tipos de movimento.

Os rastejos sazonais podem ser evitados por meio da implantação de sistemas de drenagem adequados; enquanto os rastejos contínuos e progressivos têm seus efeitos mitigados com retaludamento, remoção da massa deslocada e a construção de muros de arrimo (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

Figura 9 – Rastejo (Creep)



Fonte: Reis (2001).

Segundo Highland e Bobrowski (2008), o fluxo de detritos é um tipo de movimento extremamente rápido e passível de ocorrer sem nenhum tipo de alerta. Ocorre quando solo solto, rochas e matéria orgânica se misturam formando uma lama que escoar com grande velocidade,

dependendo da consistência da lama e do ângulo de inclinação do talude (Figura 10). É comumente formado a partir de outros tipos de movimentos, sendo desencadeado por um fluxo intenso de água na superfície, que causa erosão e movimenta solos e rochas em regiões inclinadas. Devido à natureza imprevisível desse tipo de movimento, medidas mitigadoras compreendem sistemas de alerta em áreas com histórico de ocorrência de fluxo de detritos, a evacuação e a remoção de residências próximas (HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

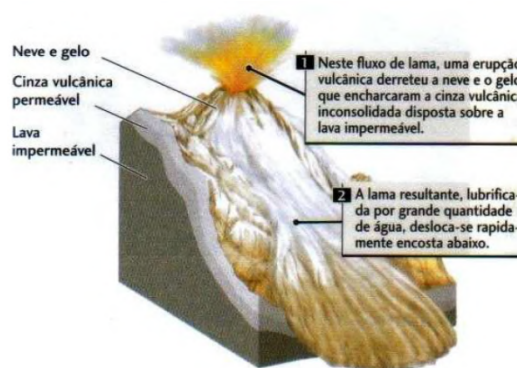
Figura 10 - Fluxo de Detritos



Fonte: Press *et al.* (2006).

No fluxo de lama (Figura 11), o material mobilizado apresenta granulometria predominantemente mais fina que a areia, além de alguns detritos de rocha e grande quantidade de água; apresenta velocidade mais rápida que o fluxo de terra ou de detritos; são desencadeados após a ocorrência de chuvas frequentes e, às vezes, prolongadas; e à medida que a água é absorvida pela encosta, as propriedades físicas do solo, antes seco e estável, mudam, fazendo com que esse seja transformado em uma lama instável à espera de qualquer perturbação que possa desencadeá-lo (PRESS *et al.*, 2006).

Figura 11 - Fluxo de Lama



Fonte: Press *et al.* (2006).

2.4. Áreas de Risco

2.4.1. Definição

Segundo Alheiros *et al.* (2004), “o risco expressa a possibilidade de perdas materiais ou sociais, através da ocorrência de um acidente”, tendo como fator necessário para a sua ocorrência, a ocupação do espaço. Dessa forma, é possível concluir que áreas de risco constituem regiões do território ocupadas e sujeitas à ocorrência de desastres naturais ou induzidos que possam resultar em perdas de ordem material ou social.

2.4.2. Fatores de Risco

O risco é o resultado da interação de vários elementos, sendo a suscetibilidade do meio e a vulnerabilidade do sistema, os mais relevantes. Segundo Alheiros *et al.* (2004), esses dois elementos constituem fatores de risco, sendo a suscetibilidade “uma característica inerente ao meio e que representa a fragilidade do ambiente frente aos processos geológicos”; enquanto a vulnerabilidade reflete a fragilidade dos sistemas implantados nos setores de risco frente a ocorrência de um acidente. Ainda segundo Alheiros *et al.* (2004), os fatores de suscetibilidade e de vulnerabilidade podem ser subdivididos conforme apresentado, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Fatores de suscetibilidade segundo Alheiros *et al.* (2004)

FATORES DE SUSCETIBILIDADE	
Geológicos	Determinam a suscetibilidade do meio a partir das características dos materiais sobre os quais ocorrem os processos. • Litologia: dependendo do tipo de rocha, sedimento ou solo, pode haver uma maior ou menor suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa e processos erosivos; • Textura: quanto mais poroso e permeável for o solo, maior a suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos; enquanto, quanto mais impermeável, maior a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa; • Estrutura: se as camadas do solo ou os planos de fraturas e falhas geológicas forem dispostas no sentido do declive do talude, maior será a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa; • Pré-Adensamento: quanto mais pré-adensado for o solo, maior será o seu coeficiente de atrito e a sua resistência à ruptura.
Morfológicos	Expressam a suscetibilidade do meio a partir das características do relevo das encostas. De forma geral, maior será a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa, quanto mais alta e mais extensa, com perfil côncavo, baixa sinuosidade e alta declividade for a encosta.

FATORES DE SUSCETIBILIDADE	
Climáticos	São fatores de suscetibilidade climáticos a umidade, a temperatura e a pluviosidade. Segundo Alheiros <i>et al.</i> (2004), condições de umidade e temperatura elevadas provocam a decomposição de minerais mais frágeis ou argilizáveis, favorecendo a ocorrência de movimentos de massa; enquanto a pluviosidade exerce papel fundamental no desencadeamento de movimentos de massa e de processos erosivos, sendo possível estabelecer, em alguns casos, uma relação de causa e efeito entre chuvas e a ocorrência desses fenômenos.
Hidrológicos	São aspectos hidrológicos relevantes para a ocorrência de processos de instabilização de massa o escoamento superficial, responsável pela geração de processos de erosão-sedimentação, e o escoamento subterrâneo, responsável pela saturação do solo.
Antrópicos	Compreendem o tipo de ocupação, a execução de cortes e aterros, a remoção da cobertura vegetal, a implantação de fossas sépticas (ou sumidouros), a ocorrência de vazamentos em tubulações de água e esgoto e o lançamento de águas servidas e lixo.

Tabela 2 - Fatores de vulnerabilidade segundo Alheiros *et al.* (2004)

FATORES DE VULNERABILIDADE	
Densidade Populacional	Segundo Alheiros <i>et al.</i> (2004), a ocupação desordenada é considerada como o principal responsável pelo desequilíbrio das encostas, de forma que, quanto maior o adensamento populacional nas encostas, maior o risco.
Equipamentos Públicos	A ausência de equipamentos públicos, como praças e espaços de lazer e convívio social, influem diretamente na qualidade de vida da população em situação de risco, contribuindo para o aumento da sua vulnerabilidade.
Redes de Infraestrutura Existentes	A ausência ou ineficiência das redes de infraestrutura viária, de drenagem e de esgotamento sanitário constitui fator de vulnerabilidade, pois leva à construção de sistemas improvisados e ao lançamento de águas pluviais, servidas e esgoto diretamente sobre o solo, em valas abertas ou em fossas negras, contribuindo para a contaminação do lençol freático e dos corpos d'água, além de provocar a saturação do solo da encosta.
Tipologia das Edificações	Segundo Alheiros <i>et al.</i> (2004), a tipologia das edificações influi na vulnerabilidade das áreas de risco devido aos impactos decorrentes da sua implantação na encosta, como a realização de cortes e aterros e a sobrecarga adicionada ao solo devido ao peso das edificações.

2.4.3. Áreas de Risco de João Pessoa

Desde 2013, o Serviço Geológico do Brasil do Centro de Pesquisas em Recursos Minerais (SGB/CPRM) realiza a setorização de risco a movimentos de massa, processos erosivos, enchentes e inundações do município de João Pessoa. Nos setores de risco submetidos a ocorrência de movimentos de massa e erosão, são caracterizadas as condições de ocupação de terrenos inclinados e a topografia dos taludes e verificada a existência de deformações no terreno, de infiltrações e surgências de água ou efluentes domésticos, lançamento de lixo e aterro e de maciços rochosos fraturados ou depósitos coluvionares e de tálus (LAMBERTY E MENDONÇA, 2019). Na setorização realizada em julho de 2019 por Lamberty e Mendonça (2019), foram identificados 64 setores de alto e muito alto risco de deslizamentos e inundações ou enchentes, sendo 49 deles sujeitos à ocorrência de movimentos de massa e que “têm o seu fator de risco condicionado a uma ocupação sem controle, por vezes, com ausência total de dispositivos urbanísticos, estando associados ou não a processos erosivos”; estando inseridos em 23 bairros de João Pessoa: Trincadeiras, Ilha do Bispo, Alto do Mateus, Oitizeiro, Cruz das Armas, Cristo Redentor, Jaguaribe, Varjão, Funcionários, João Paulo II, Valentina, Mangabeira, Paratibe, Cabo Branco, Miramar, Tambauzinho, Castelo Branco, Expedicionários, Torre, São José, Mandacaru, Tambiá e Roger.

2.5. Obras de Estabilização

A necessidade de estruturas que auxiliassem na garantia da estabilidade de taludes instáveis levou ao desenvolvimento das obras de estabilização. Segundo Santana (2006), as obras de estabilização podem ser divididas em:

- Obras sem estruturas de contenção: compreendem retaludamentos, proteção superficial, drenagem e estabilização de blocos;
- Obras com estruturas de contenção: constituem o tipo de processo de estabilização de taludes mais difundido e compreendem toda estrutura que ofereça resistência ao movimento do talude ou à sua ruptura, ou que reforce uma parte do maciço de modo que essa parte possa resistir aos esforços que levam a instabilização do mesmo (CARVALHO, 1991). Segundo Wolle (1972) *apud* Santana (2006), podem ser subdivididas em:
 - i. Obras de contenção passiva: reagem contra tendências de movimentação do talude e têm como exemplos, os muros de arrimo e as cortinas cravadas;

- ii. Obras de contenção ativa: além de reagirem às tendências de movimentação do solo, geram uma compressão no talude visando aumentar a resistência do solo por atrito. São exemplos, cortinas atirantadas e tirantes isolados;
- iii. Obras de reforço do terreno: têm por finalidade aumentar a resistência do solo às tensões geradas por um desnível abrupto, sendo exemplos desse tipo de obra, as soluções em “Terra Armada”, solo grampeado e Jet-Grouting.

2.5.1. Obras de Estabilização Sem Estruturas de Contenção

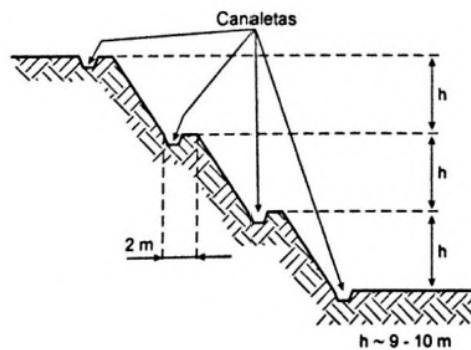
- Drenagem

Segundo Massad (2010), o sistema de drenagem pode ser superficial, que tem por objetivo “diminuir a infiltração de águas pluviais, captando-as e escoando-as por canaletas dispostas longitudinalmente, na crista do talude e em bermas, e, transversalmente, ao longo de linhas de maior declividade do talude”; ou profundo, cujo objetivo é promover o rebaixamento da linha freática, reduzindo as pressões neutras e aumentando a estabilidade do talude.

De acordo com Caetano *et al.* (2016), a drenagem superficial de obras de contenção pode ser realizada por meio do uso de:

- Barbacãs: tipo de dreno que consiste em um tubo de PVC drenante, com inclinação horizontal descendente, instalado na face do talude por meio da escavação de uma cavidade revestida com material arenoso ou brita;
- Dreno de Paramento: calha plástica ondulada revestida por manta geotêxtil ou material granular (areia ou brita), disposta verticalmente da crista ao pé do talude;
- Canaletas: são utilizadas para direcionar o fluxo de água que escoar do sistema de drenagem profunda, dos barbacãs, dos drenos de paramento e do dreno de crista, para um ponto de captação ou descarga;
- Escadaria Hidráulica: tipo de descida d'água que tem por funções transportar a água acumulada na crista à canaleta de pé e, ao longo desse percurso, promover a dissipação da energia do fluido. Segundo Massad (2010), a execução de escadarias hidráulicas é indicada para taludes com grandes declividades, sendo para isso requerida a construção de bermas com 2 metros de largura espaçadas verticalmente em 9 a 10 m (Figura 12).

Figura 12 - Escadaria hidráulica



Fonte: Massad (2010).

A drenagem profunda de obras de contenção é realizada por Drenos Sub-Horizontais Profundos (DHP's) (Figura 13), que são tubos plásticos drenantes, de 32 a 50 mm de diâmetro, instalados em perfurações no solo de 64 a 100 mm; que apresentam comprimentos variáveis normalmente, entre 6 e 24 metros; podendo ser microrranhurados ou apresentar perfurações recobertas por manta de geotêxtil ou tela de Nylon; sendo instalados abaixo do nível do lençol freático e, por vezes, acima, como medida preventiva de vazamentos em redes de abastecimento de água ou coleta de esgotos e águas pluviais (SOLOTRAT, 2018). Diferente da drenagem superficial, a drenagem profunda requer pessoal e equipamentos especializados.

Figura 13 - Dreno Sub-Horizontal Profundo (DHP)



Fonte: <http://www.solotrat.com.br/dreno-subhorizontal-profundo>

De acordo com Caetano *et al.* (2016), a execução de sistemas de drenagem em obras de contenção é indispensável, podendo o mau dimensionamento e a execução incorreta ou a ausência desses sistemas, resultar no aumento da carga suportada pela contenção e na redução

da resistência ao cisalhamento do solo, além de afetar a qualidade e a durabilidade do concreto e das barras de aço, em estruturas de contenção dos tipos solo grampeado e cortina atirantada.

Os procedimentos para execução de drenos sub-horizontais, aplicáveis à drenagem de taludes de cortes, aterros ou encostas, são estabelecidos na Especificação de Serviço DNIT 017/2006 do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

▪ Proteção Superficial

A proteção superficial de taludes tem por objetivo minimizar o impacto da ação das intempéries, podendo ser natural ou artificial. A proteção natural é conferida pela vegetação plantada na face do talude, que atua interceptando a água das chuvas, reduzindo o escoamento superficial, aumentando a infiltração e reforçando o maciço de solo por meio das raízes (SANTANA, 2006). Além da vegetação, podem ser empregadas geomantas, biomantas e geocélulas.

De acordo com Carvalho (1991), a cobertura vegetal de taludes com gramíneas pode ser realizada a partir de técnicas diferenciadas de aplicação e a escolha da espécie de gramínea depende de fatores como o tipo de solo, a inclinação do talude e das condições climáticas. Dentre as técnicas usualmente empregadas estão:

- *Hidrossemeadura*: técnica que consiste no lançamento de sementes sobre o talude em meio aquoso, contendo um elemento fixador e nutrientes, atingindo maiores áreas em curto espaço de tempo e a custos relativamente baixos. A eficiência da hidrossemeadura depende das condições climáticas e das características de fertilidade do solo;
- *Plantio de Mudas*: consiste no revestimento do talude com terra vegetal, restrita a taludes com inclinação de até 1(V):2(H);
- *Revestimento com Grama em Placas*: técnica que requer uma camada de solo fértil para acomodação de placas de 30 a 50 cm de largura advindas de gramados plantados e que incluem o solo enraizado. Pode ser empregada em taludes com inclinação superior a 1(H):2(V), desde que as placas sejam fixadas pela cravação de estacas de madeira ou bambu ou telas plásticas fixadas por grampos.

A proteção artificial de taludes tem por objetivo impedir ou reduzir a infiltração das águas das chuvas no talude (MASSAD, 2010) e é realizada através da impermeabilização com argamassa (cimento, areia e água), com tela argamassada, com pedras ou lajotas, asfáltica ou com polietileno ou com lonas plásticas (SANTANA, 2006).

O tratamento ambiental de superfícies de taludes de corte e aterro também pode ser realizado por meio do emprego de técnicas de bioengenharia (Figura 14) que, a partir do plantio de espécies vegetais (capim limão e capim vetiver) ou da utilização de mantas e telas biodegradáveis ou vegetais, promovem a proteção superficial de taludes e o controle de processos erosivos. De acordo com DNIT (2006), quando aplicadas em taludes rodoviários, as técnicas de bioengenharia contribuem para uma redução nos custos de conservação rodoviária.

Figura 14 - Antes, durante e depois da execução de solo grampeado verde e biomantas antierosivas em talude com instabilidade geral, escorregamento e erosões generalizadas



Fonte: DNIT (2006).

▪ Retaludamento

O retaludamento consiste na suavização da inclinação do talude, por meio da realização de cortes e/ou aterros, visando a redução dos esforços solicitantes no maciço (SANTANA, 2006). Segundo Carvalho (1991), há uma condição geométrica que oferece estabilidade ao maciço para qualquer tipo de solo ou rocha, em qualquer condição de ocorrência e sob a ação de quaisquer esforços, de forma que a decisão pela execução de retaludamentos depende apenas da disponibilidade de área e de recursos financeiros que a justifiquem. Dessa forma, conclui-se que esse tipo de obra de estabilização possui uma aplicação limitada, principalmente no meio urbano, em decorrência da necessidade de grandes áreas para a execução das operações de corte e aterro.

De acordo com Carvalho (1991), o retaludamento pode ser feito a partir da remoção de parte do material do talude, suavizando a sua inclinação; redução da altura do talude; ou reaterro da região basal, associado ou não ao corte nas porções mais elevadas. Carvalho (1991) ressalta ainda a importância de se garantir que, após o retaludamento, a nova geometria apresente fator de segurança compatível.

2.5.2. Obras de Estabilização Com Estruturas de Contenção

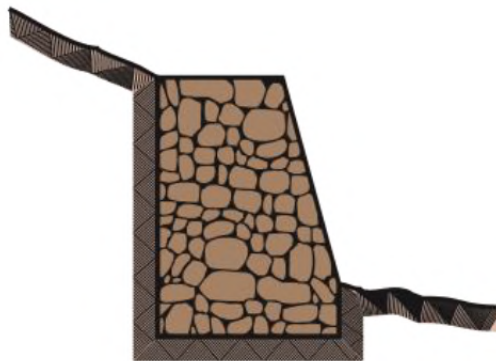
▪ Muros de Arrimo

Segundo Moliterno (1994), os muros de arrimo podem ser divididos em:

- Muros de Arrimo por Gravidade ou Peso: são aqueles nos quais a reação ao empuxo do solo é proporcionada pelo peso do muro e pelo atrito em sua fundação (CARVALHO, 1991). Quanto ao formato da seção transversal, podem ser de perfil retangular, trapezoidal ou escalonado, em estruturas de pontes, contrafortes ou gigantes (MOLITERNO, 1994); e em relação ao material empregado, podem ser dos tipos:

- Muro de Pedra Seca: são construídos manualmente e sua resistência é função apenas da sobreposição das pedras, necessitando de blocos de dimensões regulares a fim de reduzir o atrito entre elas (Figura 15). Possui capacidade autodrenante, o que evita a ação das pressões neutras contra o muro e é indicado para contenção de taludes de até 1,5 m de altura. As vantagens desse tipo de muro estão na facilidade de execução, não requerendo mão-de-obra especializada, além do baixo custo, quando há disponibilidade de material próximo à obra (CARVALHO, 1991);

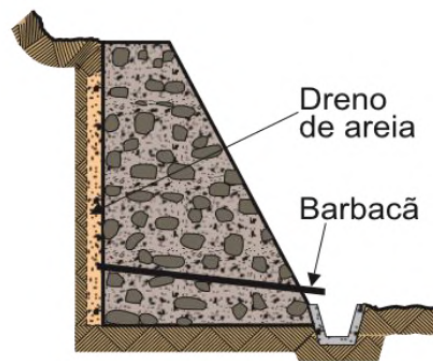
Figura 15 - Muro de pedra seca



Fonte: Almeida (2016).

- Muro de Pedra Argamassada: constituído por pedras de dimensões variadas, dispostas manualmente, e com vazios preenchidos com argamassa de cimento e areia (Figura 16). É indicado para contenção de taludes com alturas de até 3 metros, requerendo a implantação de barbacãs para drenagem (CARVALHO, 1991);

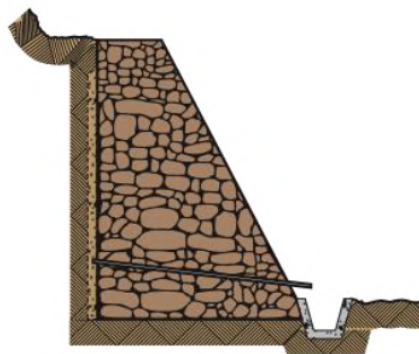
Figura 16 - Muro de pedra argamassada



Fonte: Almeida (2016).

- Muro de Concreto Ciclópico: pode ser utilizado na contenção de taludes com altura superior a 3 metros, sendo constituído por blocos de rocha de grandes dimensões e concreto (Figura 17). A execução desse tipo de muro requer o uso de fôrmas e no projeto deve ser previsto um sistema de drenagem composto por barbacãs e dreno de areia (CARVALHO, 1991);

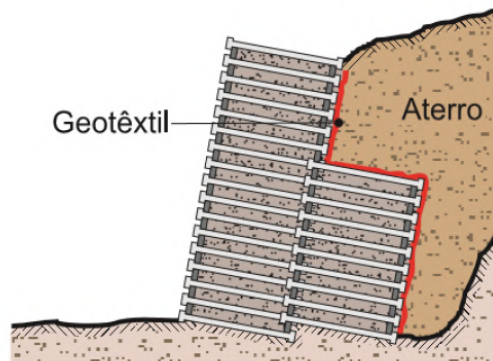
Figura 17 - Muro de concreto ciclópico



Fonte: Almeida (2016).

- *Crib-Walls*: consiste em um sistema de peças de concreto armado encaixadas entre si e que formam uma espécie de "gaiola", que é preenchida com solo ou blocos de rocha e seixos de grandes dimensões, ou ainda, entulho (Figura 18). Nesse tipo de estrutura, o material de preenchimento fornece o peso da estrutura de contenção, enquanto as peças de concreto armado provêm resistência à estrutura e mantém a sua forma geométrica. Necessitam de um aterro interno e do reaterro da região à montante. São estruturas naturalmente bem drenadas e pouco sensíveis a movimentações e recalques. Requerem o uso de um filtro de interface entre o *crib wall* e o aterro, sendo geralmente utilizadas mantas geotêxteis (CARVALHO, 1991);

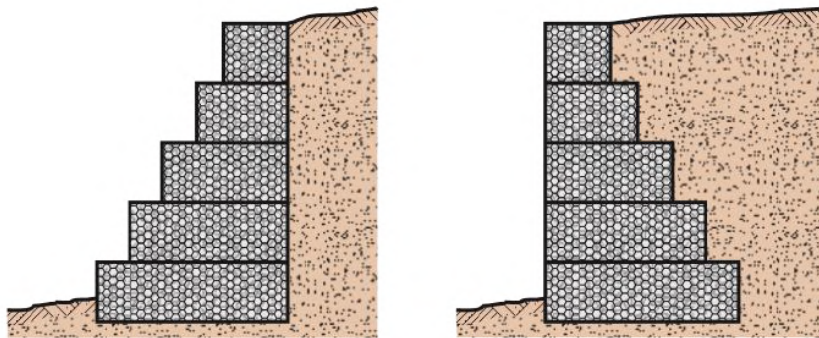
Figura 18 - Muro de arrimo celular de peças pré-moldadas de concreto (*crib-wall*)



Fonte: Almeida (2016).

- Gabiões: segundo Carvalho (1991), os gabiões são caixas ou "gaiolas" de arame galvanizado preenchidas com brita ou seixos que, quando colocadas justapostas e costuradas umas às outras por arame, formam muros de diversos formatos (Figura 19);

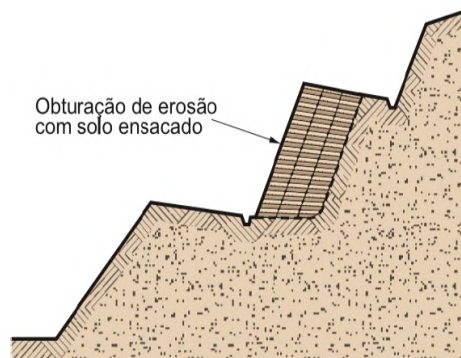
Figura 19 - Muro de arrimo de gabiões



Fonte: Almeida (2016).

- Muro de Solo-Cimento Ensacado: segundo Carvalho (1991), o solo cimento, quando ensacado, atua como proteção superficial e como estrutura de contenção (Figura 20). O processo executivo desse tipo de muro consiste na compactação de camadas de solo cimento, acondicionado em sacos de aniagem ou geossintéticos;

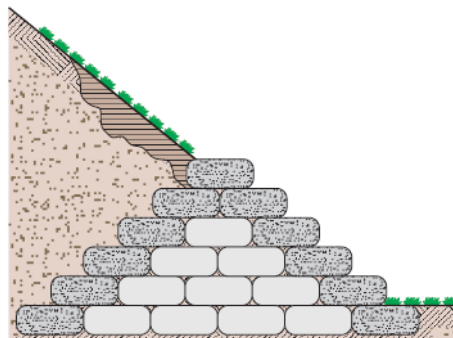
Figura 20 - Muro de arrimo de solo-cimento ensacado



Fonte: Almeida (2016).

- “Bolsacreto”: consiste em um sistema construtivo composto por geoformas têxteis padronizadas em simulações de computador para obras hidrogeotécnicas, que possuem uma diagramação têxtil denominada "unifluxo", que elimina o excesso de água do microconcreto ou da argamassa de moldagem e impede a entrada de água do exterior para dentro da geoforma têxtil (Figura 21). Quando executadas na presença de água, dispensam a necessidade de ensecadeiras, desvios de cursos d'água e de bombeamentos (BOLSACRETO);

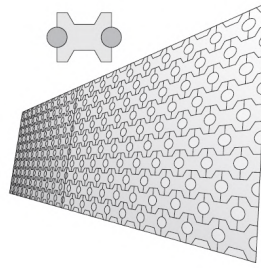
Figura 21 - Muro de arrimo de "Bolsacreto"



Fonte: Almeida (2016).

- “Rimobloco”: desenvolvido e patenteado em 1967 pela empresa Rimobloco, o muro de arrimo "Rimobloco" (Figura 22) é constituído por blocos de concreto pré-moldados em forma de "T" duplo encaixados entre si e conectados ao talude por chumbadores. Pode ser aplicado tanto em taludes de corte, sendo os chumbadores moldados *in loco*, quanto em aterros. As juntas entre os blocos são secas, garantindo a drenagem da água no talude (RIMOBLOCO);

Figura 22 - Muro de arrimo "Rimobloco"



Fonte: Almeida (2016).

- Muro de Contenção em “LogBlock®Contenção”: o LogBlock®Contenção é um bloco de concreto vibro-prensado, com 25 cm de diâmetro e 20 cm de altura, utilizado em muros de contenção ou escadarias hidráulicas (ECOUNION). A geometria das peças permite o assentamento pelo simples encaixe (Figura 23), dispensando a necessidade de argamassa ou rejuntamento, de mão-de-obra especializada ou de qualquer reforço em aço ou concreto, devido a sua característica autoportante. De acordo com AeCweb (2018), os blocos são produzidos com agregado reciclado, sendo reaproveitáveis; dispensam a necessidade de fundação profunda, podendo ser assentados sobre base estabilizada de Brita Graduada Simples ou similar, plana, nivelada e compactada; e têm uma produtividade média de assentamento de 300 peças por homem/hora.

Figura 23 - Muro de contenção em LogBlock Contenção



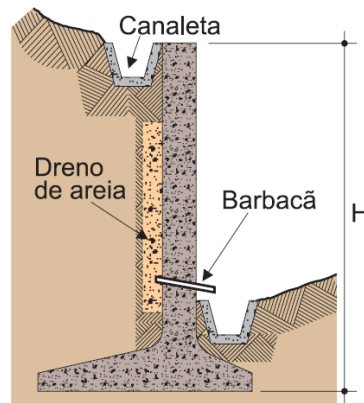
Fonte: ECOUNION.

- Muros de Arrimo de Concreto Armado: conhecidos como "muros de flexão", esse tipo de muro de arrimo tem a sua estabilidade garantida pelo seu peso próprio e pelo peso de uma porção de solo adjacente, que atua como parte integrante da estrutura (CARVALHO, 1991). Segundo Moliterno (1994), podem ser:

- ♦ Corridos ou Contínuos:

→ Perfil L (Figura 24): utilizados para alturas de até 2,0 metros, possibilitam a execução de seções transversais esbeltas, sendo empregados em aterros e reaterros, requerendo um terreno de fundação com boa capacidade de suporte e um sistema de drenagem interno;

Figura 24 - Muro de arrimo de concreto armado em "L"



Fonte: Almeida (2016).

→ Perfis Clássico ou Especiais: utilizados para alturas entre 2,0 e 4,0 metros;

- ♦ Com Gigantes ou Contrafortes: para muros de 6,0 a 9,0 metros de altura;
- ♦ Ligados às Estruturas: construídos junto às estruturas de edifícios e nos encontros de pontes ou viadutos.

A execução de muros de arrimo de alvenaria de pedra argamassada ou não, concreto ciclópico, concreto armado e concreto protendido em rodovias é tratada na Especificação de Serviço do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) DNER-ES-OA-39/71.

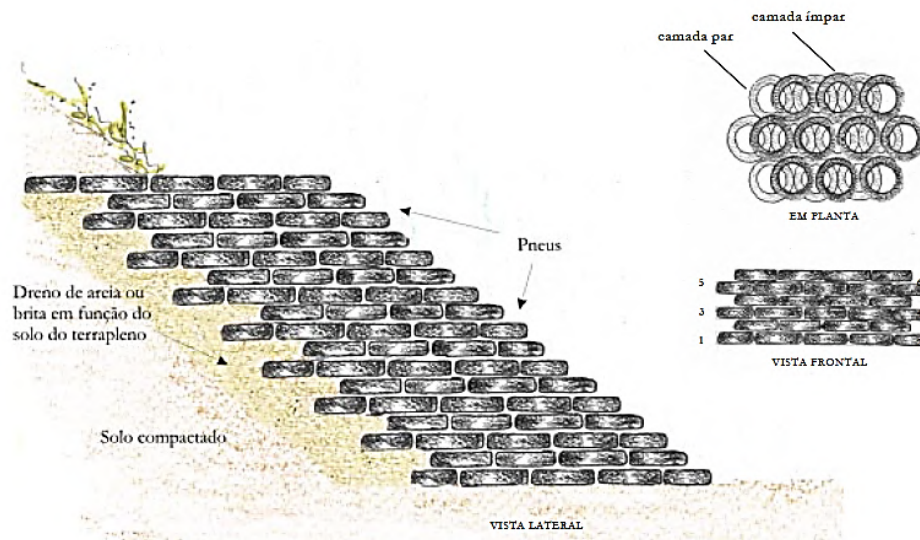
- Muro de Solo-Pneu

O muro de solo-pneu constitui um tipo de muro de arrimo no qual são utilizados pneus inservíveis amarrados entre si conforme um arranjo definido em função da altura da encosta e das dimensões do muro (ALHEIROS *et al.*, 2004). Esse tipo de obra de contenção possui um baixo custo, quando comparado a outras soluções, pois além de promover o reuso de pneus que seriam descartados, utiliza o solo da própria encosta no preenchimento dos espaços entre os pneus.

O processo executivo consiste na amarração e no arranjo dos pneus em camadas sobrepostas, dispensando a necessidade de mão-de-obra especializada (Figura 25). Em seguida, o muro é recoberto por uma camada de solo para o preenchimento dos vazios formados pelo

encaixe dos pneus, e realizada a semeadura de gramíneas que, ao recobrirem o muro, garantem que o mesmo não seja exposto ao risco de incêndio. Esse tipo de muro apresenta uma boa capacidade de drenagem, porém, caso o solo utilizado no enchimento seja argiloso, devem ser instalados barbacãs (ALHEIROS *et al.*, 2004).

Figura 25 - Exemplo do sistema construtivo do solo-pneu

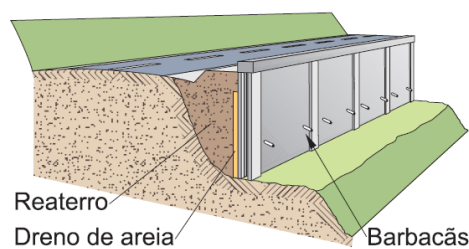


Fonte: Alheiros *et al.* (2004).

- Cortina de Estaca com Prancheamento

As cortinas de estacas ou cortinas cravadas (Figura 26) constituem um tipo de estrutura de contenção formado por estacas ou perfis cravados no solo que trabalham à flexão, resistindo à movimentação com o apoio de uma parte do perfil enterrada, denominada de ficha. Podem ser contínuas, em que as estacas são cravadas justapostas, ou descontínuas, nas quais as estacas são cravadas separadas por uma distância preenchida por pranchões de madeira ou placas de concreto armado (CARVALHO, 1991).

Figura 26 - Cortina de estaca ou cortina cravada



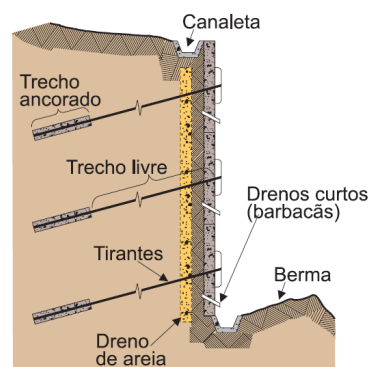
Fonte: Almeida (2016).

Segundo Carvalho (1991), as cortinas cravadas são muito utilizadas em obras de contenção provisórias e, devido ao funcionamento à flexão, costumam ser bastante deformáveis.

- Cortinas Atirantadas

Segundo Carvalho (1991), cortinas atirantadas (Figura 27) são "elementos verticais ou subverticais de concreto armado, que funcionam como paramento e que são ancorados no substrato resistente do maciço através de tirantes protendidos".

Figura 27 - Seção transversal de uma cortina atirantada



Fonte: Almeida (2016).

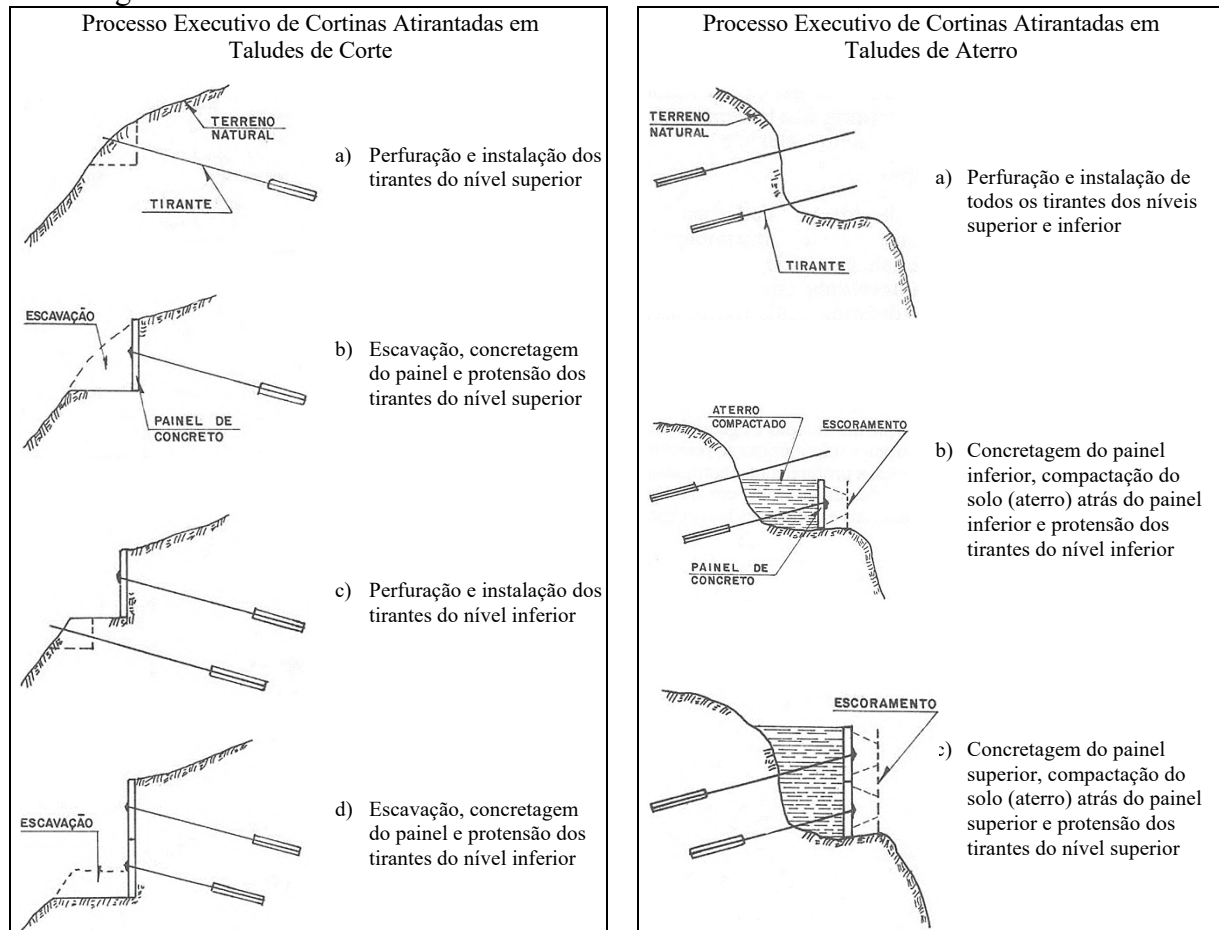
O paramento da cortina pode ser constituído por placas isoladas para cada tirante, por placas englobando dois ou mais tirantes ou, ainda, uma cortina única, compreendendo todos os tirantes (CARVALHO, 1991); construídas em concreto armado, concreto projetado, parede diafragma ou perfis metálicos (MAGALHÃES E AZEVEDO, 2016).

Os tirantes protendidos podem ser introduzidos em solo ou rocha (MAGALHÃES E AZEVEDO, 2016) e atuam promovendo um aumento na resistência ao cisalhamento do solo através de um aumento na tensão normal atuante ao longo da linha de ruptura; ou ainda, introduzindo uma parcela adicional de força, tangencial e ao longo da linha de ruptura, a depender da inclinação dos tirantes (MASSAD, 2010).

O processo executivo de cortinas atirantadas depende do tipo de talude a ser contido. De acordo com Carvalho (1991), na contenção de taludes de corte (Figura 28), a execução da cortina é iniciada no topo e realizada por patamares, de forma que um patamar só é iniciado quando o anterior já se encontra com as placas executadas e os tirantes protendidos (total ou parcialmente); enquanto na contenção de taludes de aterro (Figura 28), a execução é iniciada a partir da base do talude, sendo a construção das placas e a protensão dos tirantes realizadas à

medida que o aterro é executado. Carvalho (1991) ressalta ainda que, na contenção de taludes de aterro, “a protensão é sempre realizada por estágios, uma vez que as placas inferiores não podem receber toda a carga de projeto dos tirantes, enquanto o aterro não estiver totalmente executado”, sendo essa prática comum também em contenções de cortes ou taludes naturais, devido a influência da protensão de cada tirante em seus vizinhos.

Figura 28 - Processo executivo de cortinas atirantadas em taludes de corte e aterro



Fonte: Adaptado de Carvalho (1991).

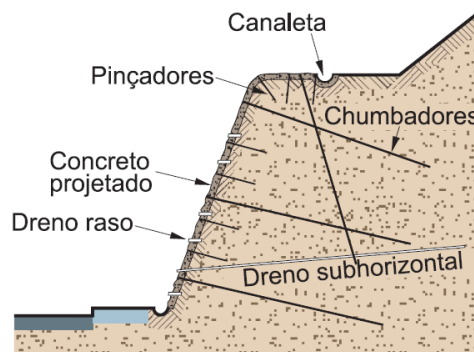
Segundo Magalhães e Azevedo (2016), a desvantagem desse tipo de contenção está na possibilidade de interferências em terrenos vizinhos, durante a execução das perfurações para instalação dos tirantes, que podem provocar recalques; nas injeções para fixação dos tirantes; ou na protensão, que pode introduzir esforços horizontais nas fundações adjacentes.

A ABNT NBR 5629 (2018) estabelece os requisitos para o projeto e a execução de tirantes ancorados no terreno.

- Solo Grampeado

De acordo com Solotrat (2018), “solo grampeado (Figura 29) é uma técnica de melhoria de solos, que permite a contenção de taludes por meio da execução de chumbadores, concreto projetado e drenagem”, sendo aplicada em cortes para implantação de subsolos ou cortes com geometria instável, taludes existentes sem estabilidade satisfatória e em taludes rompidos.

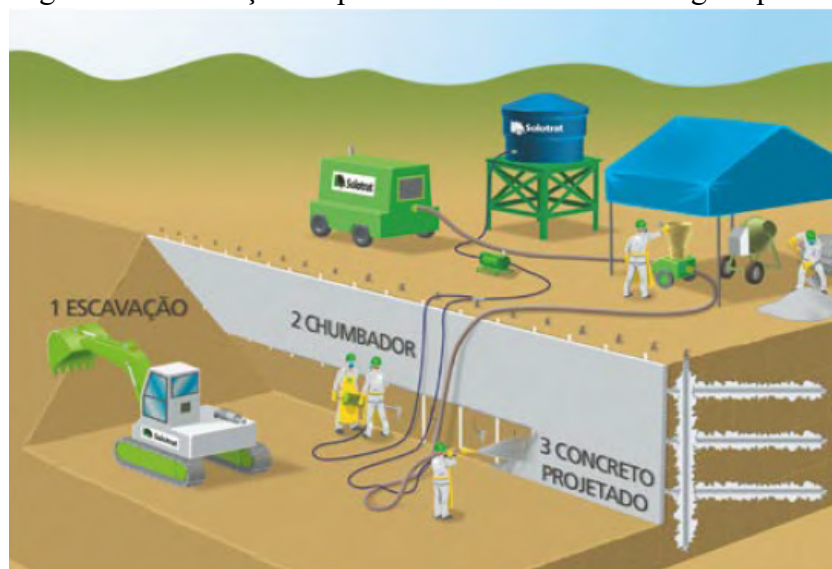
Figura 29 - Solo grampeado



Fonte: Almeida (2016).

O processo executivo (Figura 30) consiste, inicialmente, na pré-contenção e melhoria do solo, por meio da execução de chumbadores verticais; em seguida, são executados cortes descendentes na geometria do solo e, logo após, é executada a primeira linha de chumbadores e aplicado o revestimento de concreto projetado. À medida que o processo executivo avança, é realizada a implantação dos sistemas de drenagem profundo e superficial (SOLOTRAT, 2018).

Figura 30 - Ilustração do processo executivo do solo grampeado

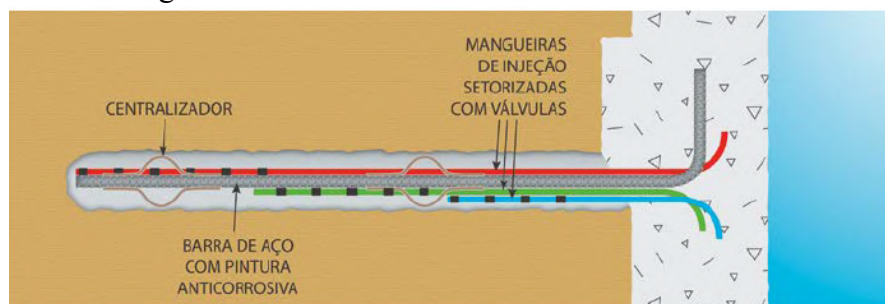


Fonte: Solotrat (2018)

Os chumbadores ou grampos são moldados no local, por meio da perfuração do solo do talude, instalação e fixação da armação e injeção de calda de cimento sob pressão. Durante a perfuração são utilizados água, ar, lama ou trados helicoidais contínuos na limpeza do furo. Os chumbadores são geralmente instalados com uma inclinação variando de 5° a 30° abaixo da horizontal e com diâmetro de perfuração de 75 mm (SOLOTRAT, 2018).

A armação é constituída por barras metálicas, de fibras de vidro, resinadas ou similares, sendo utilizados dispositivos centralizadores ao longo das barras para a garantia do recobrimento contínuo e constante da calda de cimento (Figura 31). A extremidade superior das barras é geralmente acabada por meio de uma dobra a 90 graus, podendo receber também placa metálica, rosca e porca, ou ferragem de ligação, embutidas no revestimento de concreto projetado. Além dos dispositivos centralizadores, ao longo das barras são fixadas as mangueiras de injeção (SOLOTRAT, 2018).

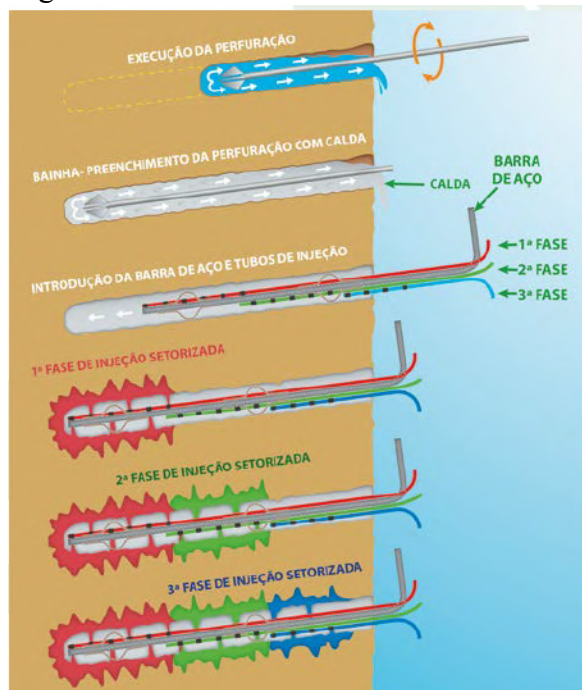
Figura 31 - Partes constituintes de um chumbador



Fonte: Solotrat (2018)

As injeções devem ser realizadas ao longo de toda a perfuração, em fases ou setores, sendo recomendada a realização em pelo menos três fases (Figura 32). Em solos, é usual o emprego de calda com elevado teor de cimento, enquanto em rochas, são utilizadas resinas (SOLOTRAT, 2018).

Figura 32 - Fases construtivas do chumbador



Fonte: Solotrat (2018)

A primeira fase da injeção é denominada de bainha e compreende o preenchimento do furo, injetando-se a calda de baixo para cima, e a introdução da barra. Entre 6 e 24 horas após o término da bainha, são iniciadas as fases da injeção, espaçadas em um período de tempo entre 4 a 8 horas. Em todas as fases as mangueiras de injeção são perdidas (SOLOTRAT, 2018).

O revestimento do paramento do talude é feito com concreto projetado preparado a seco, em que a adição de água é feita junto ao bico de proteção alguns instantes antes da aplicação. Nessa etapa do processo executivo, a experiência da equipe é primordial, tendo em vista que a dosagem da água é feita pelo mangoteiro, a partir da sua sensibilidade e experiência, influenciando diretamente na qualidade do serviço. A projeção do concreto deve ser realizada a uma distância de 1 metro do talude, ortogonalmente à superfície, em movimentos contínuos e circulares (SOLOTRAT, 2018).

O concreto projetado pode ser armado com fibras de polietileno ou metálicas, ou ainda pode ser feita a armação do revestimento por meio de tela eletrosoldada. Ainda que não seja muito usual, é recomendada a execução de juntas frias horizontais e verticais no concreto projetado (SOLOTRAT, 2018).

Diferente da cortina de tirantes, os grampos não são protendidos, sendo a mobilização dos esforços dada a partir das movimentações do solo (MAGALHÃES E AZEVEDO, 2016).

Analisando comparativamente as soluções em cortina atirantada e em solo grampeado, RASKOVISCH (2020) concluiu que:

- Na cortina atirantada, os tirantes começam a trabalhar imediatamente após a conclusão da estrutura de contenção, a partir da sua protensão, que tem por finalidade garantir que não haja o deslocamento da cortina;
- No solo grampeado, os grampos são solicitados apenas com a movimentação do solo, sendo realizada uma pré-tensão dos grampos consideravelmente menor que a realizada nos tirantes da cortina, com o intuito de garantir a ligação com o concreto projetado;
- Na cortina atirantada há limitações quanto a inclinação do paramento, sendo geralmente vertical; enquanto no solo grampeado, não há essas limitações;
- A injeção de concreto realizada na cortina atirantada possui função estrutural, enquanto no solo grampeado, a finalidade dessa injeção é promover a impermeabilização, estabilização e controle de processos erosivos;

▪ Solo Reforçado com Geossintéticos

De acordo com Avesani Neto e Portelinha (2016), o solo reforçado com geossintéticos (Figura 33) consiste em um sistema construtivo composto por uma ou várias camadas alternadas de solo ou material granular compactado e geossintético, formando uma estrutura de contenção que atua como um muro de gravidade. Dentre as vantagens desse tipo de contenção estão a possibilidade de uso do solo local para compor a estrutura de contenção e de diversos tipos de acabamento da face, baixo custo e rápida execução, flexibilidade e capacidade de absorção de deformações.

Figura 33 - Solo reforçado com geossintéticos



Fonte: Maccaferri (2017).

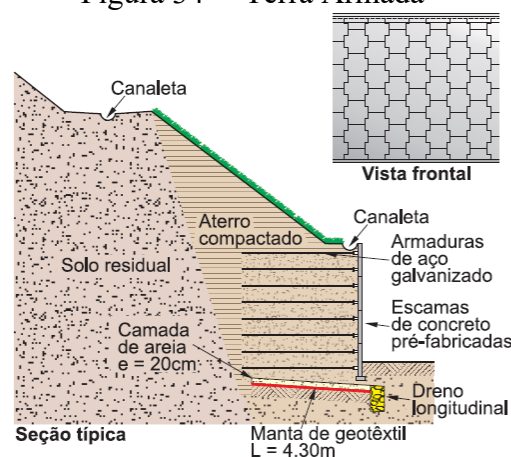
Os principais tipos de geossintéticos aplicados como reforço de solo são os geotêxteis tecido e não-tecido e as geogrelhas tecidas, além das geocélulas e geogrelhas extrudadas. Os geotêxteis tecidos, além de atuarem como reforço do solo, desempenham a função de separação. Os geotêxteis não-tecidos, apesar de apresentarem rigidez e resistência à tração baixas, são utilizados por permitirem a percolação de água, desempenhando as funções de reforço e drenagem interna. As geogrelhas apresentam como principal vantagem uma ampla variedade de resistências à tração, sendo as geogrelhas tecidas mais utilizadas que as extrudadas, em razão de maiores flexibilidade e resistência à tração (AVESANI NETO E PORTELINHA, 2016).

A utilização de geossintéticos em obras rodoviárias é tratada no Procedimento DNER-PRO 380/90 do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

- Terra Armada

A "Terra Armada" é um tipo de obra de contenção constituída pela associação de solo compactado, armaduras (barras de aço) e um paramento composto por placas de concreto armado ou por escamas metálicas flexíveis, denominado de "pele" (Figura 34). Nesse tipo de estrutura, as armaduras trabalham à tração e são fixadas ao paramento por parafusos. Por permanecerem em contato com o solo, as armaduras devem apresentar boa resistência à corrosão (CARVALHO, 1991).

Figura 34 - "Terra Armada"



Fonte: Almeida (2016).

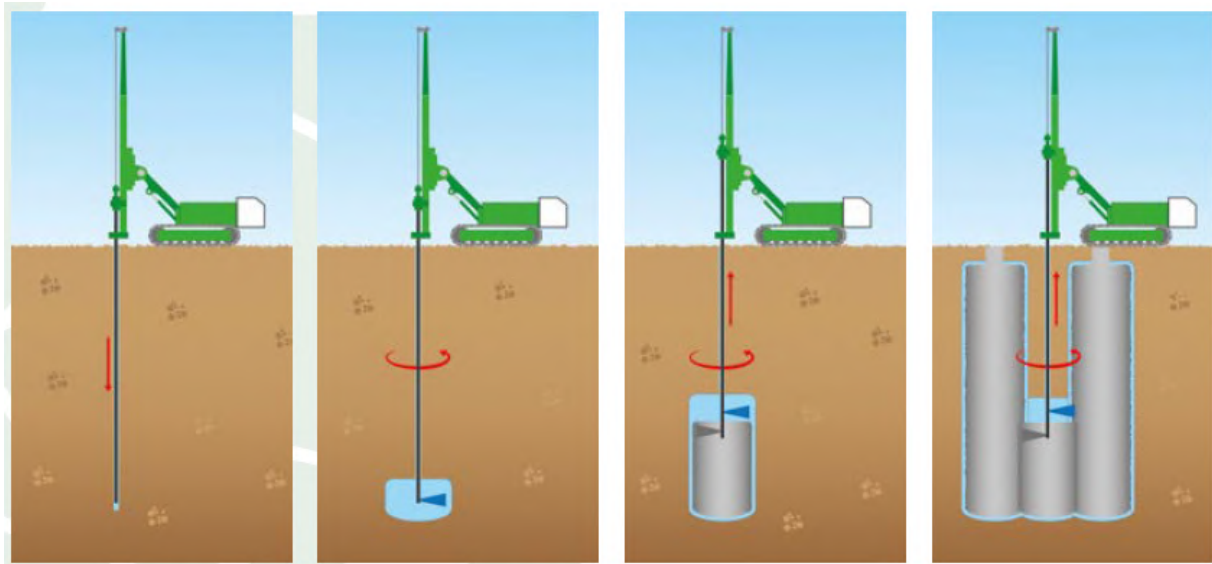
- Jet Grouting

De acordo com Solotrat (2018), o *Jet Grouting* "é um tratamento para melhoria do solo que utiliza jatos de alta pressão e velocidade para hidraulicamente erodir, misturar e parcialmente substituir o maciço natural". Essa técnica é aplicada com o intuito de aumentar a

resistência do solo e reduzir a permeabilidade do maciço natural, através da introdução de um fluido cimentício, podendo ser empregada tanto na vertical como na horizontal, sendo essa última comum na execução de túneis.

O *Jet Grouting* é executado a partir do emprego de uma haste de perfuração que contém na sua extremidade um hidromonitor, no qual estão alojados os bicos de injeção, e uma ferramenta de corte chamada tricone que, além dessa função, atua injetando água sob baixa pressão para lavagem dos furos (SOLOTRAT, 2018). Após a conclusão da perfuração e da vedação da saída de água, a injeção é realizada (Figura 35).

Figura 35 - Sequência executiva do *Jet Grouting*



Fonte: Solotrat (2018).

De acordo com Solotrat (2018), a aplicação dessa técnica depende fundamentalmente da erodibilidade do solo, sendo fator determinante na previsão da geometria, qualidade e produção das colunas. Além disso, a elaboração de projetos de colunas de *Jet Grouting* requer a definição de parâmetros como o tamanho dos bicos de injeção, densidade e viscosidade da calda, pressão de injeção, velocidade de ascensão e de rotação da haste, que são aferidos por meio da execução de colunas teste.

2.6. Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes

Uma das principais atribuições da engenharia geotécnica é a análise de estabilidade de taludes, que por meio do emprego de diversas metodologias de cálculo permite determinar a probabilidade de ocorrência de processos de instabilização em maciços.

Segundo Antunes (2019), a análise de estabilidade de taludes tem por objetivos averiguar, sob diferentes condições de solicitação, a estabilidade de taludes em diferentes tipos de obras geotécnicas; avaliar a possibilidade de escorregamentos de taludes naturais ou construídos; realizar a retroanálise de escorregamentos; executar projetos de estabilização de taludes; estudar o efeito de carregamentos extremos naturais ou antrópicos; entender o desenvolvimento e forma de taludes naturais, bem como os processos responsáveis pela geração dessas superfícies.

Os métodos de cálculo da estabilidade de taludes podem ser determinísticos, nos quais é realizada uma análise quantitativa expressa sob a forma de um coeficiente de segurança, ou probabilísticos, nos quais a estabilidade de taludes é determinada em função de uma base de dados estatísticos obtidos anteriormente na análise de estabilidade de taludes em condições semelhantes (ANTUNES, 2019).

Dentre as metodologias de cálculo determinísticas, encontram-se os métodos de equilíbrio-limite, nos quais assume-se que a ruptura se dá ao longo de superfícies circulares, poligonais ou de outra geometria qualquer (ANTUNES, 2019). Segundo Massad (2010), os métodos de equilíbrio limite partem do pressuposto que:

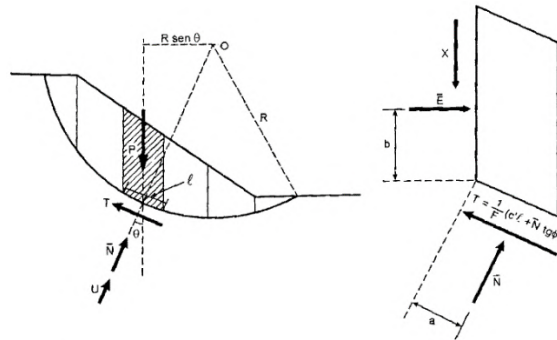
- ✓ O solo se comporta como material rígido plástico, rompendo sem se deformar;
- ✓ As equações de equilíbrio estático valem até a iminência da ruptura, quando o processo é dinâmico;
- ✓ O coeficiente de segurança é constante ao longo da linha de ruptura.

Os métodos de equilíbrio-limite podem ser divididos em:

- Método do Círculo de Atrito: considera a massa de solo como um todo;
- Método Sueco: considera o solo dividido em lamelas ou fatias;
- Método das Cunhas: considera o solo dividido em cunhas.

Dentre os métodos de equilíbrio limite, os mais empregados, atualmente, advêm do método Sueco (Figura 36), o qual admite que a linha de ruptura é um arco de circunferência e que a massa de solo é dividida em fatias ou lamelas (MASSAD, 2010). Segundo Antunes (2019), as metodologias de cálculo advindas do método Sueco diferem entre si pelas hipóteses simplificadoras adotadas, que são geralmente associadas à consideração da distribuição interna de esforços em cada fatia.

Figura 36 - Método Sueco



Fonte: Massad (2010).

De acordo com Silva (2011), a aplicação do método Sueco, também denominado métodos das fatias, consiste em arbitrar uma superfície de deslizamento e proceder ao cálculo do equilíbrio da massa de solo através das equações da estática.

$$\sum F_v = 0$$

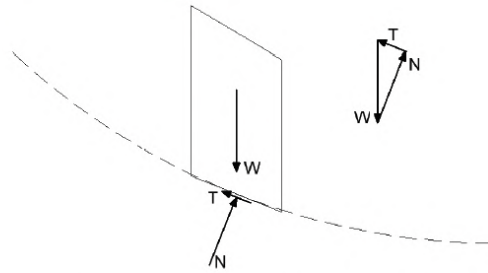
$$\sum F_h = 0$$

$$\sum M_o = 0$$

Os métodos do equilíbrio limite, advindos do método Sueco, podem ser classificados em rigorosos e não-rigorosos, sendo os primeiros aqueles que satisfazem as três condições de equilíbrio (força nas direções vertical e horizontal e momentos) (SILVA, 2011). São considerados métodos não rigorosos:

- *Método de Fellenius* (1936): de acordo com Silva (2011), o método de Fellenius (Figura 37) é o mais simples dentre os métodos do equilíbrio limite, pois dispensa a realização de iterações para a obtenção do fator de segurança, determinado por uma equação linear. Nesse método, as forças atuantes são consideradas paralelas à base das fatias, sendo a reação normal calculada através do equilíbrio de forças na direção perpendicular à base das fatias ou através de equações de equilíbrio nas direções vertical e horizontal;

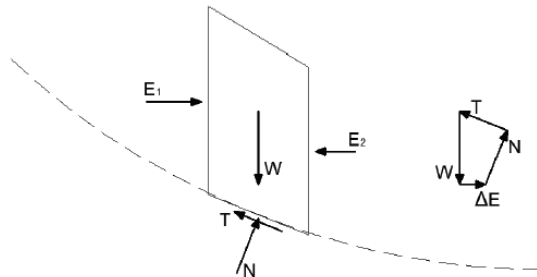
Figura 37 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Fellenius



Fonte: Silva (2011).

- *Método de Bishop Simplificado* (1955): o método de Bishop (Figura 38) pode ser utilizado para a análise de superfícies de ruptura circulares ou não, sendo a reação normal na base obtida através do equilíbrio de forças na direção vertical. Segundo Silva (2011), o método de Bishop ignora as forças de corte entre as fatias, satisfazendo apenas o equilíbrio de momentos, de onde deriva o fator de segurança;

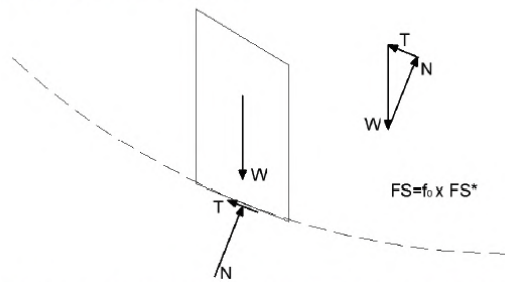
Figura 38 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Bishop



Fonte: Silva (2011).

- *Método de Janbu Simplificado* (1973): no método de Janbu simplificado (Figura 39), a reação normal à base das fatias é calculada a partir do equilíbrio de forças na direção vertical, ignorando-se as forças normais e de corte entre as fatias, satisfazendo apenas o equilíbrio de forças. De acordo com Silva (2011), as forças ignoradas são substituídas por um fator corretivo f_0 aplicado ao fator de segurança resultante do equilíbrio de forças.

Figura 39 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Janbu simplificado

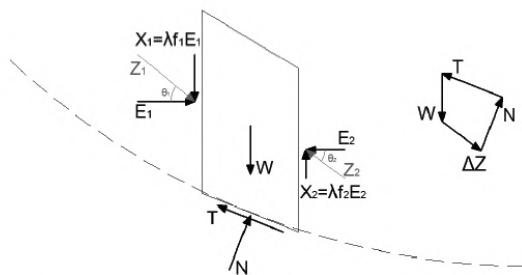


Fonte: Silva (2011).

Dentre os métodos rigorosos estão:

- *Método de Morgenstern-Price* (1965): segundo Gerscovich (2016), o método de Morgenstern-Price (Figura 40) é o mais geral dentre os métodos de equilíbrio limite, pois admite qualquer formato de superfície, assumindo que a inclinação varia segundo uma função ao longo da superfície de ruptura.

Figura 40 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Morgenstern-Price

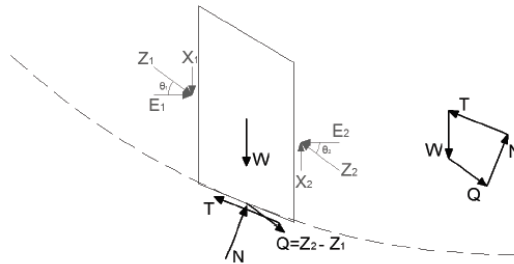


Fonte: Silva (2011).

- *Método de Janbu Generalizado* (1973): no método de Janbu Generalizado, a massa de solo é subdividida em porções infinitesimais, o que torna o método mais rigoroso e generalizado. O Fator de Segurança é calculado de maneira iterativa e a resultante dos esforços normais passa pelo ponto médio da base, onde atuam os demais esforços (GERSCOVICH, 2016);
- *Método de Spencer* (1967): segundo Silva (2011), o método de Spencer (Figura 41) satisfaz todas as equações de equilíbrio (momentos e forças), sendo as forças de interação entre as fatias representadas por uma resultante Q que assume uma inclinação constante θ com a horizontal, em cada fatia, aplicada no ponto médio da base das fatias. Esse método admite a hipótese de que a razão entre as forças de corte (X) e as forças normais (E) às fatias é constante, dessa forma, a reação normal é obtida a partir do equilíbrio de forças na direção paralela e perpendicular à base das fatias e o fator de

segurança é obtido através do somatório de momentos em relação a um ponto ou do somatório de forças na direção horizontal ou paralela à base das fatias. Segundo Gerscovich (2016), o método de Spencer é considerado rigoroso pois, além de atender a todas as equações de equilíbrio e considerar as forças de corte entre as fatias, admite a existência de trinca de tração.

Figura 41 - Fatia genérica e polígono de forças do método de Spencer



Fonte: Silva (2011).

2.6.1. O Uso de Programas Computacionais

Ao longo das últimas décadas, com o advento de ferramentas computacionais, a análise de estabilidade de taludes passou a ser realizada em programas que incorporam as metodologias de cálculo supracitadas. Dentre uma gama de programas computacionais desenvolvidos até os dias atuais, destacam-se o GEO5, o Slope/W e o Slide2.

O programa GEO5, desenvolvido pela empresa Fine Software, realiza análises de estabilidade de taludes, considera deslizamentos circular ou poligonal; permite a realização de modelagens de taludes e de cortes do solo; realiza a busca automática da superfície mais crítica; contempla os métodos de Fellenius, Bishop, Spencer, Morgenstern, Janbu e Sarma; e possui comunicação com outros programas utilizados para análises de estruturas (GEO5).

O programa Slope/W, desenvolvido pela empresa Geoslope, realiza a análise de estabilidade de taludes de diversos formatos com condições de pressão da água nos poros, propriedades do solo e de carga diferentes, empregando diversos métodos de análise do equilíbrio limite. Permite a visualização dos resultados de forma geral ou individualmente em cada superfície analisada; fornece informações acerca das superfícies de deslizamento, como massa total, diagrama de corpo livre e polígono de forças; possibilita a adição de legendas, eixos e foto; e gera automaticamente um relatório detalhado de todos os dados e resultados (GEOSLOPE).

O programa Slide2, desenvolvido pela empresa Rocscience, é um programa de análise de estabilidade de taludes que realiza análises determinísticas, utilizando o método de equilíbrio limite (Bishop, Janbu, Spencer, Sarma, entre outros), ou probabilísticas, em duas dimensões, em solos e rochas; admite superfícies de ruptura circulares ou não; pode ser empregado na análise de taludes com diferentes tipos de solo, encostas rochosas, aterros, barragens de terra e paredes de contenção; permite a realização de análises de infiltração de água subterrânea e a modelagem de múltiplos cenários, consideração de carregamento externo e a elaboração de projetos de fundação. A Rocscience disponibiliza versões gratuitas dos seus produtos para teste (ROCSCIENCE).

Os programas supracitados foram utilizados por alguma das referências consultadas para a realização dessa pesquisa:

- Antunes (2019) utilizou o Slide2 na verificação das condições finais de estabilidade de um talude analisado em sua pesquisa, empregando as metodologias de cálculo de Fellenius e Bishop Simplificado; o GAWACWIN para o cálculo da estabilidade externa de um muro de gabião; e o GEO5 na criação de modelos 3D das soluções desenvolvidas na sua pesquisa;
- Dias (2016) utilizou o Slope/W na análise de estabilidade de um talude em sua pesquisa, empregando a metodologia de cálculo de Morgenstern-Price;
- Mattos (2009) utilizou o programa Winstabl desenvolvido pela Universidade de Wiscosin - Madison (EUA), empregando a metodologia de cálculo de Janbu;
- Yonamine (2019) realizou análises de viabilidade técnica de soluções em muro de gravidade, muro de flexão, Terramesh e cortinas atirantadas através do uso do GEO5, do Slope/W (utilizando o método de Morgenstern-Price) e do MacS.T.A.R.S 2000;
- Dutra (2013) utilizou o Slide2 na análise da estabilidade global de uma solução em cortina atirantada através dos métodos de Bishop simplificado e Morgenstern-Price.

2.7. A ABNT NBR 11682:2009

No Brasil, a ABNT NBR 11682 (2009), “prescreve os requisitos exigíveis para o estudo e controle da estabilidade de encostas e de taludes resultantes de cortes e aterros realizados em encostas; e abrange “as condições para estudos, projeto, execução, controle e observação de obras de estabilização”.

As prescrições descritas na ABNT NBR 11682 (2009) são definidas segundo uma ordem cronológica de etapas apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Etapas de uma obra de estabilização segundo a ABNT NBR 11682 (2009)

ETAPA 01	PROCEDIMENTOS PRELIMINARES	Segundo a ABNT NBR 11682 (2009), os procedimentos preliminares são obrigatórios para a elaboração de projetos de estabilização de encostas e/ou de obras de engenharia em regiões de encostas e “visam o conhecimento das características do local, à consulta a mapas e levantamentos disponíveis, à verificação de restrições legais e ambientais, à elaboração de laudo de vistoria, à avaliação da necessidade de implantação de medidas emergenciais e à programação de investigações geológico-geotécnicas”.
ETAPA 02	INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	De acordo com a ABNT NBR 11682 (2009), as investigações geológico-geotécnicas “abrange levantamentos locais, coleta de dados, ensaios <i>in situ</i> e em laboratório, e o uso de instrumentação adequada para estabelecer um modelo geológico-geotécnico”; envolvendo investigações geológicas, geotécnicas, geomorfológicas, topográficas, geo-hidrológicas e outras.
ETAPA 03	PROJETO	Segundo a ABNT NBR 11682 (2009), um projeto de estabilização de taludes pode ser dividido em duas fases: ▪ <u>Projeto Básico ou Anteprojeto</u>: compreende a definição da concepção da solução e inclui a avaliação preliminar de quantidades, análise de custos e prazos envolvidos; ▪ <u>Projeto Executivo</u>: contempla todos os elementos do projeto básico suficientemente detalhados e com todas as informações necessárias para que a obra possa ser executada e fiscalizada.
ETAPA 04	EXECUÇÃO DA OBRA	A etapa de execução de obras é iniciada após a conclusão do projeto executivo e dos processos de obtenção de licenças e autorizações, exceto quando há um perigo iminente de movimentação, com riscos de danos materiais e/ou humanos, podendo, nesse caso, ser iniciada antes da conclusão dos itens citados anteriormente (ABNT NBR 11682, 2009).

ETAPA 05	ACOMPANHAMENTO	Segundo a ABNT NBR 11682 (2009), é obrigatório o acompanhamento técnico da obra durante a fase de execução pelo engenheiro civil geotécnico responsável pelo projeto da obra, tendo como objetivo verificar critérios de projeto e modelos de cálculo, permitindo a realização de eventuais ajustes às condições de campo. Dentre os principais aspectos relacionados ao acompanhamento técnico de obras de estabilização de taludes, estão: a locação da obra, cotas de assentamento, condições de fundação, fases de execução, perfurações, adequação da drenagem, testes e ensaios (ABNT NBR 11682, 2009).
ETAPA 06	MANUTENÇÃO	De acordo com a ABNT NBR 11682 (2009), a manutenção de obras de estabilização de taludes, pós construção, tem por objetivo garantir a durabilidade das obras e a manutenção da estabilidade da encosta ao longo do tempo. Ao término da obra, deve ser elaborado pelo executor e encaminhado ao proprietário, o “Manual do Usuário”, em que deve constar todas as providências em termos de manutenção a serem seguidas pelo proprietário, incluindo o tipo de serviço e a periodicidade (ABNT NBR 11682, 2009).
ETAPA 07	MONITORAMENTO	O monitoramento de obras de estabilidade tem por finalidade acompanhar o comportamento da encosta por meio do controle dos deslocamentos, das pressões de água no interior do maciço e das cargas nas ancoragens (ABNT NBR 11682, 2009). Segundo a ABNT NBR 11682 (2009), o monitoramento deve ser realizado sempre que o engenheiro civil geotécnico julgar necessário. Quando solicitado, devem ser detalhados no projeto executivo: o tipo de instrumento de monitoramento a ser instalado, a locação, a profundidade, a metodologia de instalação e a periodicidade de acompanhamento; e, quando instalados, os instrumentos de monitoramento devem ser protegidos contra possíveis atos de vandalismo. *O monitoramento pode ser realizado ainda na fase pré-construção ou durante a construção para a obtenção de dados necessários à elaboração ou ajuste do projeto.

2.7.1. Critérios de Cálculo

A ABNT NBR 11682 (2009) estabelece que, para qualquer situação de cálculo de estabilidade de encosta ou de elemento de obra de contenção, devem ser definidos:

- ✓ As seções geológico-geotécnicas consideradas;
- ✓ Os parâmetros geotécnicos do terreno e os critérios utilizados na obtenção de valores adotados;
- ✓ O método de cálculo, com indicação das fórmulas consideradas, programas utilizados ou bibliografia consultada;
- ✓ As situações do nível d'água, poro-pressões, atuação de sobrecargas, eventuais sismos e fases executivas.

2.7.2. Fatores de Segurança

Na ABNT NBR 11682 (2009) é apresentada uma metodologia para determinação do Fator de Segurança (FS), necessário para a garantia da estabilidade de encostas. Nessa metodologia, admite-se que o valor do FS pode variar em função da situação potencial de ruptura do talude, considerando as situações atuais e futuras, previstas ao longo da vida útil do talude, em relação ao perigo de perda de vidas humanas e à possibilidade de danos materiais e ao meio ambiente.

O primeiro passo para a determinação do FS é o enquadramento do projeto em uma das classificações de nível de segurança contra a perda de vidas humanas (Tabela 4) e contra danos materiais e ambientais (Tabela 5). Tal enquadramento deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico, em comum acordo com o contratante do projeto e em consonância com as exigências dos órgãos públicos competentes (ABNT NBR 11682, 2009).

Tabela 4 - Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Fonte: ABNT NBR 11682 (2009).

Tabela 5 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Crítérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Fonte: ABNT NBR 11682 (2009).

Em seguida, o FS é determinado observando-se na Tabela 6 o valor correspondente aos níveis de segurança desejados. A ABNT NBR 11682 (2009) ressalta que os fatores de segurança apresentados na Tabela 6 foram determinados a partir de análises de estabilidade interna e externa do maciço e que os mesmos são independentes de outros fatores de segurança recomendados em normas de dimensionamento dos elementos estruturais de obras de contenção.

Tabela 6 - Fatores de segurança mínimos para deslizamento

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais \ Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10%. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semiprobabilístico indicado no Anexo D.

NOTA 2. No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , ϕ , c , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3. Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

Fonte: ABNT NBR 11682 (2009).

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi organizada segundo as etapas descritas na ABNT NBR 11682 (2009) necessárias à elaboração do projeto básico de uma obra de estabilização.

3.1. Caracterização da Área de Estudo

A caracterização da área de estudo desse trabalho contempla a etapa de procedimentos preliminares de uma obra de estabilização, compreendendo:

- *Localização*: obtida a partir de imagens de satélite da área de estudo no Google Earth;
- *Dados Cartográficos*: obtidos a partir do *site* da Diretoria de Geoprocessamento e Cadastro da Secretaria de Planejamento de João Pessoa-PB;
- *Dados Hidrológicos*: referentes aos dados pluviométricos do município, obtidos em CLIMATEMPO (c2020). Além disso, foram consultados estudos realizados acerca da correlação entre a pluviometria do município e a ocorrência de movimentos de massa;
- *Dados Geológicos e Geomorfológicos*: relativos ao município de João Pessoa e obtidos a partir de consulta a estudos realizados em universidades brasileiras;
- *Histórico de Ocorrências*: obtido a partir de notícias e reportagens encontradas em portais de notícias na Internet;
- *Estudos*: realizados pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) na área de estudo acerca do mapeamento de risco das comunidades e das soluções propostas para estabilização dos taludes estudados;
- *Vistoria da Área*: essa vistoria teve por objetivo realizar o reconhecimento da área com relação a existência de equipamentos públicos, residências e infraestrutura (calçamento ou pavimentação, dispositivos para drenagem de águas pluviais nas ruas que margeiam o talude); ao fluxo de veículos na rodovia próximo às regiões com histórico de deslizamentos; ao nível de dificuldade para retirada de amostras deformadas e indeformadas; à existência de cicatrizes de deslizamentos; à identificação de intervenções preventivas ou corretivas; entre outras informações relevantes para a pesquisa;
- *Avaliação da Necessidade de Implantação de Medidas Emergenciais*: feita a partir da consideração da existência de moradias em situação de risco, da presença de sinais de instabilidade que indicassem um perigo iminente e das condições climáticas no período em que foi realizada a pesquisa;

- *Verificação das Restrições Legais*: feita a partir de consulta ao “Manual para Ordenamento do Uso do Solo nas Faixas de Domínio e Lindeiras das Rodovias Federais” do DNIT.

3.2. Levantamento Topográfico

O levantamento topográfico da área de estudo foi realizado inicialmente a partir do tratamento de imagens aéreas coletadas com *drone* e cedidas por uma equipe da Universidade Federal da Paraíba. Porém, após analisar os dados, o levantamento com o *drone* não foi utilizado nessa pesquisa em razão das diversas inconsistências observadas nas curvas de nível obtidas a partir das imagens com *drone* (diferenças significativas entre as declividades e os desníveis em comparação com as medidas reais verificada *in loco* no talude). Desse modo, utilizou-se no presente estudo as curvas de nível que constam no levantamento topográfico do projeto de adequação da rodovia BR-230/PB, em execução pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT).

3.3. Investigações Geológico-Geotécnicas

- Planejamento

O plano de investigações foi definido em função dos ensaios requeridos em norma e do nível de dificuldade para a retirada de amostras.

- Investigações de Campo

Segundo a ABNT NBR 11682 (2009), o perfil geotécnico é um elemento obrigatório para o estudo da estabilidade de taludes, sendo caracterizado por métodos diretos (poços de inspeção, sondagens a trado, a percussão, rotativas ou mistas, entre outros) e/ou geofísicos.

Devido à necessidade de equipamentos e mão-de-obra especializados para a realização de investigações de campo, tanto por métodos diretos como por métodos geofísicos, o perfil geotécnico do talude em análise foi obtido a partir de dados de sondagens realizadas em terrenos localizados nas proximidades da área de estudo.

- Investigações em Laboratório

De acordo com a ABNT NBR 11682 (2009), são investigações em laboratório obrigatórias: determinação de umidade natural, ensaios de granulometria, limites de liquidez e

plasticidade e ensaios de determinação da resistência ao cisalhamento; tendo sido consultadas as normas técnicas brasileiras apresentadas na Tabela 7 referentes a cada uma das investigações recomendadas.

Tabela 7 - Normas técnicas brasileiras consultadas para a realização dos ensaios de caracterização

Ensaio	NBR
Granulometria Limite de Liquidez Limite de Plasticidade Umidade Natural	ABNT NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.
Granulometria	ABNT NBR 7181: Solo - Análise granulométrica.
Limite de Liquidez	ABNT NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez.
Limite de Plasticidade	ABNT NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade.
Umidade Natural	ABNT NBR 16097: Solo - Determinação do teor de umidade - Métodos expeditos de ensaio.

Fonte: Autor.

3.4. Projeto

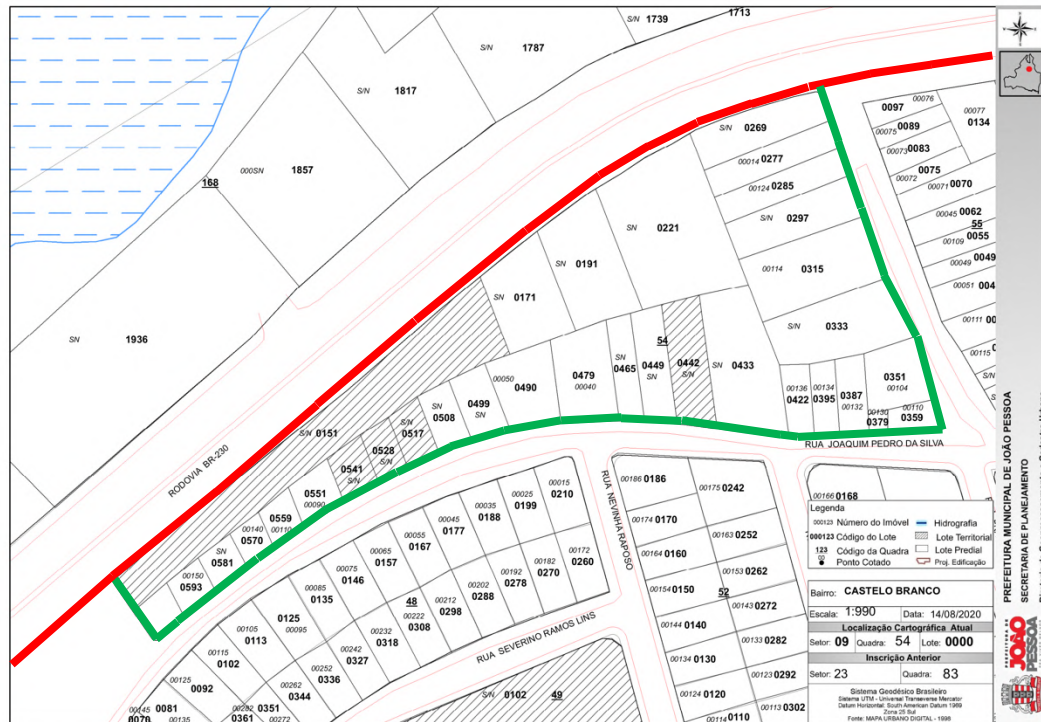
▪ Análise da Estabilidade

A análise de estabilidade dos taludes foi realizada com o auxílio do programa computacional Slope/W a partir do método de Morgenstern-Price. As condições de poropressão não foram avaliadas no presente trabalho devido à complexidade para a determinação das profundidades do nível do lençol freático nos taludes. Além disso, não foram encontrados os níveis d'água do lençol freático nos perfis de sondagem disponibilizados.

▪ Proposta de Solução

A solução que é proposta neste trabalho acadêmico busca uma alternativa para a estabilização do talude na comunidade Santa Clara, com vistas a minimizar os impactos socioambientais, em contraponto à proposta que consta no projeto executivo de adequação da rodovia, em execução pelo DNIT.

Figura 43 - Dados cartográficos da área de estudo



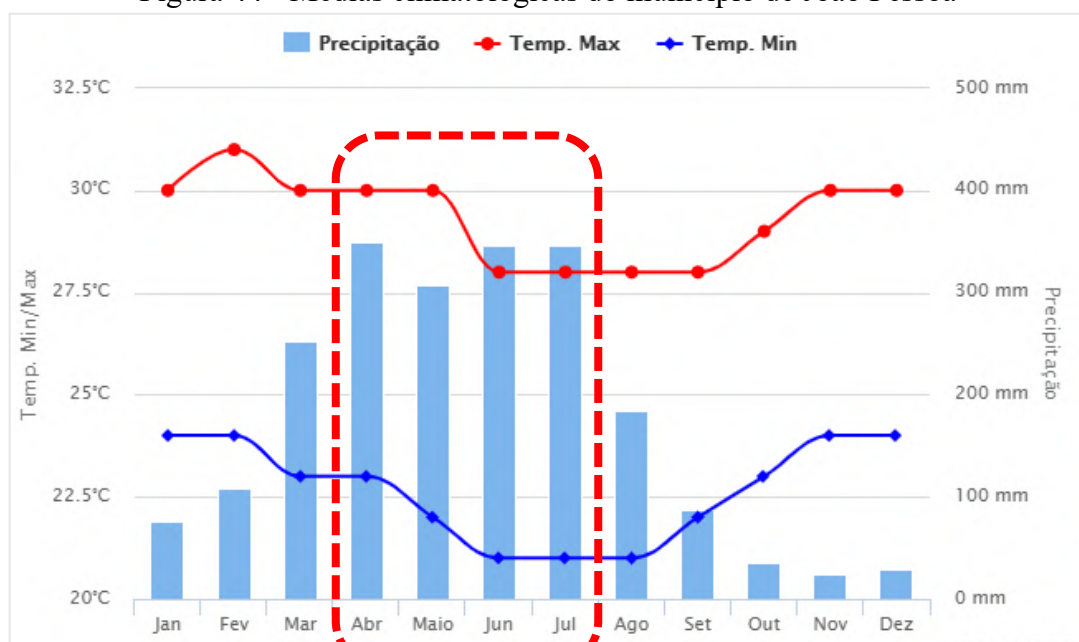
Fonte: Diretoria de Geoprocessamento e Cadastro da Secretaria de Planejamento de João Pessoa-PB.

As residências instaladas nessa quadra são diretamente atingidas com a ocorrência de deslizamentos no talude da Comunidade Santa Clara, tendo sido, por esse motivo, interdita a instalação de residências nos lotes 541, 528 e 517, que em eventos anteriores eram ocupados irregularmente.

4.1.3. Hidrologia

As médias climatológicas do município de João Pessoa mostram que os meses de abril, maio, junho e julho são os que apresentam as maiores precipitações médias, conforme apresentado na Figura 44.

Figura 44 - Médias climatológicas do município de João Pessoa



Fonte: CLIMATEMPO (c2020).

A correlação entre a pluviometria e a ocorrência de deslizamentos no município de João Pessoa foi objeto de estudo de pesquisas realizadas por Soares e Ramos Filho (2015) e por Silva (2018), que, a partir do histórico de ocorrências desses eventos, estabeleceram relações entre as precipitações diária e acumulada em um período de 7 dias na deflagração desses movimentos.

A relação estabelecida por Soares e Ramos Filho (2015) contemplou os registros de ocorrências de movimentos de massa em João Pessoa de 2008 a 2013, e revelaram que, para uma precipitação acumulada de 150 mm em 7 dias, uma precipitação diária de 30 mm é suficiente para deflagrar uma nova ocorrência. Enquanto o estudo realizado por Silva (2018), em complementação ao trabalho de Soares e Ramos Filho (2015), revelou que houve uma modificação nas correlações estabelecidas anteriormente, sendo necessárias uma precipitação acumulada em 7 dias de 115,4 mm e uma precipitação diária de 60,4 mm para a deflagração de um movimento de massa no município.

Outra análise importante foi realizada por Tavares *et al.* (2018), que a partir do levantamento aerofotogramétrico do talude da Comunidade São Rafael e da realização de ensaios de cisalhamento direto nas condições inundada e natural de amostras de solo coletadas no topo e na base da encosta, determinaram uma correlação entre o grau de saturação e a instabilidade do talude. Os ensaios foram realizados considerando quatro situações: topo e base na condição natural, topo e base parcialmente saturados, topo na condição natural e base parcialmente saturada, topo e base saturados em função da elevação. Nessa última, o intuito da

simulação foi identificar o nível da elevação do talude correspondente ao grau de saturação responsável por romper o equilíbrio limite, ou seja, o ponto em que o fator de segurança atingisse um valor inferior a 1,0. Para cada nível de saturação do solo simulado, foi realizada a análise de estabilidade do talude no programa Slope/W, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados obtidos por Tavares et al. (2018)

Condição de Saturação	Fator de Segurança
Topo e base na condição natural	1,56
Topo e base parcialmente saturados	0,91
Topo na condição natural e base parcialmente saturada	1,12
*Topo e base saturados em função da elevação	0,975 a 4,00 metros de profundidade

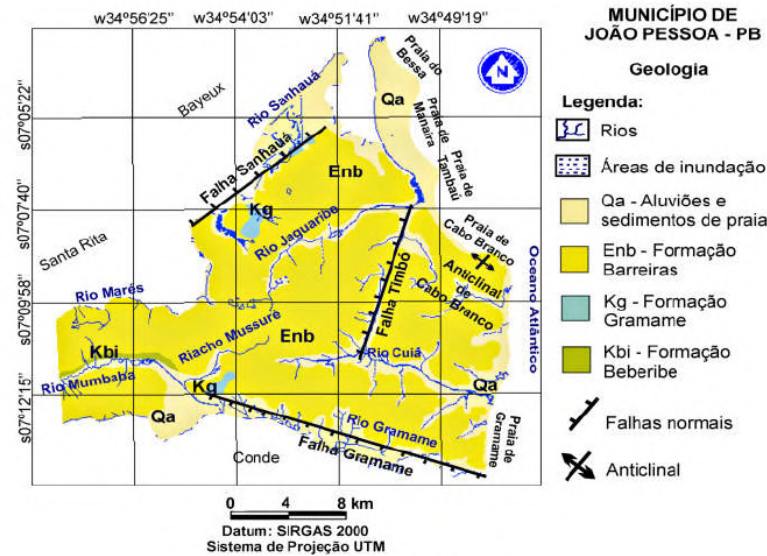
Fonte: Tavares *et al.* (2018).

A partir dos resultados obtidos por Tavares *et al.* (2018), verificou-se que há uma redução no fator de segurança do talude com o aumento do grau de saturação do solo, levando à sua ruptura mesmo com o solo estando parcialmente saturado. Tavares *et al.* (2018) ressaltam ainda que essa correlação foi estabelecida para o talude da Comunidade São Rafael em função dos solos da base e do topo serem bastante arenosos e pouco coesivos, fazendo com que haja uma percolação rápida de água no solo e o carregamento de partículas, diminuindo sua capacidade de reagir aos esforços cisalhantes.

4.1.4. Geologia e Geomorfologia

De acordo com Bezerra (2018), cerca de 67% da área do município de João Pessoa está inserida na unidade geológica Formação Barreiras (Figura 45), constituída predominantemente por arenitos sílticos-argilosos, argilas-siltosas e leitos conglomeráticos, sem a presença de fósseis; e por sedimentos comumente mal selecionados, com predominância de areia e argila, apresentando colorações avermelhadas, variegadas e esbranquiçadas, sendo essas últimas associadas a ocorrência de intercalações caulínicas.

Figura 45 - Mapa geológico da cidade de João Pessoa-PB



Fonte: Barbosa (2015).

Com relação a geomorfologia do município, segundo Bezerra (2018), pode ser dividida em Baixos Planaltos Costeiros, que são esculpidos sobre os sedimentos areno-argilosos mal consolidados da Formação Barreiras e cobrem cerca de 79% do município, e a Baixada Litorânea, formada nas regiões adjacentes a rios, riachos e praias, correspondendo a cerca de 21% da área total do município.

4.1.5. Histórico de Ocorrências

A partir do levantamento de notícias e reportagens sobre a ocorrência de deslizamentos na área de estudo, foi possível verificar a recorrência praticamente anual desses eventos no talude da Comunidade Santa Clara, principalmente no período entre os meses de abril, maio e junho, coincidindo com o período em que são registrados os maiores volumes de chuva no município.

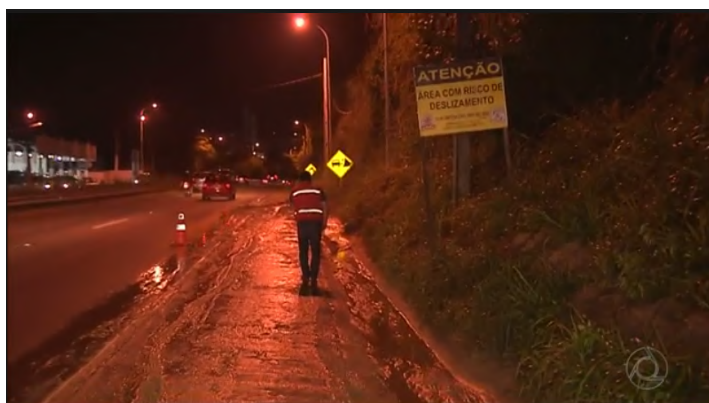
O primeiro registro encontrado em portais de notícias acerca da ocorrência de deslizamentos nesse talude, data do dia 28 de junho de 2012, quando parte da barreira localizada no quilômetro 19 da BR-230/PB deslizou em função das fortes chuvas registradas no dia anterior, levando à interdição desse trecho da rodovia (G1 PARAÍBA, 2012).

Em 04 de setembro de 2013, após a ocorrência de um deslizamento na área, o engenheiro da Defesa Civil de João Pessoa, Alberto Sabino, informou em reportagem do JPB2JP (2013), que ocupações irregulares no topo do talude da Comunidade Santa Clara foram responsáveis pela destruição de uma calha de drenagem, tornando a drenagem das águas pluviais insuficiente,

contribuindo para a ocorrência do deslizamento. Na época, um carro e uma moto foram atingidos pelo deslizamento, que também deixou uma residência em situação de risco e, durante a reportagem, foram registrados alguns flagrantes de acidentes de trânsito no trecho, enquanto o material mobilizado encontrava-se na pista.

Em 26 de abril de 2016, foi reportado pelo Bom Dia Paraíba (2016), que a residência em situação de risco mostrada na reportagem do JPB2JP (2013), já havia sido interditada e os moradores realocados, porém, a estrutura da residência ainda permanecia no local, gerando uma sensação de insegurança aos motoristas que passavam pelo trecho. Na reportagem, é possível verificar ainda a presença da sinalização viária indicando a necessidade de atenção na área (Figura 46).

Figura 46 - Sinalização viária em trecho com histórico de deslizamentos na BR-230/PB



Fonte: Bom Dia Paraíba (2016).

Na reportagem do dia 01 de maio de 2016 do G1 Paraíba (2016), o Diretor de Minimização de Desastres da Defesa Civil de João Pessoa, Alberto Sabino, relatou a ocorrência de processos erosivos no talude da Comunidade Santa Clara devido à concentração de águas, ocasionada pelo rompimento da drenagem. Segundo a Defesa Civil de João Pessoa, nesse evento foram mobilizados 20 m³ de terra (G1 PARAÍBA, 2016).

Em 2017, foi encontrado apenas um registro de deslizamento na área, noticiado no dia 29 de maio de 2017, que levou à interdição da BR-230/PB pela Polícia Rodoviária Federal (G1 PARAÍBA, 2017).

Em 14 de junho de 2019, segundo reportagem do Bom Dia Paraíba (2019a), ocorreram deslizamentos em dois pontos do talude da Comunidade Santa Clara (Figura 47), que motivaram a retirada de algumas árvores do tipo bananeiras e de 6 famílias que ocupavam a crista da encosta, além da demolição das residências (BOM DIA PARAÍBA, 2019b). Na

ocasião, segundo o Coordenador da Defesa Civil de João Pessoa, Noé Estrela, entre a noite do dia 12 de junho de 2019 e a noite do dia 14 de junho de 2019 havia chovido 352 mm, o correspondente a 116% do estimado para todo o mês de junho (G1 PARAÍBA, 2019).

Figura 47 - Deslizamentos ocorridos no ano de 2019 em dois pontos da BR-230/PB



Fonte: Bom Dia Paraíba (2019)

Em 03 de fevereiro de 2020, um novo deslizamento foi registrado (Figura 48), e segundo a Defesa Civil de João Pessoa, havia chovido na ocasião cerca de 30 mm no município (G1 PARAÍBA, 2020).

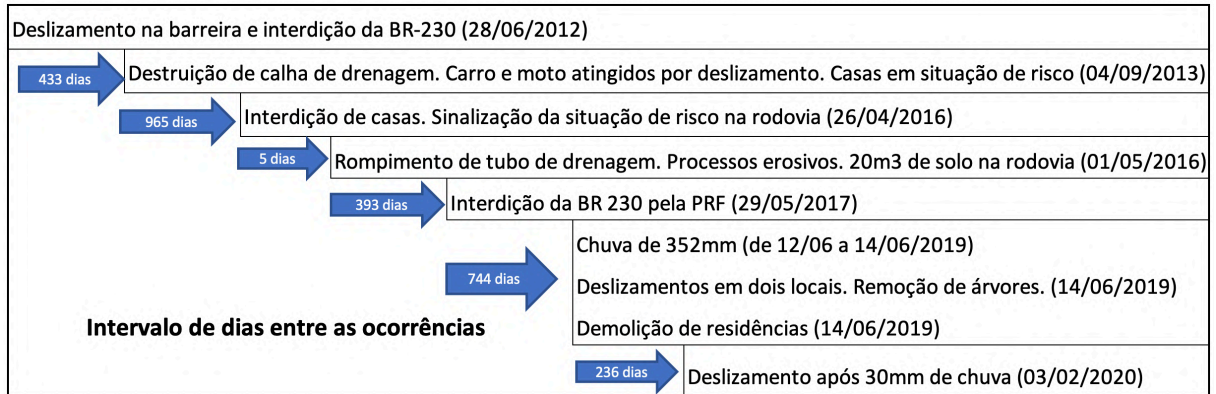
Figura 48 - Deslizamento ocorrido em fevereiro de 2020 na BR-230/PB



Fonte: G1 Paraíba (2020).

A Figura 49 traz o resumo do histórico de ocorrências de deslizamentos no talude da Comunidade Santa Clara, obtido através das buscas aos portais de notícias na Internet.

Figura 49 - Intervalos de ocorrências de deslizamentos



Fonte: Autor.

4.1.6. Estudos: Mapeamentos de Riscos

▪ Mapeamento de Risco da Comunidade Santa Clara

De agosto a dezembro de 2014, foi realizado o mapeamento de risco da Comunidade Santa Clara pelo Grupo de Engenharia Geotécnica da UFPB (GEGEO UFPB), no qual foi atribuído um grau de risco alto à região localizada no topo do talude da Comunidade Santa Clara (MEDEIROS, 2014). No estudo, foi verificado ainda o lançamento de lixo, uma sobrecarga ocasionada pela presença de edificações e árvores de grande porte no talude, a ausência de vegetação na proteção superficial do talude e a ocorrência de deslizamentos causados por sobrecarga, lixo e ação das chuvas (MEDEIROS, 2014). Ademais, foi realizado o registro de lonas plásticas instaladas na face do talude em 2014 (Figura 50).

Figura 50 - Lonas plásticas instaladas na face do talude no ano de 2014

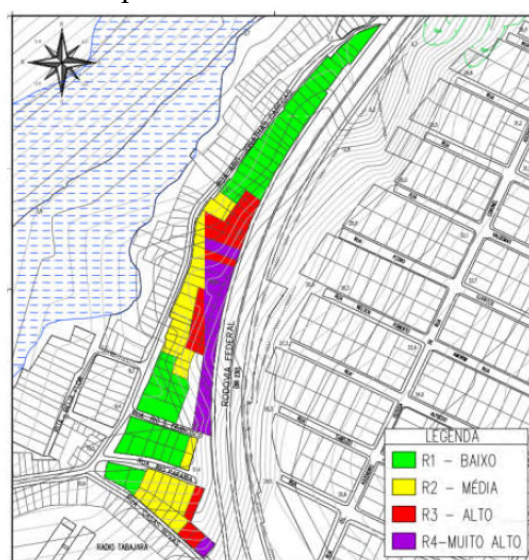


Fonte: Medeiros (2014).

- Mapeamento de Risco da Comunidade São Rafael

A Comunidade São Rafael foi mapeada por Oliveira *et al.* (2018), tendo sido atribuído à parcela da comunidade integrante da área de estudo dessa pesquisa, um grau de risco muito alto (Figura 51), caracterizado pela presença de residências rentes ao sopé do talude, que apresenta uma declividade alta; por indícios de movimentação, como árvores inclinadas, feições erosivas em decorrência do escoamento superficial e trincas nas residências; realização de cortes com declividade e altura excessivas; execução de aterros de forma inapropriada; deposição inadequada de lixo; remoção indiscriminada de cobertura vegetal; e a realização de ampliações nas residências, tornando-as muito próximas ao talude.

Figura 51 - Mapa de risco da Comunidade São Rafael



Fonte: Oliveira *et al.* (2018)

- Setorização de Risco do Município de João Pessoa

De 08 a 22 de julho de 2019, foram identificados os setores de alto e muito alto risco de deslizamentos e inundações ou enchentes no município de João Pessoa-PB pelo Serviço Geológico do Brasil (LAMBERTY E MENDONÇA, 2019). Nesse mapeamento, foi atribuído grau de risco muito alto a área localizada no topo do talude da Comunidade Santa Clara, na rua Joaquim Pedro da Silva, devido a ocorrência de escorregamento planar, não tendo sido realizadas nenhuma ação para minimizar ou eliminar o risco do local até o período em que foi realizada a setorização. Com relação a Comunidade São Rafael, não foi mapeada por Lamberty e Mendonça (2019) a parcela da comunidade integrante da área de estudo desse trabalho.

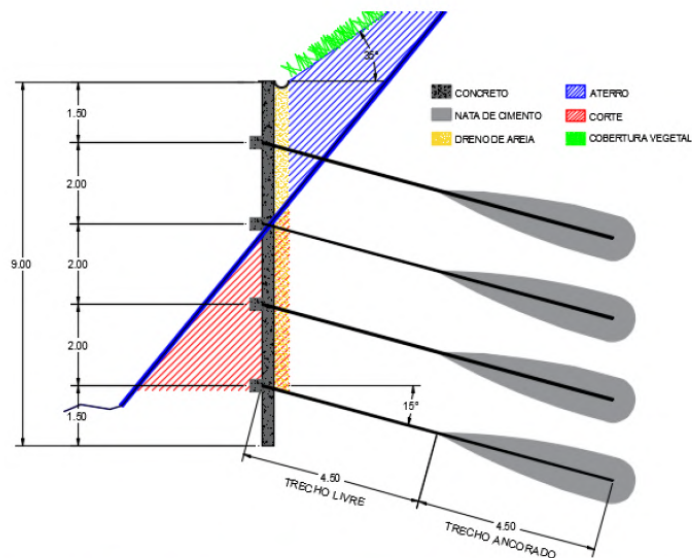
4.1.7. Estudos: Propostas de Soluções

De acordo com Almeida (2016), apesar de nunca ter sido realizada qualquer obra de contenção no talude da Comunidade Santa Clara, existia um projeto de retaludamento para esse talude datado no ano de 2013. Porém, em consulta realizada ao DNIT, verificou-se que essa solução foi abortada em virtude da inviabilidade físico-espacial da realização de obras desse porte no local.

Além disso, a proposição de soluções para essa área é tema recorrente em pesquisas realizadas na Universidade Federal da Paraíba, a exemplo do trabalho desenvolvido por Almeida (2016) que propôs soluções em:

- a) Cortina atirantada com paramento de concreto de 9,00 metros de altura e 0,30 de espessura com a realização de hidrossemeadura de vegetação rasteira e revestimento com biomanta do topo da cortina à crista do talude, e a execução de um sistema de microdrenagem composto por canaleta de topo, assentada sobre um filtro drenante de areia e barbacãs instalados ao longo da cortina (Figura 52). O custo estimado por Almeida (2016) para essa solução foi de R\$ 2.862.636,57.

Figura 52 - Seção transversal da solução em cortina atirantada idealizada por Almeida (2016)



Fonte: Almeida (2016).

- b) Solo grampeado com face verde, sendo a face verde executada a partir da hidrossemeadura e do revestimento com biomanta e o sistema de drenagem composto apenas por canaleta de topo (Figura 53). O custo estimado por Almeida (2016) para essa solução foi de R\$ 1.664.398,92.

Figura 54 - Complementação da rede de drenagem da área de estudo proposta por Almeida (2016)



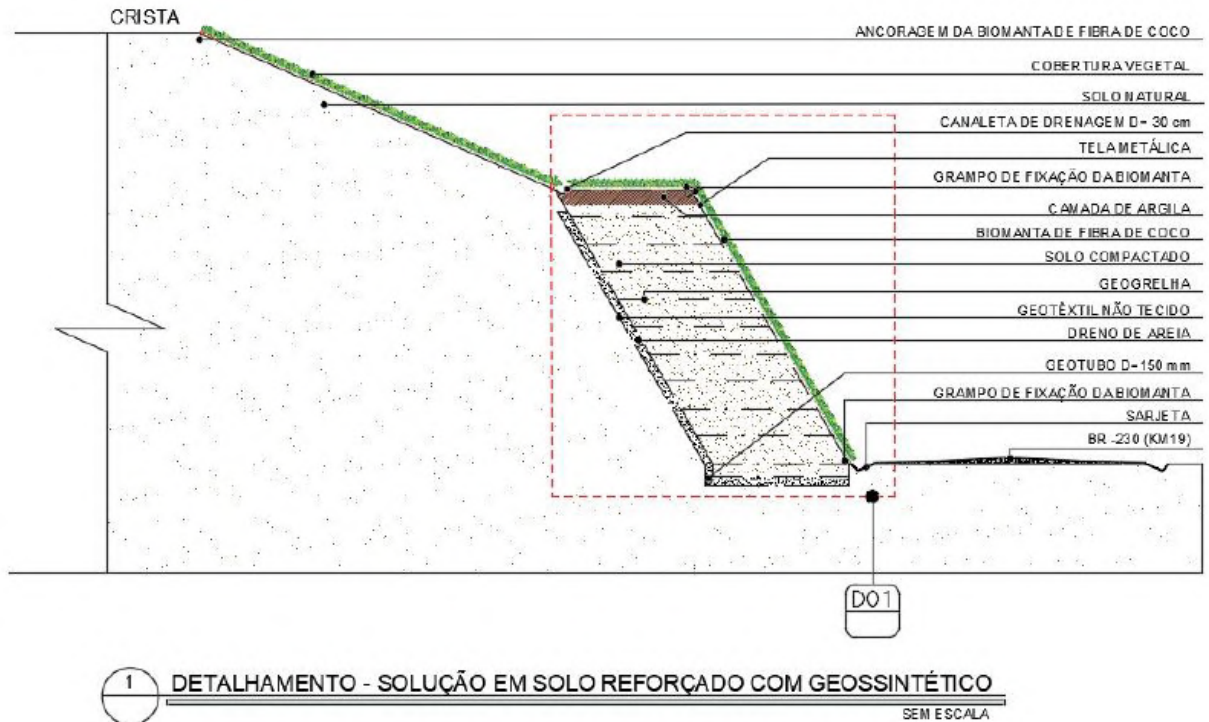
Fonte: Almeida (2016).

Após a análise comparativa dos resultados obtidos por Almeida (2016), o mesmo concluiu que dentre as alternativas propostas a mais segura é a cortina atirantada, porém essa solução também apresenta o maior custo, sendo considerada uma solução ótima pelo autor a execução do solo grampeado com face verde e a complementação da rede de drenagem, garantindo a ancoragem do maciço e a redução do grau de saturação do solo a um custo 30,2% menor do que a solução em cortina atirantada.

Com o intuito de realizar uma análise comparativa de custos e de comprovar a viabilidade do uso de geossintéticos em obras de contenção, Falcão (2019) propôs uma solução para a estabilização do talude da BR-230/PB a partir do reforço do solo com geogrelhas, de um sistema de drenagem composto por canaletas, dreno de areia e geotubo, e da proteção da face do talude com biomanta de fibra de coco (Figura 55). A partir da análise da estabilidade global da geometria natural do talude e do solo reforçado, Falcão (2019) verificou que houve um incremento no fator de segurança do talude, passando de 1,4 na condição natural para 1,7 quando reforçado com geossintético. Além disso, quando comparados os custos da solução proposta por Falcão (2019) com os custos obtidos nas soluções em solo grampeado e cortina atirantada propostas por Almeida (2016), foi demonstrada a viabilidade econômica do solo

reforçado com geossintético, resultando em um orçamento de R\$ 1.437.065,77, representando apenas 43% do custo da cortina atirantada e 75% do solo grampeado.

Figura 55 - Solução de contenção em solo reforçado com geossintético proposta por Falcão (2019)



Fonte: Falcão (2019).

4.1.8. Vistoria da Área

No dia 30 de agosto de 2020, foi realizada uma visita às proximidades do talude da Comunidade Santa Clara, quando foi possível verificar que a movimentação de veículos próximo ao local é bem intensa, o que dificultou a realização de imagens do ponto de vista da rodovia para o talude. Apesar disso, ao longo da rodovia foram identificadas algumas cicatrizes de deslizamentos (Figura 56), que demonstram a fragilidade da superfície do talude da Comunidade Santa Clara frente à exposição às intempéries, e alguns resquícios da lona plástica instalada em períodos chuvosos (Figura 57), além de ter sido identificada a presença da vegetação de maior porte, que pode vir sujeitar o solo ao efeito “alavanca” (Figura 58).

Figura 56 - Cicatrizes de deslizamento ao longo da rodovia BR-230/PB no bairro do Castelo Branco em João Pessoa-PB



Fonte: Autor.

Figura 57 - Resquícios da lona plástica instalada em períodos chuvosos no talude da BR-230/PB



Fonte: Autor.

Figura 58 - Vegetação no talude da BR-230/PB



Fonte: Autor.

Além das cicatrizes de deslizamento identificadas ao longo do talude da Comunidade Santa Clara, foi identificada a ocorrência de processos erosivos, evidenciados pela presença de feições com alguns metros de extensão e em profundidade suficiente, sendo classificados como ravinas (Figura 59).

Figura 59 - Feições erosivas identificadas no talude da BR-230/PB



Fonte: Autor.

Tendo em vista a ocupação na crista do talude da Comunidade Santa Clara, foram verificadas as condições de acesso ao mesmo pela rua Joaquim Pedro da Silva, no bairro do Castelo Branco, que margeia a BR-230/PB. Na localidade, foi possível verificar que todas as ruas próximas são calçadas (Figura 60) e possuem dispositivos para drenagem de águas

pluviais, como canaletas e bocas de lobo (Figura 61). Ademais, foram observados alguns poços de visita, que indicam a existência de um sistema de drenagem nas ruas do bairro, e escadarias hidráulicas (Figura 62).

Figura 60 - Ruas calçadas nas proximidades do talude



Fonte: Autor.

Figura 61 - Dispositivos para drenagem de águas pluviais dos tipos (a) canaleta e (b) boca de lobo



Fonte: Autor.

Figura 62 - Dispositivos para drenagem das águas pluviais do tipo escadaria hidráulica



Fonte: Autor.

Na Comunidade São Rafael foram obtidas algumas informações acerca das condições locais em trabalhos realizados na área anteriormente. De acordo com Oliveira *et al.* (2018), a Comunidade São Rafael localiza-se entre o rio Jaguaribe e uma encosta da BR-230/PB, em uma área de 9,215 ha, constituindo área de riscos geológico e hidrológico, em razão da ocorrência de deslizamentos e inundações. Ainda segundo Oliveira *et al.* (2018), a comunidade surgiu a partir da apropriação espontânea da localidade há mais de 60 anos, encontrando-se consolidada atualmente, com cerca de 345 domicílios de alvenaria de baixo padrão. Além disso, a comunidade é atendida por redes de abastecimento de água e coleta de esgoto, energia elétrica, iluminação pública, coleta de lixo e as ruas são calçadas e dispõem de um sistema de drenagem das águas pluviais; havendo, ainda, na comunidade, muros de arrimo com cerca de dois metros, sendo um deles reforçado com hastes metálicas (Figura 63).

Figura 63 - Muros de arrimo da Comunidade São Rafael



Fonte: Oliveira *et al.* (2018).

4.1.9. Avaliação da Necessidade de Implantação de Medidas Emergenciais

O histórico de deslizamentos na área de estudo revela que esses eventos costumam ocorrer no primeiro semestre do ano, período que coincide com os quatro meses mais chuvosos do município. Diante desse histórico, algumas medidas de cunho emergencial já foram realizadas na área quando da ocorrência desses eventos no talude da Comunidade Santa Clara, como a remoção de algumas residências da crista do talude e a implantação de lonas plásticas na sua face. Porém, vale ressaltar que, a execução de obras de contenção é urgente, haja vista o histórico de deslizamentos na região.

4.1.10. Verificação da Legislação sobre Construção em Faixas de Domínio de Rodovias

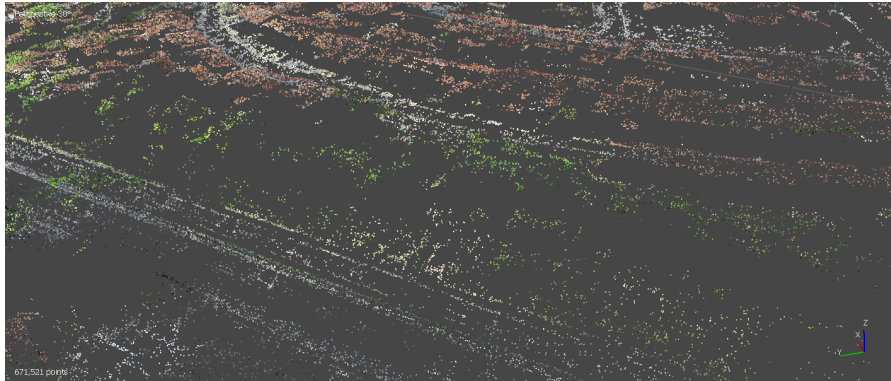
De acordo com DNIT (2005), em zonas urbanas, suburbanas, de expansão urbana ou rural, é proibida a construção de qualquer natureza em faixa de reserva de 15 metros adjacente a cada lado da faixa de domínio da rodovia, configurando faixa "*non aedificandi*", conforme preconizado na Lei 6.766/79. Ainda segundo DNIT (2005), “cabe ao DNIT a aprovação de projetos para utilização da faixa de domínio por concessionárias de serviços públicos e privados, prevendo-se a cobrança pelo DNIT aos interessados”. Dessa forma, conclui-se que a execução de obras de estabilização de taludes rodoviários, dentro da faixa de reserva, requer autorização do DNIT.

Ainda que as construções existentes na crista do talude da Comunidade Santa Clara e no sopé do talude da Comunidade São Rafael tivessem sido licenciadas pela Prefeitura local, o DNIT pode solicitar judicialmente a demolição de construções instaladas na faixa de domínio da rodovia durante a vigência da lei supracitada.

4.2. Levantamento Topográfico

Inicialmente, as informações referentes a topografia da área de estudo foram obtidas a partir do levantamento de imagens aéreas com um *drone*, realizado por uma equipe da Universidade Federal da Paraíba. As imagens obtidas no levantamento foram tratadas e ajustadas as cotas em função da presença de vegetação e edificações, resultando em um Modelo Digital do Terreno (MDT) que contempla as cotas aproximadamente reais ao nível do solo, conforme apresentado nas Figuras 64, 65, 66 e 67.

Figura 64 - Nuvem de pontos capturados com *drone*



Fonte: Imagem capturada pelo *drone*, tratada e cedida pela equipe da UFPB.

Figura 65 - Interpolação dos pontos capturados



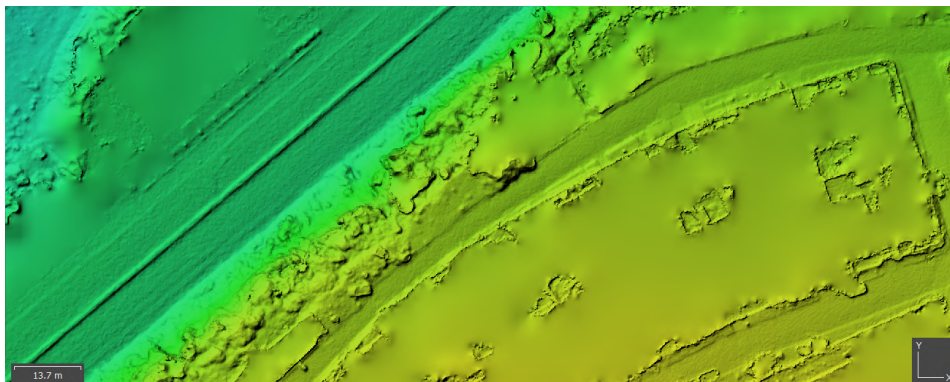
Fonte: Imagem capturada pelo *drone*, tratada e cedida pela equipe da UFPB.

Figura 66 - Mosaico de Ortofoto criado a partir das imagens capturadas



Fonte: Imagem capturada pelo *drone*, tratada e cedida pela equipe da UFPB.

Figura 67 - Modelo Digital do Terreno, excluindo os imóveis, árvores, entre outros



Fonte: Imagem capturada pelo *drone*, tratada e cedida pela equipe da UFPB.

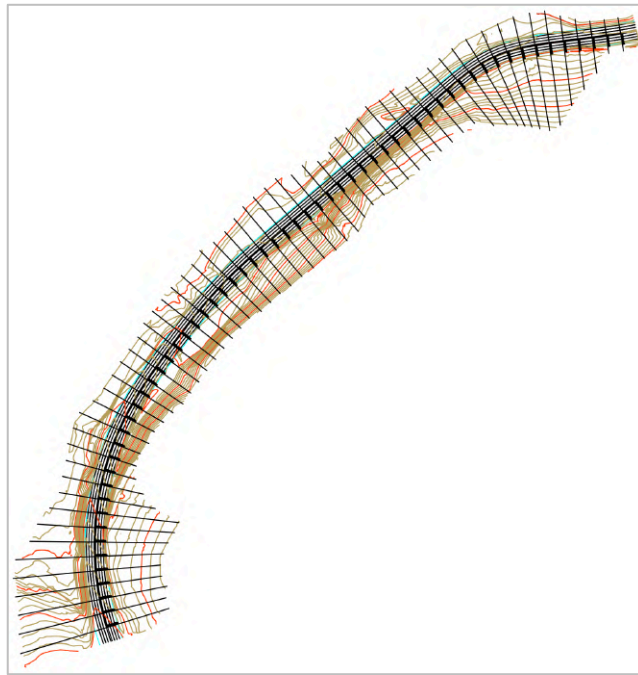
A captura de imagens com o *drone* permite a realização de um levantamento topográfico rápido da área, se comparado com métodos tradicionais que utilizam o teodolito ou estação total. Todavia, a presença de vegetação de tamanhos variados impossibilitou a obtenção de um perfil altimétrico do solo, com precisão suficientemente adequada para o estudo da estabilidade dos taludes que margeiam a rodovia. Essa deficiência foi detectada principalmente ao analisar os perfis do terreno gerados a partir dessas imagens, comparando-os com os desníveis existentes nas comunidades São Rafael, onde foram identificadas inconsistências significativas, inviabilizando a utilização das imagens coletadas pelo *drone* para o presente estudo.

Diante desse impasse, que poderia inviabilizar a continuação do presente trabalho, foi verificada junto ao Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) a existência de um projeto executivo de adequação da Rodovia BR-230/PB para o trecho compreendido entre o km 18,5 e o km 20,2, que contempla desde o levantamento topográfico da área, com dados relativos às curvas de nível do terreno, a largura das faixas de domínio, soluções de contenção, estudos de estabilidade e indicação das desapropriações necessárias, até os resultados de sondagens porventura realizadas. Sabendo-se da existência desse projeto, foi feita uma solicitação formal ao DNIT da Paraíba, que prontamente disponibilizou os arquivos referentes a esse projeto.

Utilizando as curvas de nível do projeto executivo disponibilizado pelo DNIT, o estudo da estabilidade dos taludes foi realizado a partir obtenção do perfil transversal de 61 seções rodovia, da estaca 945 até a estaca 1005, correspondentes trecho do km 18,9 ao km 20,1, distanciadas a cada 20 metros. Dessa forma, foram realizadas 122 análises de estabilidade (61 para cada lado da pista de rolamento).

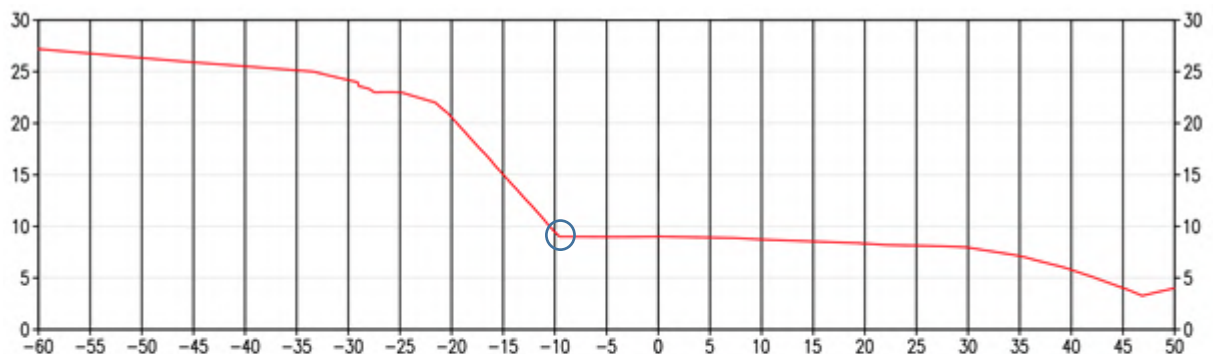
Objetivando a realização de um estudo de estabilidade completo da área, cada seção transversal compreendeu desde o sopé ou imóvel existente no pé do talude da Comunidade São Rafael até o platô da rodovia, e deste ponto até a crista ou imóvel existente no topo do talude da Comunidade Santa Clara. Nas Figuras 68 e 69 são apresentados, respectivamente, as curvas de nível geradas e um exemplo de um perfil transversal de elevação, criado a partir das curvas de nível.

Figura 68 - Curvas de nível da área de estudo



Fonte: Arquivo em Autocad cedido pelo DNIT.

Figura 69 - Exemplo de um perfil de elevação gerado a partir das curvas de nível



Fonte: DNIT (Projeto executivo de adequação da rodovia).

No perfil de elevação exemplificado na Figura 69, o pé do talude do lado esquerdo (Comunidade Santa Clara) se inicia a uma distância de cerca de 10 metros a partir do eixo da

rodovia (Ponto O) e a sua crista está a uma distância em torno de 22 metros do eixo da BR 230, ou seja, o talude está parcialmente dentro da faixa de domínio do DNIT, que é de 15 metros para cada lado do eixo da rodovia, conforme Lei 6.766/79. De acordo com a referida norma, a realização de intervenções nesses locais depende de prévia anuência do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

4.3. Investigações Geológico-Geotécnicas

4.3.1. Programação

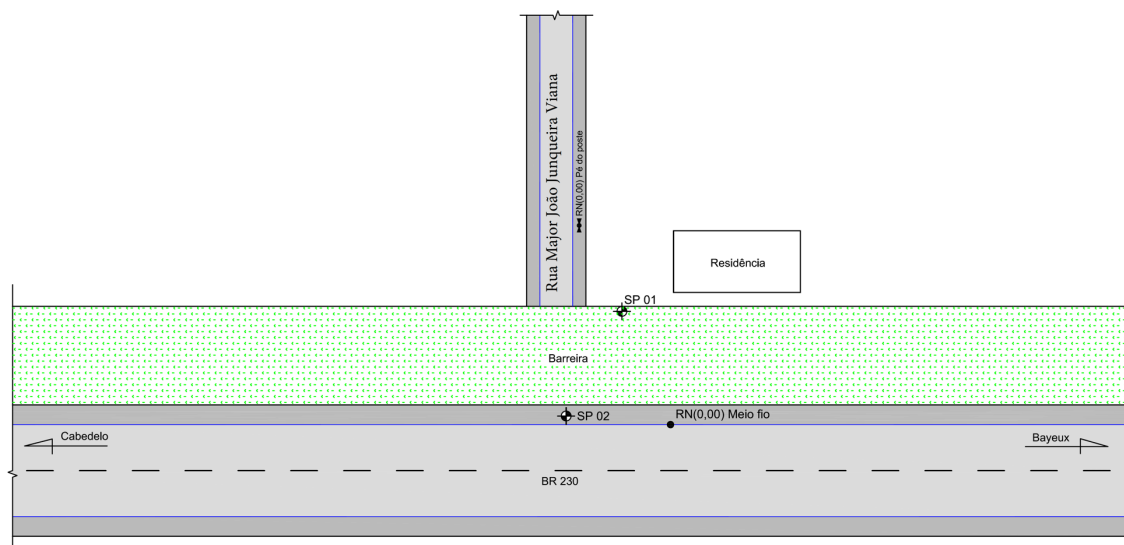
Na vistoria realizada na área de estudo, foi possível verificar a dificuldade para retirada de amostras indeformadas do talude da Comunidade Santa Clara, haja vista o fluxo de tráfego de veículos na rodovia que o margeia e as residências em sua crista. Dessa forma, o programa de investigações elaborado contempla apenas a retirada de amostradas deformadas para execução de ensaios em laboratório.

A programação das investigações foi definida ainda, em função da disponibilidade de equipamentos e mão-de-obra, tendo sido realizada a coleta das amostras no dia 25 de outubro de 2020.

4.3.2. Investigações de Campo

O perfil geotécnico da área de estudo foi obtido a partir de sondagens realizadas no talude da Comunidade Santa Clara e cedidas por uma empresa local de estudos geotécnicos, apresentadas nos Anexos A e B. O perfil de sondagem apresentado no Anexo A foi obtido a partir da sondagem à percussão do solo localizado no topo do talude da Comunidade Santa Clara, enquanto o perfil apresentado no Anexo B é representativo do solo no sopé desse mesmo talude. Na Figura 70 é apresentada a localização dos furos de sondagem.

Figura 70 - Localização dos furos de sondagem no talude da Comunidade Santa Clara



Fonte: Relatório de sondagem cedido por uma empresa local de estudos geotécnicos.

A partir dos perfis de sondagem apresentados nos Anexos A e B, observa-se que:

- O perfil do solo obtido na crista do talude da BR-230/PB é composto por seis camadas, sendo a primeira de aterro arenoso com metralha e cor variegada até 4,57 metros de profundidade; a segunda camada tem 1,16 metros e é composta por solo arenoso com pedregulho e laterita de consistência fofa a compacta e cor variegada; a terceira camada apresenta 3,51 metros de profundidade e é composta por areia siltosa com pedregulho compacto e cor variegada; a quarta camada, de 3,09 metros, é composta por silte arenoso compacto de cor variegada; a quinta camada tem 2,88 metros e é composta por silte argilo-arenoso com pedregulho duro e cor variegada; e a sexta e última camada é composta por argila silto-arenosa dura de cor variegada, possuindo 1,19 metros de profundidade. Nesse perfil, a camada impenetrável se encontra na profundidade de 16,40 metros;
- O perfil do solo obtido no sopé da encosta da BR-230/PB é composto por cinco camadas sendo impenetrável a profundidade de 10,42 metros. A primeira camada é composta por aterro areno-argiloso com pedregulho e cor variegada até 1,82 metros de profundidade; a segunda camada possui 2,55 metros e é composta por silte argilo-arenoso com pedregulho, consistência média a dura e cor variegada; a terceira camada apresenta 2,14 metros de profundidade e é composta por argila silto-arenosa com pedregulho dura e de cor variegada; a quarta camada tem 1,86 metros de profundidade e é composta por areia silto-argilosa muito compacta de cor variegada; e a quinta e última camada possui 2,05 metros e é composta por silte argilo-arenoso com pedregulho duro e cor variegada.

Em nenhum dos perfis foi encontrado o nível d'água e em ambos foi registrada a presença de sumidouros, a 3,63 metros de profundidade no perfil da crista do talude e a 2,73 metros de profundidade no perfil do sopé do talude.

4.3.3. *Investigações em Laboratório*

- **Amostragem**

O primeiro passo para a realização dos ensaios de caracterização requeridos na ABNT NBR 11682 (2009) é a coleta de amostras do solo do talude. No presente trabalho, a quantidade de amostras em número e peso foi definida a partir do que recomenda a ABNT NBR 6457 (2016) e em função do nível de dificuldade para retirada de amostras do talude de forma manual.

Devido a extensão do trecho analisado e considerando a possibilidade de haver solos com características distintas, foram coletadas amostras em 02 pontos nas profundidades: superficial, intermediária e a cerca de 30 centímetros da superfície. No primeiro ponto coletado (Figura 71), ao realizar análises visual e tátil das amostras, não foi verificada uma diferença significativa na composição do solo em profundidades distintas, de forma que, foi feita a homogeneização das amostras coletadas, resultando em uma única amostra, denominada de Amostra 1 (Figura 72).

Figura 71 - Localização de onde foi retirada a amostra 1 (Latitude: 7°8'5.4"S; Longitude: 34°51'15.96"O)



Fonte: Autor.

Figura 72 - Amostra 1 homogeneizada



Fonte: Autor.

No segundo ponto (Figura 73), foram novamente retiradas três amostras (amostras 2a, 2b e 2c) em profundidades diferentes (Figura 74), não tendo sido feita a homogeneização devido a essas amostras apresentarem colorações distintas, que indicavam a presença de matéria orgânica na amostra 2a, retirada da camada superficial do solo.

Figura 73 - Localização de onde foram retiradas as amostras 2a, 2b e 2c (Latitude: 7°7'48.13"S; Longitude: 34°51'2.95"O)



Fonte: Autor.

Figura 74 - Amostras 2a, 2b e 2c



Fonte: Autor.

▪ **Análise Granulométrica**

A análise granulométrica das amostras de solo foi realizada com base na ABNT NBR 7181 (2016). Os resultados obtidos são apresentados nos Apêndices A à D e um resumo da classificação granulométrica das amostras de acordo com as categorias propostas pelo DNER é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Resumo da classificação granulométrica de cada amostra segundo o DNER

Amostra	1	2a	2b	2c
Pedregulho ($d > 2,00$ mm)	30,62	6,46	6,61	14,06
Areia Grossa ($0,42$ mm $< d \leq 2$ mm)	36,08	35,12	32,35	28,45
Areia Fina ($0,074$ mm $< d \leq 0,42$ mm)	23,54	40,62	42,21	37,83
Silte + Argila ($d \leq 0,074$ mm)	9,76	17,81	18,82	19,65
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Areia Total (Entre as Peneiras Nº 10 e Nº 200)	59,63	75,73	74,56	66,29

A partir dos resultados obtidos nas análises granulométricas realizadas, foi possível verificar que na amostra 1 há uma predominância de pedregulho e areia grossa em relação aos demais tipos classificados. As amostras 2a, 2b e 2c também apresentaram altas porcentagens de areia, porém verifica-se que, à medida que a profundidade aumenta, há uma redução na quantidade de areia da amostra e um aumento na porcentagem de silte e argila, apresentando características mais próximas dos solos areno-argilosos.

Comparando-se os resultados obtidos na análise granulométrica das amostras com a classificação tátil visual feita em campo, verifica-se que são compatíveis, haja vista que o solo da amostra 1 apresentava uma quantidade considerável de pedregulho e uma coloração mais clara do que a amostras 2a, 2b e 2c, indicando a presença majoritária de areia em relação à argila e silte, como pode ser observado nas Figuras 72 e 74. Apesar de ter sido verificada uma quantidade expressiva de pedregulho na amostra 1, retirada da superfície, nas amostras retiradas no segundo ponto, foi verificada uma quantidade maior de pedregulho na amostra retirada a cerca de 30 cm da superfície, o que corrobora com a classificação visual das amostras que pode ser observada na Figura 74. Além disso, os resultados obtidos permitiram concluir que a coloração mais escura das amostras 2a, 2b e 2c em relação a amostra 1, é devido a uma porcentagem maior de silte e argila.

A composição granulométrica das amostras pode ser diretamente relacionada à ocorrência de processos erosivos no talude, visto que quanto mais arenoso for o solo, menor será a sua coesão e maior a capacidade de infiltração de água no solo. Tais resultados,

evidenciam a necessidade por soluções que garantam a contenção do solo do maciço a partir da introdução de elementos que promovam a retenção das partículas do solo frente à ação das águas das chuvas e a drenagem eficiente dessas águas.

- Limites de Liquidez e Plasticidade

A determinação dos limites de liquidez e plasticidade foi realizada com base na ABNT NBR 6459 (2016) e na ABNT NBR 7180 (2016), respectivamente. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resumo dos limites de liquidez e plasticidade obtidos nos ensaios para cada amostra

Amostra	1	2a	2b	2c
Limite de Liquidez (%)	23,89%	23,04%	24,51%	27,63%
Limite de Plasticidade (%)	15,50%	15,80%	16,80%	19,60%
Índice de Plasticidade (%)	8,39%	7,24%	7,71%	8,03%

A partir dos resultados obtidos verifica-se que as amostras 1 e 2c apresentaram os maiores índices de plasticidade, enquanto as amostras 2a e 2b apresentaram valores próximos.

- Teor de Umidade

O teor de umidade higroscópica das amostras de solo coletadas foi obtido em laboratório após secagem em estufa. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Determinação do teor de umidade das amostras 1, 2a, 2b e 2c

Amostra	1	2a	2b	2c
Nº da Cápsula	7	20	29	24
Peso Cápsula + Solo Úmido (g)	66,39	67,05	77,78	77,52
Peso Cápsula + Solo Seco (g)	66,34	66,97	77,72	77,37
Tara da Cápsula (g)	16,38	17,04	27,73	27,40
Teor de Umidade (%)	0,10	0,16	0,12	0,30
Fator de Correção	1,00	1,00	1,00	1,00
Peso Amostra Total Úmida (g)	2000,00	2000,00	1200,00	1200,00
Peso Amostra Total Seca (g)	1998,61	1997,01	1198,66	1196,91

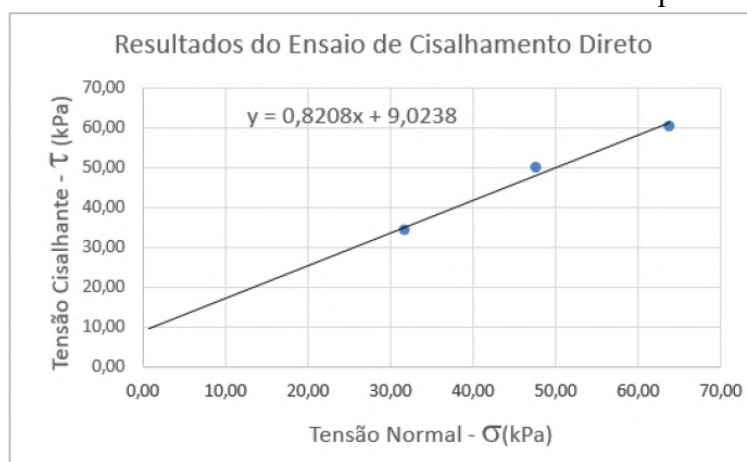
A partir dos resultados obtidos foi possível verificar que quanto maior a profundidade da qual foi retirada a amostra, maior o teor de umidade higroscópica das amostras, tendo sido observado que no segundo ponto de coleta, a camada intermediária apresentou o menor teor dentre as amostras retiradas.

É importante ressaltar que o teor de umidade obtido é representativo apenas para as amostras ensaiadas, sendo necessários ensaios de laboratório das amostras em estado natural para a obtenção teor de umidade real do solo. Ainda que as amostras tivessem sido ensaiadas em seu estado natural, o teor de umidade obtido seria representativo apenas para uma parcela do talude, visto que, a depender do local em que forem retiradas a amostra, da ocorrência de eventos chuvosos, da proximidade à redes de abastecimento de água, de coleta de esgotos e águas pluviais e de margens de rios, a umidade do solo pode ser completamente diferente, sendo necessária a realização de sondagens que possam determinar a altura da linha freática.

▪ Resistência ao Cisalhamento

Os parâmetros coesão e ângulo de atrito do solo, determinados, geralmente, a partir de ensaios de resistência ao cisalhamento, foram obtidos, nessa pesquisa, a partir dos estudos realizados por Soares *et al.* (2017), considerando-se que os resultados obtidos nos ensaios com amostras deformadas nesse trabalho indicaram que o solo é semelhante ao analisado por Soares *et al.* (2017). A partir da retirada de amostras indeformadas e deformadas em três pontos distintos de uma encosta localizada na Comunidade Santa Clara, foi obtida uma coesão de 9,02 kPa e um ângulo de atrito de 39° (Figura 75).

Figura 75 - Resultados do ensaio de cisalhamento direto realizado por Soares et al. (2017)



Fonte: Soares *et al.* (2017).

Tabela 12 - Parâmetros do solo utilizados nas análises dos Fatores de Segurança

Parâmetro	Unidade	Símbolo	Valor
Ângulo de Atrito	°	ϕ	39,00
Coesão	kPa	c	9,02
Peso específico	KN/m ³	γ	16,00

Fonte: Soares *et al.* (2017).

4.4. Projeto

4.4.1. Análise da Estabilidade

No presente trabalho, foram utilizados a coesão e o ângulo de atrito adotados por Soares *et al.* (2017). É importante ressaltar que esses valores foram adotados em função da impossibilidade de realização de ensaios de cisalhamento em laboratório. A partir dos perfis de sondagem expostos nos Anexos A e B, verifica-se que o solo do talude analisado não é homogêneo, sendo constituído por diversas camadas com características diferentes, de forma que, em uma análise de estabilidade para fins não estritamente acadêmicos devem ser utilizados coesão e ângulo de atrito diferentes para cada camada.

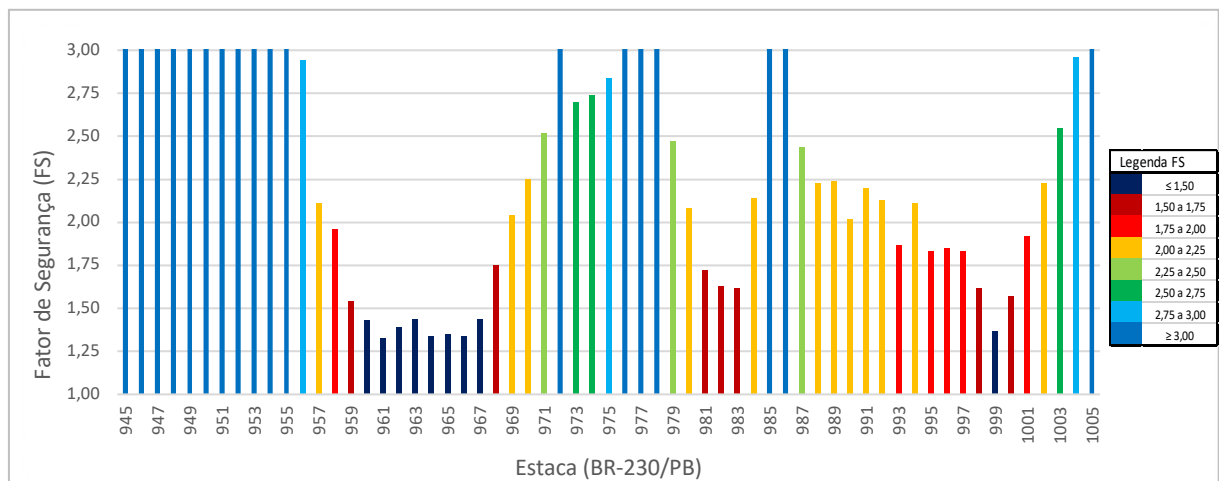
O segmento da rodovia BR-230/PB do km 18,9 ao km 20,1 atravessa as comunidades Santa Clara e São Rafael em João Pessoa, compreendendo as seções de corte transversal correspondentes às estacas 945 a 1005 do projeto executivo disponibilizado pelo DNIT. No presente trabalho, utilizou-se a ferramenta Slope/W e o modelo de análise desenvolvido por Morgenstern-Price para determinar os Fatores de Segurança (FS) dos taludes nessas comunidades através método do equilíbrio limite.

A verificação da estabilidade global de cada seção transversal considerou o perfil geométrico do terreno, obtido a partir das curvas de nível do projeto executivo do DNIT, tendo sido utilizados os parâmetros peso específico, coesão e ângulo de atrito do solo encontrados no estudo realizado por Soares *et al.* (2017). Vale ressaltar que a análise da estabilidade não foi realizada nos perfis transversais que apresentaram inclinação do talude inferior a 10°. As seções utilizadas, bem como os fatores de segurança encontrados são apresentados nos Apêndice E e F.

Cabe registrar que a Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UFPB impôs, para o período 2020.1, restrições para realização de trabalhos acadêmicos que necessitem de atividades presenciais (experimentos em laboratórios/atividades de campo), haja vista a crise sanitária instaurada em todo o mundo em função da pandemia de COVID-19, o que limitou a obtenção de novas amostras de solos em outros pontos dos taludes analisados. Apesar dessa limitação, o presente estudo traz como contribuição em relação a estudos anteriores desenvolvidos na UFPB a análise global de todo o trecho, apresentando os fatores de segurança encontrados e identificando os pontos críticos.

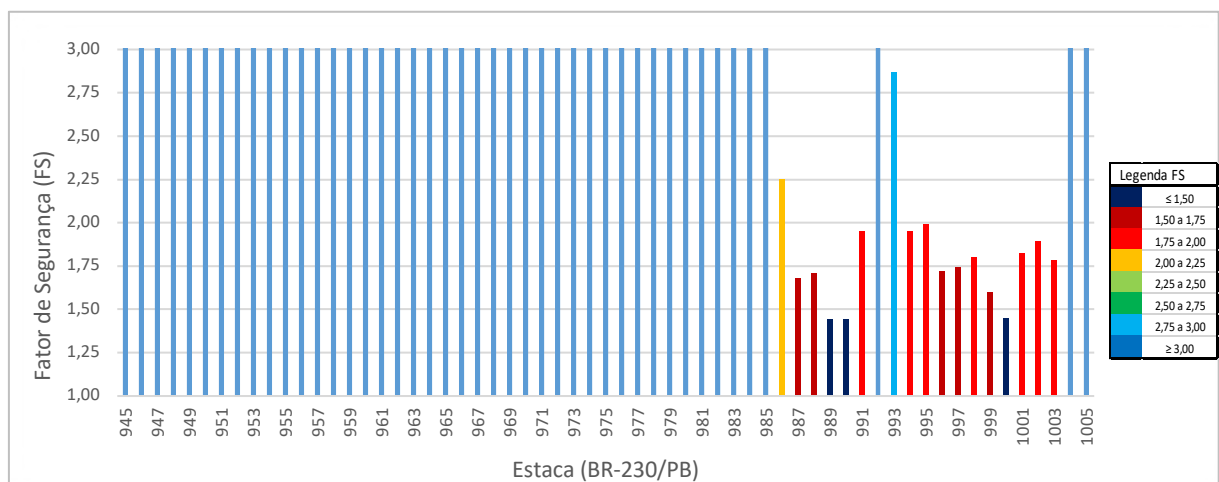
O estudo da estabilidade identificou os trechos mais suscetíveis para a ocorrência de eventos de movimentos de massa nas comunidades Santa Clara e São Rafael, tendo sido utilizado como critério o nível de segurança alto para os danos ambientais, materiais e a vidas humanas, o que requer um Fator de Segurança $\geq 1,50$, conforme preconiza a NBR 11682 (2009) da ABNT. Os gráficos 1 e 2 resumem os fatores de segurança encontrados no presente estudo.

Gráfico 1 – Fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade das seções do talude da comunidade Santa Clara



Fonte: Autor.

Gráfico 2 – Fatores de segurança obtidos nas análises de estabilidade das seções do talude da comunidade São Rafael

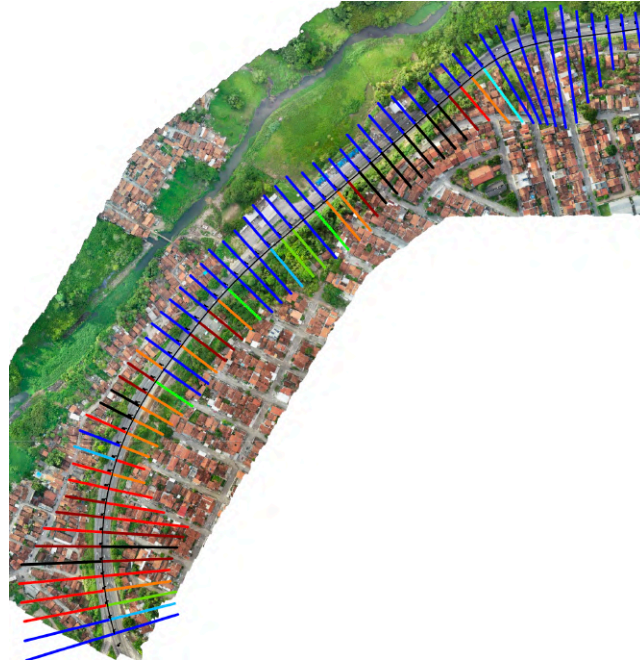


Fonte: Autor.

Conforme apresentado nos Gráficos 1 e 2, na comunidade Santa Clara foram considerados instáveis, nos termos da NBR 11682 (2009), os trechos da rodovia da estaca 960 até a estaca 967 e, ainda, na estaca 999. No outro lado da rodovia, na comunidade São Rafael, foram considerados instáveis as seções transversais referentes às estacas 989, 990 e 1000.

Os gráficos lineares dos Fatores de Segurança (FS) de cada seção analisada nas comunidades Santa Clara e São Rafael (Gráfico 1 e 2) foram plotados no mapa da área, obtendo-se a distribuição espacial dessas análises (Figura 76).

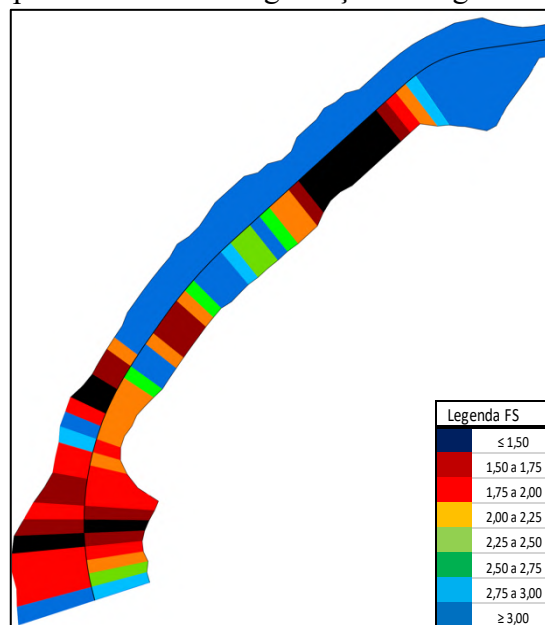
Figura 76 - Distribuição dos gráficos dos fatores de segurança na área de estudo



Fonte: Autor.

A Figura 77, também obtida a partir dos gráficos lineares dos Fatores de Segurança (FS), mostra com mais clareza os locais de maior risco de ocorrência de movimentos de massa, considerados inseguros e identificados com a cor preta.

Figura 77 - Mapa dos fatores de segurança ao longo do trecho analisado



Fonte: Autor.

É importante comentar que, nas estacas 959, 968, 981, 982, 983, 998 e 1000 da Comunidade Santa Clara e nas estacas 987, 988, 996, 997 e 999 da comunidade São Rafael, marcados com a cor marrom, cujos Fatores de Segurança encontrados ficaram entre 1,50 e 1,75, é recomendável a realização de novos estudos para obtenção de parâmetros do solo específicos para esses locais, devido aos ensaios de resistência ao cisalhamento contidos nos estudos realizados por Soares *et al.* (2017), utilizados no presente trabalho, não serem representativos para toda a extensão de 1200 m do trecho da rodovia que foi analisado.

4.4.2. Projeto de Adequação da BR-230/PB do DNIT

As soluções de estabilização dos taludes da BR-230/PB e da Comunidades São Rafael, no bairro Castelo Branco, fizeram parte dos estudos que resultaram no projeto executivo de adequação da capacidade e segurança da rodovia BR-230/PB, elaborado pelo DNIT, por meio da contratação da empresa Contécnica – Consultoria Técnica (Contrato DNIT nº 919/2016). No referido projeto, foi adotada uma metodologia para a análise de estabilidade dos taludes baseada na identificação e segmentação homogênea do trecho analisado, em função das condicionantes geológicas e geomorfológicas locais.

A empresa contratada pelo DNIT para elaborar o projeto executivo da rodovia realizou sondagens do tipo SPT (*Standard Penetration Test*) nas proximidades da estaca 966+0,00 e, a partir dos índices de resistência e dos parâmetros geotécnicos obtidos por correlações, foi estimada a estratigrafia do solo, bem como os parâmetros de resistência para a análise da estabilidade do talude. A partir do estudo realizado pela empresa Contécnica, foram obtidos os parâmetros representativos das características geomecânicas do solo do talude da BR-230/PB, apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Parâmetros geomecânicos do solo do talude da BR-230/PB obtidos no estudo realizado pela empresa Contécnica

Parâmetros	Valores
Peso Específico (kN/m ³)	19,00
Ângulo de Atrito (°)	26
Coesão (kN/m ²)	19,00

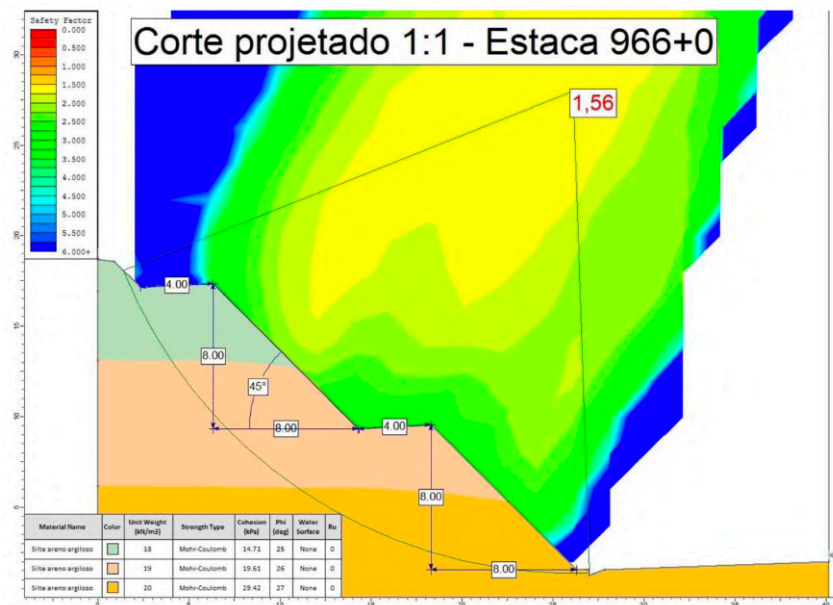
Fonte: DNIT.

A empresa responsável pelo projeto executivo da obra de adequação da rodovia BR-230/PB analisou a estabilidade do talude utilizando um modelo de estruturas bidimensionais, a partir de dados extraídos do traçado do talude em perfil, através do método do equilíbrio-limite, admitindo-se superfícies de deslizamento circular e critérios de ruptura de Mohr-Coulomb. A

modelagem das seções no projeto para o DNIT foi realizada com o auxílio do software SLIDE 5.0, utilizando os dados de estratigrafia oriundos das sondagens SPT, buscando-se um Fator de Segurança (FS) mínimo de 1,5, definido pela ABNT NBR 11682 (2009) como necessário para a garantia de níveis de segurança altos contra danos a vidas humanas, materiais e ambientais.

A solução apresentada pela empresa no projeto executivo consiste na realização de cortes no solo para diminuir a inclinação do talude, tendo sido definido no projeto a proporção de 1:1 para os comprimentos horizontal e vertical da encosta, perfazendo um ângulo de 45° (Figura 78). Também foi prevista a construção de banquetas a cada 8,0 metros de altura do talude, além de sistemas de drenagem e recuperação da cobertura vegetal do solo.

Figura 78 - Proposta de estabilização para o talude da comunidade Santa Clara

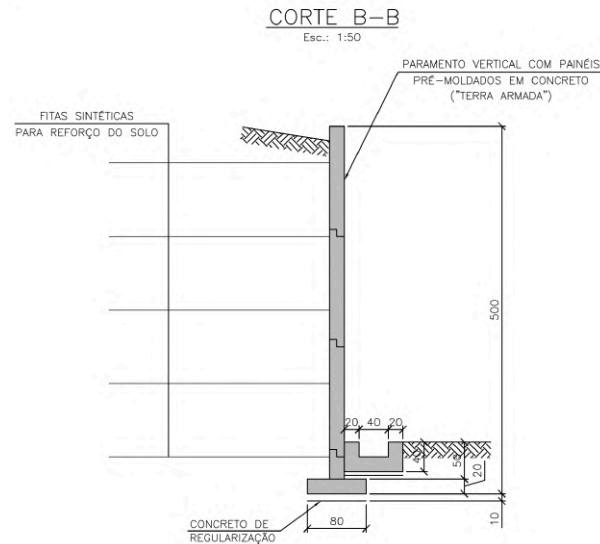


Fonte: DNIT.

Em relação aos deslizamentos existentes no trecho supracitado, ainda que pendente de confirmação por meio de sondagens no trecho afetado, o projeto elaborado para o DNIT conclui que os eventos de deslizamento nos últimos anos vêm ocorrendo, provavelmente, pela deficiência de proteção superficial e foram causados pelas infiltrações de águas superficiais na bancada superior, onde as valetas teriam sido destruídas, saturando o solo, aumentando o seu peso específico e tornando instável o talude.

Tal conclusão corrobora com as observações feitas a partir da visita feita no dia 30 de agosto de 2020, em que foi identificada a presença de ravinas na face do maciço (Figura 58), nas proximidades da estaca 966, formadas a partir da acumulação e escoamento de águas pluviais na bancada superior do talude, durante o período de chuvas intensas em João Pessoa. O aumento do escoamento superficial pode ser explicado pela ocupação antrópica no local, que

Figura 80 - Seção do muro em terra armada proposto para ser construído na Comunidade São Rafael



Fonte: DNIT.

As contenções em concreto armado previstas para a comunidade São Rafael se iniciam na estaca 995 e se estendem até a estaca 1004 da rodovia BR-230/PB. As referidas estruturas de contenção em concreto armado tendem a minimizar o impacto da obra de adequação da rodovia no que concerne a desapropriação de casas na comunidade, haja vista que reduzem o comprimento horizontal necessário para estabilizar o maciço. Ressalta-se que algumas moradias foram construídas dentro da faixa de domínio ou muito próximas à rodovia, sendo necessário removê-las.

- Desapropriações de moradias nas comunidades

A execução das soluções propostas no projeto de adequação da rodovia BR-230/PB, incluem, além da realização de cortes e aterros, a necessidade de desapropriação de terrenos e de algumas moradias construídas dentro da faixa de domínio do DNIT ou até mesmo próximas ao limite dessa faixa. Sobrepondo-se uma imagem do projeto executivo (faces dos taludes hachuradas em vermelho na Figura 81) em imagens aéreas capturadas com o *drone*, é possível verificar que diversas casas construídas no lado noroeste da rua Joaquim Pires Ferreira, que fazem divisa com o talude da rodovia, serão afetadas pela obra de estabilização proposta para este talude (escalonamento).

Figura 81 - Sobreposição do escalonamento previsto para o talude com imagens obtidas por meio de *drone*



Fontes: DNIT e UFPB.

No projeto *as built* referente às desapropriações, elaborado em dezembro/2018 e disponibilizado pelo DNIT, consta uma relação nominal de 19 moradias que estão em processo de desapropriação. Entretanto, analisando o histórico de imagens da área no Google Earth, é possível identificar registros de ocupação recente em áreas próximas aos taludes da rodovia BR-230/PB, conforme apresentado nas Figuras 82a e 82b, datadas de junho/2019 e março/2020, demonstrando que o número de famílias afetadas poderá ser maior quando as obras de adequação alcançarem as comunidades São Rafael e Santa Clara.

Figura 82 - Registros da ocupação na faixa de domínio do DNIT na Comunidade São Rafael em junho/2019 (a) e março/2020 (b)



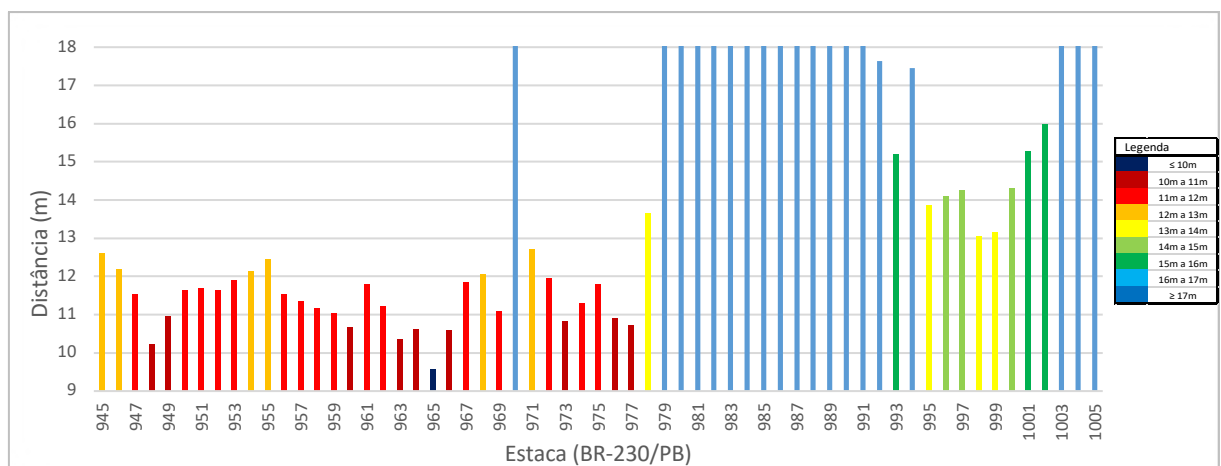
Fonte: Google Earth.

▪ Interferências das Adequações na Rodovia

Conforme consta nos projetos executivos de adequação da rodovia em execução pelo DNIT, será construída uma 3ª faixa de tráfego nos dois sentidos do km 0,0 ao km 28,1 da BR-230/PB, necessitando alargar a pista de rolamento, que passará a medir 13,50 m para cada lado (incluindo os acostamentos).

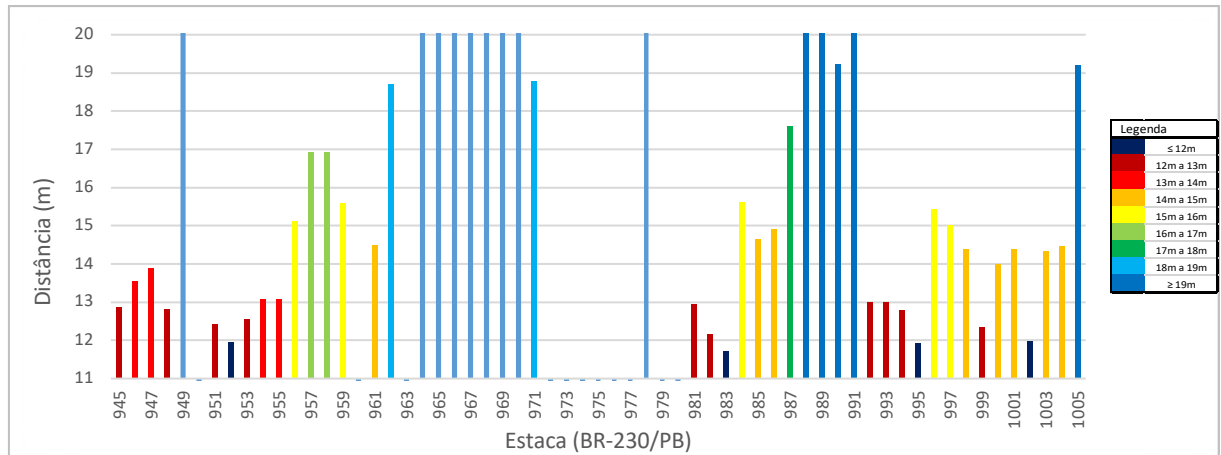
Nesse sentido, todos os taludes que se encontram próximos da rodovia serão afetados e, por essa razão, foram levantadas as distâncias do eixo da rodovia ao sopé ou à crista do talude, conforme o caso, que apresentaram os menores Fatores de Segurança. O resultado desse levantamento é apresentado nos Gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 - Distância do sopé do talude na comunidade Santa Clara ao eixo da rodovia



Fonte: Autor.

Gráfico 4 - Distância da crista do talude na comunidade São Rafael ao eixo da rodovia (*)



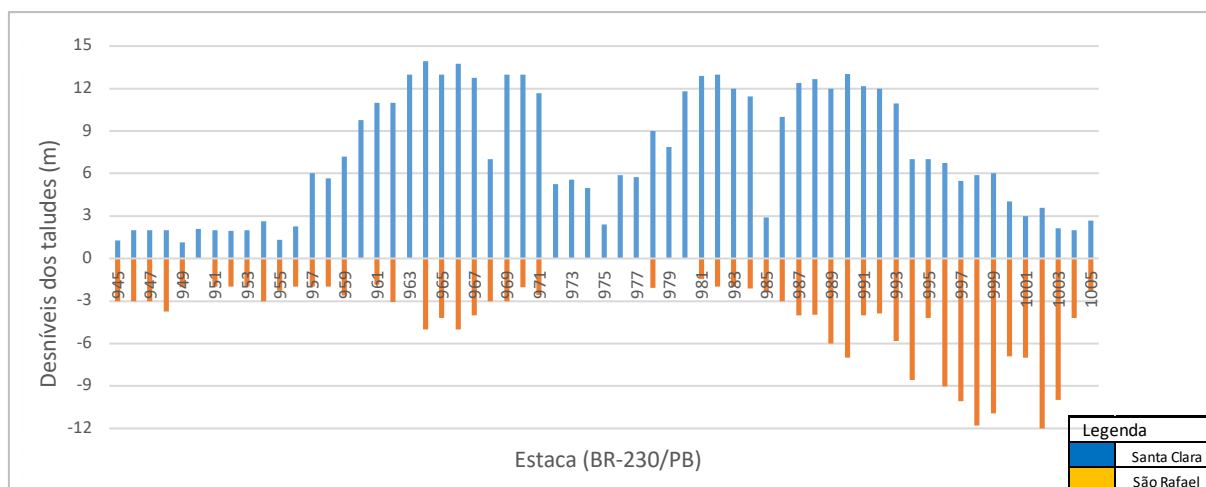
Fonte: Autor

(*) As barras ausentes no Gráfico 4 correspondem aos trechos com inclinação inferior a 10°.

O levantamento realizado no presente trabalho acadêmico, sintetizado nos gráficos 3 e 4, indica que a maioria dos taludes da comunidade Santa Clara está dentro da faixa de domínio da rodovia e será afetado pelo alargamento da pista, aonde a distância do eixo da rodovia ao sopé do talude é inferior a 13 metros (estacas 945 a 977, 998 e 999). A comunidade São Rafael, por sua vez, possui uma parte do terreno praticamente plano, mas também será afetada pelo incremento da 3ª faixa da BR-230/PB.

Em complemento às análises de estabilidade e ao levantamento das distâncias dos taludes ao eixo da rodovia, foram catalogados os desníveis existentes entre o eixo da rodovia e a crista e o sopé dos taludes, respectivamente nas comunidades São Rafael e Santa Clara, conforme apresentado no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Alturas dos taludes analisados em relação ao nível do eixo da rodovia



Fonte: Autor.

Analisando-se conjuntamente os Gráficos 1 a 5, observa-se que o trecho compreendido a partir da estaca 957 até a estaca 971 na comunidade Santa Clara é o que apresenta os menores fatores de segurança que, combinados com uma maior proximidade do talude à pista de rolamento e com os maiores desníveis, confere ao trecho um maior grau de criticidade em relação aos demais, demandando maior prioridade para receber uma solução de estabilização. Na comunidade São Rafael, situação similar é encontrada a partir da estaca 996 até a estaca 1003.

4.4.3. Proposta de Solução

Dentre os objetivos específicos deste trabalho inclui-se a proposição de uma solução de contenção que possa ser adotada pelo poder público para estacionar o processo de degradação das encostas nas comunidades São Rafael e Santa Clara. No entanto, no decorrer desta pesquisa, identificou-se que existe uma obra em andamento para a adequação da rodovia BR-230/PB, em execução pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) por meio de contratação de empresa privada, cujo projeto executivo contempla o dimensionamento de soluções para a estabilização dos maciços, bem como os orçamentos para a execução das obras. Considerando que as obras estão contratadas e em execução, o presente trabalho limitou-se a apresentar, de forma resumida, as soluções abordadas no projeto do DNIT e propor uma solução alternativa em um dos trechos.

Ao analisar as soluções propostas, ilustradas nas Figuras 79 e 80, percebe-se que a solução híbrida, utilizando contenções verticais de terra armada ou muro de arrimo em “L”, associadas a uma “suavização” da inclinação da face do talude natural, adotadas na Comunidade

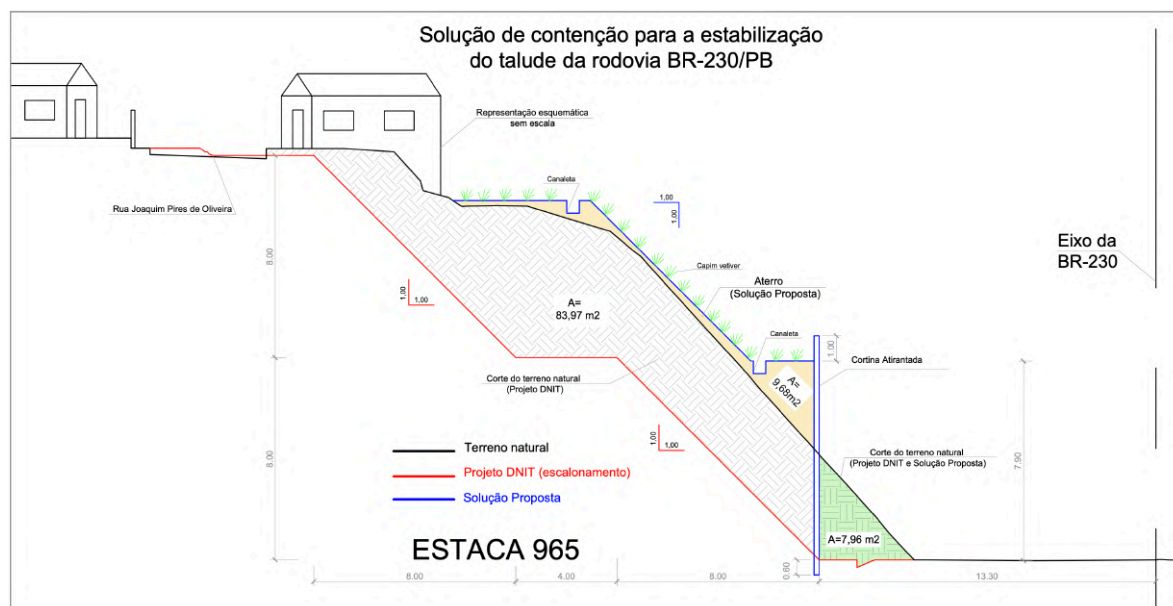
São Rafael, causam menos impacto nas áreas adjacentes, se comparadas ao simples escalonamento do talude, previsto para a Comunidade Santa Clara. Ademais, é possível observar que a intervenção projetada para a Comunidade Santa Clara provocará um maior número de desapropriação de moradias, além da interdição de parte da rua Joaquim Pires Ferreira, trazendo maiores transtornos à comunidade local.

Por essa razão, com o objetivo de minimizar os impactos causados pela obra de adequação da rodovia BR-230/PB aos moradores, propõe-se no presente trabalho o emprego de uma solução híbrida para a estabilização do talude da Comunidade Santa Clara, sendo composta por: a) uma contenção na sua base, por meio de cortinas de concreto armado atirantadas, em trecho vertical até a altura de 8,00 m; b) aterro compactado acima da cota de 8,00 m para a suavização da encosta e estabilização do talude, de modo que a inclinação da face do maciço forme um ângulo não superior a 45° com a linha horizontal.

Complementarmente a essa solução, propõe-se: a) a remoção de árvores de médio e grande porte existentes nos segmentos do talude que apresentem inclinação elevada (acima de 30 graus); b) o plantio de capim vetiver em toda a face dos taludes de corte e aterro; c) a execução de canaletas no pé e no topo da contenção vertical, assim como na crista do talude; d) a utilização de barbacãs na contenção vertical.

Portanto, a solução proposta no presente trabalho para o trecho marginal da rua Joaquim Pires Ferreira consiste em realizar um corte na base do talude, utilizando uma contenção vertical (cortina atirantada) e aproveitar o material para realizar o retaludamento na parte superior do maciço. Essa proposta representa uma redução da área da seção de corte na estaca 965 de 91,93 m² (cor cinza + verde) para 7,96 m² (cor verde), sendo esse volume compatível e compensável com a área da seção de aterro na parte superior, que foi estimada em 9,68 m² (cor amarela), conforme detalhado na Figura 83.

Figura 83 - Solução de contenção alternativa para a estabilização do talude da rodovia BR-230/PB

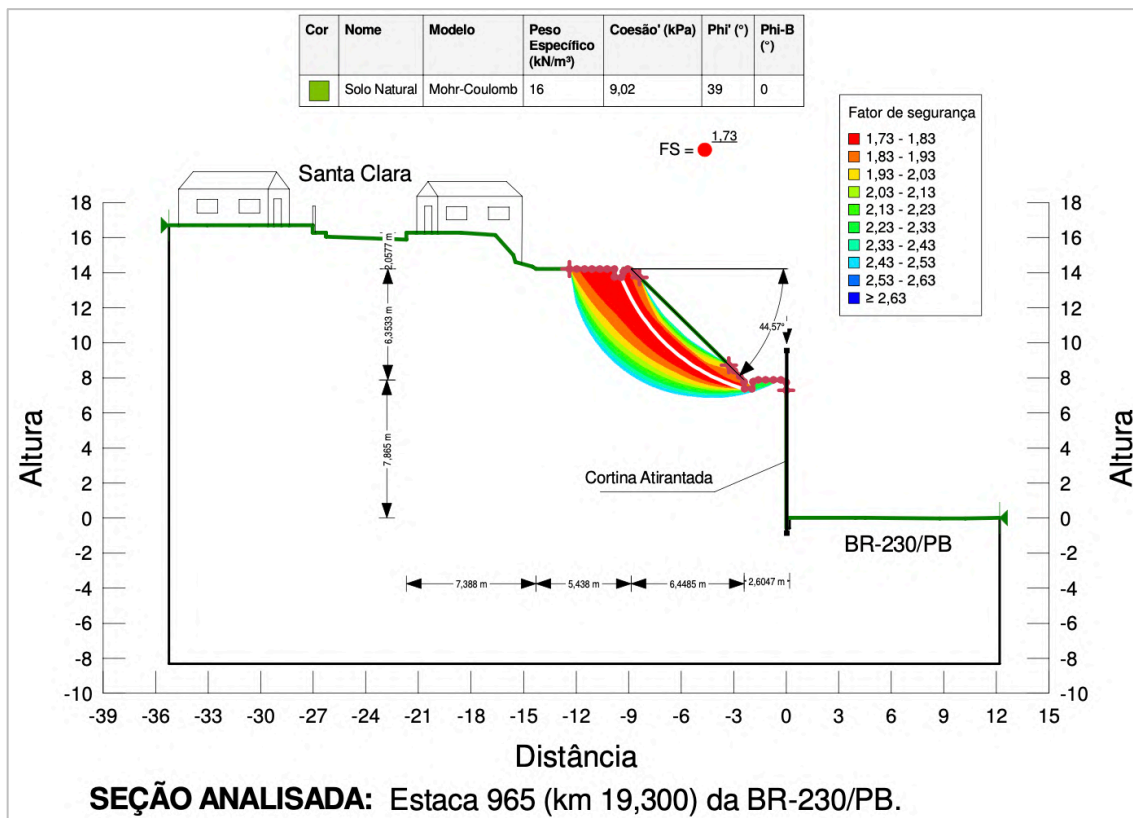


Fonte: Autor.

Nessa solução, busca-se minimizar os impactos sociais e ambientais que serão causados pelo alargamento da rodovia e pelo escalonamento do talude, previstos no projeto executivo da obra de adequação da rodovia do DNIT. Cabe destacar que a redução nos volumes de movimentação de terra, que inclui escavação, carga, transporte e bota-fora, pode ser economicamente compensatória em comparação com os custos relacionados à utilização de estruturas de concreto, pois devem ser considerados também os custos diretos e indiretos decorrentes das desapropriações, tais como o pagamento de indenizações, as custas processuais e com o setor jurídico, os custos com demolições, além dos custos com a realização de trabalho social, entre outros.

A estabilidade do talude utilizando a solução alternativa proposta no presente trabalho foi analisada com o auxílio do programa Slope/W, desenvolvido pela empresa Geoslope, tendo sido encontrado um coeficiente de segurança de 1,73, conforme mostrado na Figura 84.

Figura 84 - Análise da estabilidade do talude utilizando a solução proposta pelo autor



Fonte: Autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos no presente trabalho, foi possível concluir que:

- A ocorrência de processos de instabilização de massa no meio urbano tem como principais causas movimentos de massa e processos erosivos, provocados pela ação das águas das chuvas ou induzidos pela ação antrópica;
- Observou-se em campo a presença de erosões que estão atuando no processo de instabilização dos taludes analisados nesse trabalho, induzindo a ocorrência de deslizamentos na comunidade Santa Clara;
- A existência de ocupações na crista e no sopé dos taludes da BR-230/PB caracterizam áreas de risco, evidenciadas pelos mapeamentos realizados na área, que resultaram na atribuição de grau de risco alto ou muito alto e que revelam a urgência por intervenções de engenharia que venham a garantir a estabilidade das encostas e a segurança daqueles que convivem com essa situação;
- A escolha de um tipo de obra de estabilização depende fundamentalmente da sua viabilidade (técnica, econômico-financeira, legal, operacional e socioambiental) e das características do local onde será implantada (cartografia, topografia, geologia, geomorfologia, geotecnia e hidrologia);
- Por vezes, a execução de obras sem estruturas de contenção, como sistemas de drenagem, cobertura vegetal e retaludamento, é suficiente para estacionar o processo de instabilização de taludes, sendo inclusive mais econômico do que o emprego de soluções de contenção convencionais;
- Ainda que existam diversos trabalhos voltados à elaboração de soluções para os taludes da BR-230/PB, as únicas medidas tomadas pelo poder público até a conclusão deste trabalho foram a desapropriação e a remoção de algumas residências em risco, a remoção de algumas árvores, além da implantação de lonas plásticas na face de um dos taludes;
- Devido à proximidade dos taludes à rodovia e ao fluxo de tráfego intenso, foi verificada em campo a dificuldade de acesso para a retirada de amostras do local e para a realização de levantamentos topográficos convencionais;
- A utilização de *drones* e de programas computacionais permite a realização de um levantamento topográfico rápido da área. Porém, o perfil planialtimétrico obtido após o tratamento das imagens capturadas não se mostrou coerente quando comparado com os desníveis existentes;

- Os ensaios de campo permitiram verificar que o solo do talude da Comunidade Santa Clara é composto majoritariamente por areia, tendo sido obtidos percentuais de areia (grossa + fina) superiores a 55% em todas as amostras ensaiadas. Tal resultado corrobora com a ocorrência de processos erosivos, haja vista que solos arenosos apresentam alta suscetibilidade a erosões;
- Foi proposto nesse trabalho uma solução para estabilização de um dos taludes, apresentando-se como uma alternativa à solução que foi contratada pelo DNIT junto a uma empresa privada, que prevê o retaludamento do talude da comunidade Santa Clara. A solução proposta nesse trabalho busca associar obras de estabilização com e sem estruturas de contenção, objetivando encontrar alternativas para reduzir os impactos ambientais e os impactos sociais com as desapropriações, bem como reduzir os custos decorrentes da implantação do projeto de adequação da rodovia que está em curso;
- Apesar da solução apresentada nesse trabalho ter sido detalhada apenas a nível de anteprojeto, posto que há obras em andamento com projeto executivo detalhado e completo, inclusive com orçamento contratado junto a uma empresa privada, o projeto de uma obra de estabilização deve ir além da análise de estabilidade do talude e da elaboração de propostas de soluções, sendo necessários projetos complementares e o acompanhamento contínuo das obras.

Para futuros trabalhos, sugere-se a elaboração e aplicação de uma metodologia para o tratamento de imagens de *drones* em áreas inclinadas, haja vista as dificuldades encontradas em campo para realização do levantamento topográfico da área de estudo dessa pesquisa. Por fim, sugere-se como tema de pesquisas futuras uma análise de custos entre a solução proposta no presente trabalho e em outras pesquisas realizadas por alunos da UFPB, em comparação com os custos de execução do projeto de estabilização contratado pelo DNIT.

6. REFERÊNCIAS

AECWEB. **Sistema Construtivo LegoBlock®Contenção**, c2018. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/prod/e/sistema-construtivo-legoblock-contencao_34737_34644. Acesso em: 29 de setembro de 2020.

ALHEIROS, M. M.; SOUZA, M. A. M.; BITOUN, J.; MEDEIROS, S. M. G. M.; AMORIM JÚNIOR, W. M. **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife**. Recife, 2004. Disponível em: <http://www2.condepefidem.pe.gov.br/web/condepefidem/biblioteca-virtual-download1>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

ALMEIDA, Alisson Duarte Cardozo. **Propostas para Estabilização de Talude na Rodovia BR-230, km 19**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2015.2/propostas-para-estabilizacao-de-talude-na-rodovia-br-230-km-19.pdf>. Acesso em: 13 de agosto de 2020.

ANTUNES, Thiago Romeu. **Propostas de Novas Soluções para Contenção de Encosta na Neim Antonieta de Barros no Bairro Vila Aparecida em Florianópolis**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/197492/TCC%20Thiago%20Romeu%20Antunes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 de agosto de 2020.

ARMESTO, Regina Célia Gimenez. **Temas Geológicos para Educação Ambiental: Caderno I – Processos Naturais Modificadores do Relevo Terrestre**. [S.], 2012. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/canal_escola/educacao_ambiental/cadernoI_17_09_2012.pdf. Acesso em: 03 de novembro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016 (Versão Corrigida 2016).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016 (Versão Corrigida 2018).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016 (Versão Corrigida 2017).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16097: Solo - Determinação do teor de umidade - Métodos expeditos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5689: Tirantes ancorados no terreno - Projeto e execução**. Rio de Janeiro, 2018.

AVESANI NETO, J. O.; PORTELINHA, F. H. M. **Aspectos Gerais sobre o Uso de Geossintéticos em Muros e Taludes Reforçados**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Belo Horizonte, 2016.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Danos e Perdas: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro** – Janeiro de 2011. Disponível em: <http://documents1.worldbank.org/curated/pt/260891468222895493/pdf/NonAsciiFileName0.pdf>. Acesso em: 24 de agosto de 2020.

BARBOSA, Tamires Silva. **Geomorfologia Urbana e Mapeamento Geomorfológico do Município de João Pessoa-PB, Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/8148/2/arquivototal.pdf>. Acesso em 05 de dezembro de 2020.

BEZERRA, José Fernando Rodrigues. **Reabilitação de Áreas Degradadas por Erosão em São Luís/MA**. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). *Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 31-60.

BEZERRA, Jéssica Maria de Barros. **Caracterização da Formação Barreiras da Cidade de João Pessoa com Base em Sondagens SPT e Estudo Geotécnico de um Encosta com Alto Risco de Deslizamento**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/31102/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20J%c3%a9ssica%20Maria%20de%20Barros%20Bezerra.pdf>. Acesso em 26 de outubro de 2020.

BOLSACRETO. **BOLSACRETO e Suas Principais Características**, [20--]. Disponível em: <http://www.bolsacreto.com.br/bolsacreto/>. Acesso em: 26 de setembro de 2020.

BOM DIA PARAÍBA. **Parte de barreira desliza na BR-230 em João Pessoa e trecho precisou ser interditado**, 26 de abril de 2016. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/4981637/>. Acesso em: 21 de agosto de 2020.

BOM DIA PARAÍBA. **Barreira desliza e interrompe tráfego de veículos na BR 230, próximo ao Castelo Branco**, 14 de junho de 2019 (a). Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/7692398/>. Acesso em: 21 de agosto de 2020.

BOM DIA PARAÍBA. **Trecho da BR-230, na barreira do Castelo Branco continua interditado**, 17 de junho de 2019 (b). Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/7697909/>. Acesso em: 21 de agosto de 2020.

CLIMATEMPO. **Climatologia: João Pessoa-PB**, c2020. Disponível em: <https://www.climatepo.com.br/climatologia/256/joaopessoa-pb>. Acesso em: 22 de setembro de 2020.

CAETANO, M. C.; ROEDEL, L.; MIKOS, A. P.; FARO, V. P.; SESTREM, L. P. **Drenagem em Obras de Contenção Viária**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Belo Horizonte, 2016.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações, Volume I: Fundamentos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2015.

CARVALHO, Pedro Alexandre Sawaya. **Manual de Geotecnia: Taludes de Rodovias – Orientação para Diagnóstico e Soluções de seus Problemas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. Disponível em:

<http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/manuais/talude.zip>. Acesso em: 29 de agosto de 2020.

CEPED UFSC, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/index.xhtml?jsessionid=Vh9Je-4ki4YOf2bs7l-G02Rn>. Acesso em: 24 de agosto de 2020.

CONHEÇA as principais opções para a contenção de taludes. [s.n], [20-?]. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/jalmeida/estradas/tps/pini%20tipos%20contencao16metodos.pdf/at_download/file. Acesso em: 26 de setembro de 2020.

DNIT. **Manual para Ordenamento do Uso do Solo nas Faixas de Domínio e Lindeiras das Rodovias Federais**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/712_manual_ordenam_uso_solo.pdf. Acesso em: 3 de outubro de 2020.

DNIT. **Norma DNIT 074/2006 – ES: Tratamento Ambiental de Taludes e Encostas por Intermédio de Dispositivos de Controle de Processos Erosivos**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit074_2006_es.pdf. Acesso em: 3 de outubro de 2020.

DONASOLLO, Alan. **Classificação de Perigo de Movimentos de Massa em Rodovias Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process (AHP). Estudo de Caso: Rodovia RS-115, Taquara – Gramado, RS**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Taquara, 2017. Disponível em: https://www.nugeo.ufop.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/dissertacaoalandonassollo-17-08-14.pdf. Acesso em 29 de agosto de 2020.

DIAS, Leonardo Campos. **A Influência dos Estudos Geotécnicos para a Determinação de Soluções de Estruturas de Contenção**. 2016. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: https://www.bdm.unb.br/bitstream/10483/17233/1/2016_LeonardoCamposDias_tcc.pdf. Acesso em 25 de agosto de 2020.

DUTRA, Vinícius Araújo de Souza. **Projeto de Estabilização de Taludes e Estruturas de Contenção Englobando Dimensionamento Geotécnico e Estrutural**. 2013. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9521/1/monopoli10006269.pdf>. Acesso em 25 de agosto de 2020.

ECOUNION. **LogBlock@Contenção: Montagem por Encaixe**, [20--]. Disponível em: <https://www.ecounion.com.br/#>. Acesso em: 29 de setembro de 2020.

FALCÃO, Hanna Barreto de Araújo. **Aplicação de Geossintéticos como Proposta de Solução na Estabilização de Talude em João Pessoa/PB**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2019.1/aplicacao-de-

geossinteticos-como-proposta-de-solucao-na-estabilizacao-de-talude-em-joao-pessoapb.pdf. Acesso em: 13 de agosto de 2020.

G1 PARAÍBA. **Por conta das chuvas na PB, barreira desliza e interdita trecho da BR-230**, 28 de junho de 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2012/06/por-conta-das-chuvas-na-pb-barreira-desliza-e-interdita-trecho-da-br-230.html>. Acesso em: 21 de agosto de 2020.

G1 PARAÍBA. **Barreira desliza e deixa trecho da BR-230 parcialmente interditado na PB, 01 de maio de 2016**. Disponível em: <http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2016/05/barreira-desliza-e-deixa-trecho-da-br-230-parcialmente-interditado-na-pb.html>. Acesso em: 21 de agosto de 2020.

G1 PARAÍBA. **Região Metropolitana de João Pessoa é região onde mais choveu na PB no fim de semana, diz Aesa**, 29 de maio de 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/regiao-metropolitana-de-joao-pessoa-e-regiao-onde-mais-choveu-na-pb-no-fim-de-semana-diz-aesa.ghtml>. Acesso em: 22 de setembro de 2020.

G1 PARAÍBA. **Casas são interditadas e demolidas após deslizamento de barreira em João Pessoa**, 14 de junho de 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2019/06/14/casas-sao-interditadas-e-demolidas-apos-deslizamento-de-barreira-em-joao-pessoa.ghtml>. Acesso em: 21 de agosto de 2020.

G1 PARAÍBA. **Chuvas fortes causam deslizamento de terra em barreira na BR-230, em João Pessoa**, 03 de fevereiro de 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2020/02/03/chuvas-fortes-causam-deslizamento-de-terra-em-barreira-na-br-230-em-joao-pessoa.ghtml>. Acesso em: 21 de agosto de 2020.

GEO5. **Análise de Estabilidade**, [20--]. Disponível em: <http://geo5.com.br/analise-de-estabilidade/>. Acesso em: 27 de setembro de 2020.

GEOSLOPE. **SLOPE/W**. [20--]. Disponível em: <https://www.geoslope.com/products/slope-w>. Acesso em: 14 de outubro de 2020.

GERSCOVICH, Denise M. S. **Estabilidade de Taludes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GUERRA, Antônio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. **Erosão dos Solos e Movimentos de Massa: Recuperação de Áreas Degradadas com Técnicas de Bioengenharia e Prevenção de Acidentes**. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). *Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 7-28.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular, 2008.

JPB2JP. **Barreira cai ao lado da BR 230**, 04 de setembro de 2013. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/2803296/>. Acesso em: 21 de agosto de 2020.

LAMBERTY, D.; MENDONÇA, R. R. **Setorização de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações**. 2019. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19738>. Acesso em: 27 de setembro de 2020.

LEVANTAMENTO do IPT de mortes causadas por deslizamentos é tema de reportagem no UOL e Jornal Nacional. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, [S./], 01 fevereiro 2017.

Disponível em: http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1190. Acesso em: 24 de agosto de 2020.

MACCAFERRI. **Reforço e estabilização de solos**: Necessidades e Soluções. 2017. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/download/brochure-br-reforco-e-estabilizacao-de-solos-pt-feb21/>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.

MAGALHÃES, T. A.; AZEVEDO, C. P. B. **Análise Técnica e Econômica de Estruturas de Contenção de Taludes**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Belo Horizonte, 2016.

MASSAD, Façal. **Obras de Terra**: Curso Básico de Geotecnia. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MATTOS, Kelly Cristina Andrade. **Processos de Instabilização em Taludes Rodoviários em Solos Residuais Arenosos**: Estudo na Rodovia Castello Branco (SP 280), km 305 a 313. 2009. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-23032010-102600/publico/dissertacao.pdf>. Acesso em 31 de agosto de 2020.

MEDEIROS, Vanessa Negreiros de. **Mapeamento das Áreas de Risco da Comunidade Santa Clara – João Pessoa**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. Disponível em: http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2014.2/mapeamento-das-areas-de-risco-da-comunidade-santa-clara-2013-joao-pessoa.pdf. Acesso em: 13 de agosto de 2020.

MOLITERNO, Antônio. **Caderno de Muros de Arrimo**. 2. ed. revista. São Paulo: Editora Blucher, 1994.

MOVIMENTOS de massa. **Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais**, [S.], 08 de junho de 2016. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>. Acesso em: 02 de setembro de 2020.

OLIVEIRA, C. A.; FALCÃO, H. B. A.; SOUZA JUNIOR, J. L.; SILVA, L. F.; SOARES, F. L. **Mapeamento de Risco da Comunidade São Rafael, João Pessoa, Paraíba**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Salvador, 2018.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PRESS, Frank; SIEVER, Raymond; GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas H. **Para Entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RASKOVISCH, Henryk. **Conceitos, Causas, Análise de Estabilidade e Risco com Possíveis Soluções para Obras de Contenção**. 2020. Revista Boletim do Gerenciamento Nº 16. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdoGerenciamento/article/download/419/270/>. Acesso em 25 de agosto de 2020.

REIS, Fábio Augusto Gomes Vieira. **Curso de Geologia Ambiental Via Internet**. 2001. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/index.html>. Acesso em: 04 de setembro de 2020.

RIMOBLOCO. **Sistema Rimobloco**, [20--]. Disponível em: <http://www.rimobloco.com.br/sistema-rimobloco/>. Acesso em: 26 de setembro de 2020.

ROCSCIENCE. **Slide2**. c2020. Disponível em: <https://www.rocsience.com/software/slide2>. Acesso em: 14 de outubro de 2020.

SANTANA, Rafael Galvão. **Análise de Soluções de Engenharia para Estabilização de Encostas Ocupadas na Região Metropolitana do Recife-PE. Estudo de Caso: Ruptura Ocorrida em Encosta com Ocupação Desordenada na UR 2, Ibura**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5555/1/arquivo6174_1.pdf. Acesso em: 25 de agosto de 2020.

SILVA, João Paulo Moreira. **Os Métodos do Equilíbrio Limite e dos Elementos Finitos na Análise de Estabilidade de Taludes**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/62106/1/000149997.pdf>. Acesso em: 29 de setembro de 2020.

SILVA, Larissa Ferreira. **Análise de Curva de Correlação entre Pluviosidade e Movimentos de Massa nas Encostas de João Pessoa (PB)**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2017.2/analise-de-curva-de-correlacao-entre-pluviosidade-e-movimentos-de-massa-nas-encostas-de-joao-pessoa-pb.pdf>. Acesso em: 23 de setembro de 2020.

SOARES, F. L.; RAMOS FILHO, G. M. **Correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade nas Encostas de João Pessoa/PB**. Revista Geotecnia, Rio de Janeiro, n. 133, p. 51-62, 2015. Disponível em: <https://spgeotecnia.pt/uploads/jgeot201513304.pdf>. Acesso em: 23 de setembro de 2020.

SOARES, F. L.; MORAIS, G. S.; DIAS, S. P. **Mapeamento de Área em Risco de Deslizamento e Análise de Estabilidade de Talude na Cidade de João Pessoa-PB**. XII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Florianópolis, 2017.

SOLOTRAT. **Manual de Serviços Geotécnicos Solotrat**. 6. ed. 2018. Disponível em: <http://www.solotrat.com.br/assets/pdf/manual-completo.pdf>. Acesso em: 02 de setembro de 2020.

TAVARES, N. N.; HENRIQUES, G. F.; SOARES, F. L.; SILVA, B. F. **Correlação entre o Grau de Saturação e a Instabilidade de um Talude**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Salvador, 2018.

TEIXEIRA, Wilson; TOLEDO, Maria Cristina Motta; FAIRCHILD, Thomas Rich; TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

YONAMINE, Leonardo Colombarolli. **Análises de Propostas de Estruturas de CONTENÇÃO Utilizando Diferentes Softwares**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/202867/TCC%20-%20Leonardo%20Yonamine_Higashi.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 25 de agosto de 2020.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Resultados da análise granulométrica da amostra 1

AMOSTRA 1					
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL					
Material Retido				% passa	
Peneira (mm)	Massa (g)	% Am. Total	% Am. Acum.	Amostra Parcial	Amostra Total
38,1	0,00	0,00	0,00	-	100,00
25,4	32,64	1,63	1,63	-	98,37
19,1	29,82	1,49	3,13	-	96,87
9,5	168,66	8,44	11,56	-	88,44
4,8	181,27	9,07	20,63	-	79,37
2,0	199,50	9,98	30,62	-	69,38
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL					
1,2	15,07	15,09	15,09	84,91	58,92
0,6	20,78	20,80	35,89	64,11	44,49
0,42	16,10	16,12	52,00	48,00	33,30
0,3	8,32	8,33	60,33	39,67	27,52
0,15	15,90	15,92	76,25	23,75	16,48
0,074	9,68	9,69	85,94	14,06	9,76
SEDIMENTAÇÃO					
0,073	-	-	-	-	2,66
0,052	-	-	-	-	1,60
0,037	-	-	-	-	1,06
0,026	-	-	-	-	0,53
0,018	-	-	-	-	0,53
0,013	-	-	-	-	0,53
0,009	-	-	-	-	0,53
0,007	-	-	-	-	0,53
0,005	-	-	-	-	0,53
0,003	-	-	-	-	0,53
0,001	-	-	-	-	0,53

APÊNDICE B – Resultados da análise granulométrica da amostra 2a

AMOSTRA 2a					
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL					
Material Retido				% passa	
Peneira (mm)	Massa (g)	% Am. Total	% Am. Acum.	Amostra Parcial	Amostra Total
38,1	0,00	0,00	0,00	-	100,00
25,4	0,00	0,00	0,00	-	100,00
19,1	0,00	0,00	0,00	-	100,00
9,5	16,14	0,81	0,81	-	99,19
4,8	36,72	1,84	2,65	-	97,35
2,0	76,12	3,81	6,46	-	93,54
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL					
1,2	6,04	6,05	6,05	93,95	87,88
0,6	16,90	16,93	22,98	77,02	72,05
0,42	14,54	14,56	37,54	62,46	58,43
0,3	11,34	11,36	48,90	51,10	47,80
0,15	23,08	23,12	72,02	27,98	26,18
0,074	8,93	8,94	80,96	19,04	17,81
SEDIMENTAÇÃO					
0,075	-	-	-	-	5,90
0,053	-	-	-	-	3,93
0,037	-	-	-	-	1,97
0,026	-	-	-	-	0,98
0,019	-	-	-	-	0,98
0,014	-	-	-	-	0,98
0,010	-	-	-	-	0,98
0,007	-	-	-	-	0,98
0,005	-	-	-	-	0,98
0,003	-	-	-	-	0,98
0,001	-	-	-	-	0,98

APÊNDICE C – Resultados da análise granulométrica da amostra 2b

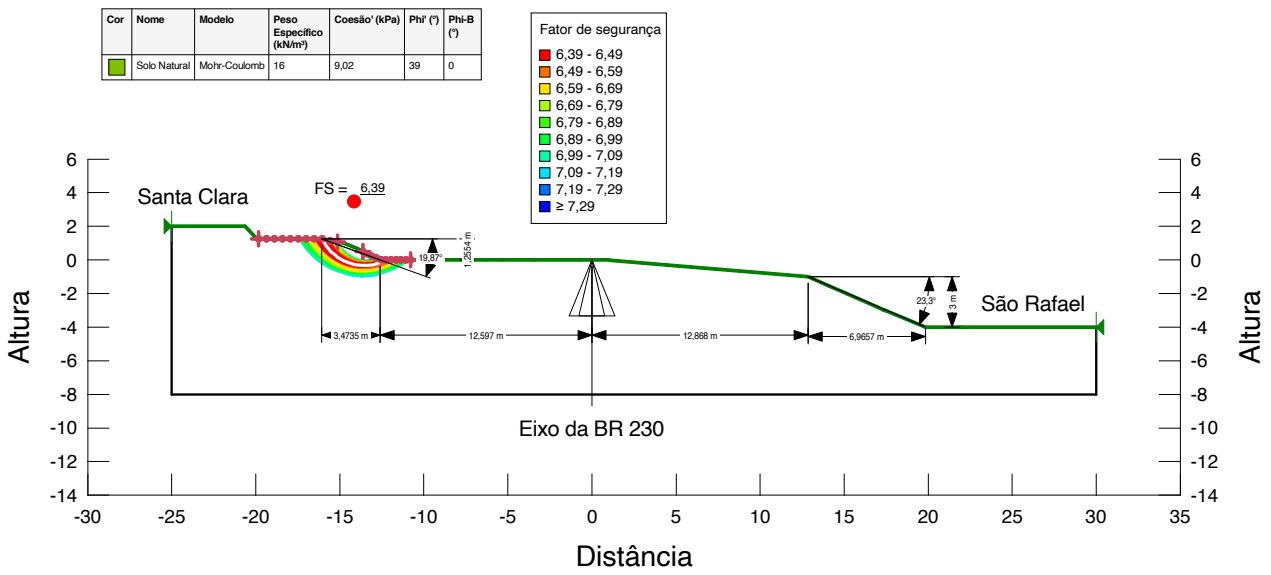
AMOSTRA 2b					
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL					
Material Retido				% passa	
Peneira (mm)	Massa (g)	% Am. Total	% Am. Acum.	Amostra Parcial	Amostra Total
38,1	0,00	0,00	0,00	-	100,00
25,4	0,00	0,00	0,00	-	100,00
19,1	0,00	0,00	0,00	-	100,00
9,5	6,11	0,51	0,51	-	99,49
4,8	29,60	2,47	2,98	-	97,02
2,0	43,58	3,64	6,61	-	93,39
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL					
1,2	3,68	3,68	3,68	96,32	89,94
0,6	17,01	17,03	20,71	79,29	74,04
0,42	13,91	13,93	34,64	65,36	61,04
0,3	10,97	10,98	45,62	54,38	50,78
0,15	22,93	22,96	68,58	31,42	29,34
0,074	11,25	11,26	79,85	20,15	18,82
SEDIMENTAÇÃO					
0,074	-	-	-	-	7,23
0,052	-	-	-	-	4,13
0,037	-	-	-	-	3,10
0,026	-	-	-	-	2,07
0,018	-	-	-	-	2,07
0,014	-	-	-	-	1,03
0,010	-	-	-	-	1,03
0,007	-	-	-	-	1,03
0,005	-	-	-	-	1,03
0,003	-	-	-	-	1,03
0,001	-	-	-	-	1,03

APÊNDICE D – Resultados da análise granulométrica da amostra 2c

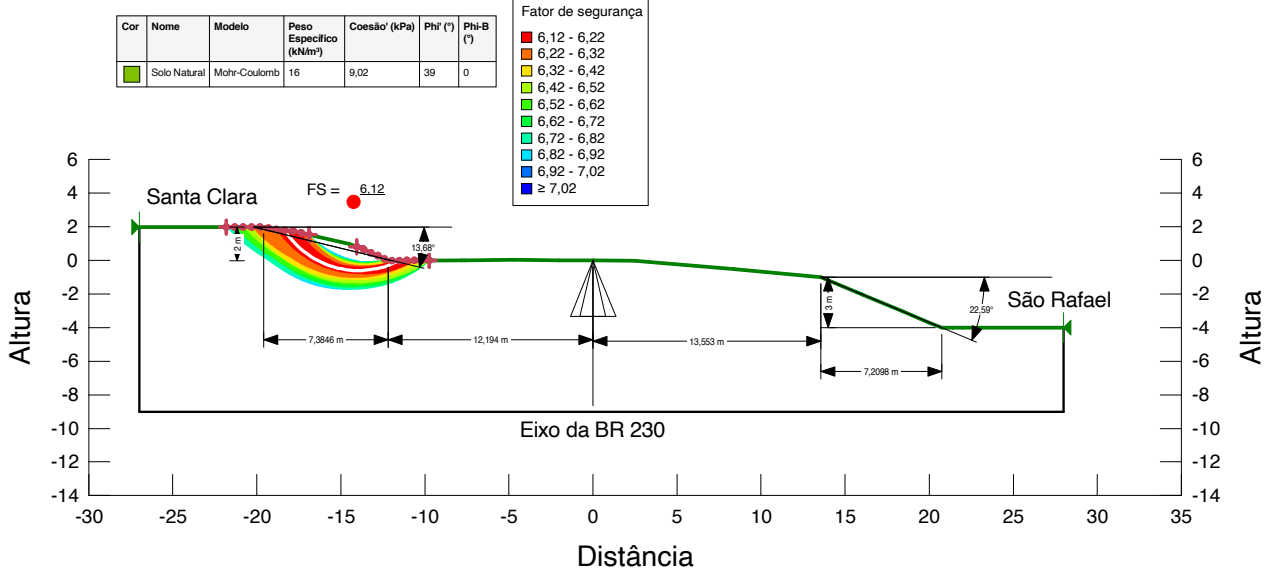
AMOSTRA 2c					
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL					
Material Retido				% passa	
Peneira (mm)	Massa (g)	% Am. Total	% Am. Acum.	Amostra Parcial	Amostra Total
38,1	0,00	0,00	0,00	-	100,00
25,4	27,41	2,29	2,29	-	97,71
19,1	0,00	0,00	2,29	-	97,71
9,5	35,42	2,96	5,25	-	94,75
4,8	44,73	3,74	8,99	-	91,01
2,0	60,69	5,07	14,06	-	85,94
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL					
1,2	3,55	3,56	3,56	96,44	82,88
0,6	16,84	16,89	20,45	79,55	68,37
0,42	12,62	12,66	33,11	66,89	57,49
0,3	9,36	9,39	42,50	57,50	49,42
0,15	21,13	21,19	63,69	36,31	31,21
0,074	13,40	13,44	77,13	22,87	19,65
SEDIMENTAÇÃO					
0,074	-	-	-	-	8,63
0,052	-	-	-	-	6,47
0,037	-	-	-	-	4,31
0,026	-	-	-	-	3,24
0,019	-	-	-	-	2,16
0,014	-	-	-	-	2,16
0,010	-	-	-	-	1,08
0,007	-	-	-	-	1,08
0,005	-	-	-	-	1,08
0,003	-	-	-	-	1,08
0,001	-	-	-	-	1,08

APÊNDICE E – Resultados da análise de estabilidade das seções do talude da Comunidade
Santa Clara

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

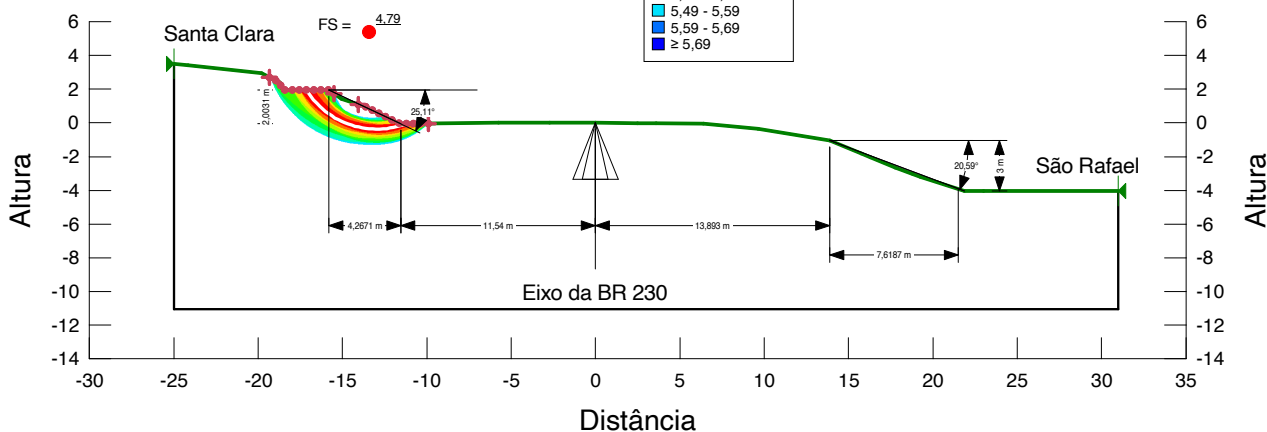


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança

■	4,79 - 4,89
■	4,89 - 4,99
■	4,99 - 5,09
■	5,09 - 5,19
■	5,19 - 5,29
■	5,29 - 5,39
■	5,39 - 5,49
■	5,49 - 5,59
■	5,59 - 5,69
■	≥ 5,69



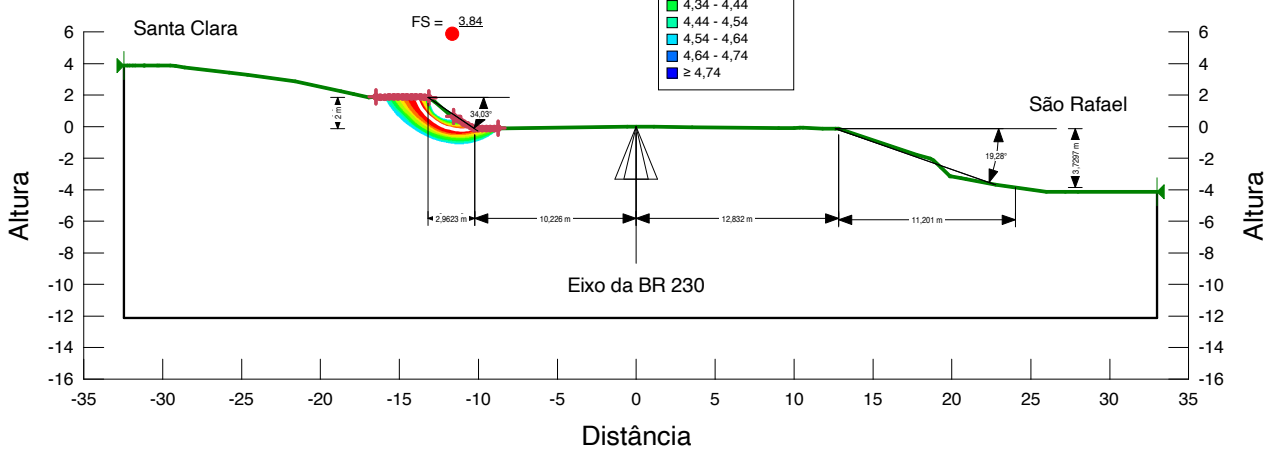
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 947 (km 18,940) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

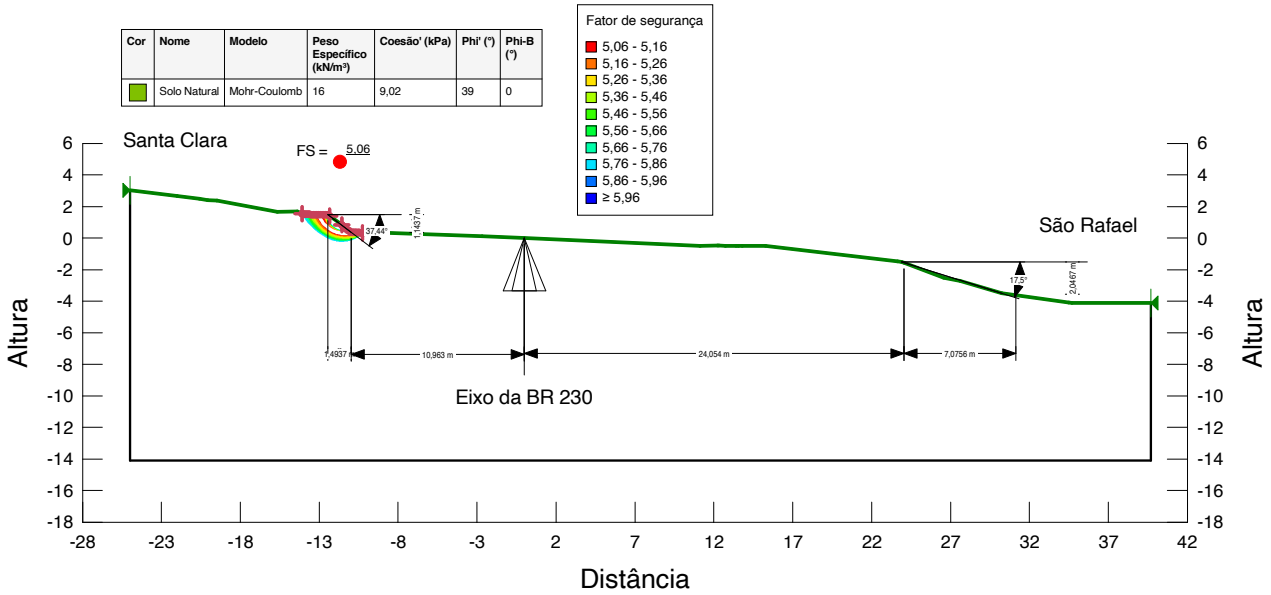
Fator de segurança

■	3,84 - 3,94
■	3,94 - 4,04
■	4,04 - 4,14
■	4,14 - 4,24
■	4,24 - 4,34
■	4,34 - 4,44
■	4,44 - 4,54
■	4,54 - 4,64
■	4,64 - 4,74
■	≥ 4,74



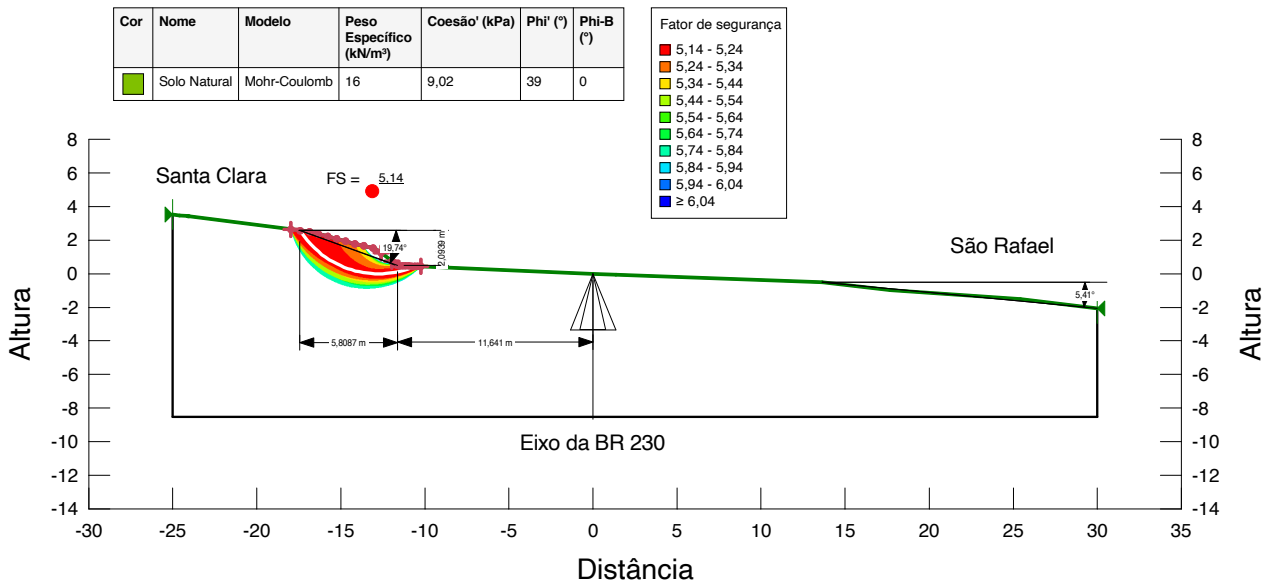
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 948 (km 18,960) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



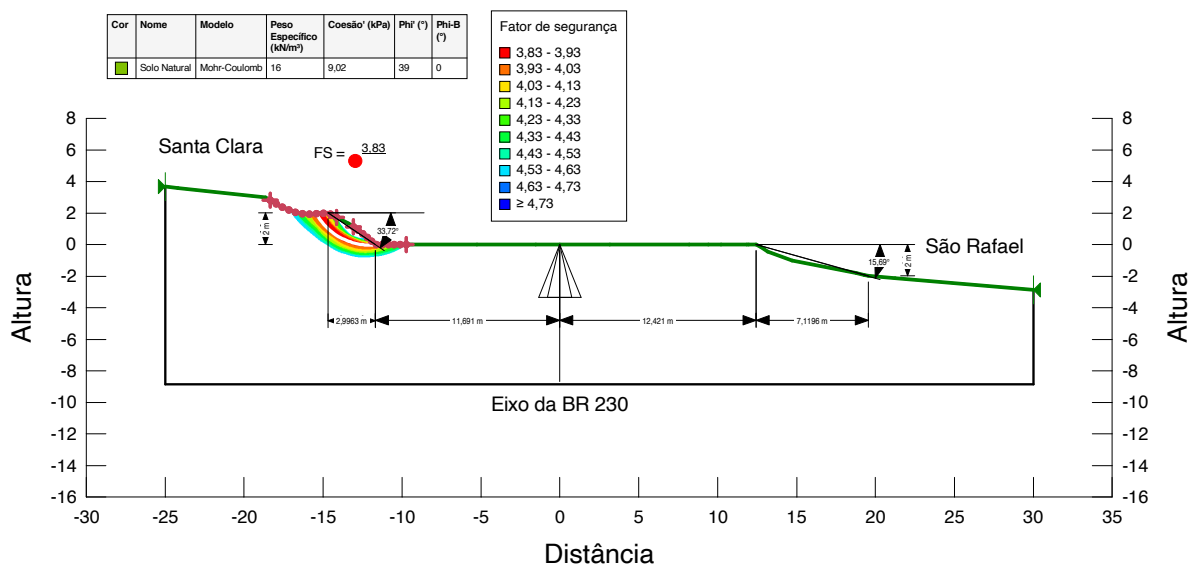
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 949 (km 18,980) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

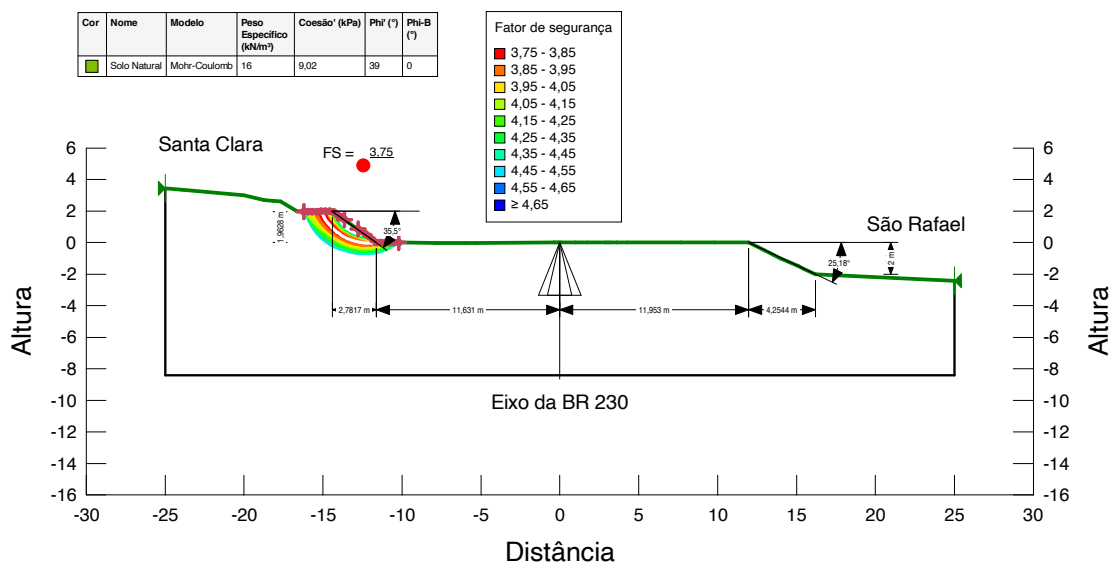


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 950 (km 19,000) da BR-230/PB.

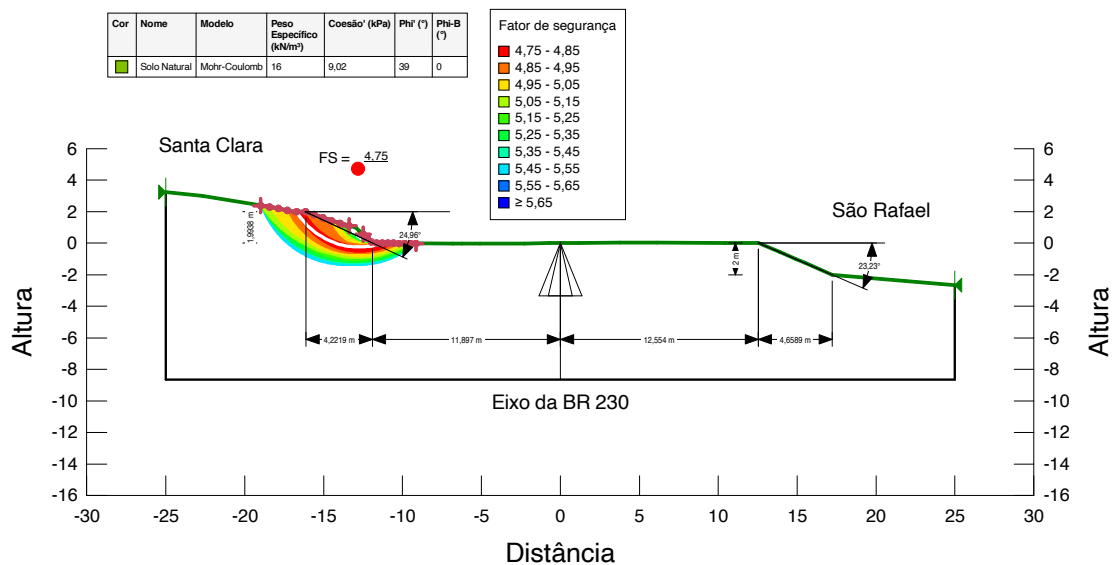
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



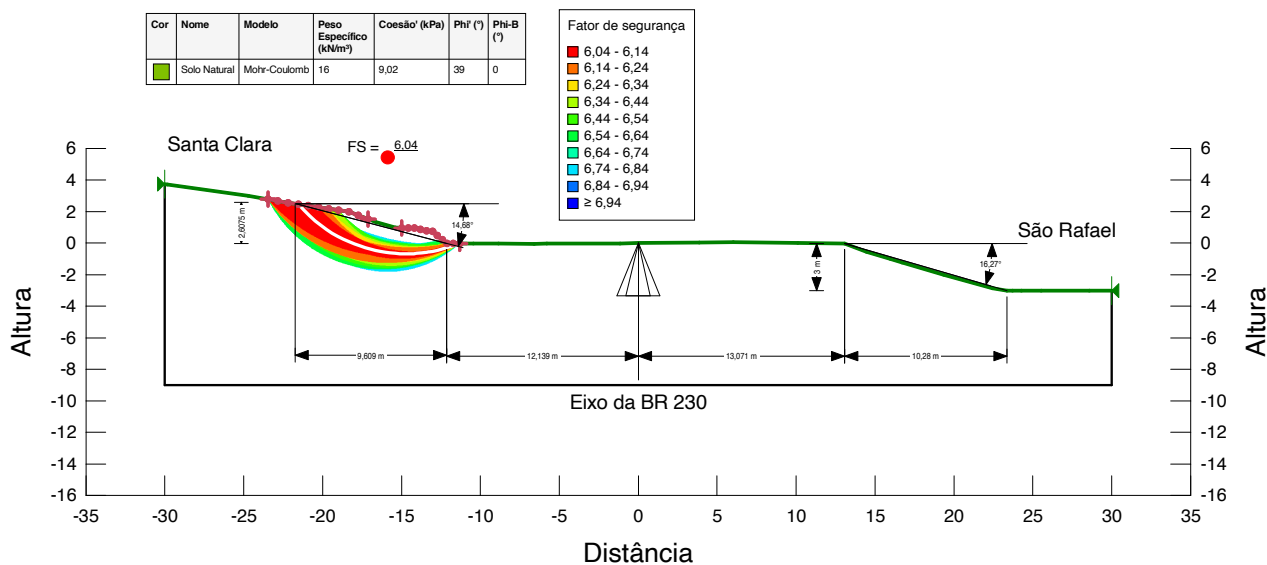
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



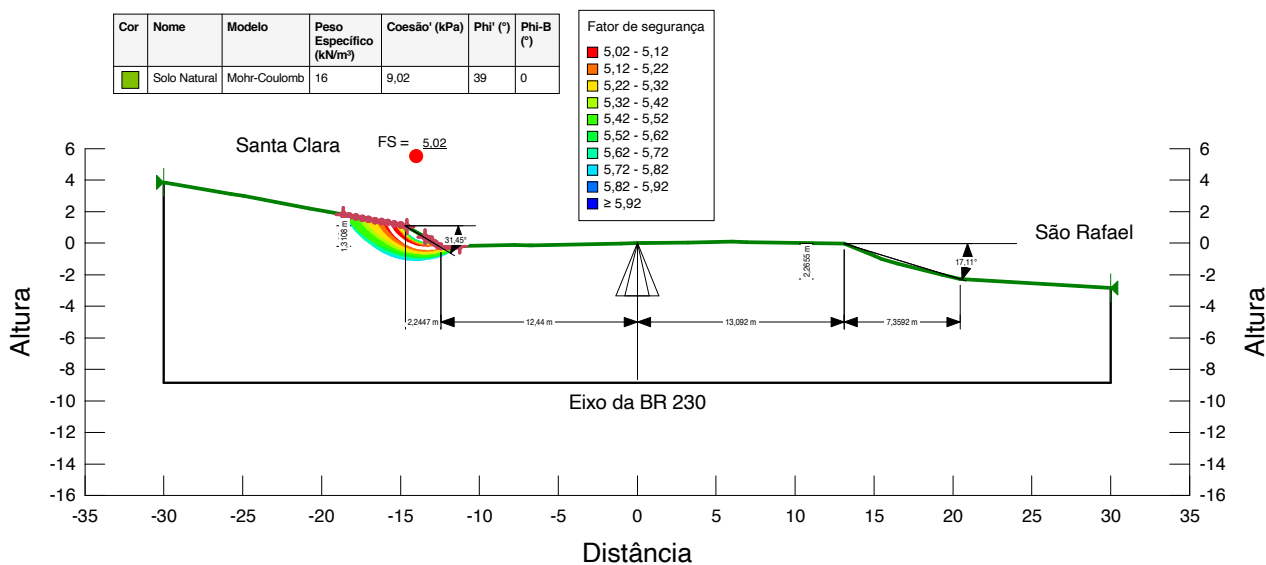
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



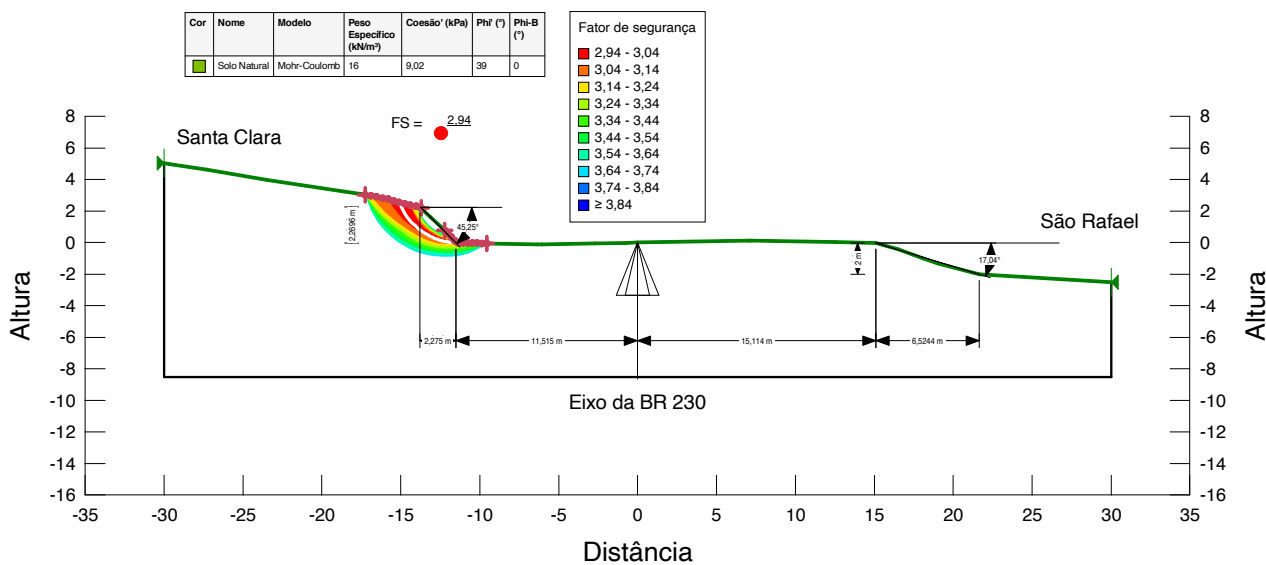
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



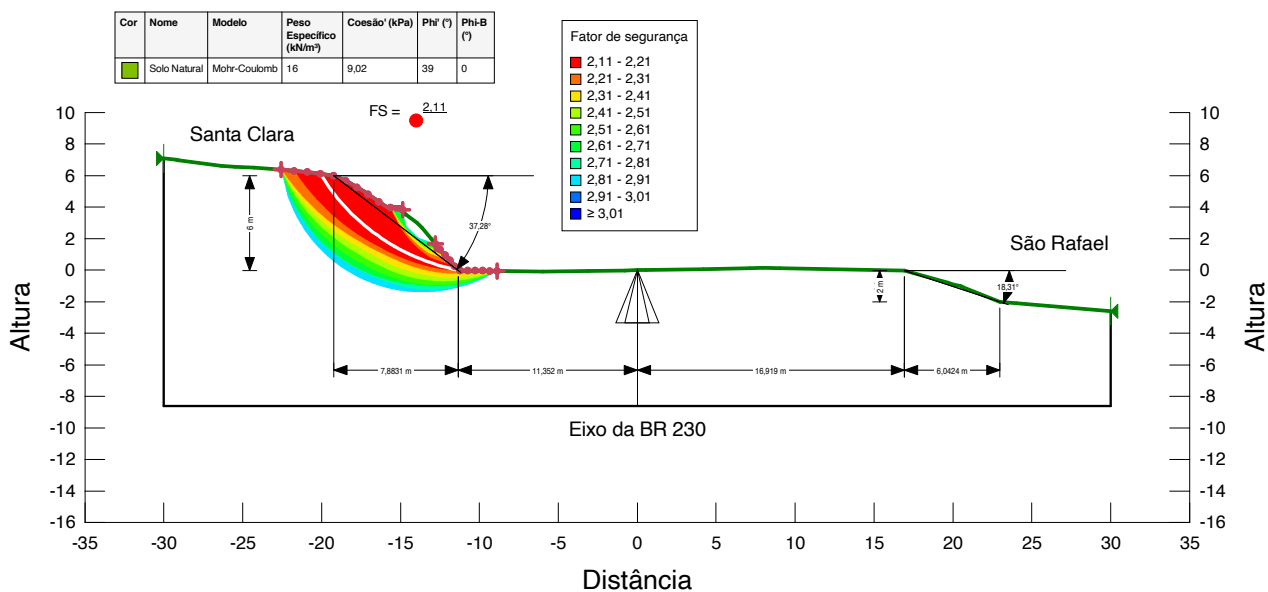
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



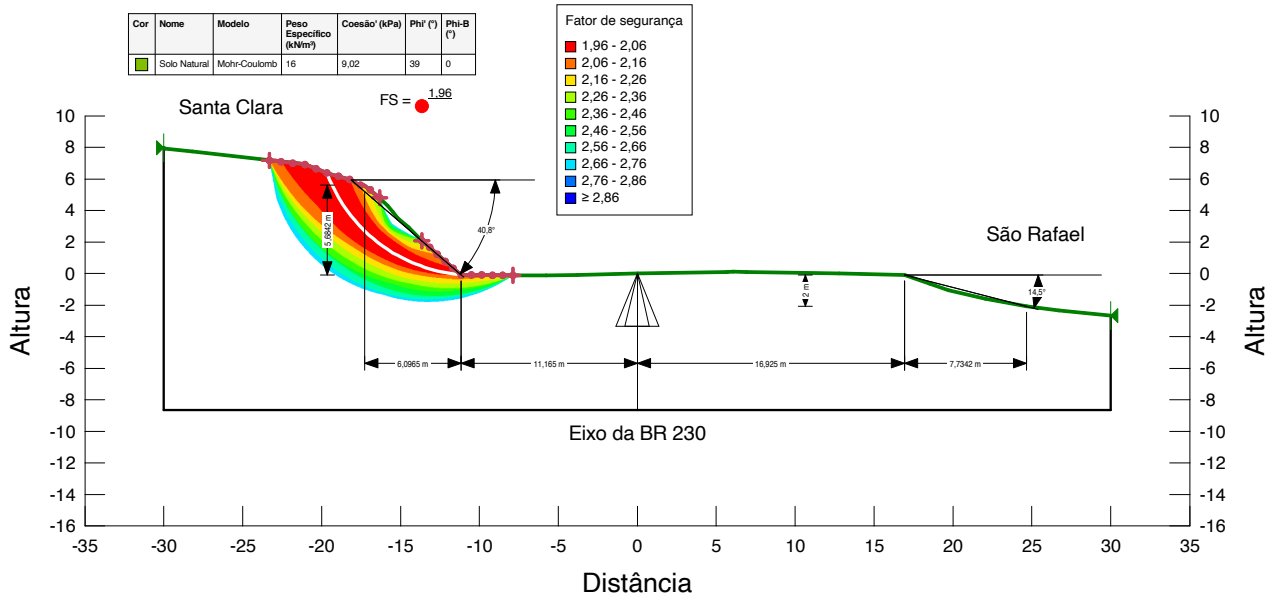
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

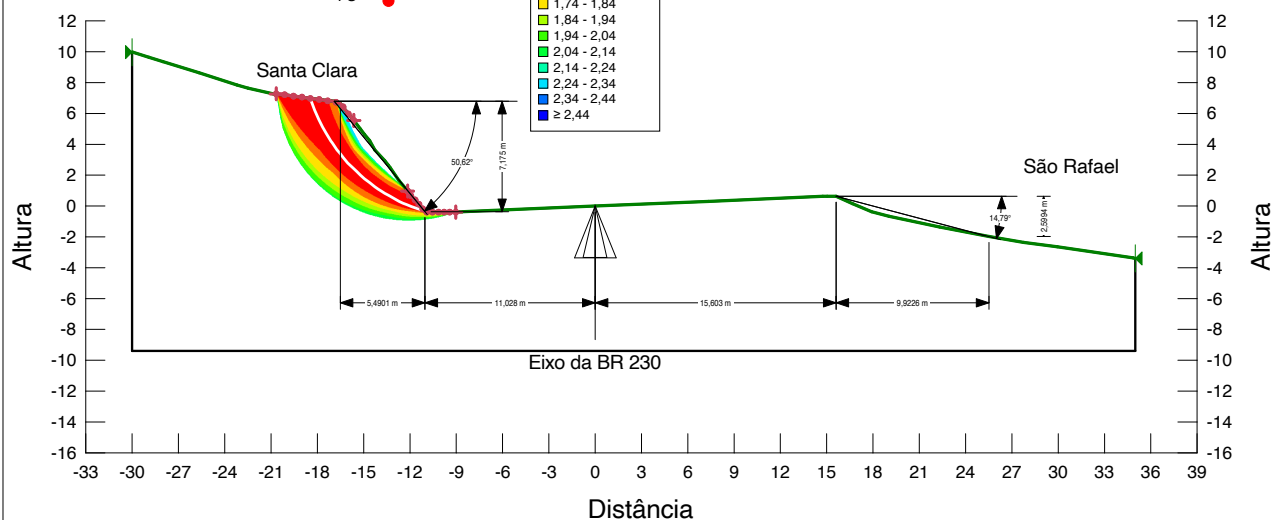


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

FS = 1,54

Fator de segurança
■ 1,54 - 1,64
■ 1,64 - 1,74
■ 1,74 - 1,84
■ 1,84 - 1,94
■ 1,94 - 2,04
■ 2,04 - 2,14
■ 2,14 - 2,24
■ 2,24 - 2,34
■ 2,34 - 2,44
■ ≥ 2,44



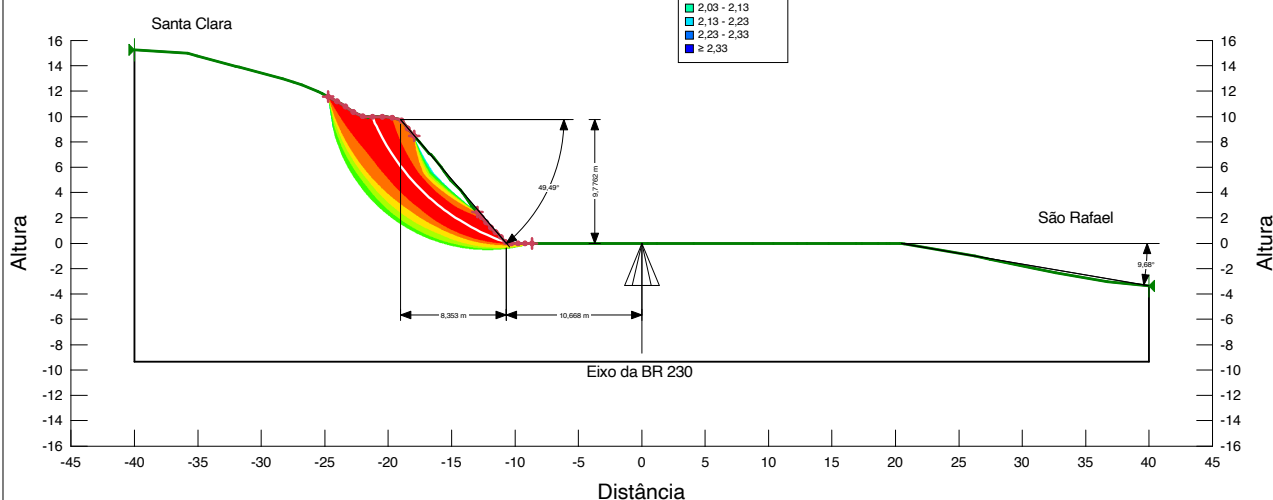
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 959 (km 19,180) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

FS = 1,43

Fator de segurança
■ 1,43 - 1,53
■ 1,53 - 1,63
■ 1,63 - 1,73
■ 1,73 - 1,83
■ 1,83 - 1,93
■ 1,93 - 2,03
■ 2,03 - 2,13
■ 2,13 - 2,23
■ 2,23 - 2,33
■ ≥ 2,33

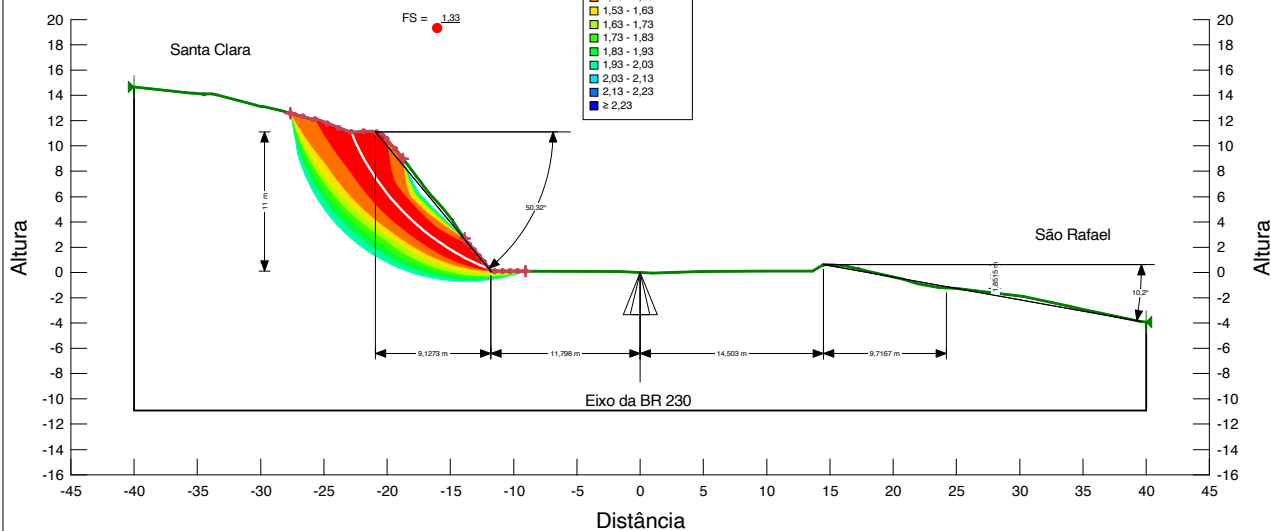


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 960 (km 19,200) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança	
■	1,33 - 1,43
■	1,43 - 1,53
■	1,53 - 1,63
■	1,63 - 1,73
■	1,73 - 1,83
■	1,83 - 1,93
■	1,93 - 2,03
■	2,03 - 2,13
■	2,13 - 2,23
■	≥ 2,23

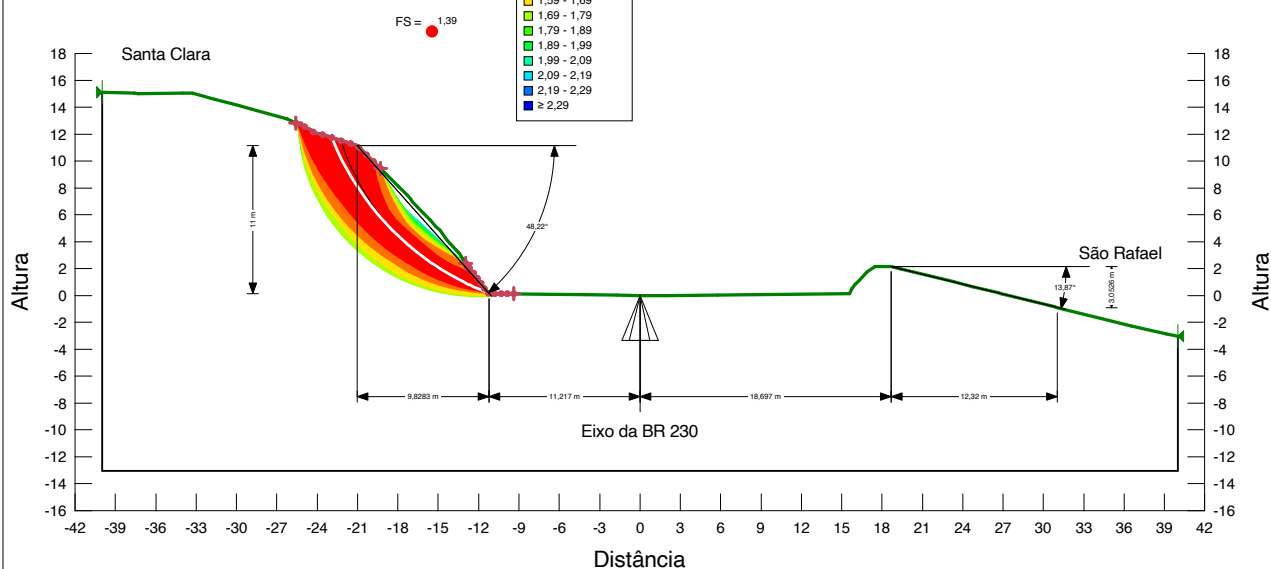


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 961 (km 19,220) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

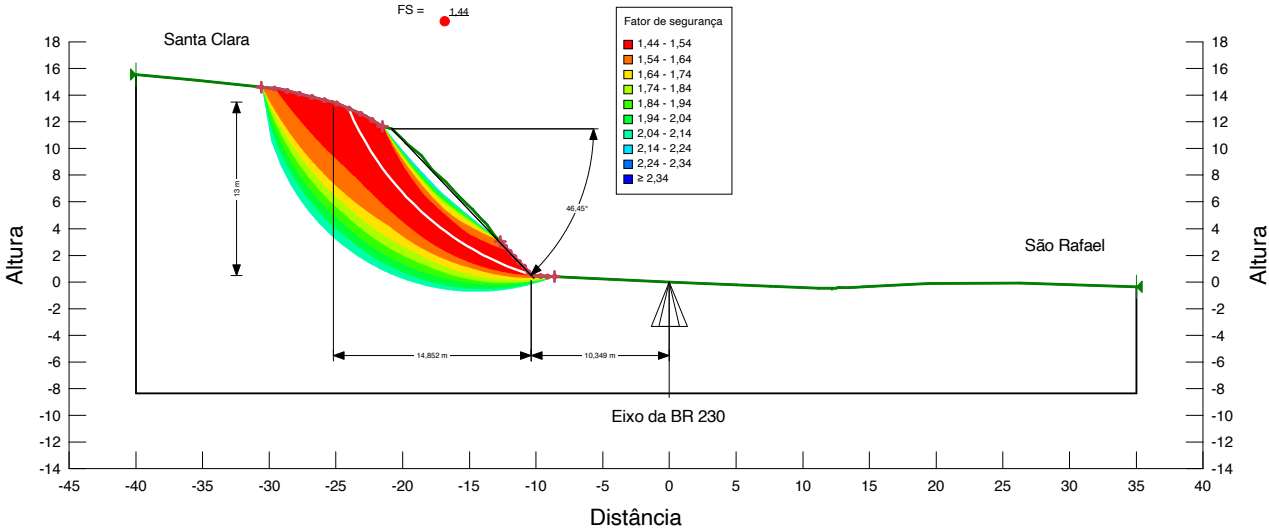
Fator de segurança	
■	1,39 - 1,49
■	1,49 - 1,59
■	1,59 - 1,69
■	1,69 - 1,79
■	1,79 - 1,89
■	1,89 - 1,99
■	1,99 - 2,09
■	2,09 - 2,19
■	2,19 - 2,29
■	≥ 2,29



SEÇÃO ANALISADA: Estaca 962 (km 19,240) da BR-230/PB.

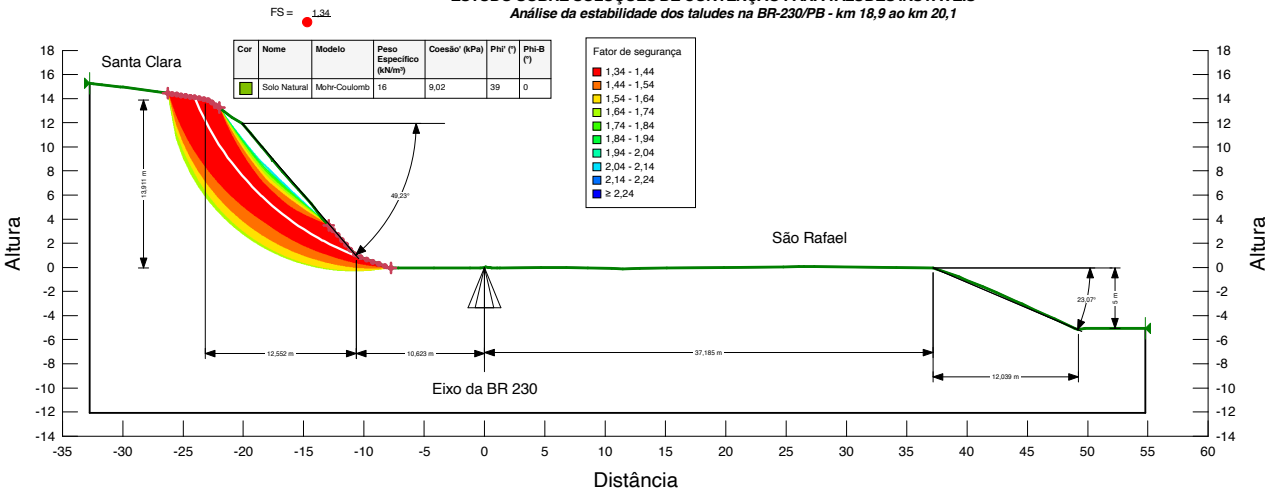
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

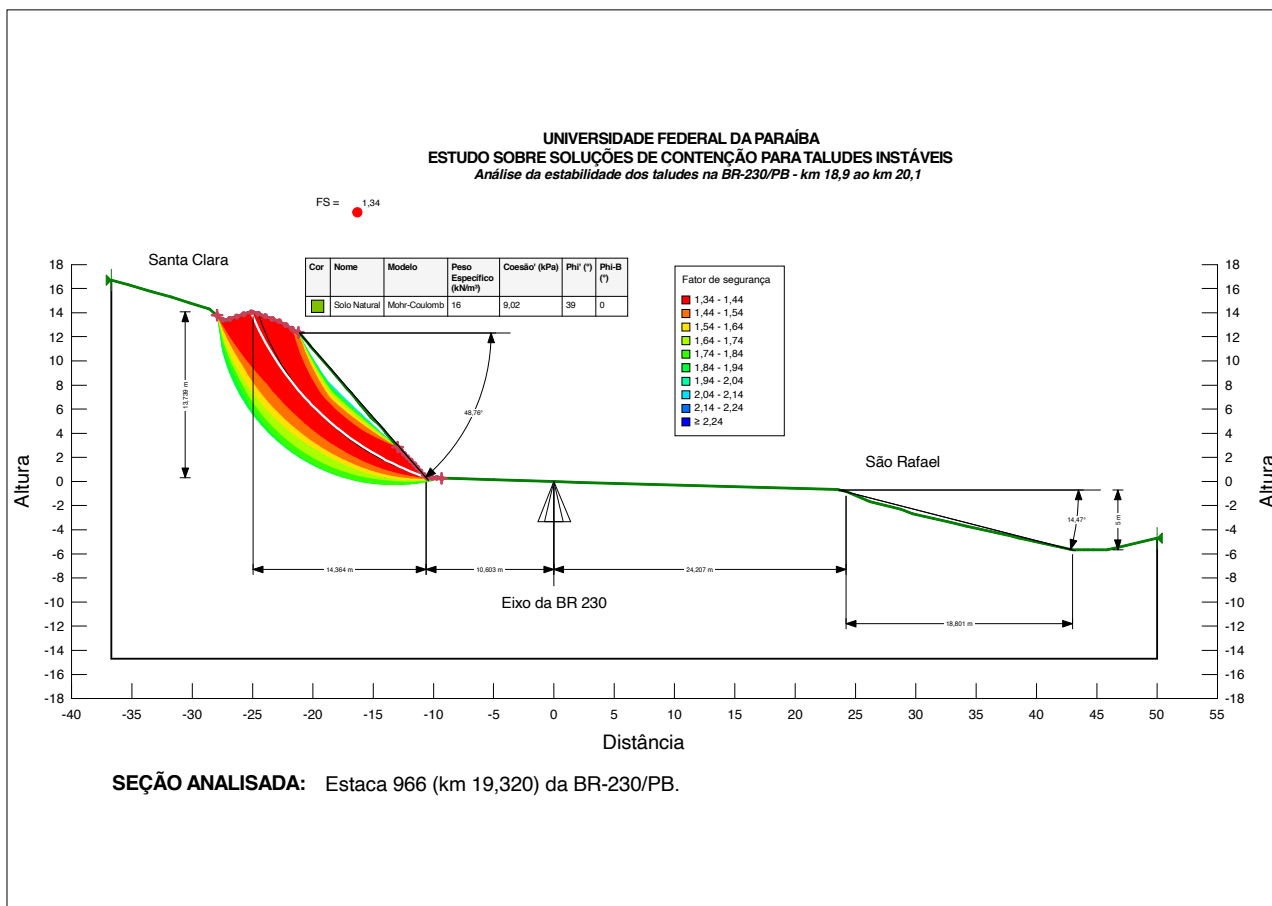
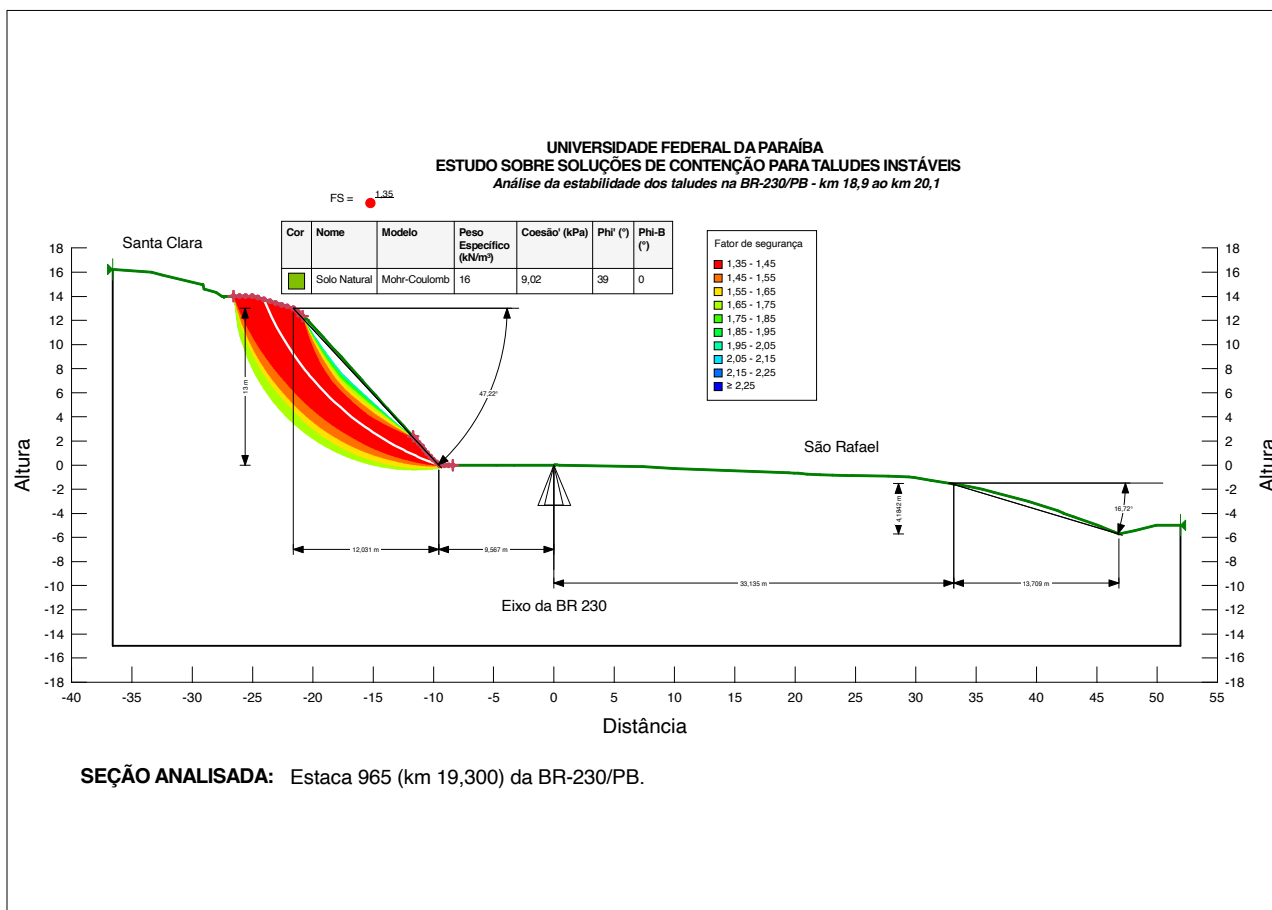


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 963 (km 19,260) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



SEÇÃO ANALISADA: Estaca 964 (km 19,280) da BR-230/PB.

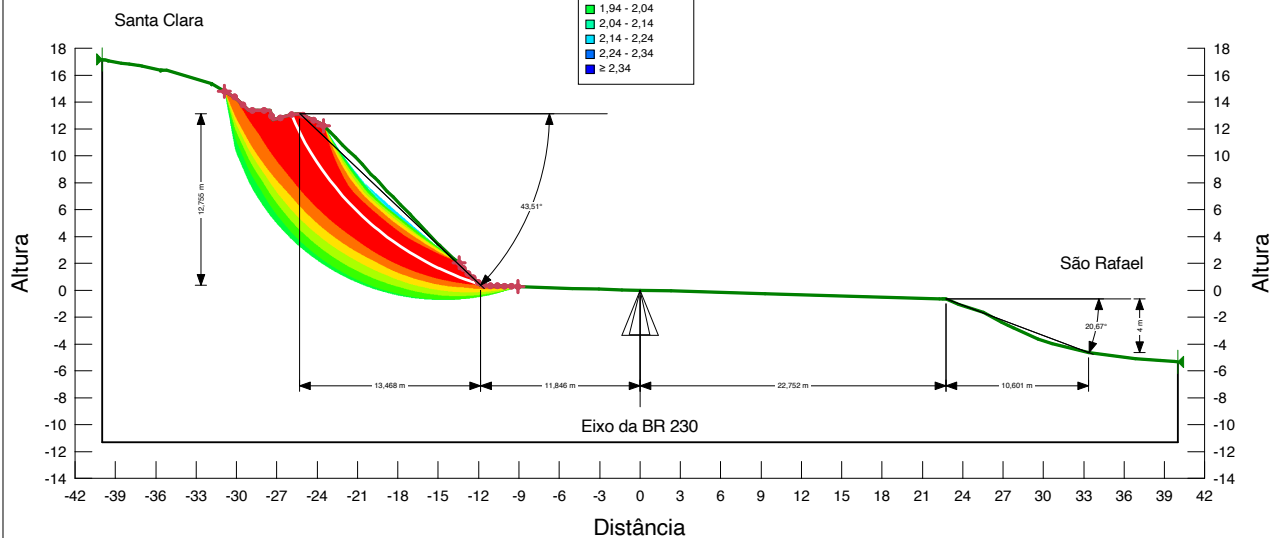


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

FS = 1.44

Fator de segurança
1,44 - 1,54
1,54 - 1,64
1,64 - 1,74
1,74 - 1,84
1,84 - 1,94
1,94 - 2,04
2,04 - 2,14
2,14 - 2,24
2,24 - 2,34
≥ 2,34



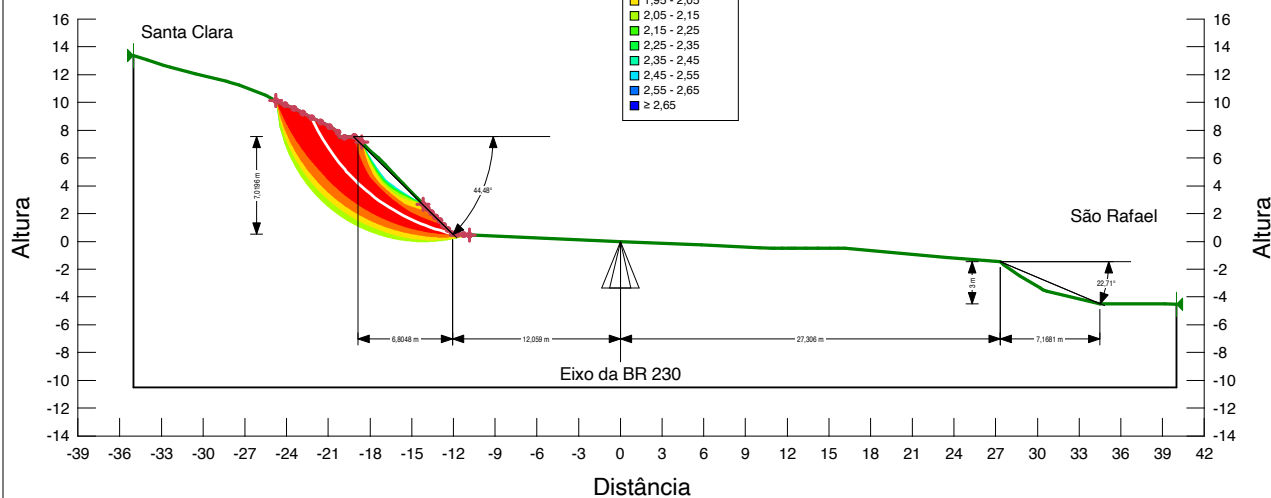
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 967 (km 19,340) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

FS = 1.75

Fator de segurança
1,75 - 1,85
1,85 - 1,95
1,95 - 2,05
2,05 - 2,15
2,15 - 2,25
2,25 - 2,35
2,35 - 2,45
2,45 - 2,55
2,55 - 2,65
≥ 2,65



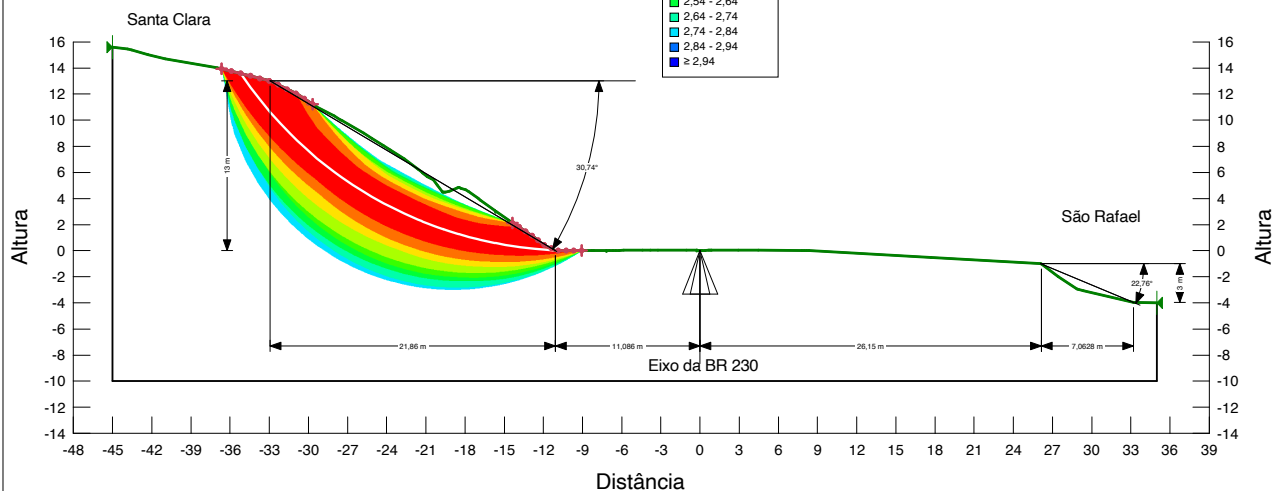
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 968 (km 19,360) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

FS = 2,04

Fator de segurança
2,04 - 2,14
2,14 - 2,24
2,24 - 2,34
2,34 - 2,44
2,44 - 2,54
2,54 - 2,64
2,64 - 2,74
2,74 - 2,84
2,84 - 2,94
≥ 2,94



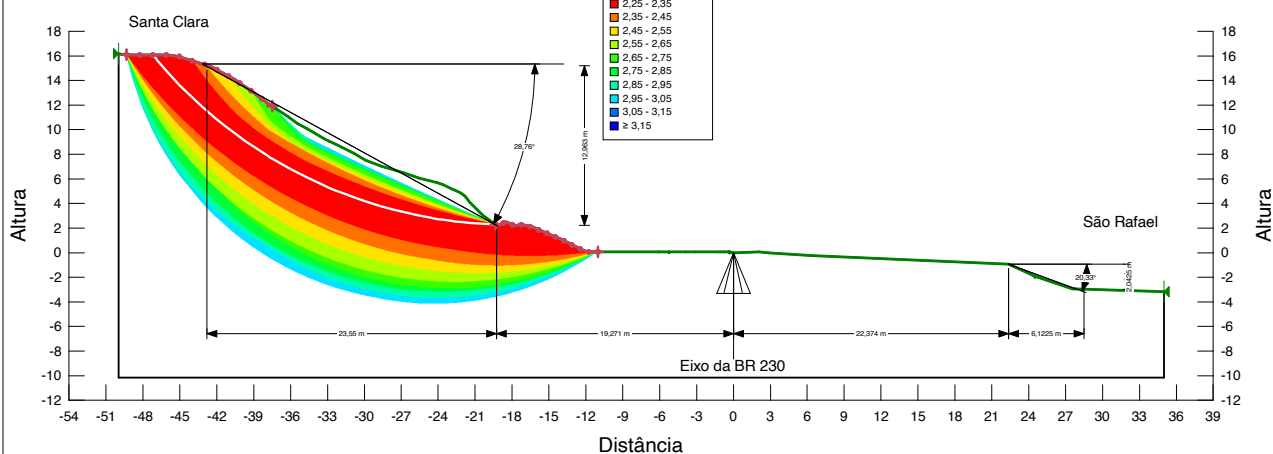
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 969 (km 19,380) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

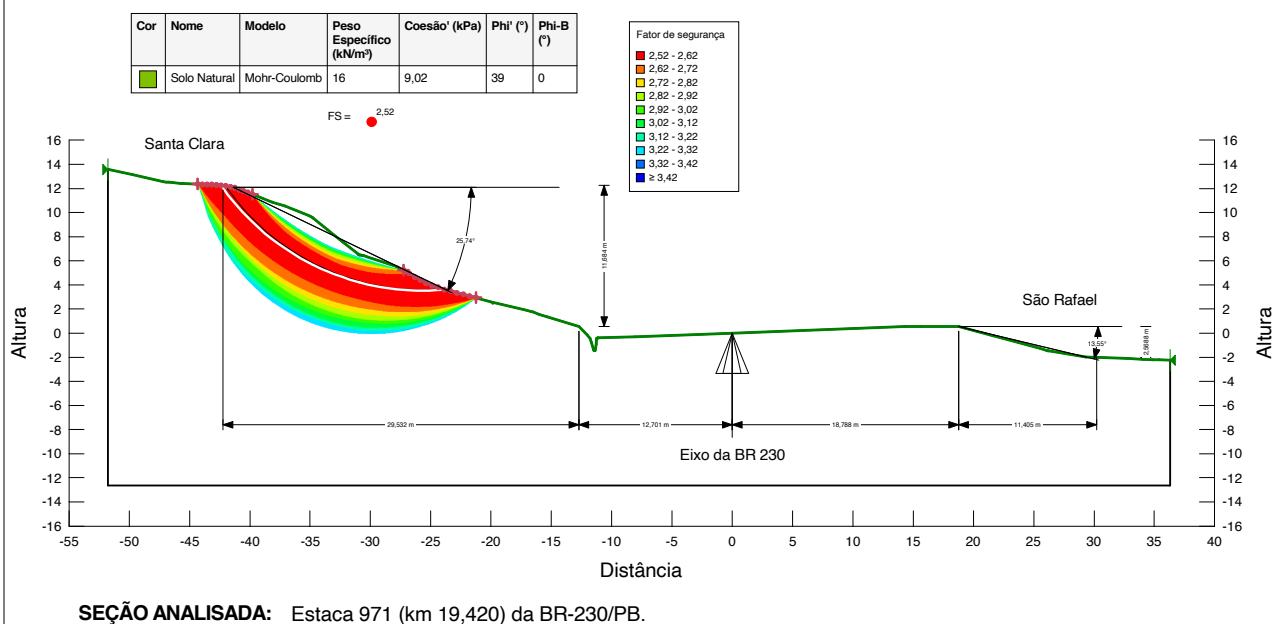
FS = 2,25

Fator de segurança
2,25 - 2,35
2,35 - 2,45
2,45 - 2,55
2,55 - 2,65
2,65 - 2,75
2,75 - 2,85
2,85 - 2,95
2,95 - 3,05
3,05 - 3,15
≥ 3,15

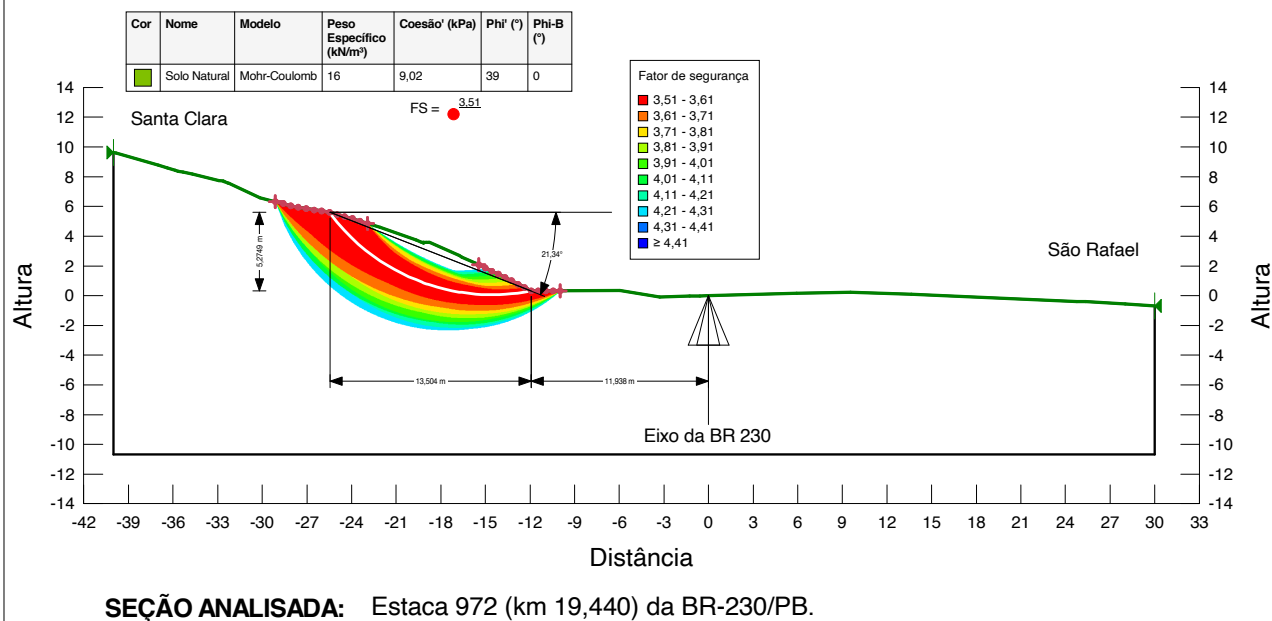


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 970 (km 19,400) da BR-230/PB.

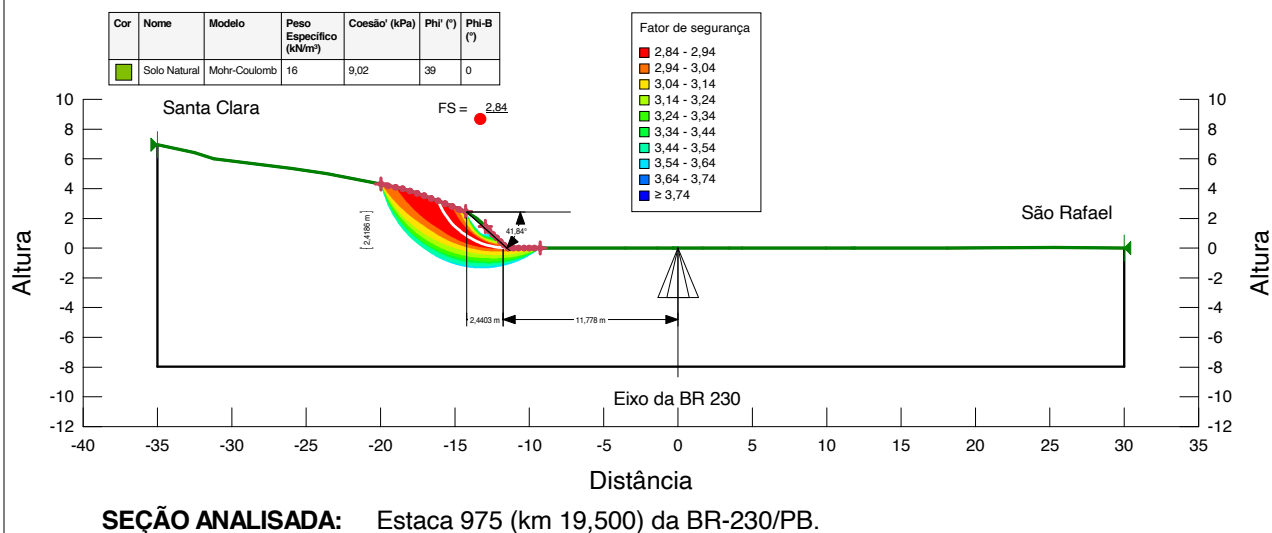
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



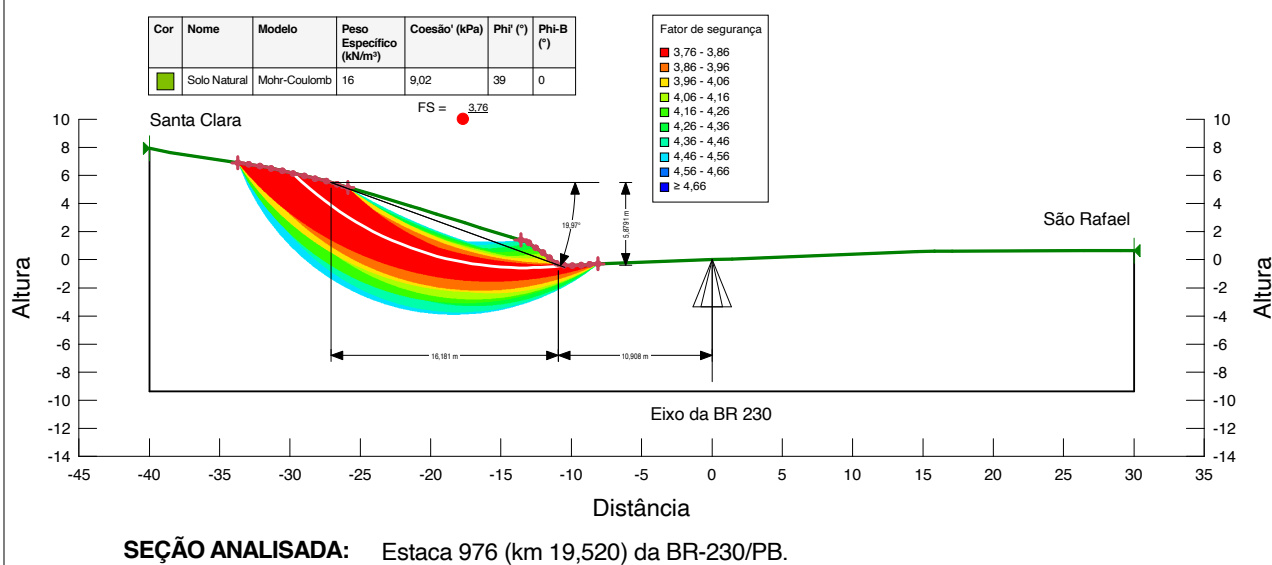
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



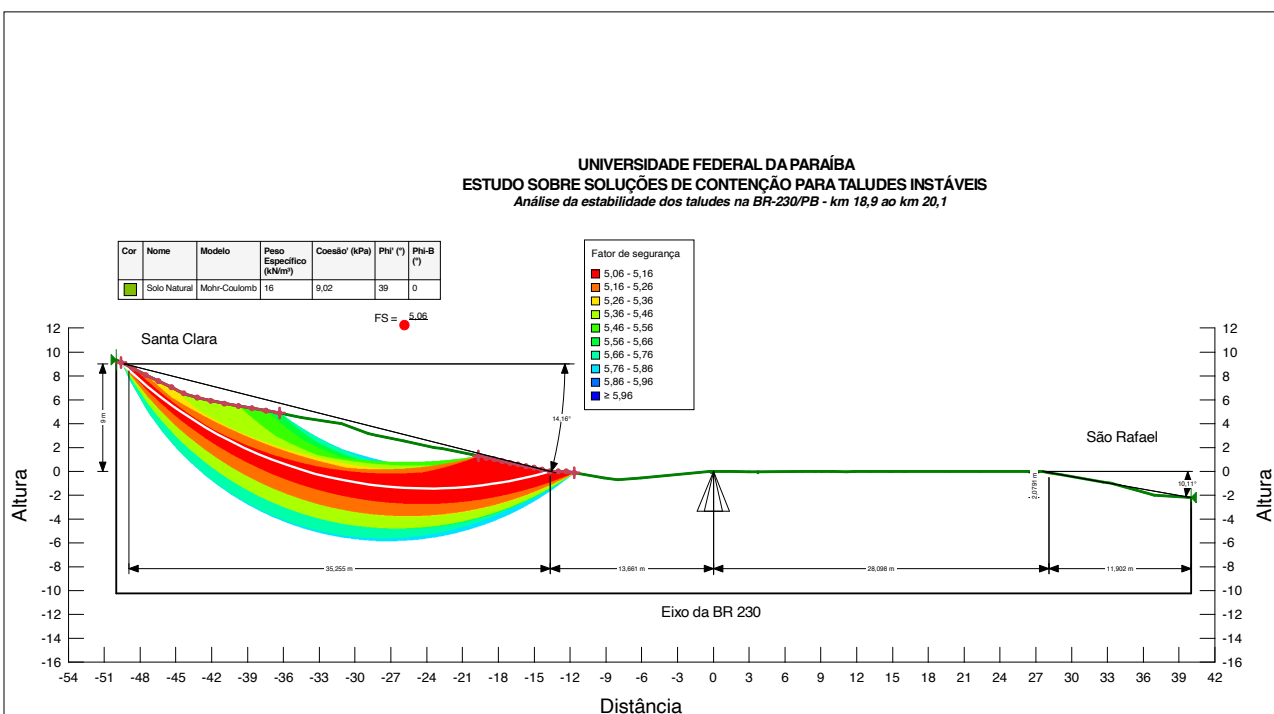
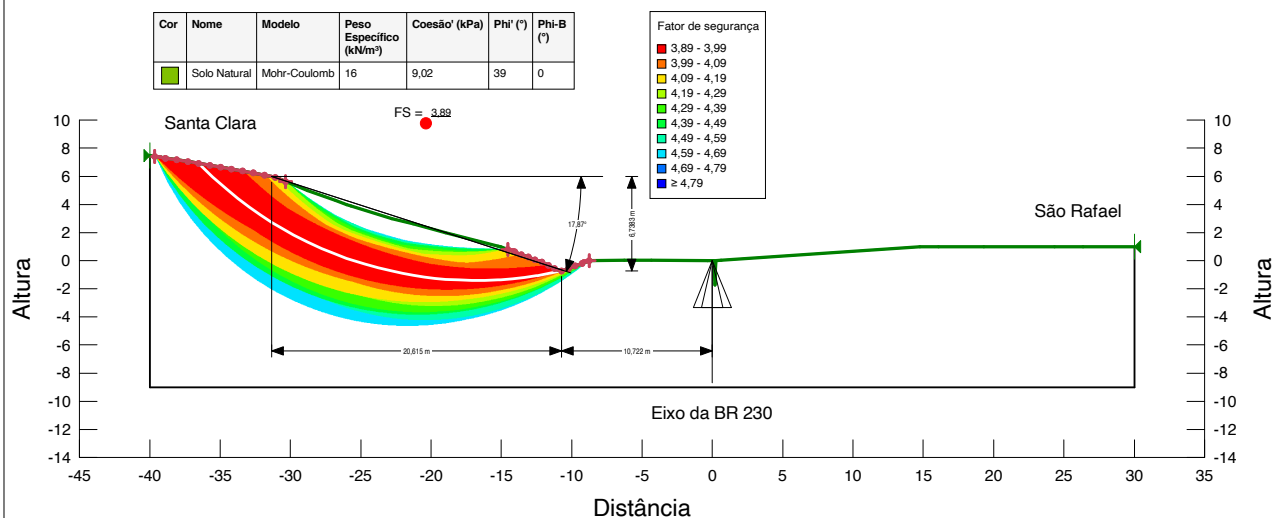
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

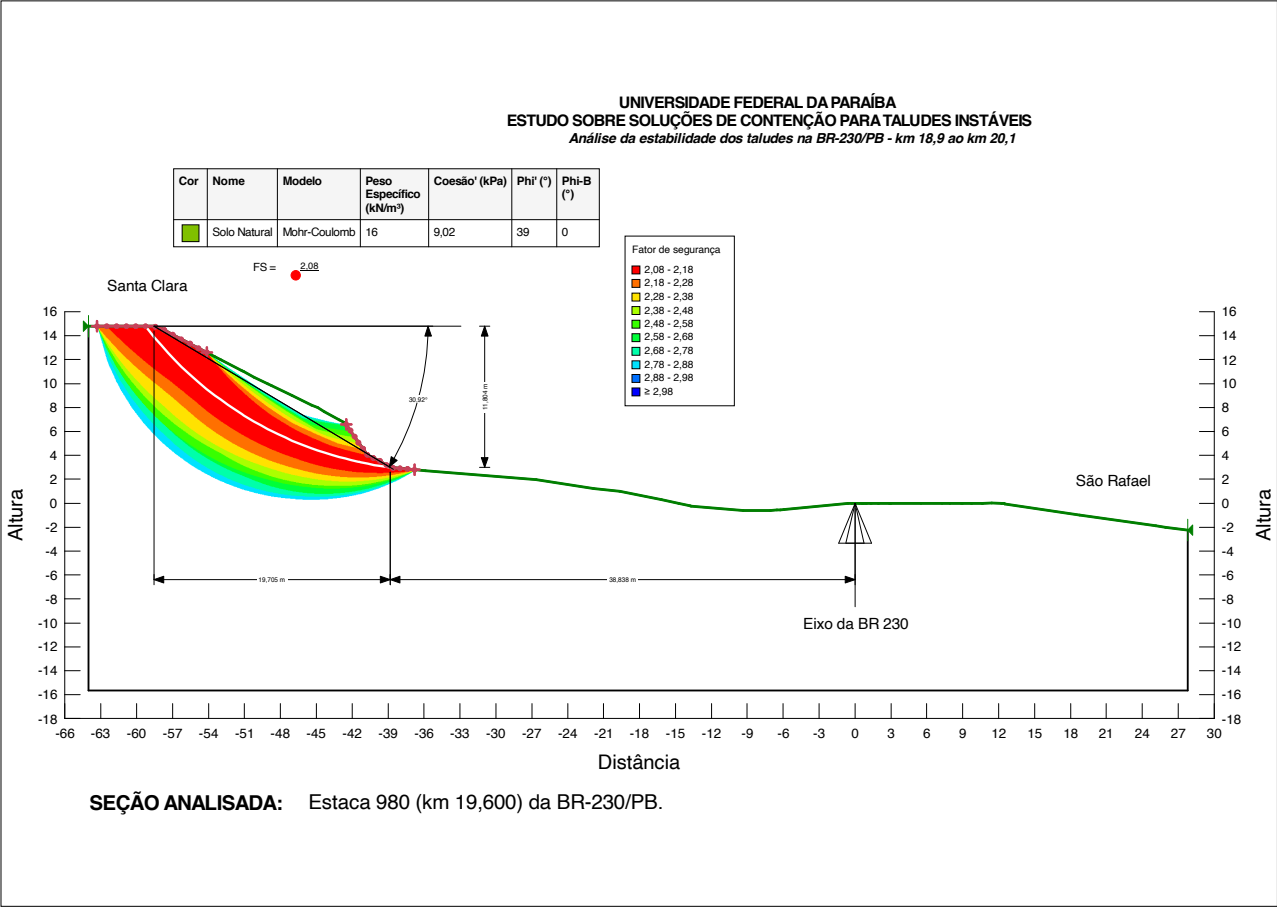
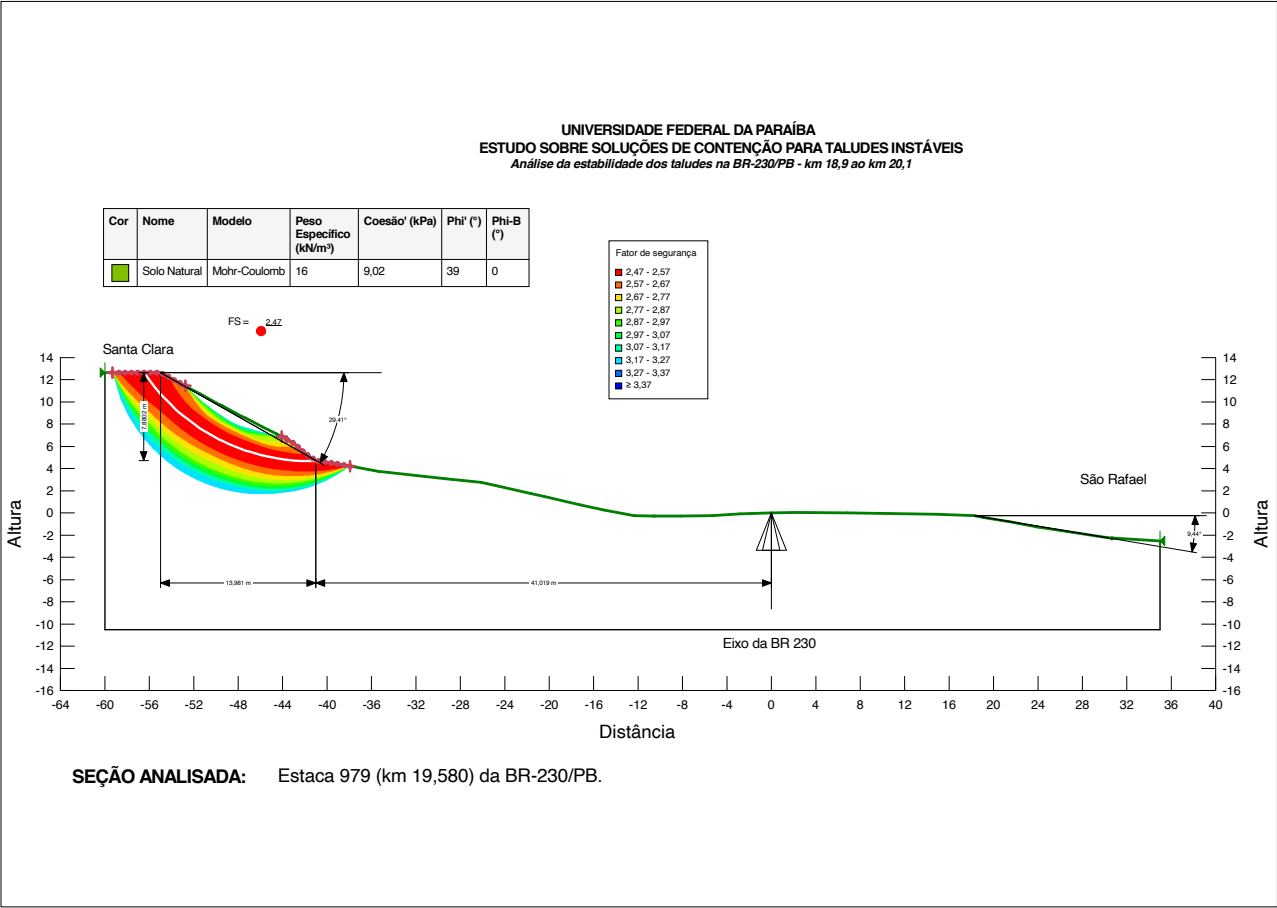


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

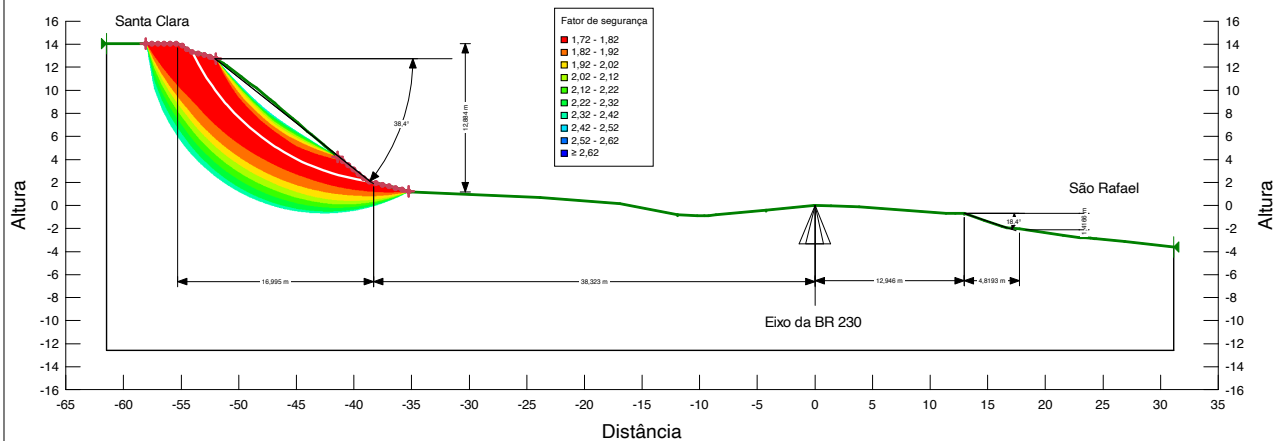




UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

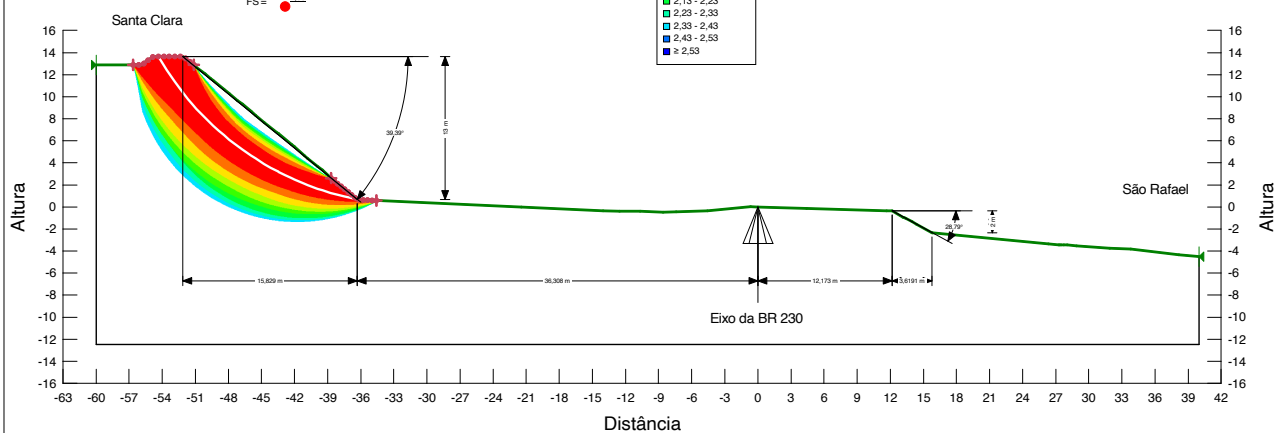
FS = 1,72



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

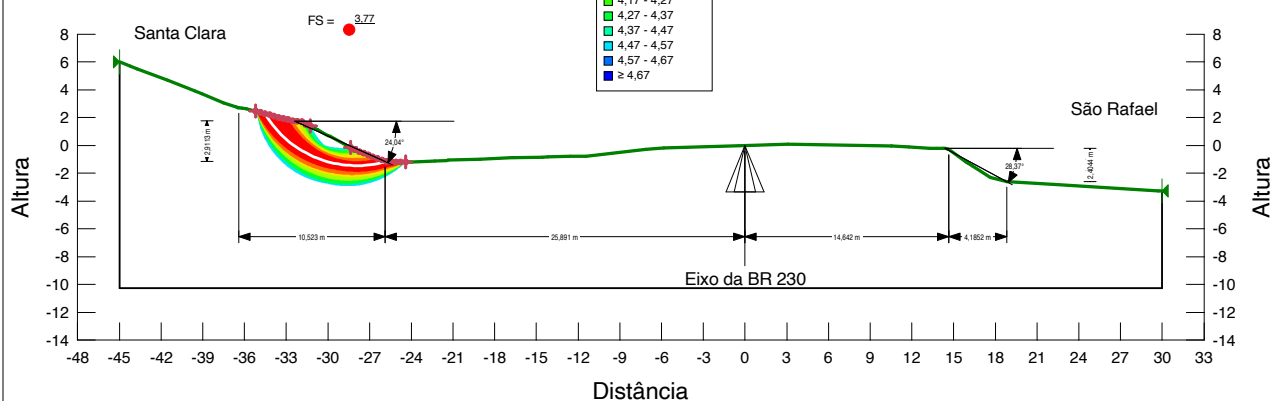
FS = 1,83



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança
■ 3,77 - 3,87
■ 3,87 - 3,97
■ 3,97 - 4,07
■ 4,07 - 4,17
■ 4,17 - 4,27
■ 4,27 - 4,37
■ 4,37 - 4,47
■ 4,47 - 4,57
■ 4,57 - 4,67
■ ≥ 4,67

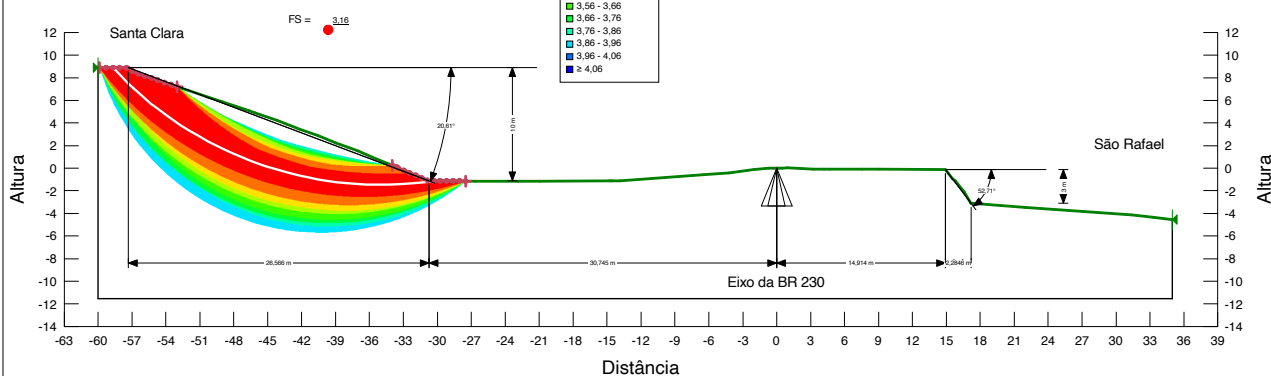


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 985 (km 19,700) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança
■ 3,16 - 3,26
■ 3,26 - 3,36
■ 3,36 - 3,46
■ 3,46 - 3,56
■ 3,56 - 3,66
■ 3,66 - 3,76
■ 3,76 - 3,86
■ 3,86 - 3,96
■ 3,96 - 4,06
■ ≥ 4,06

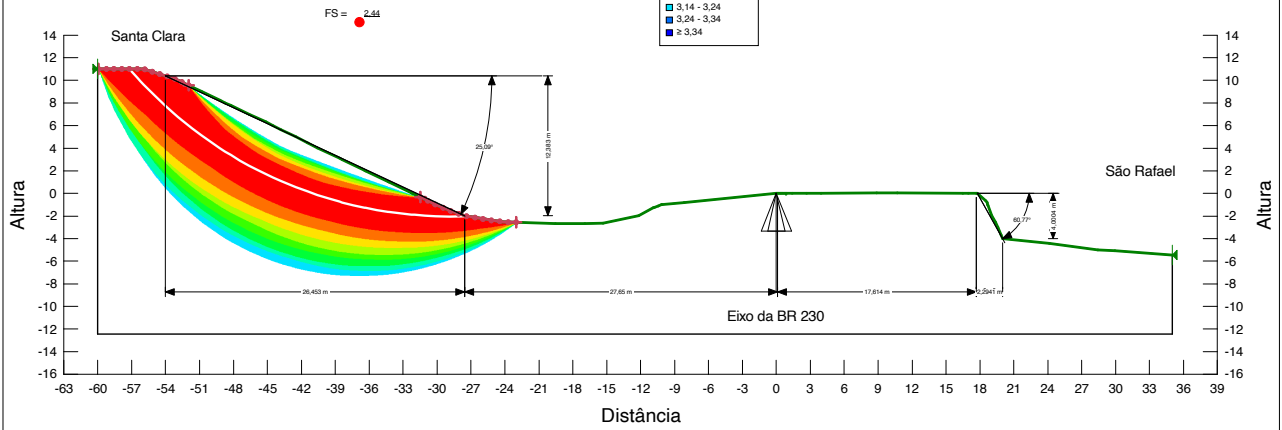


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 986 (km 19,720) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança
2,44 - 2,54
2,54 - 2,64
2,64 - 2,74
2,74 - 2,84
2,84 - 2,94
2,94 - 3,04
3,04 - 3,14
3,14 - 3,24
3,24 - 3,34
≥ 3,34

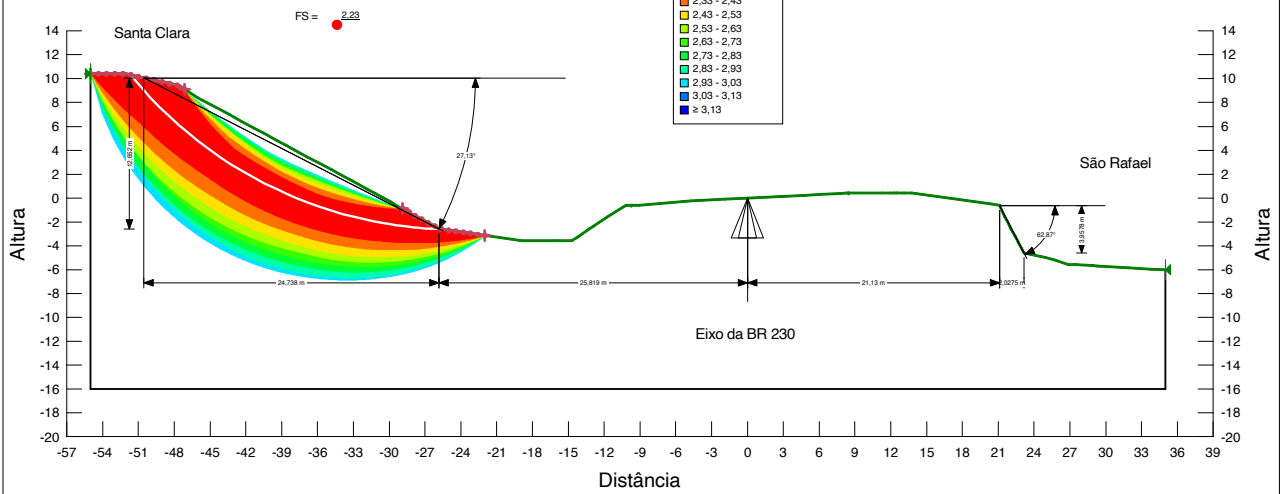


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 987 (km 19,740) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança
2,23 - 2,33
2,33 - 2,43
2,43 - 2,53
2,53 - 2,63
2,63 - 2,73
2,73 - 2,83
2,83 - 2,93
2,93 - 3,03
3,03 - 3,13
≥ 3,13



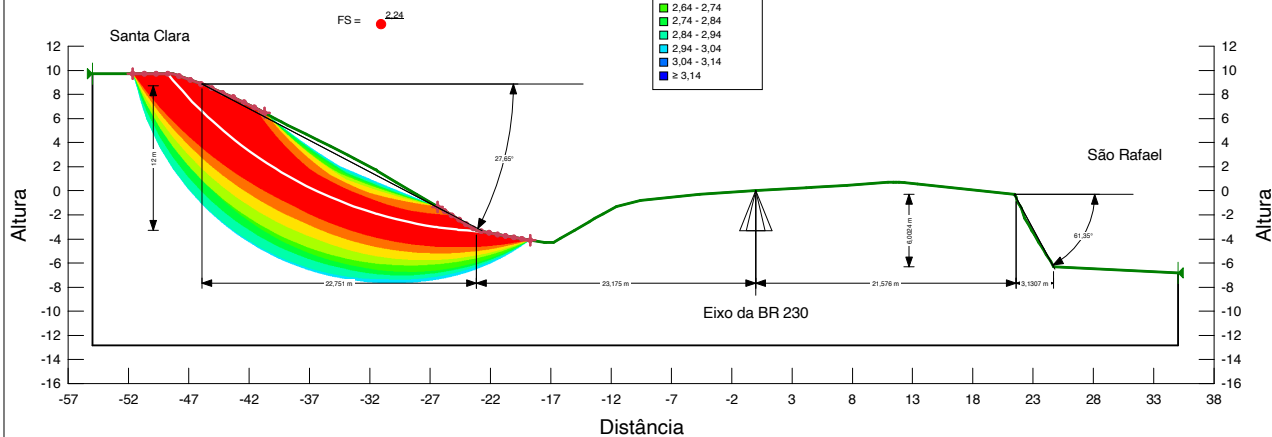
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 988 (km 19,760) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança

■	2,24 - 2,34
■	2,34 - 2,44
■	2,44 - 2,54
■	2,54 - 2,64
■	2,64 - 2,74
■	2,74 - 2,84
■	2,84 - 2,94
■	2,94 - 3,04
■	3,04 - 3,14
■	≥ 3,14



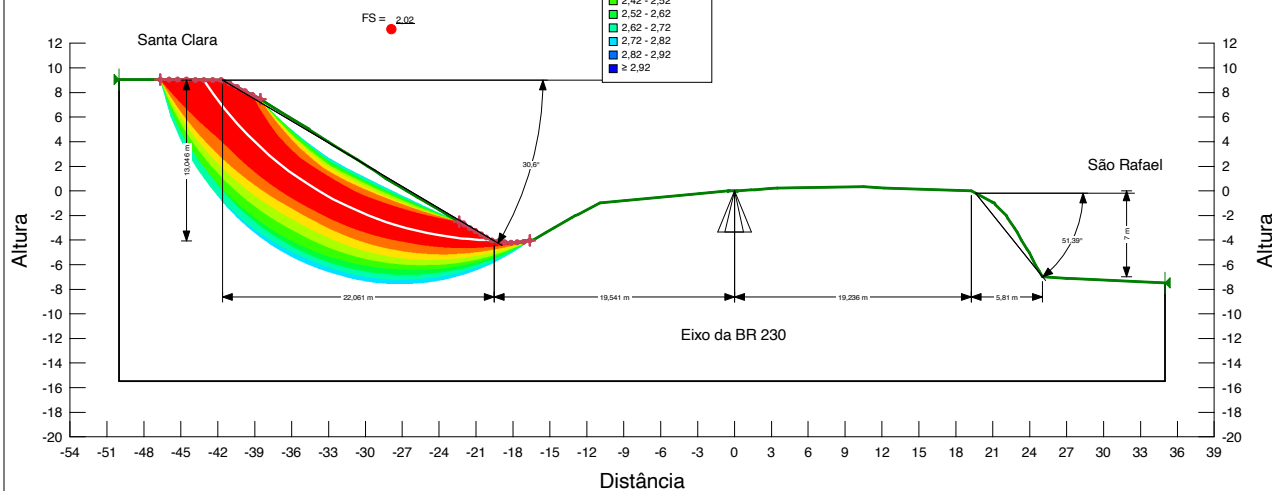
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 989 (km 19,780) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança

■	2,02 - 2,12
■	2,12 - 2,22
■	2,22 - 2,32
■	2,32 - 2,42
■	2,42 - 2,52
■	2,52 - 2,62
■	2,62 - 2,72
■	2,72 - 2,82
■	2,82 - 2,92
■	≥ 2,92

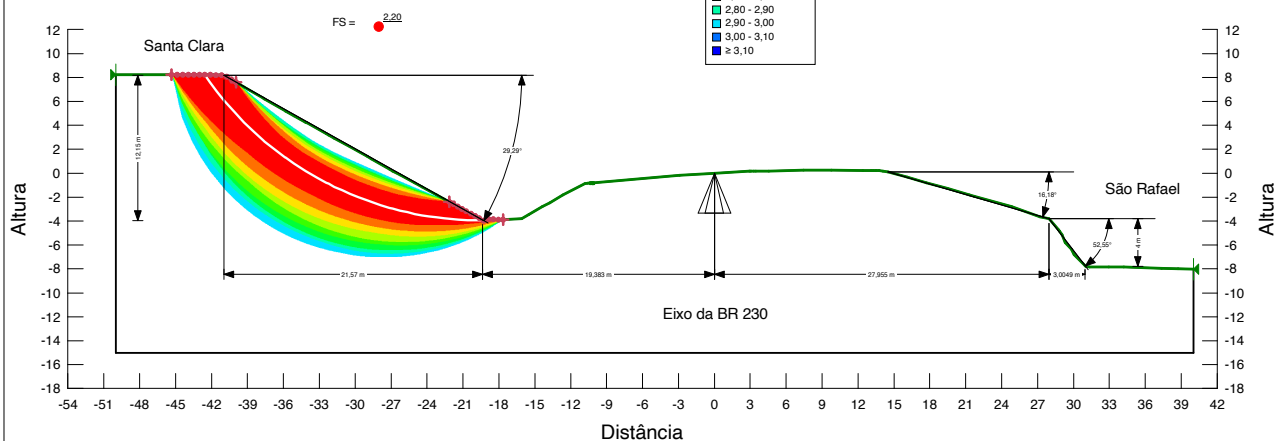


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 990 (km 19,800) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança
2,20 - 2,30
2,30 - 2,40
2,40 - 2,50
2,50 - 2,60
2,60 - 2,70
2,70 - 2,80
2,80 - 2,90
2,90 - 3,00
3,00 - 3,10
≥ 3,10

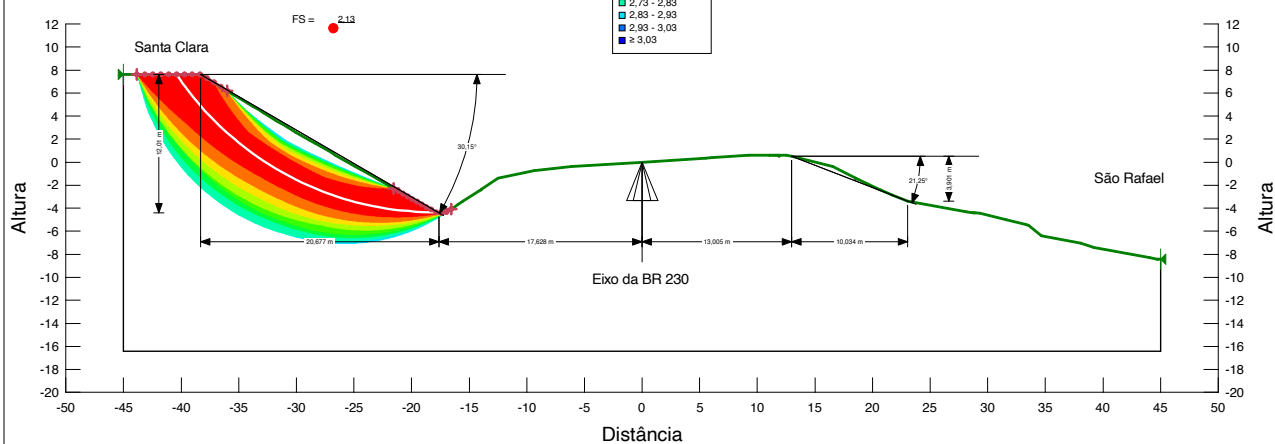


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 991 (km 19,820) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança
2,13 - 2,23
2,23 - 2,33
2,33 - 2,43
2,43 - 2,53
2,53 - 2,63
2,63 - 2,73
2,73 - 2,83
2,83 - 2,93
2,93 - 3,03
≥ 3,03

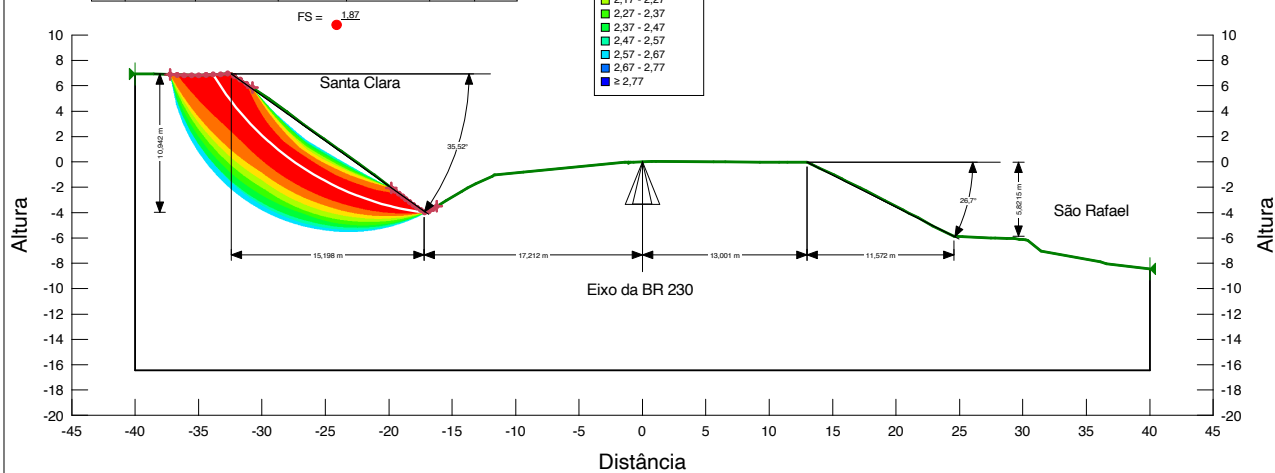


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 992 (km 19,840) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança
1,87 - 1,97
1,97 - 2,07
2,07 - 2,17
2,17 - 2,27
2,27 - 2,37
2,37 - 2,47
2,47 - 2,57
2,57 - 2,67
2,67 - 2,77
≥ 2,77

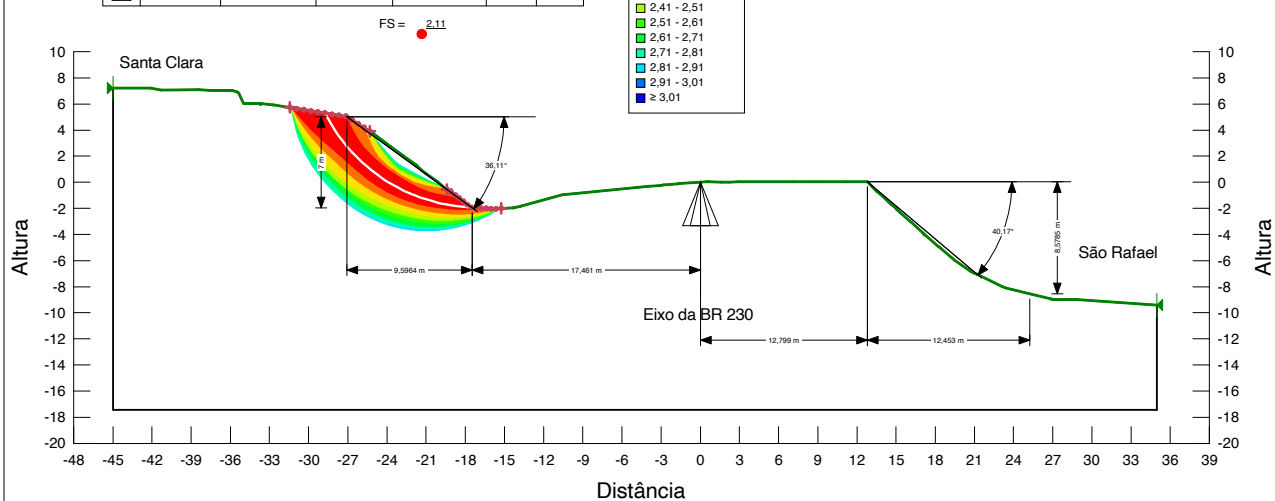


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 993 (km 19,860) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança
2,11 - 2,21
2,21 - 2,31
2,31 - 2,41
2,41 - 2,51
2,51 - 2,61
2,61 - 2,71
2,71 - 2,81
2,81 - 2,91
2,91 - 3,01
≥ 3,01

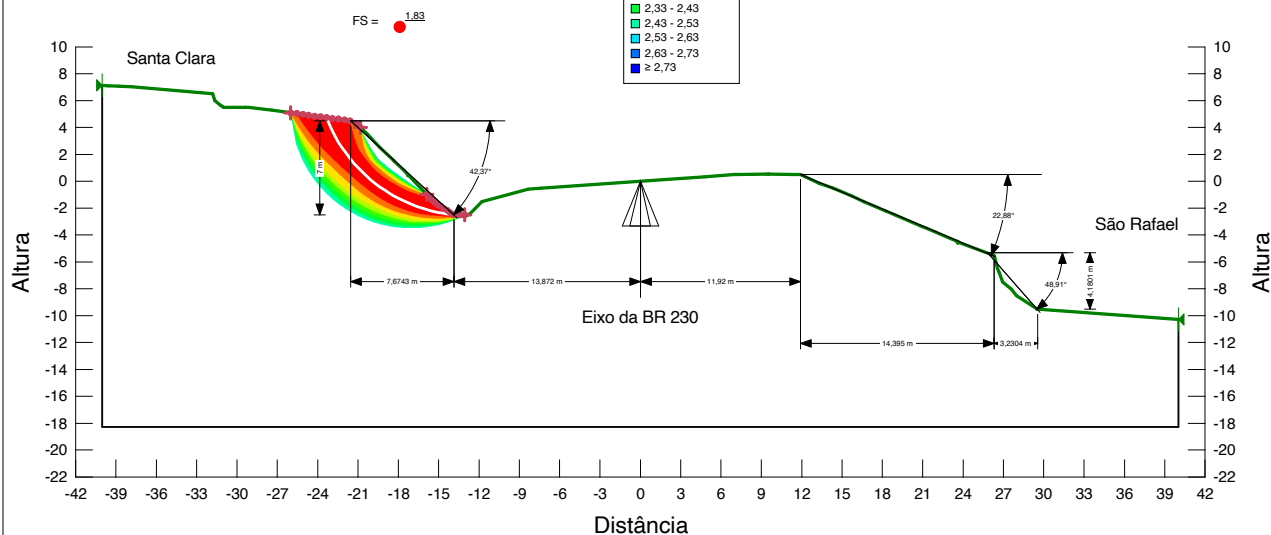


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 994 (km 19,880) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

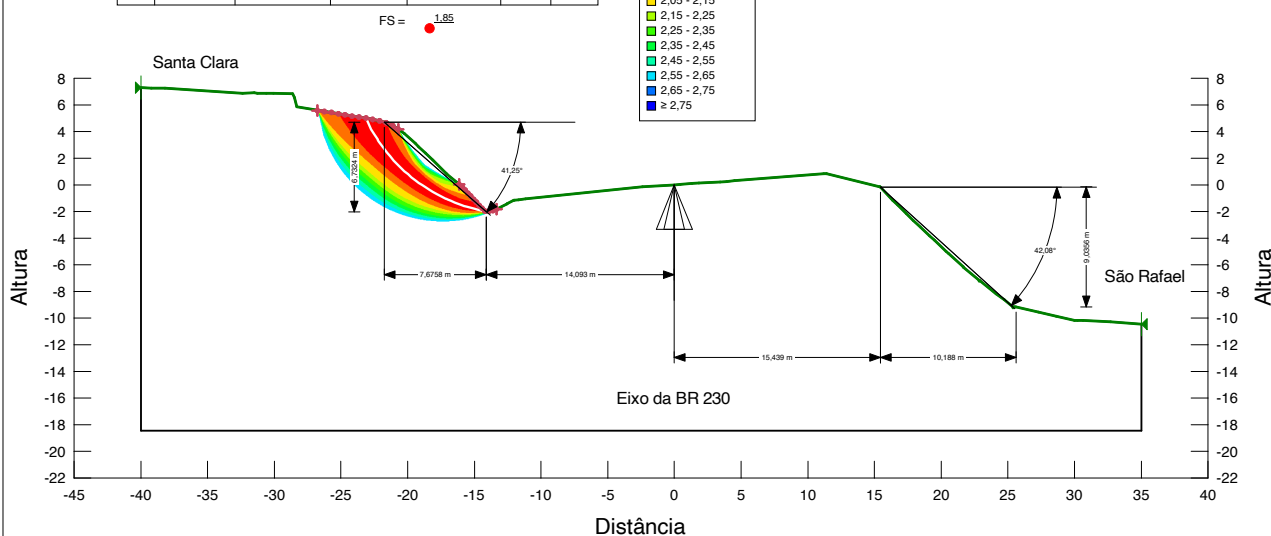
Fator de segurança
1,83 - 1,93
1,93 - 2,03
2,03 - 2,13
2,13 - 2,23
2,23 - 2,33
2,33 - 2,43
2,43 - 2,53
2,53 - 2,63
2,63 - 2,73
≥ 2,73



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

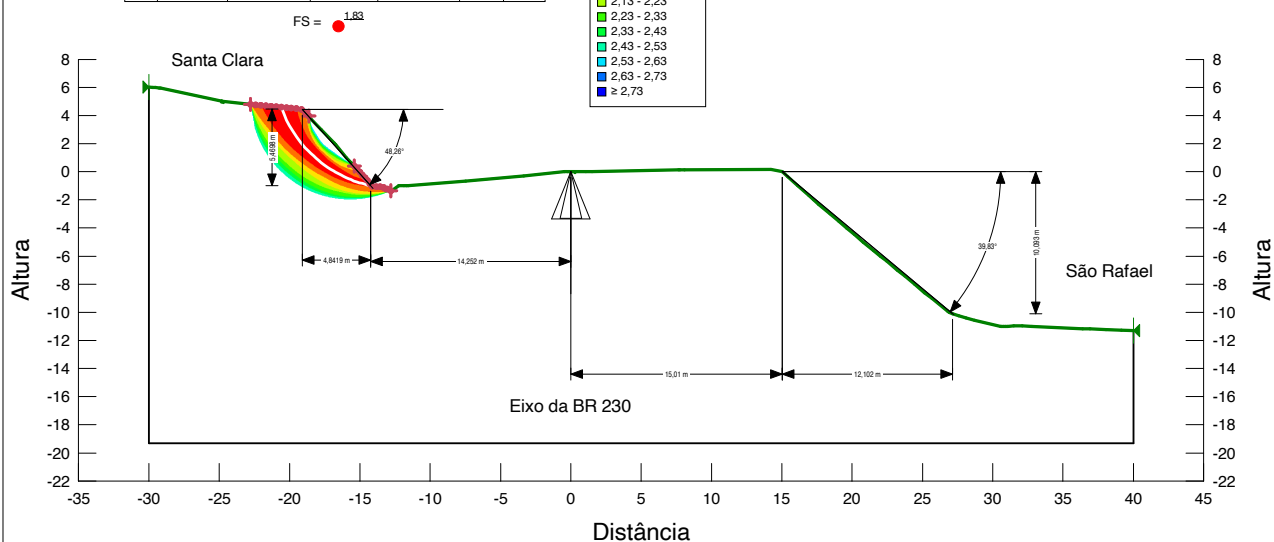
Fator de segurança
1,85 - 1,95
1,95 - 2,05
2,05 - 2,15
2,15 - 2,25
2,25 - 2,35
2,35 - 2,45
2,45 - 2,55
2,55 - 2,65
2,65 - 2,75
≥ 2,75



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

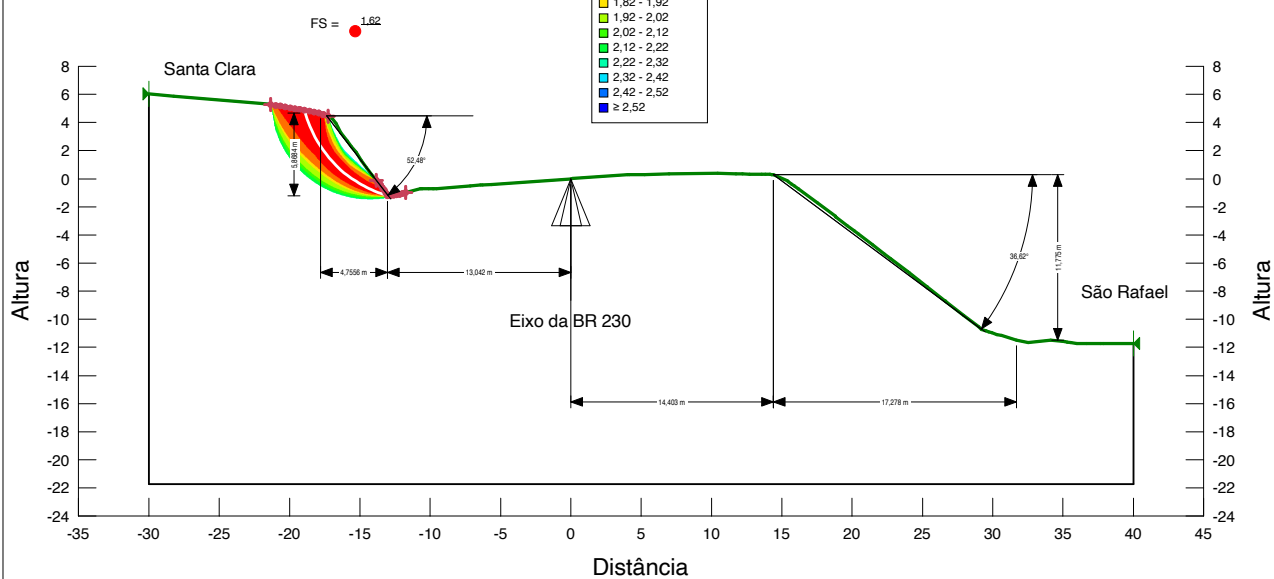
Fator de segurança
■ 1,83 - 1,93
■ 1,93 - 2,03
■ 2,03 - 2,13
■ 2,13 - 2,23
■ 2,23 - 2,33
■ 2,33 - 2,43
■ 2,43 - 2,53
■ 2,53 - 2,63
■ 2,63 - 2,73
■ ≥ 2,73



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança
■ 1,62 - 1,72
■ 1,72 - 1,82
■ 1,82 - 1,92
■ 1,92 - 2,02
■ 2,02 - 2,12
■ 2,12 - 2,22
■ 2,22 - 2,32
■ 2,32 - 2,42
■ 2,42 - 2,52
■ ≥ 2,52

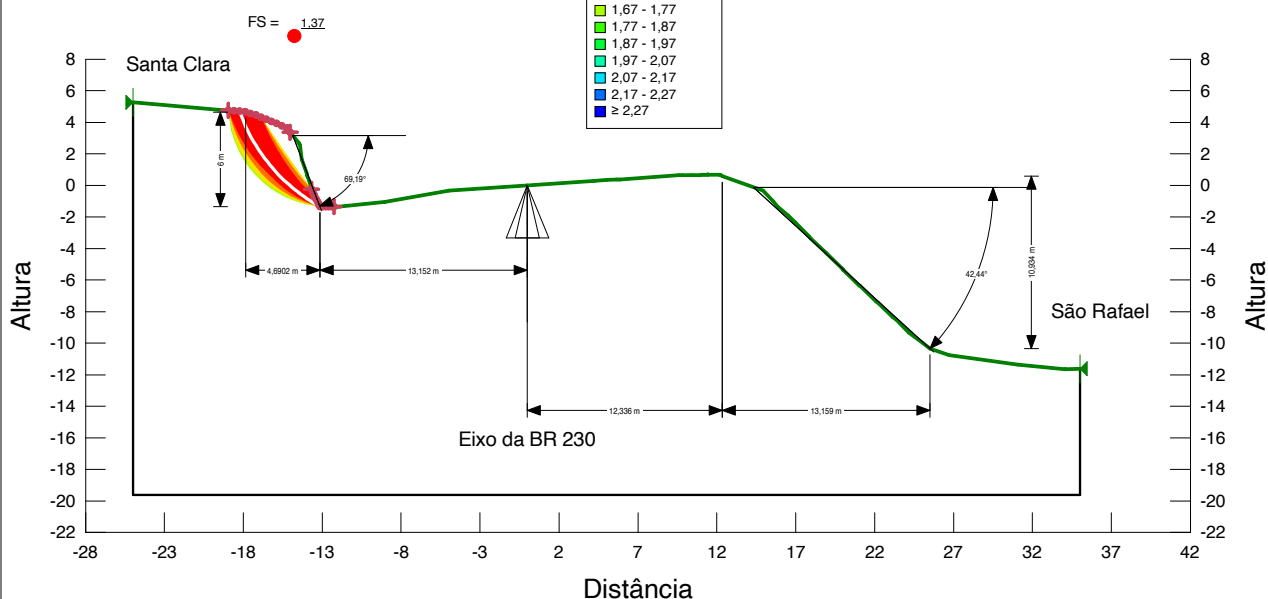


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

Fator de segurança

■	1,37 - 1,47
■	1,47 - 1,57
■	1,57 - 1,67
■	1,67 - 1,77
■	1,77 - 1,87
■	1,87 - 1,97
■	1,97 - 2,07
■	2,07 - 2,17
■	2,17 - 2,27
■	≥ 2,27



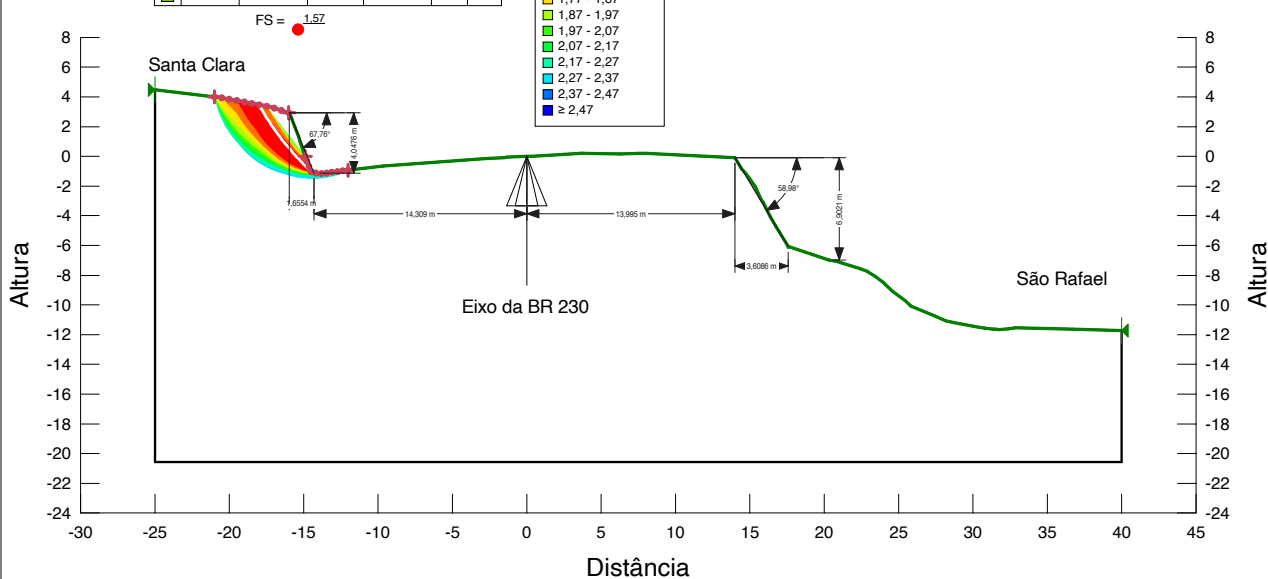
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 999 (km 19,980) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

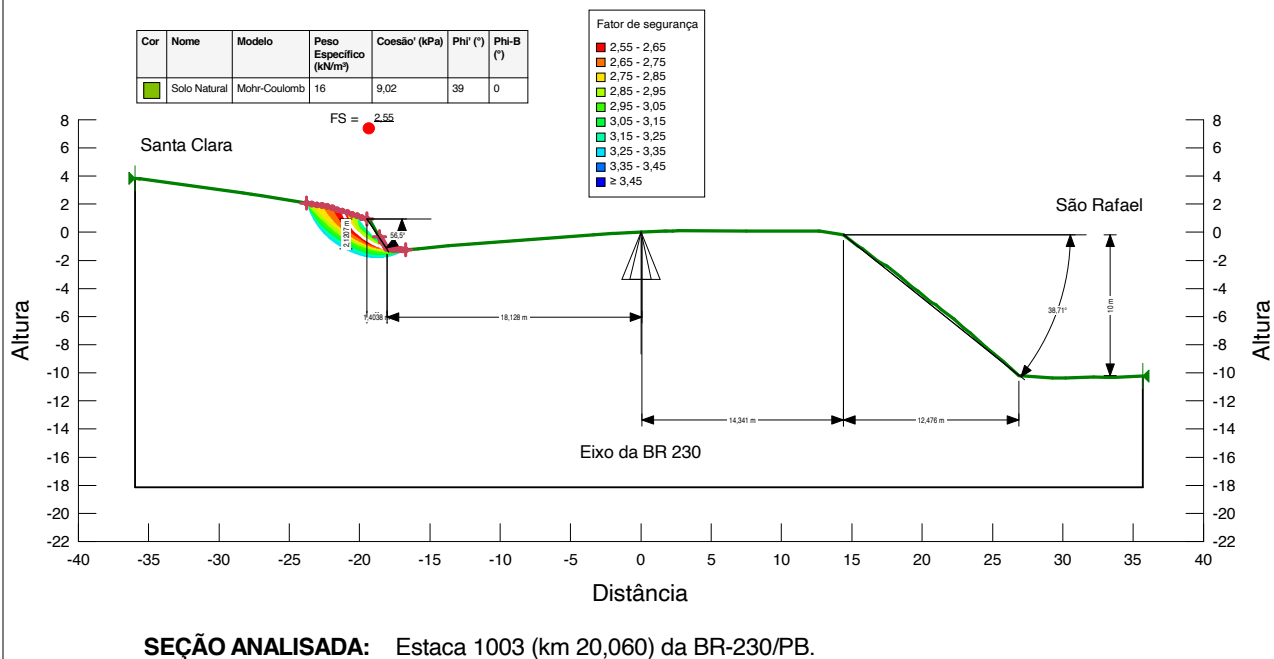
Fator de segurança

■	1,57 - 1,67
■	1,67 - 1,77
■	1,77 - 1,87
■	1,87 - 1,97
■	1,97 - 2,07
■	2,07 - 2,17
■	2,17 - 2,27
■	2,27 - 2,37
■	2,37 - 2,47
■	≥ 2,47

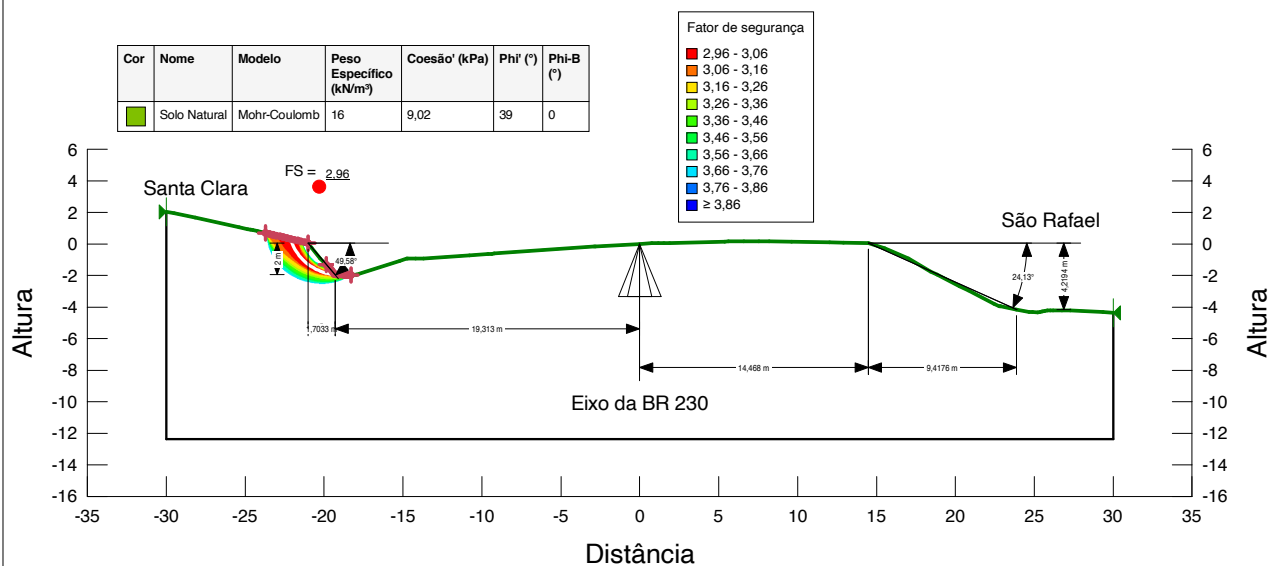


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 1000 (km 20,000) da BR-230/PB.

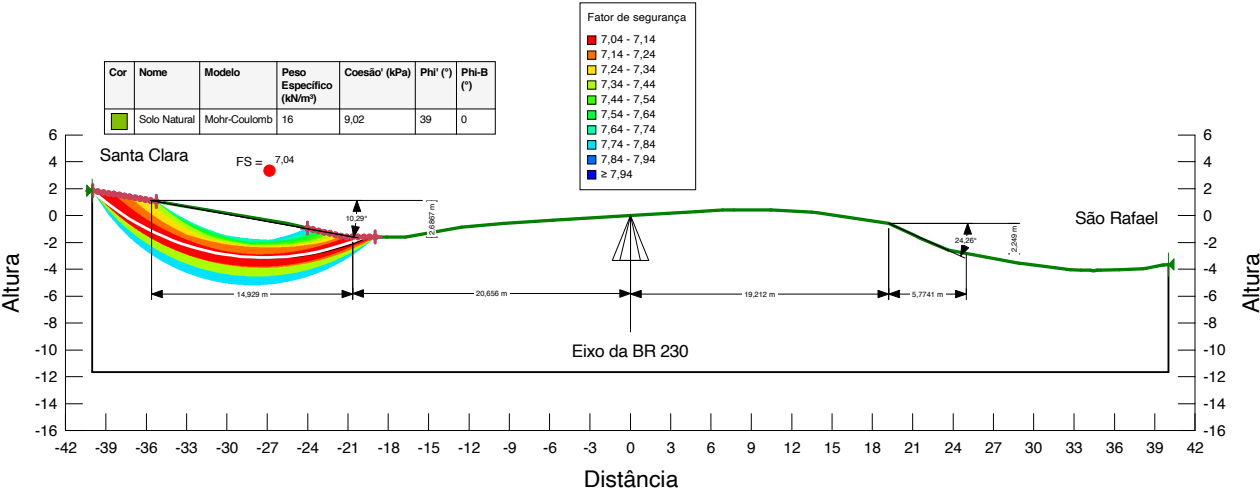
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



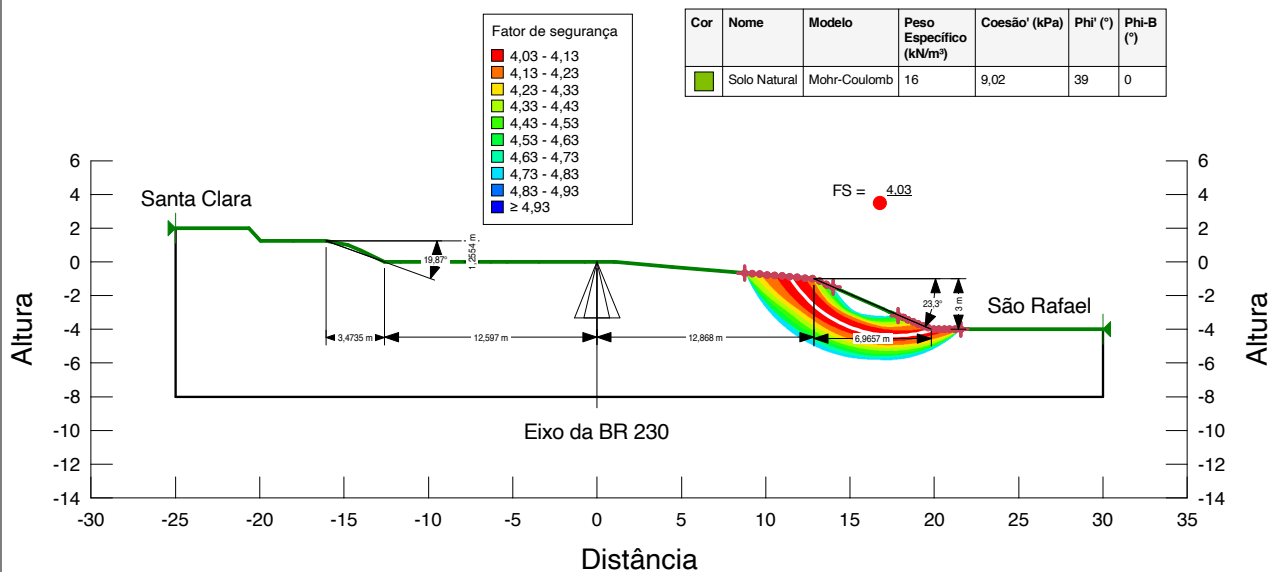
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



SEÇÃO ANALISADA: Estaca 1005 (km 20,100) da BR-230/PB.

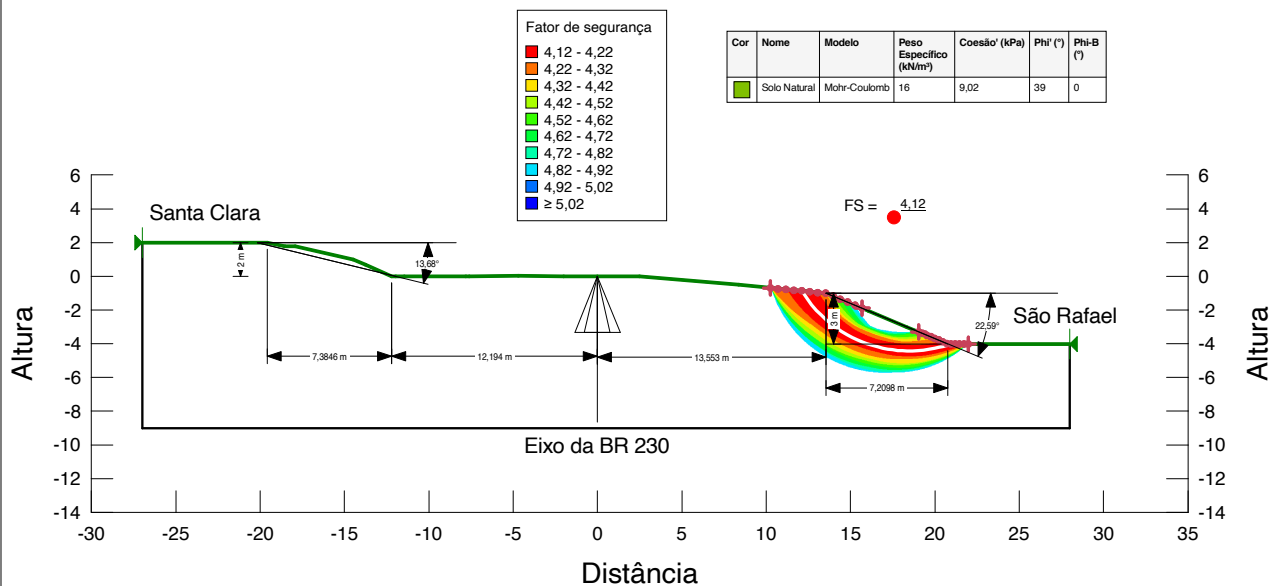
APÊNDICE F – Resultados da análise de estabilidade das seções do talude da Comunidade
São Rafael

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



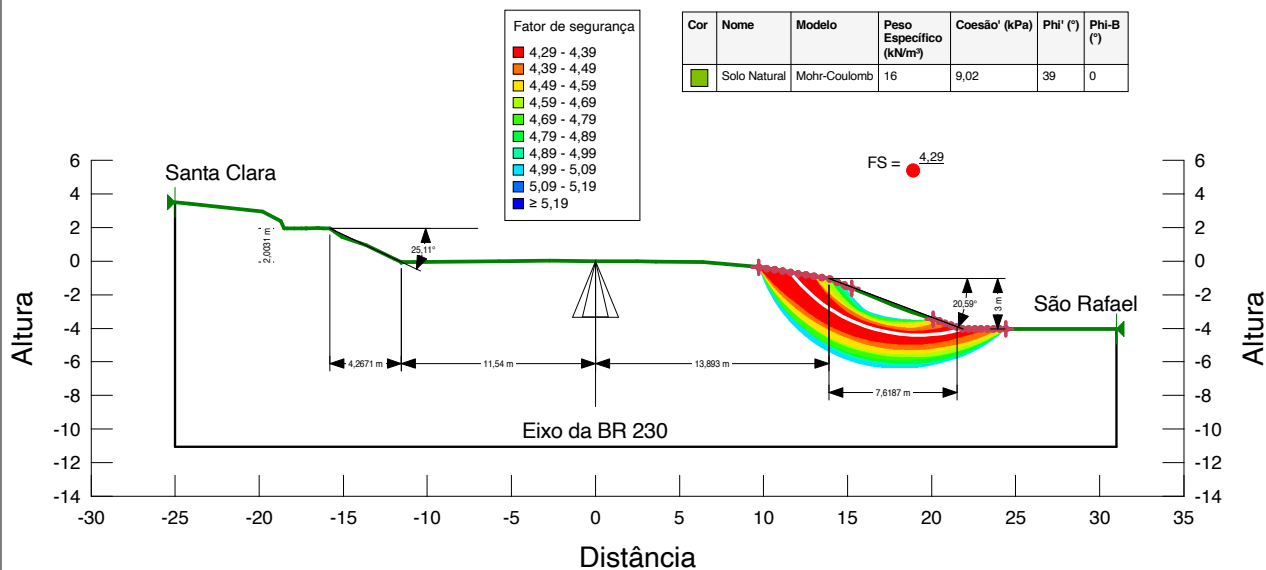
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 945 (km 18,900) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



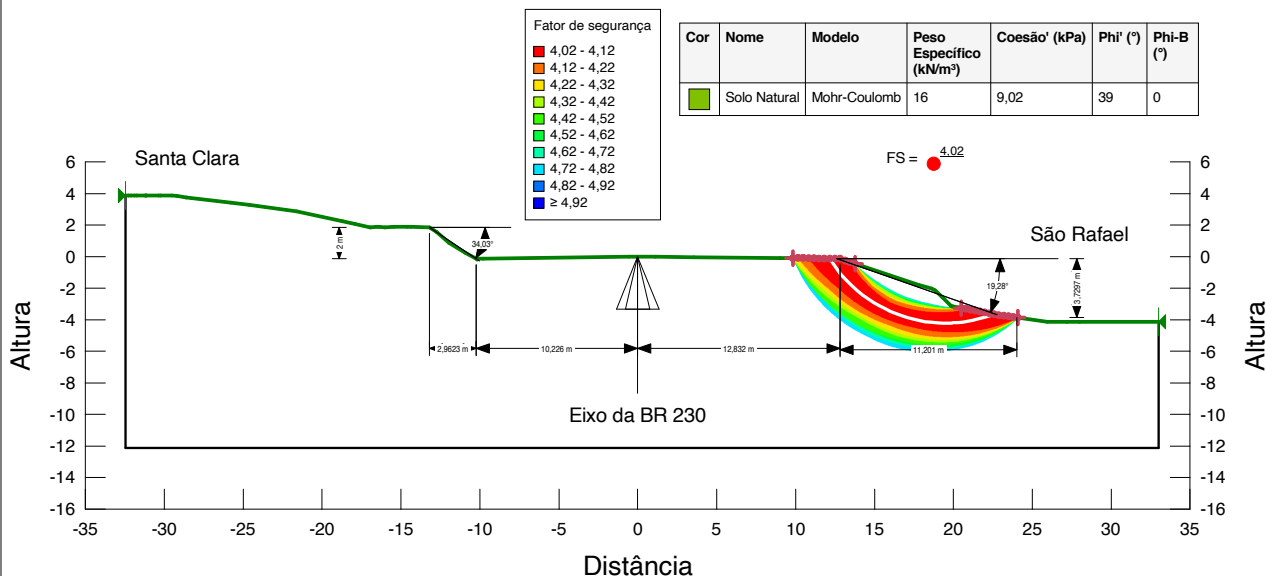
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 946 (km 18,920) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



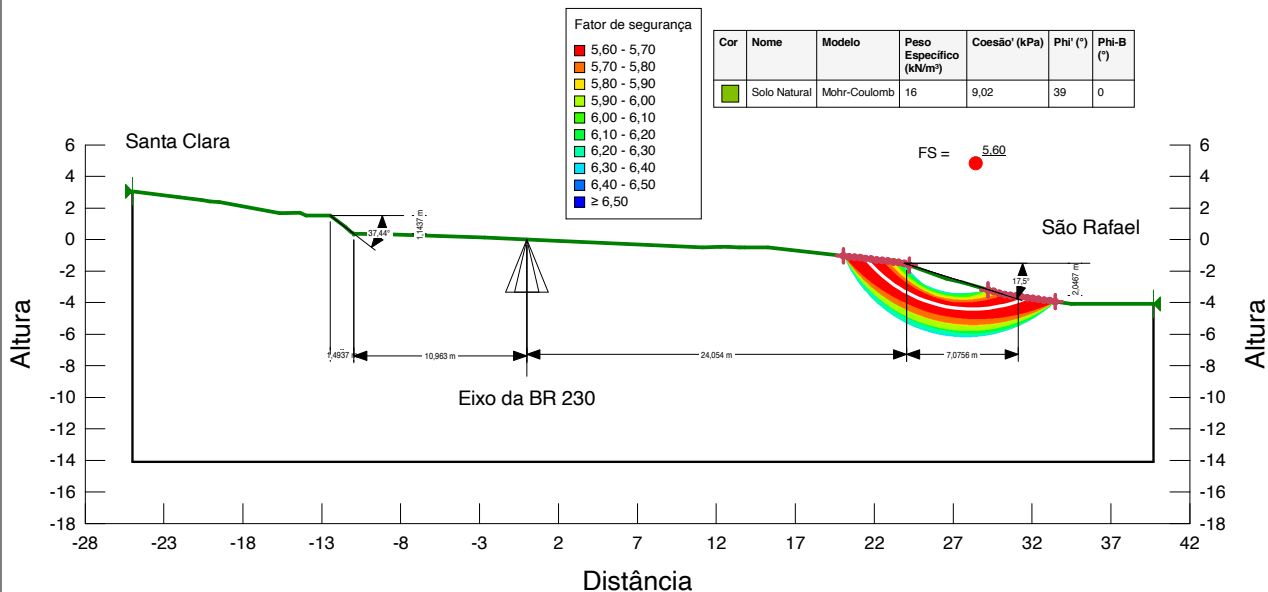
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 947 (km 18,940) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



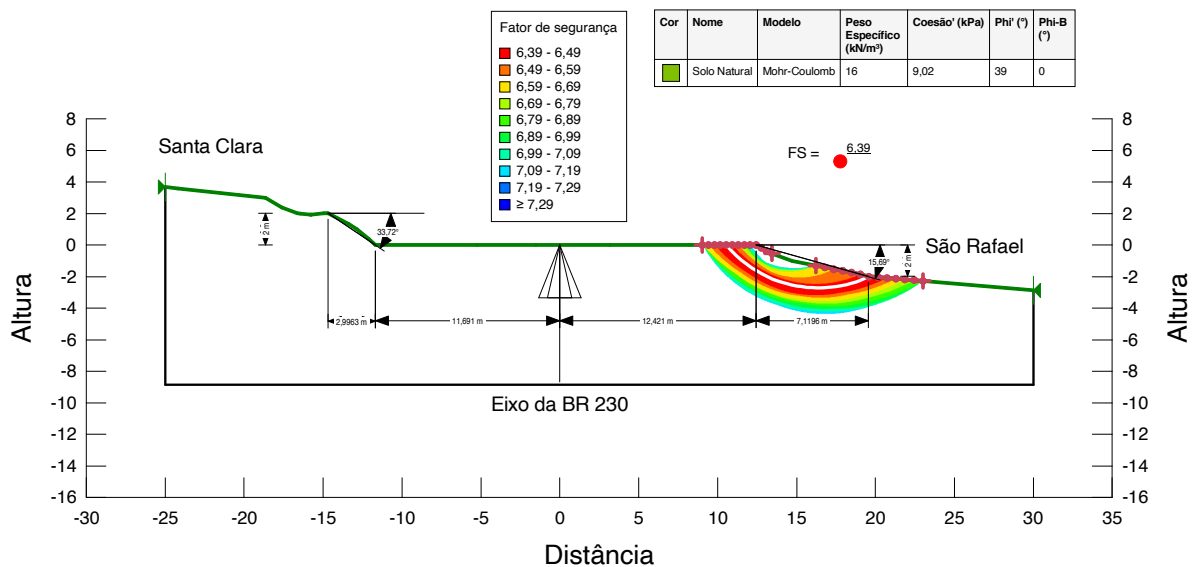
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 948 (km 18,960) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



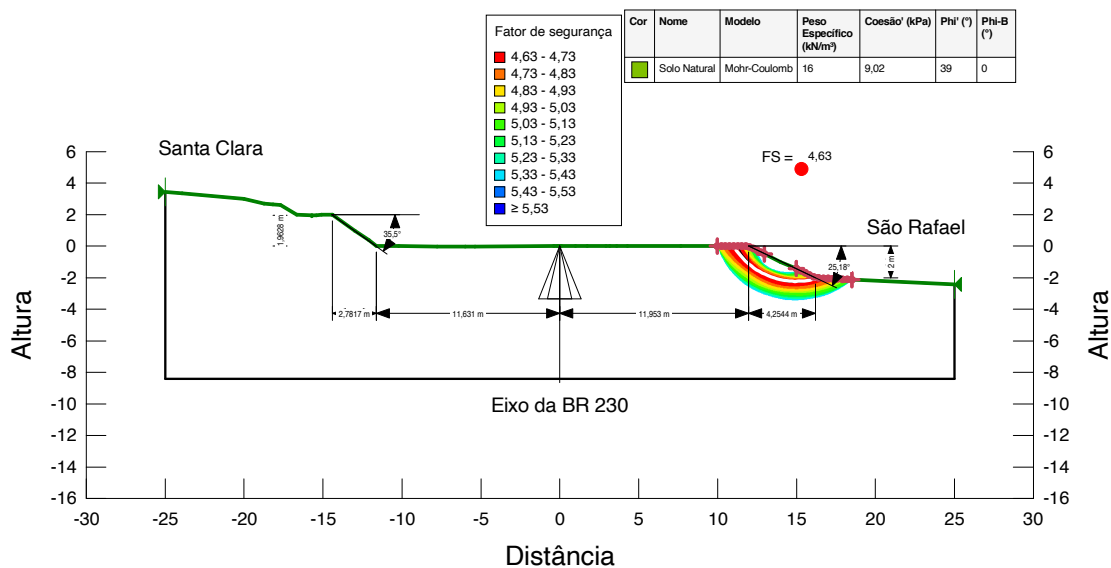
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 949 (km 18,980) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



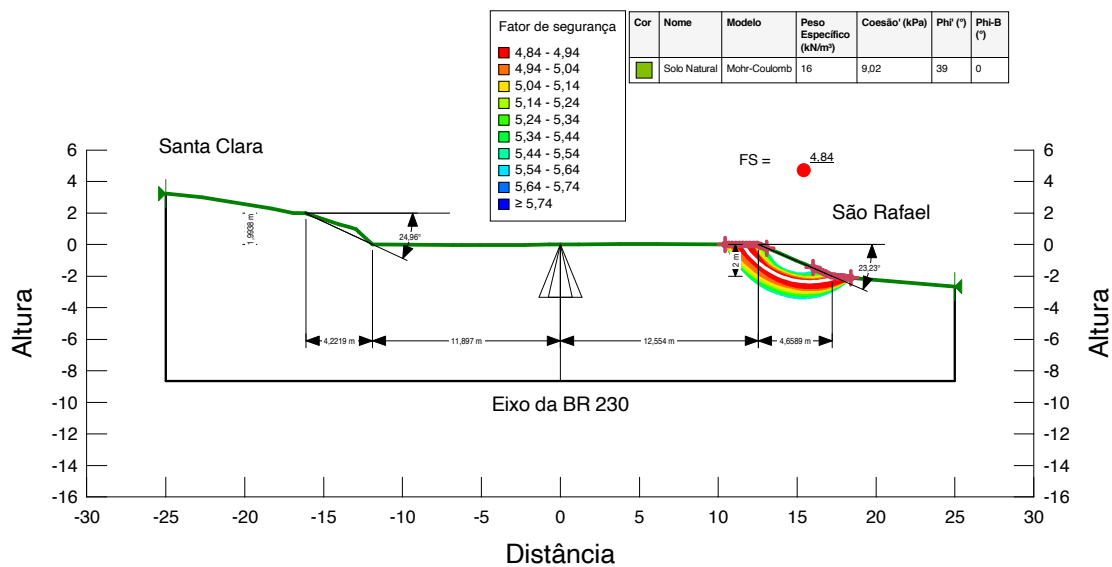
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 951 (km 19,020) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



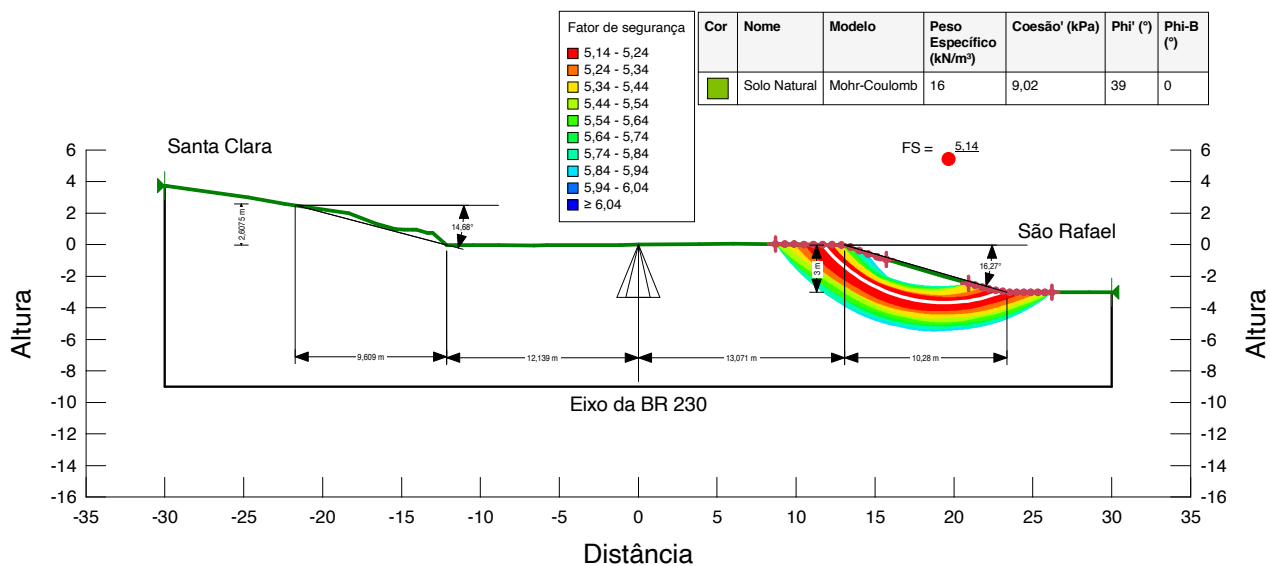
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 952 (km 19,040) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



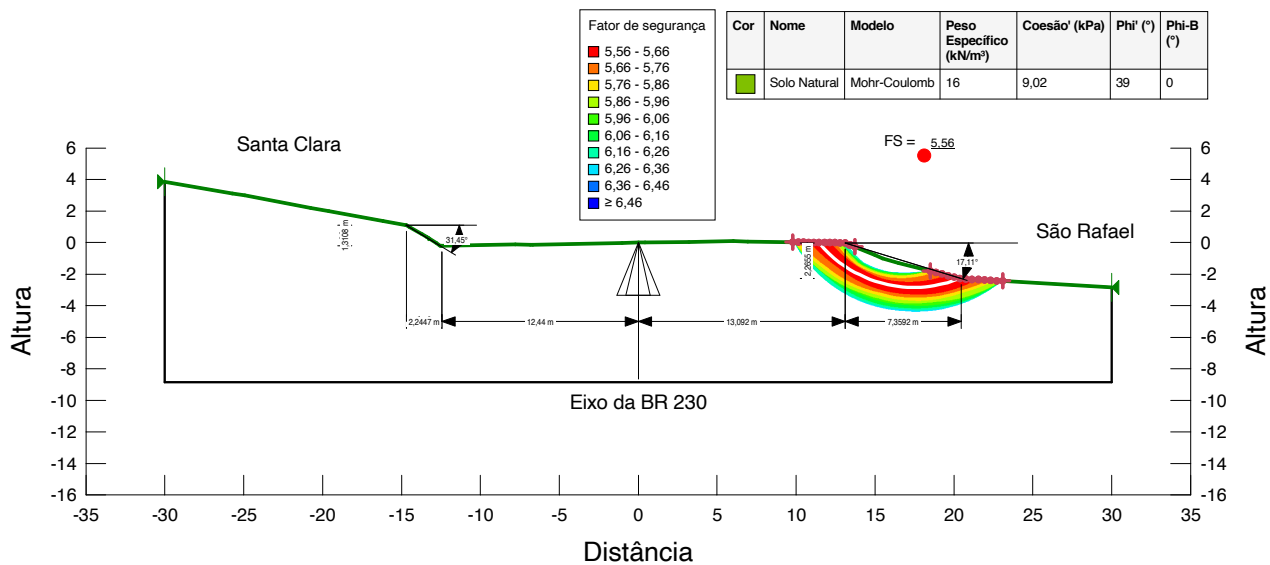
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 953 (km 19,060) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



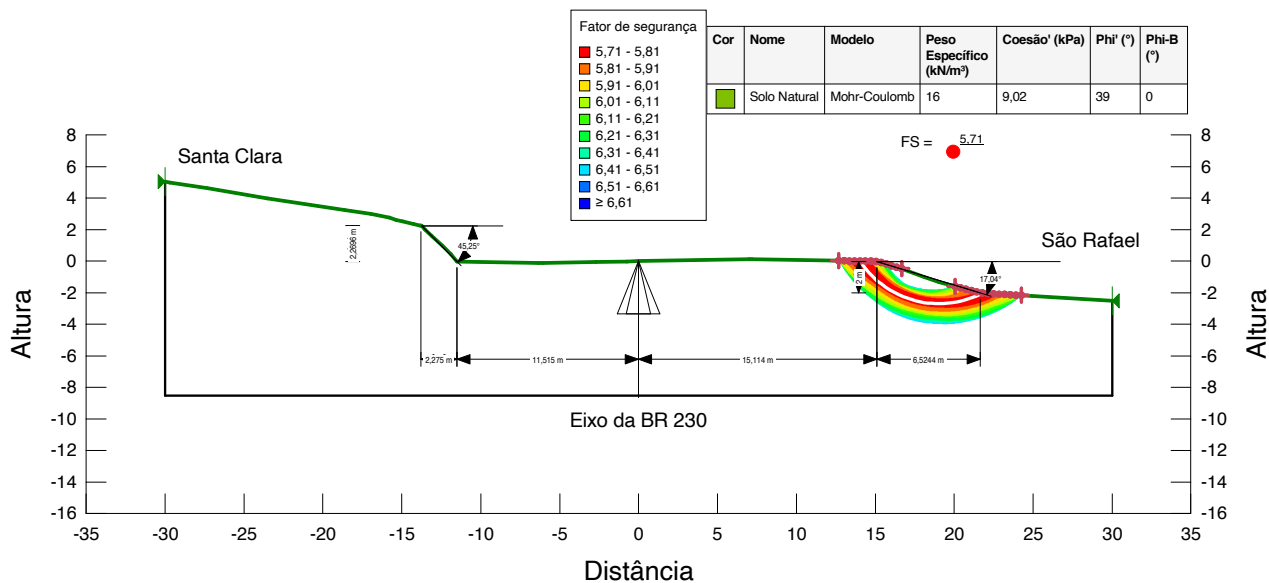
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 954 (km 19,080) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



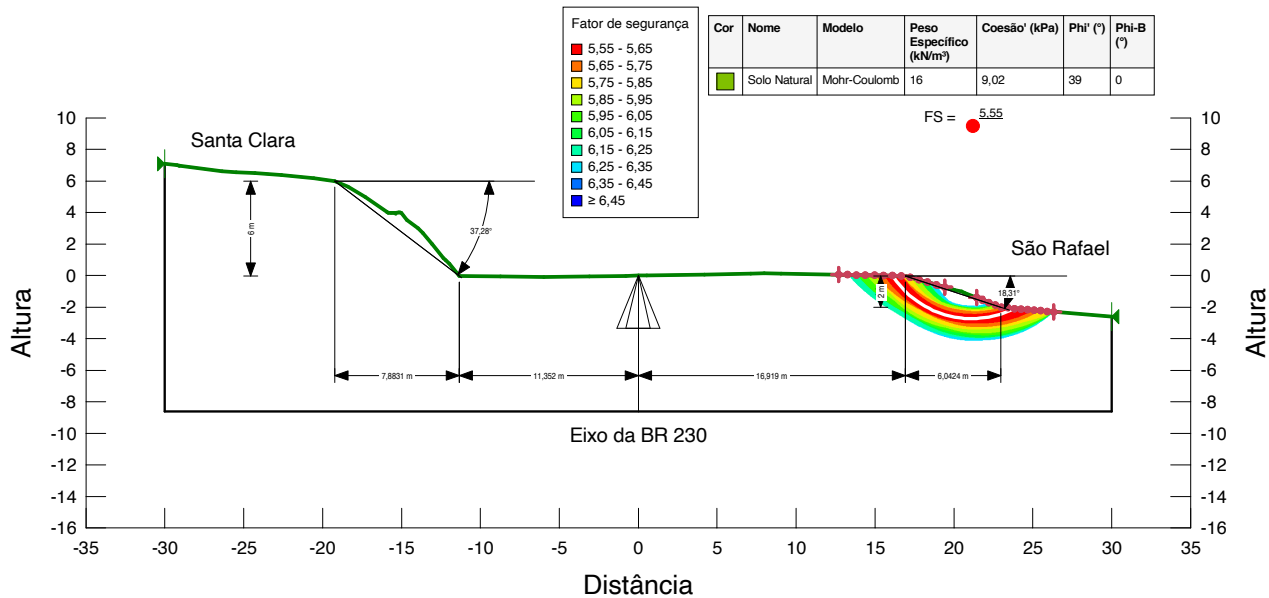
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 955 (km 19,100) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



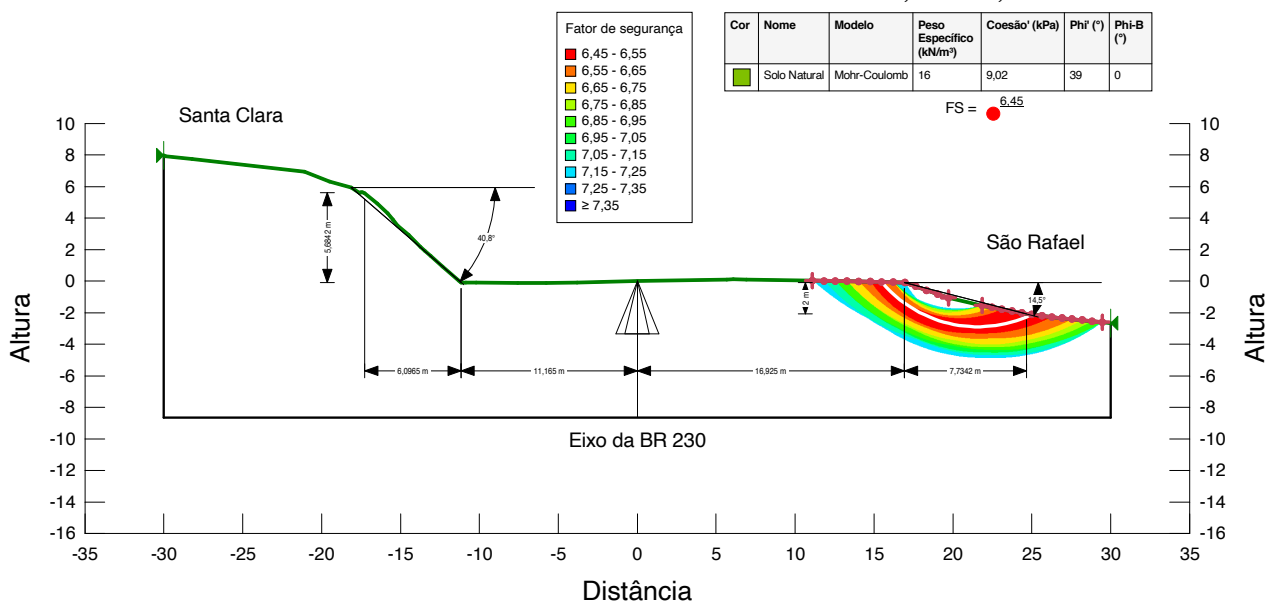
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 956 (km 19,120) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



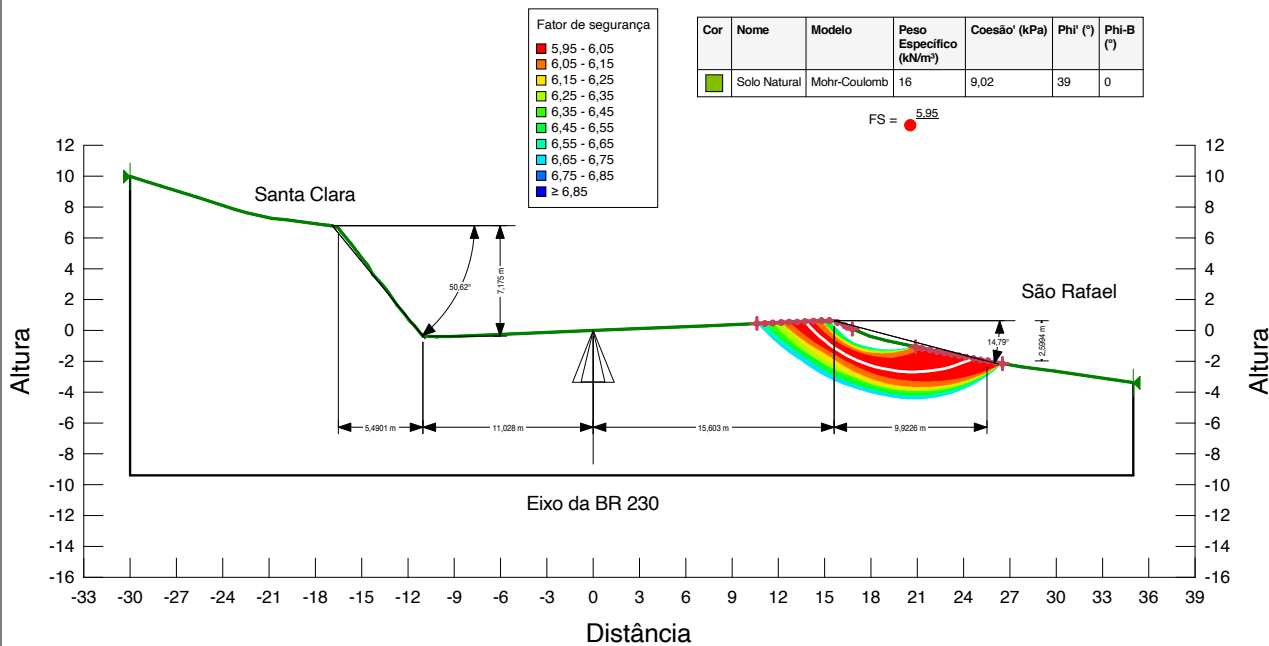
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 957 (km 19,140) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



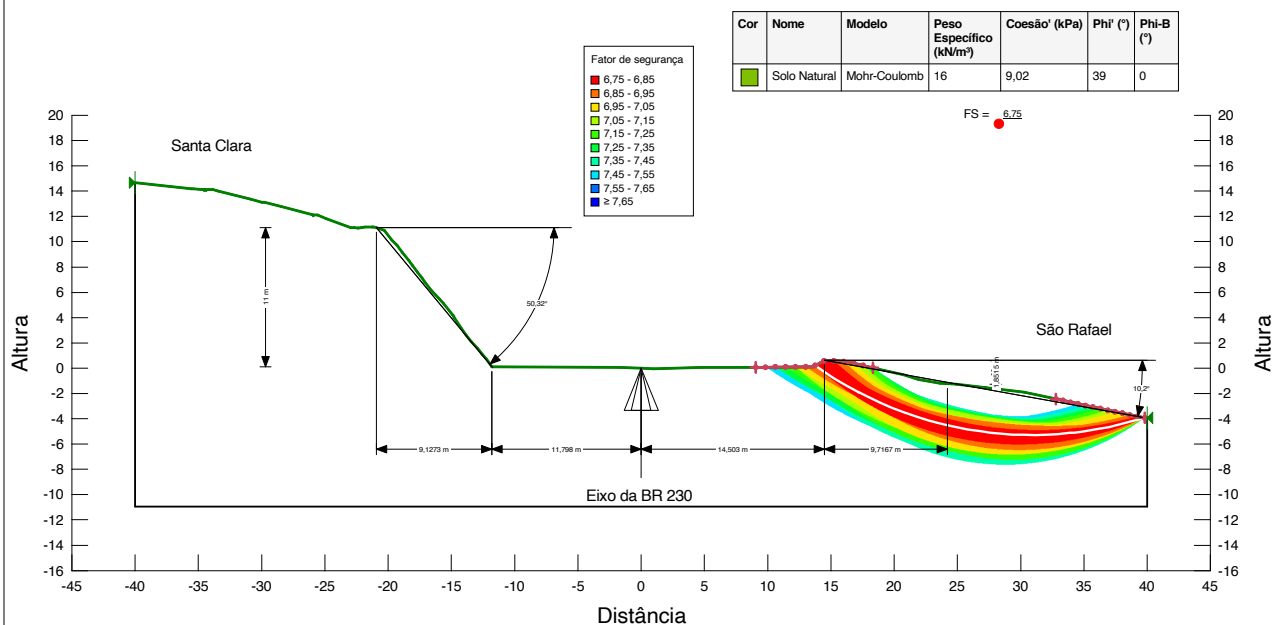
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 958 (km 19,160) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

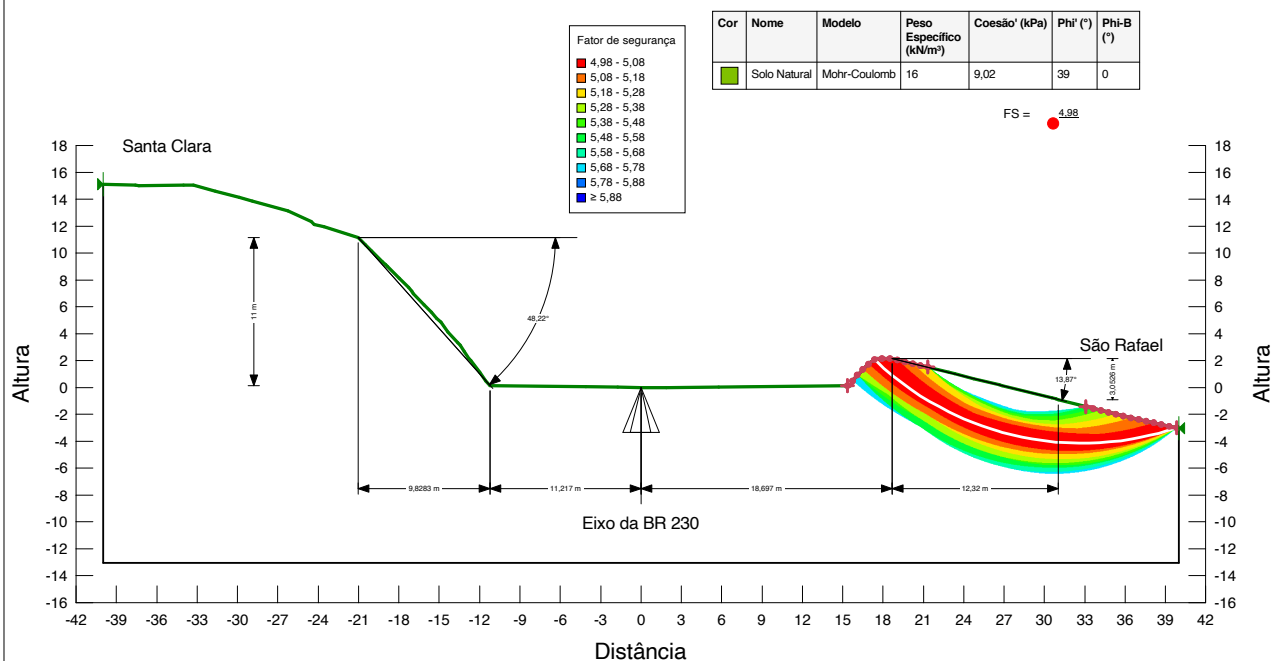


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 959 (km 19,180) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

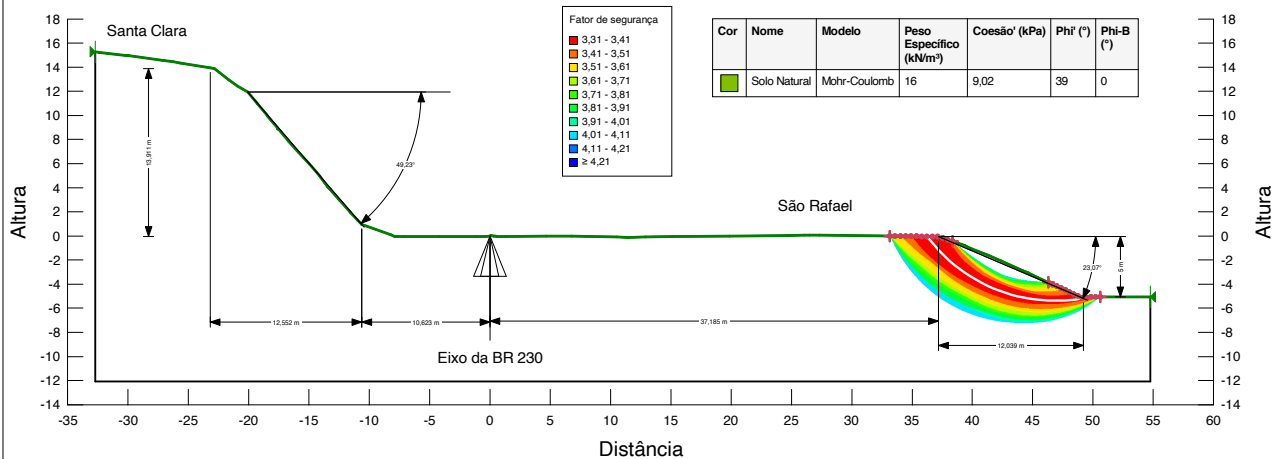


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



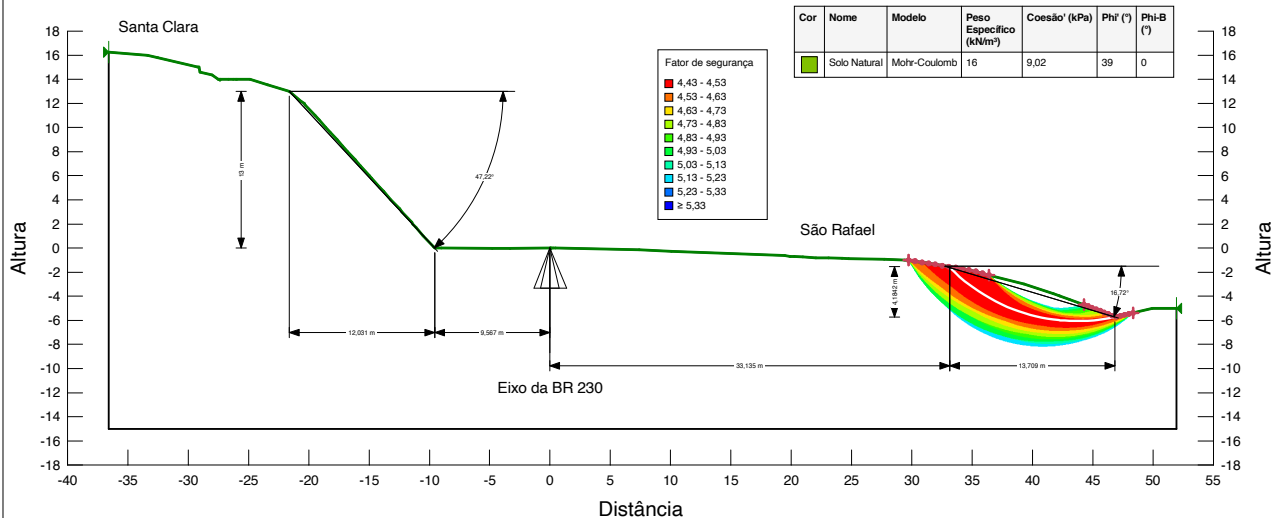
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

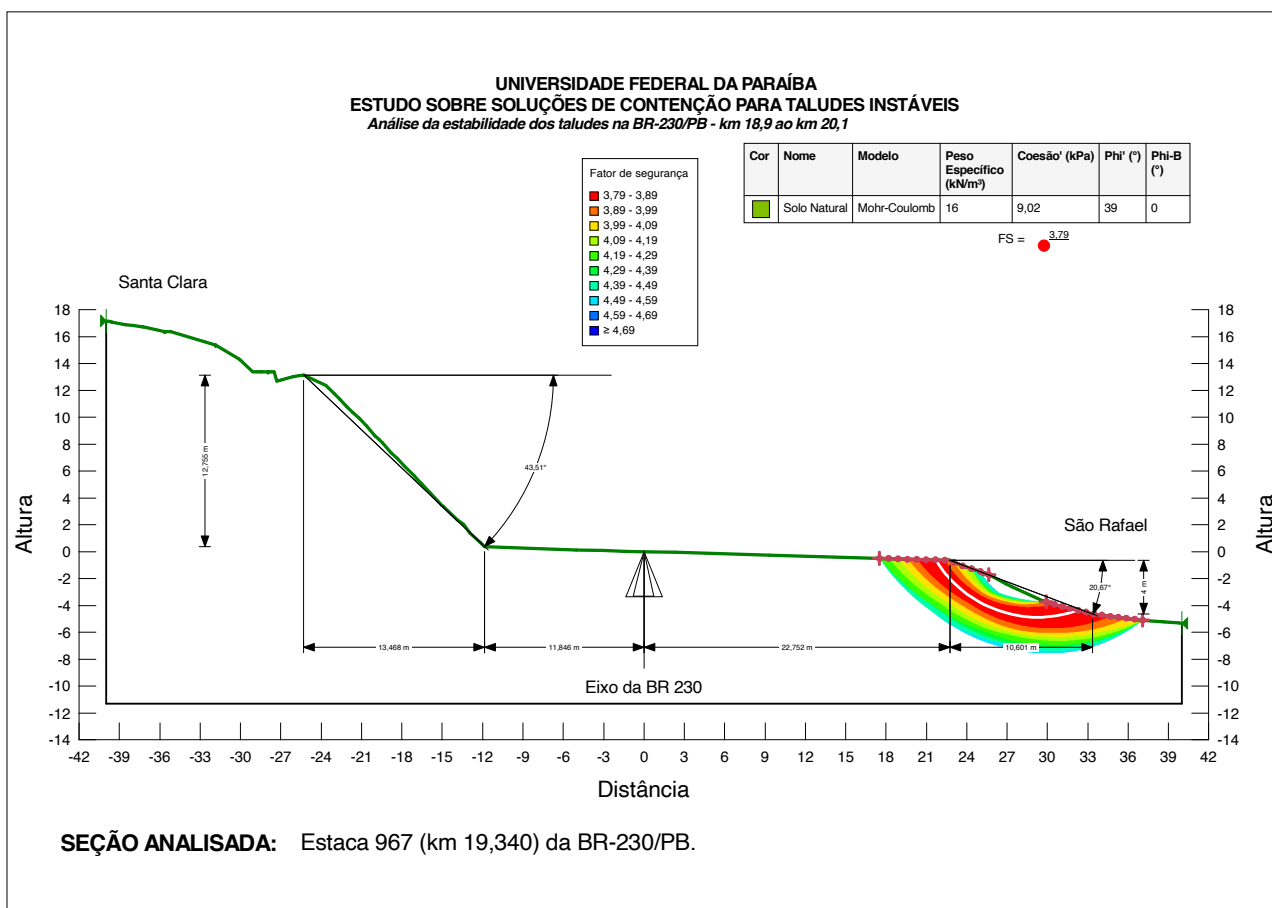
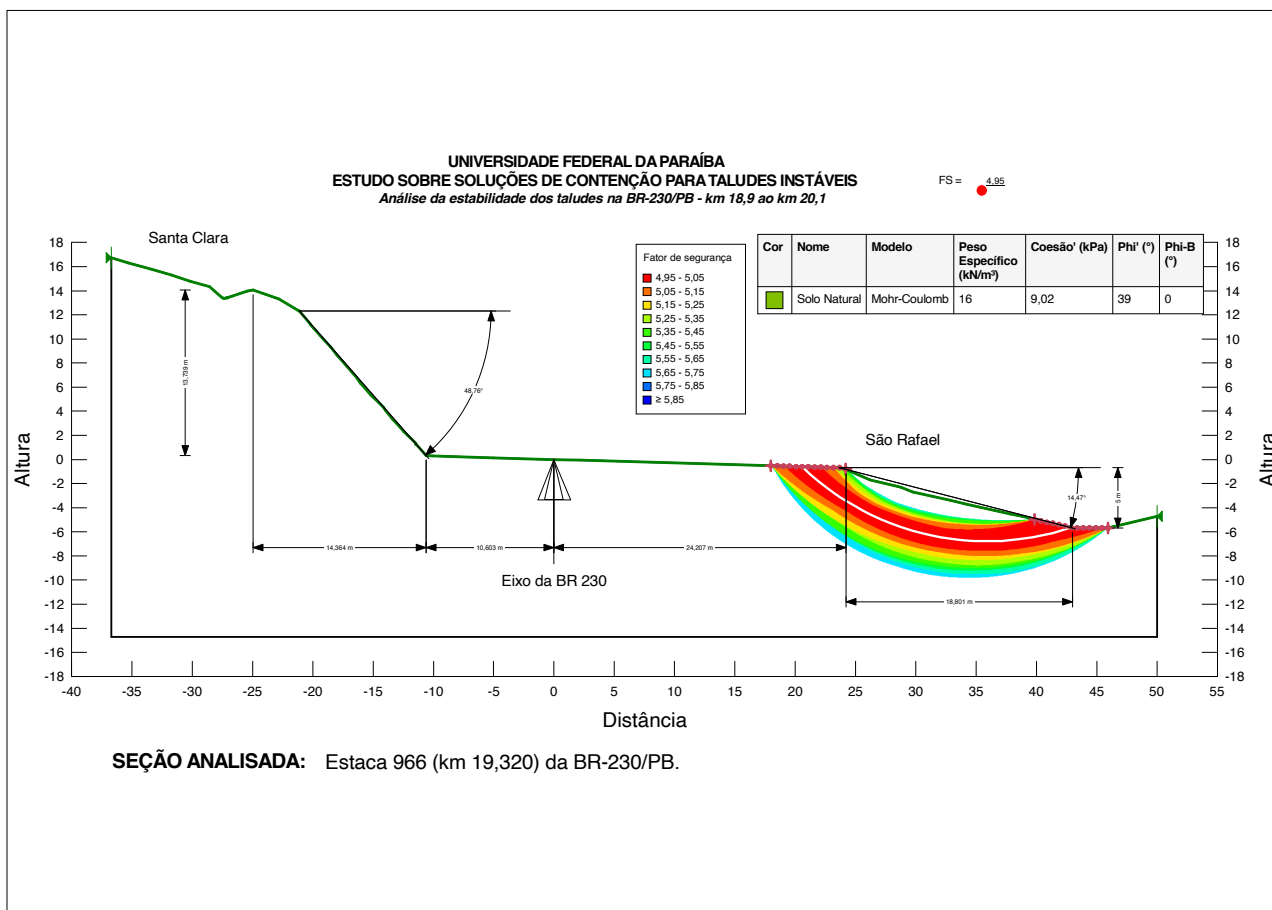
FS = 3,31



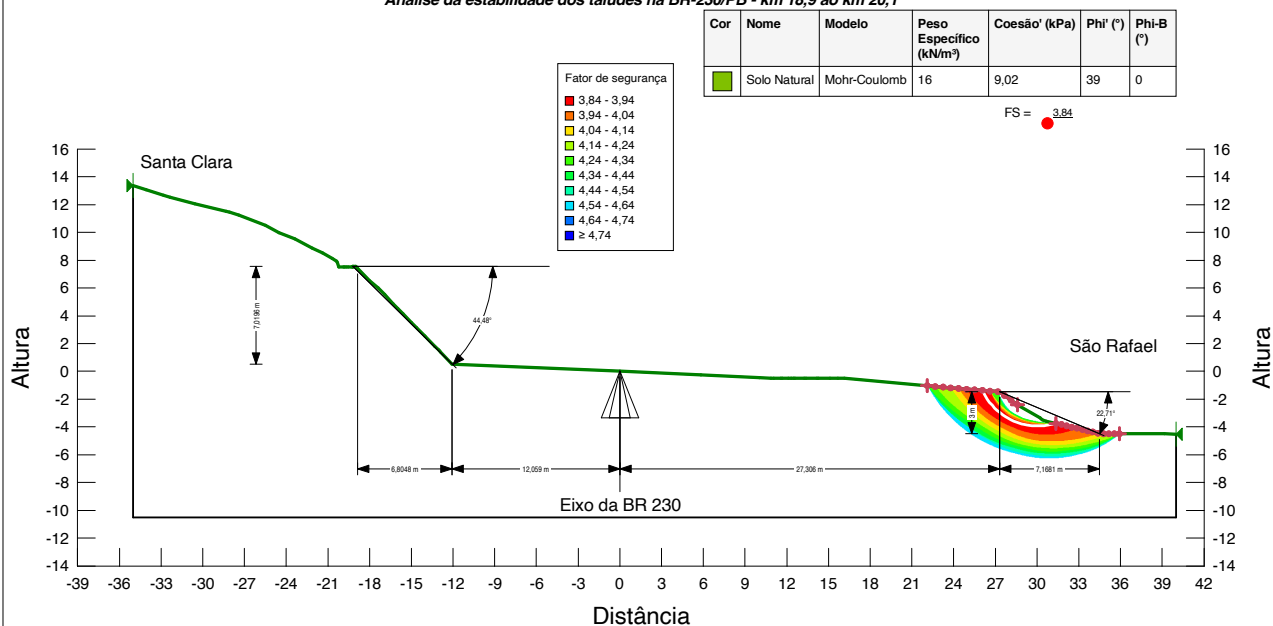
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

FS = 4,43

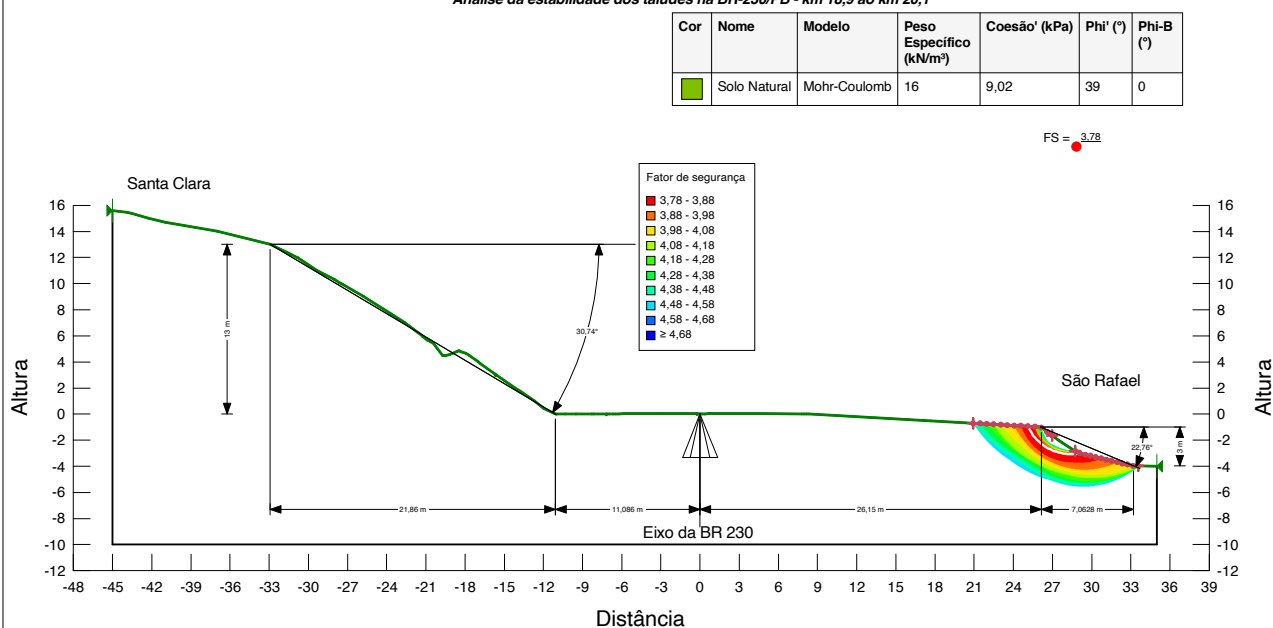




UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

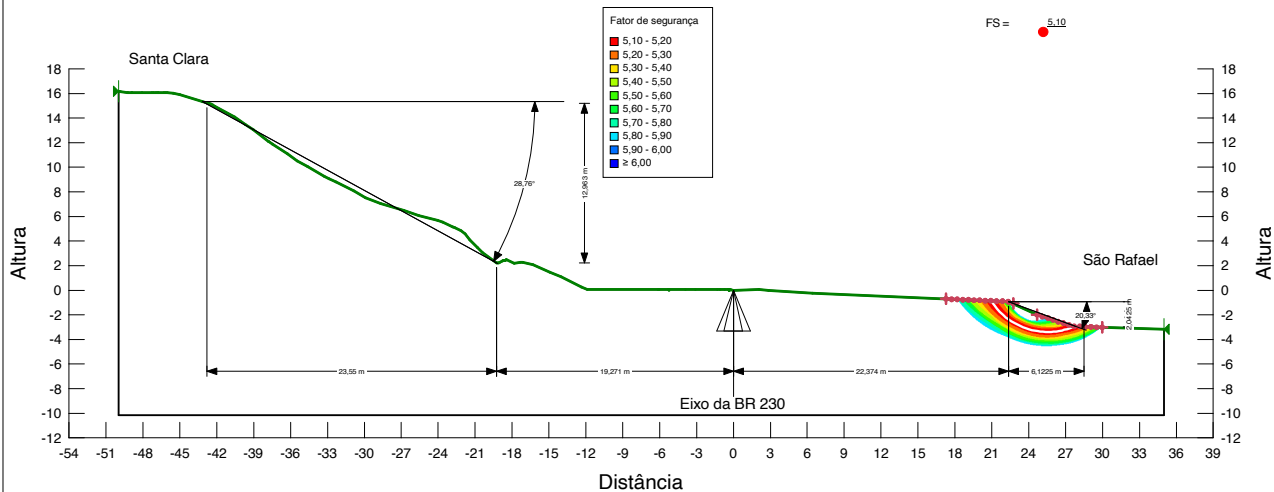


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

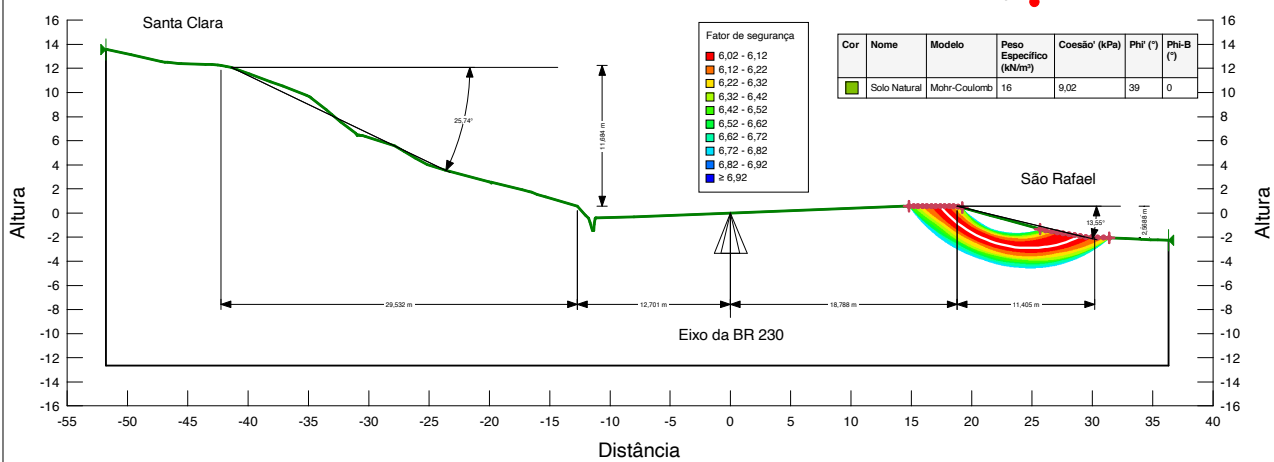
Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0



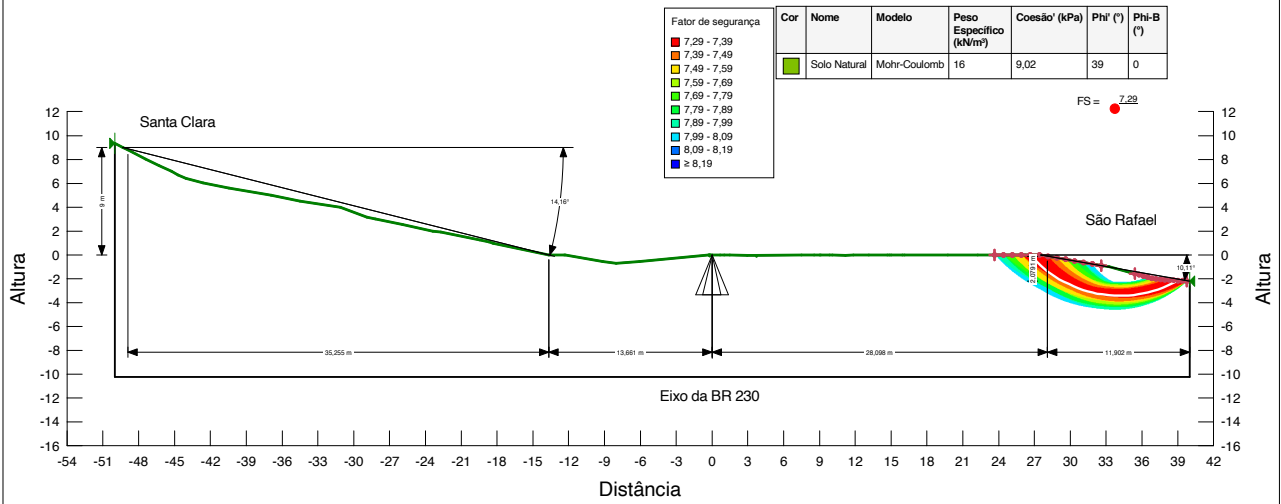
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

FS = 6,02

Cor	Nome	Modelo	Peso Específico (kN/m³)	Coesão' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
	Solo Natural	Mohr-Coulomb	16	9,02	39	0

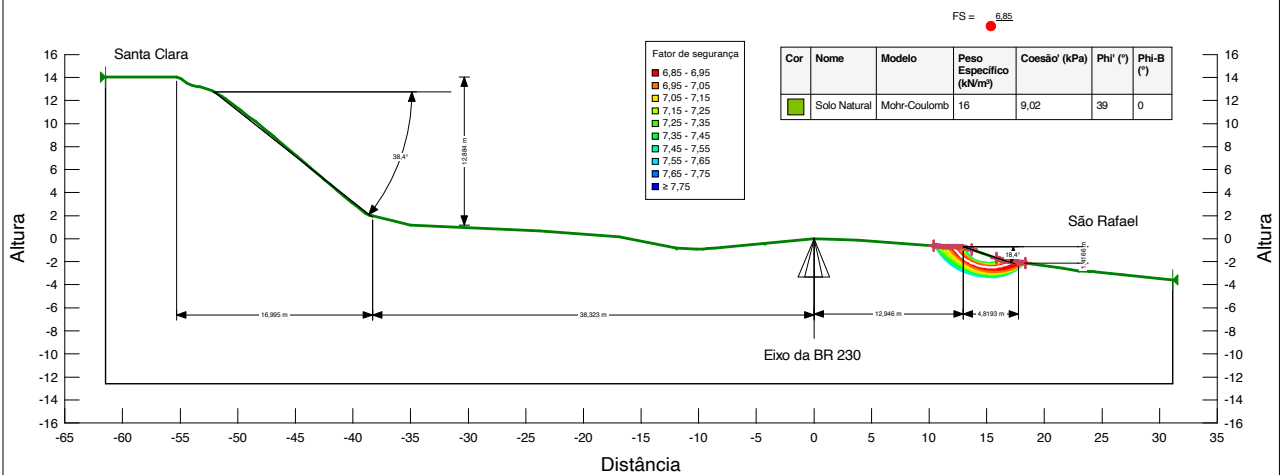


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



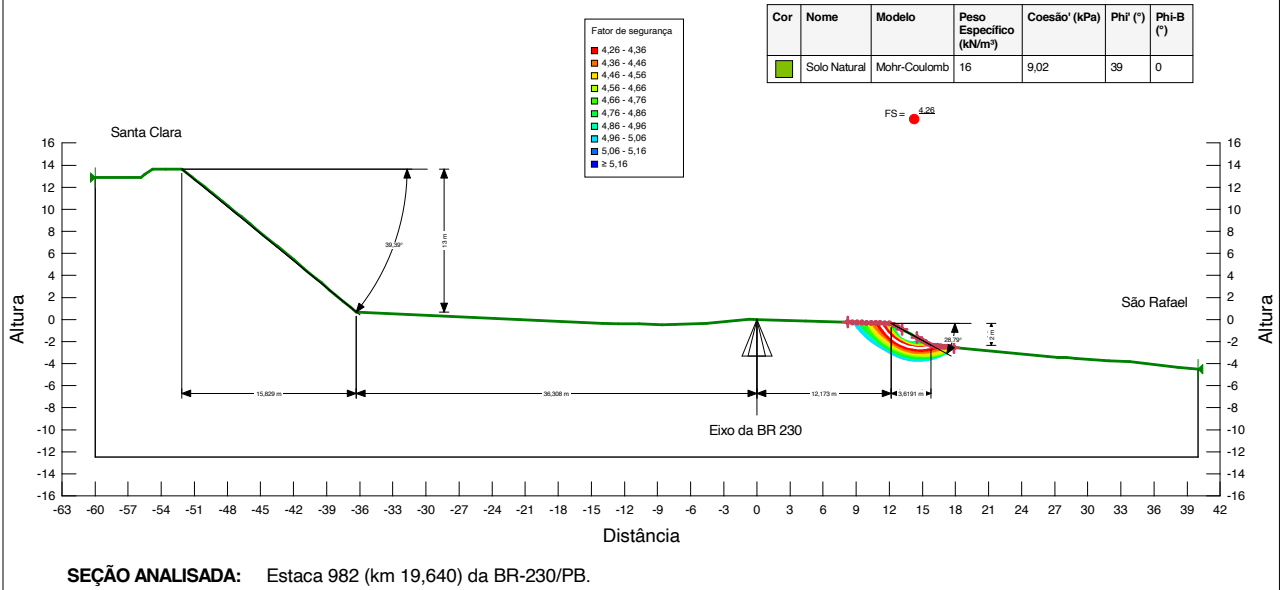
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 978 (km 19,560) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

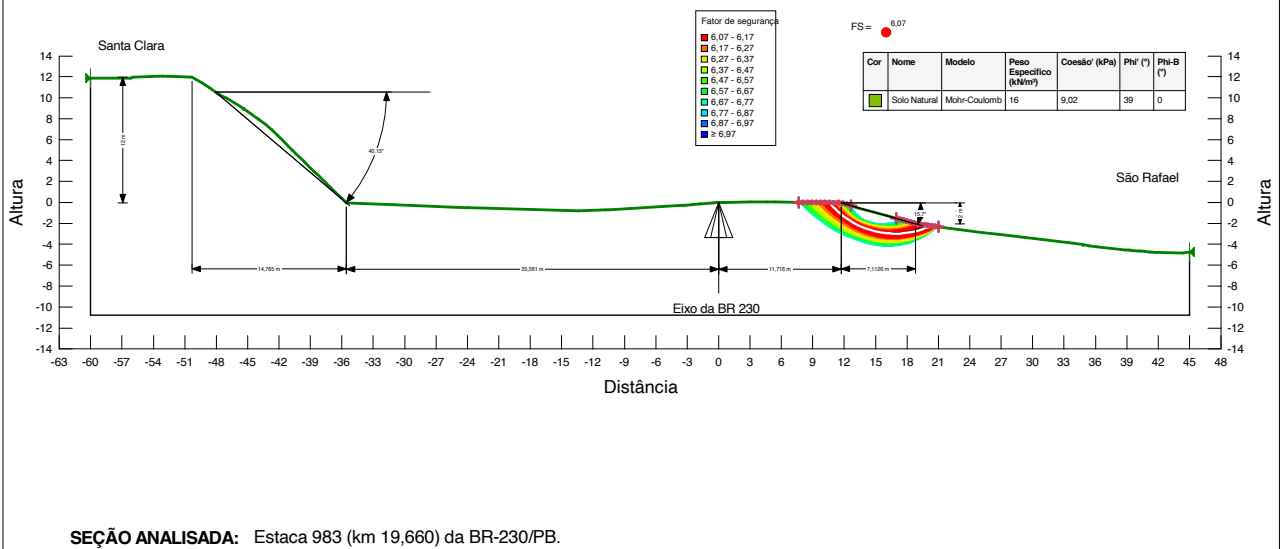


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 981 (km 19,620) da BR-230/PB.

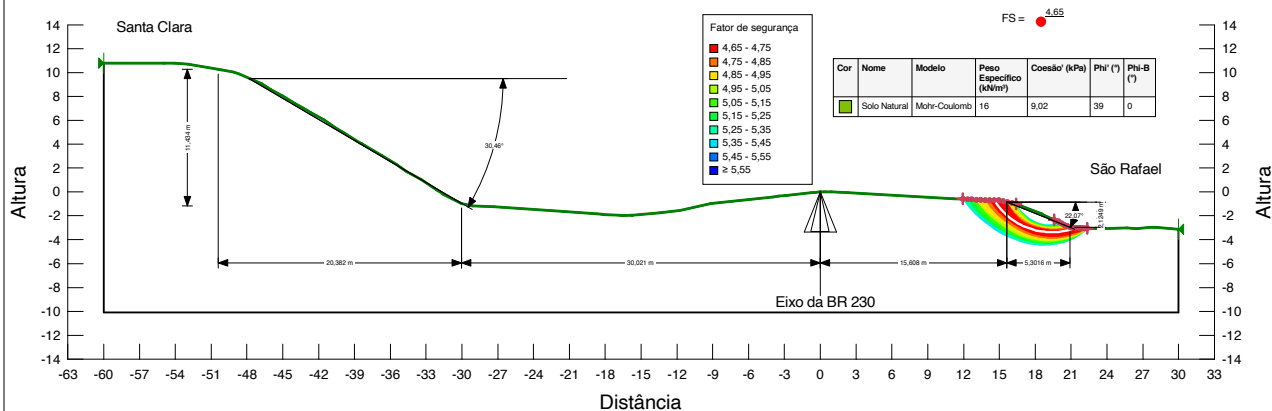
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

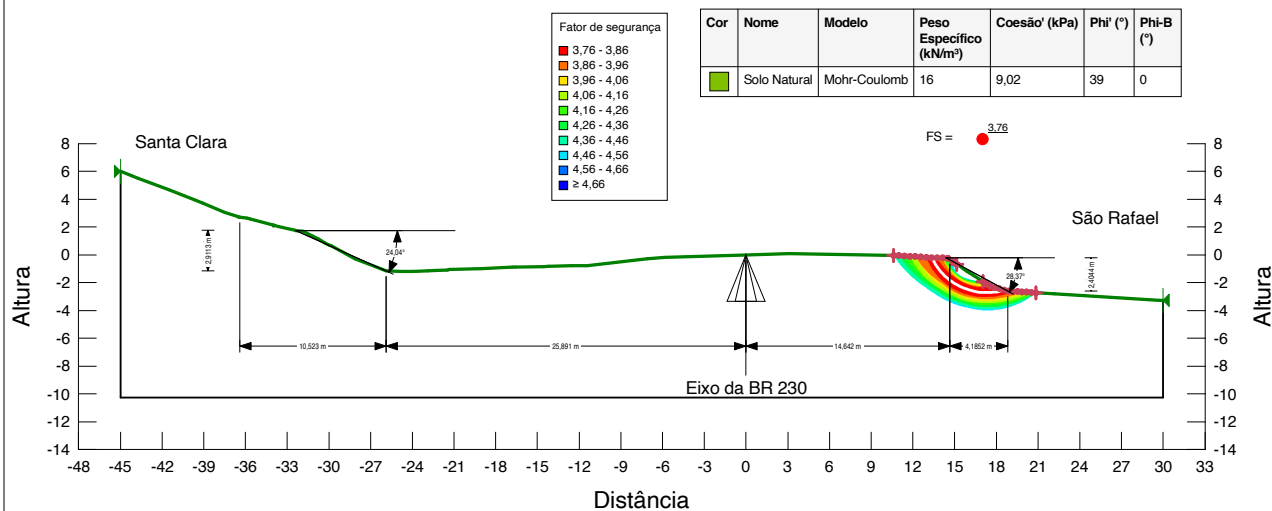


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



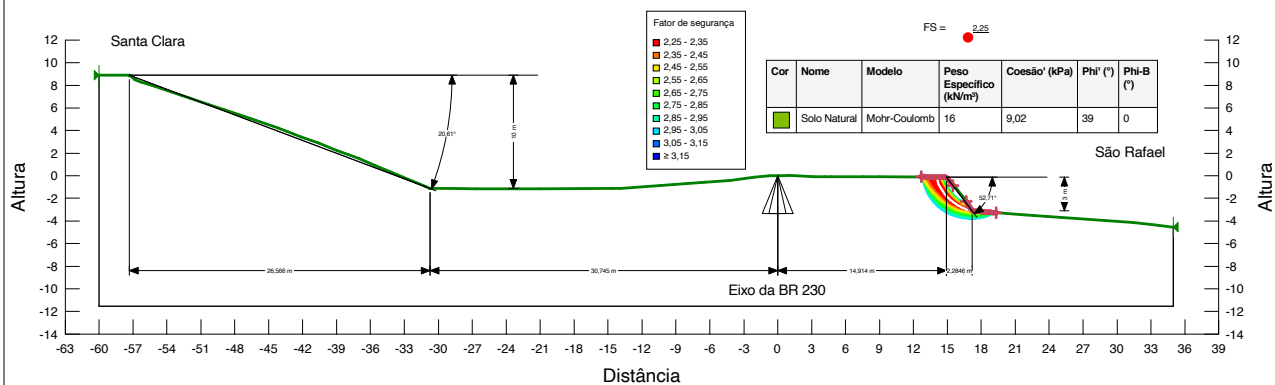
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 984 (km 19,680) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

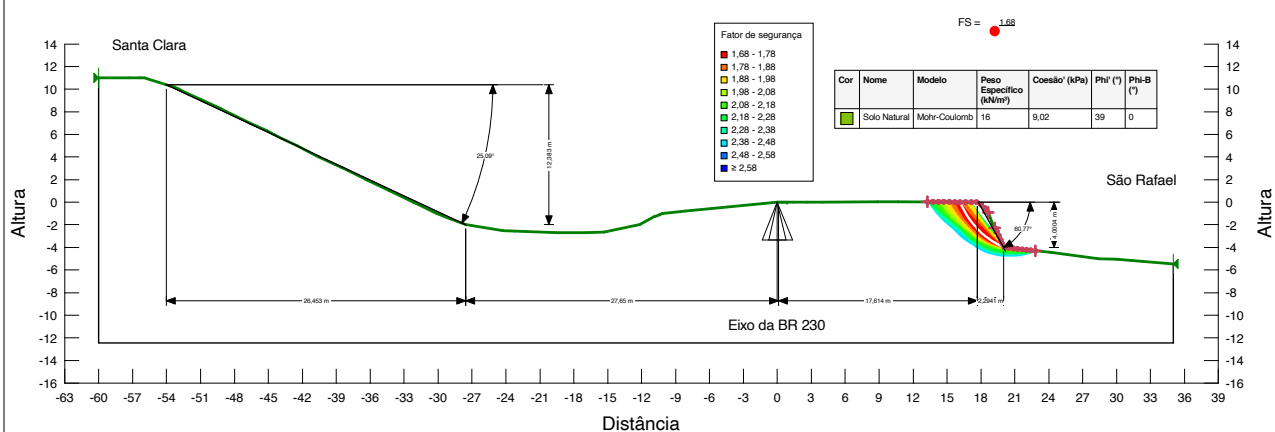


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 985 (km 19,700) da BR-230/PB.

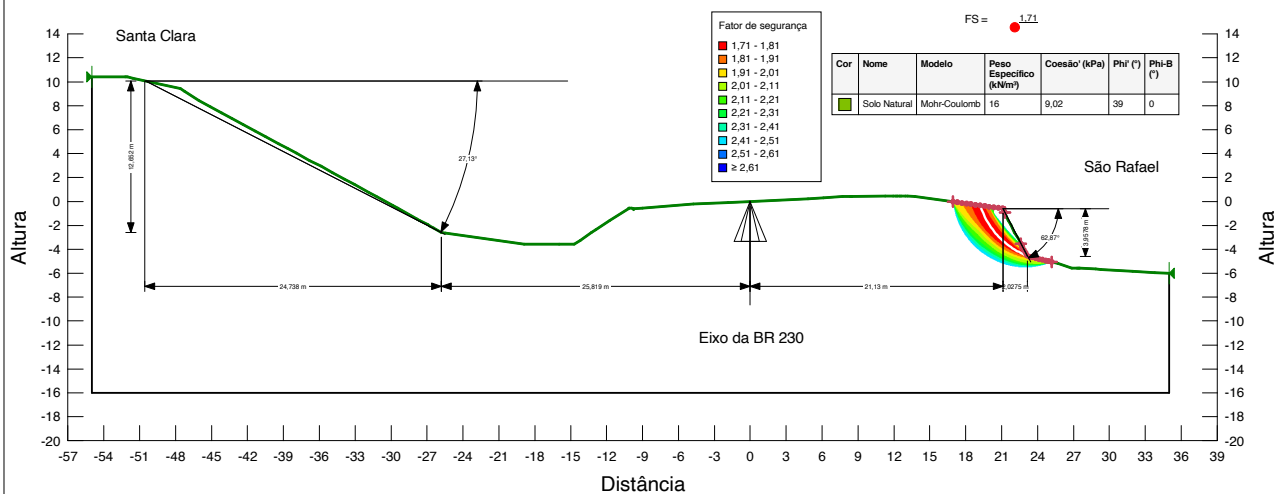
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



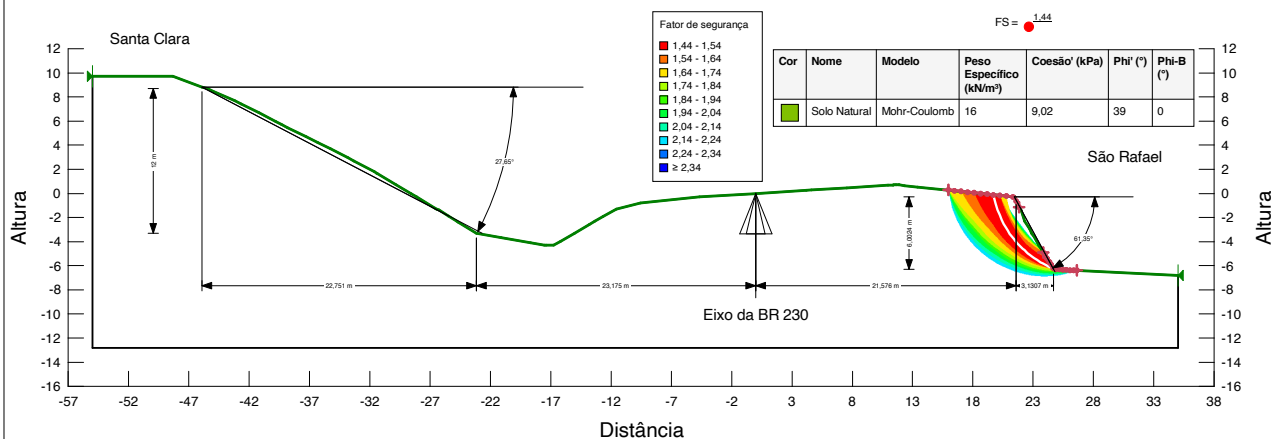
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



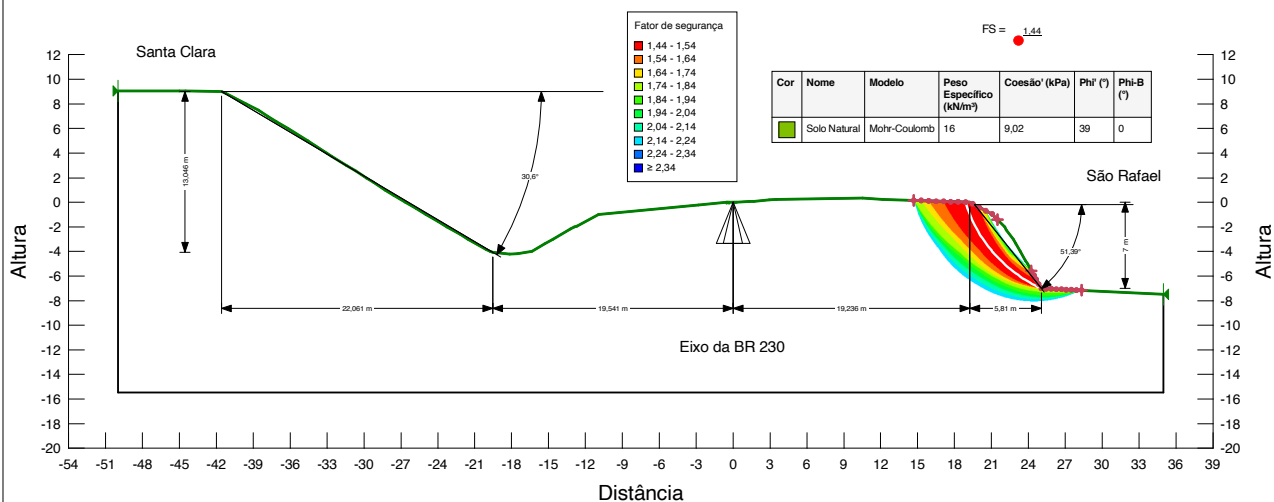
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



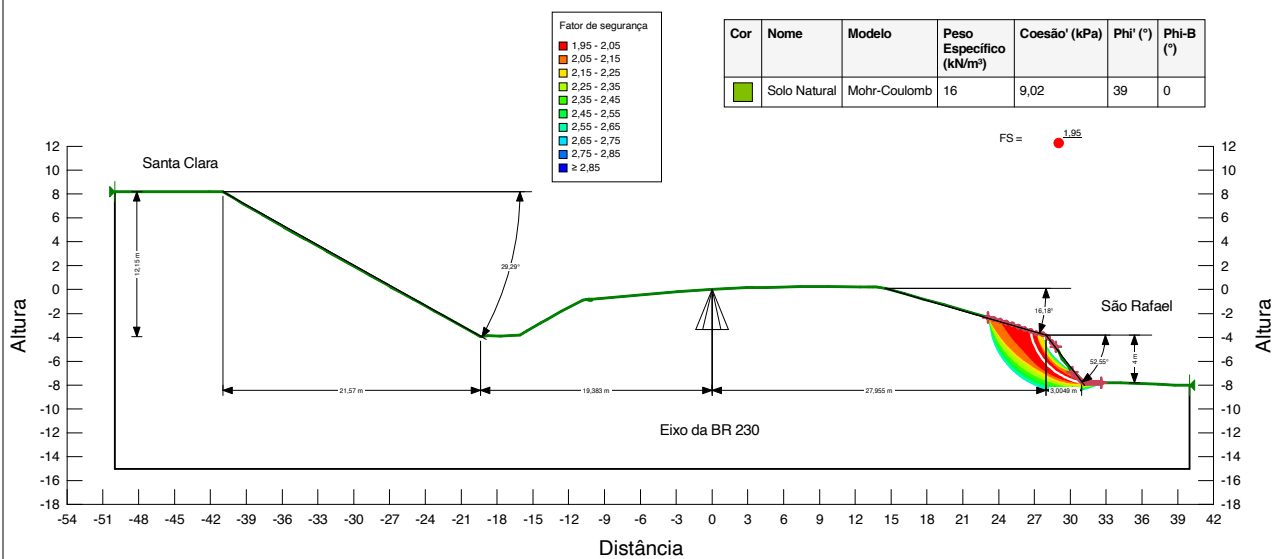
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



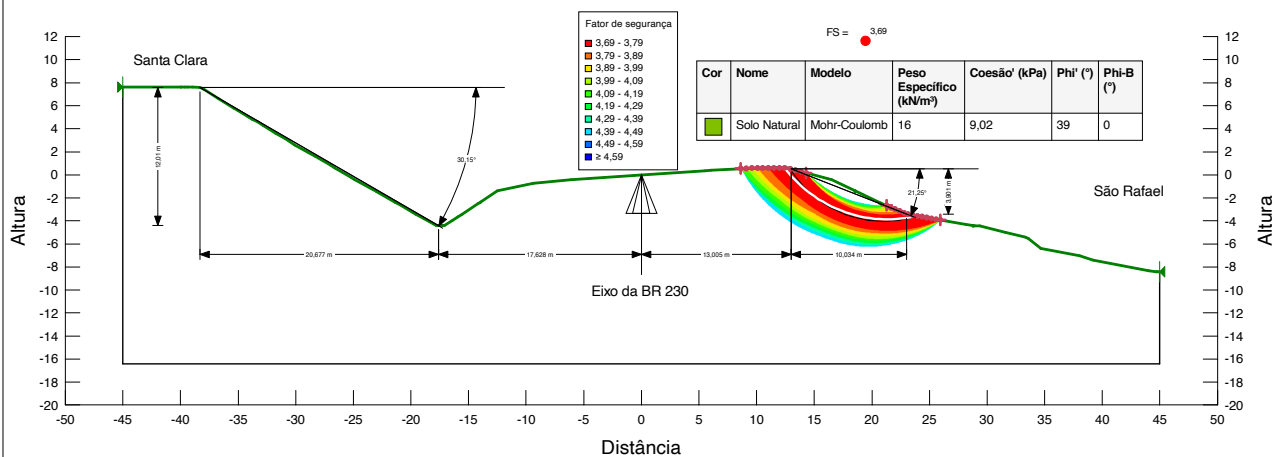
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



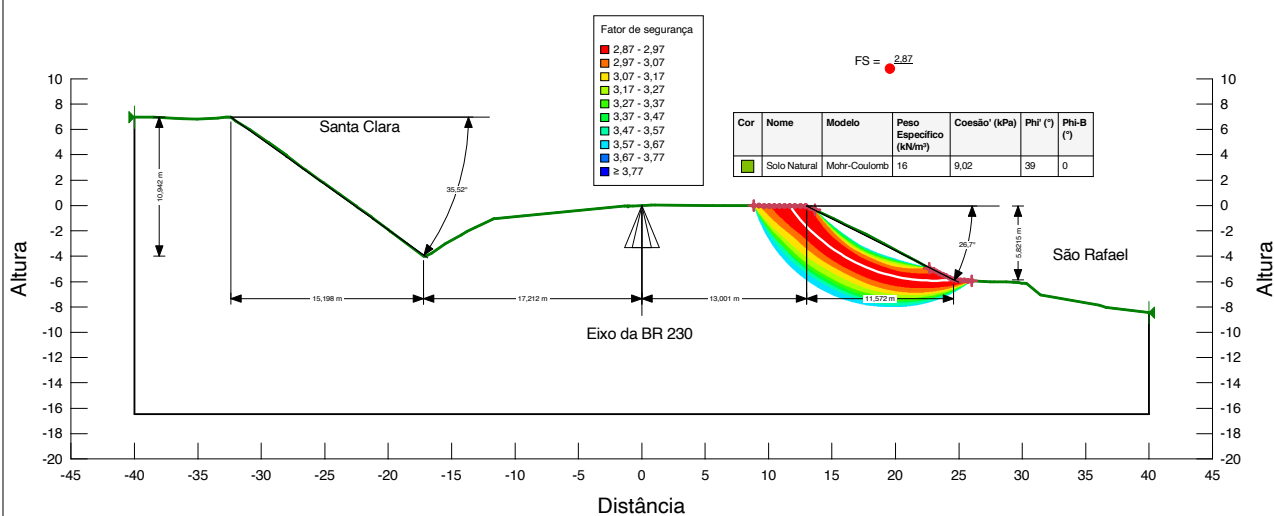
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



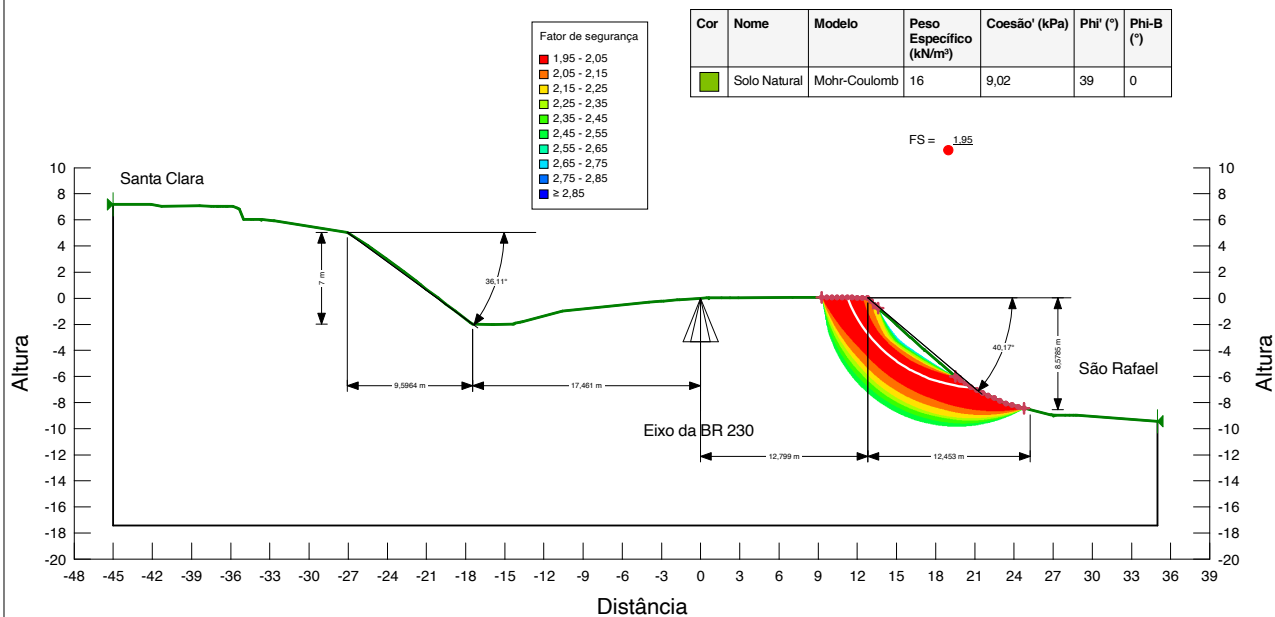
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



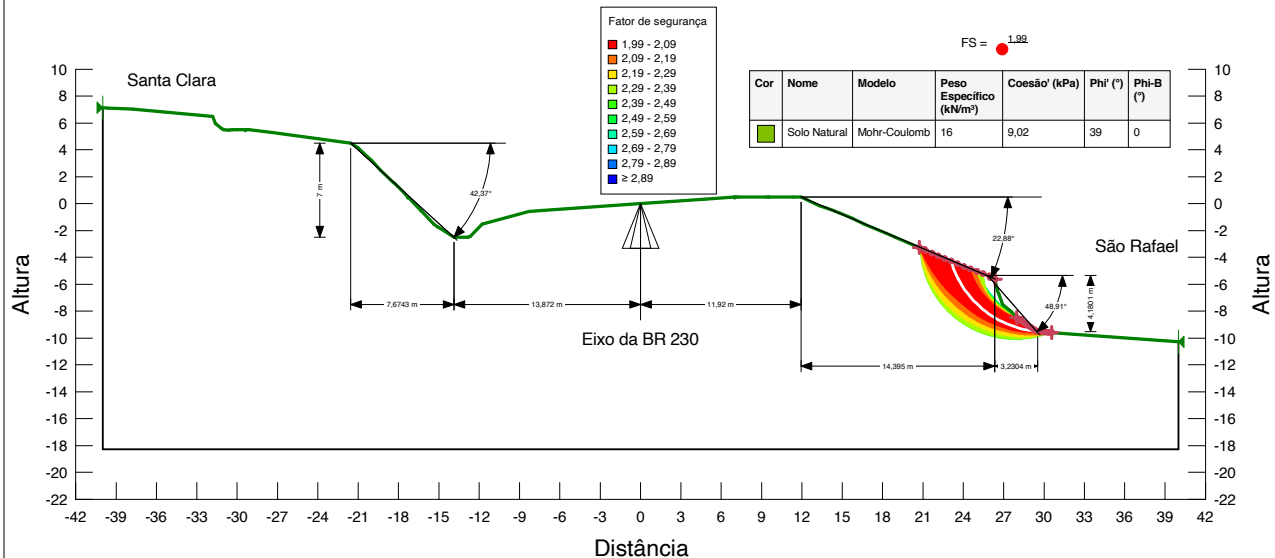
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



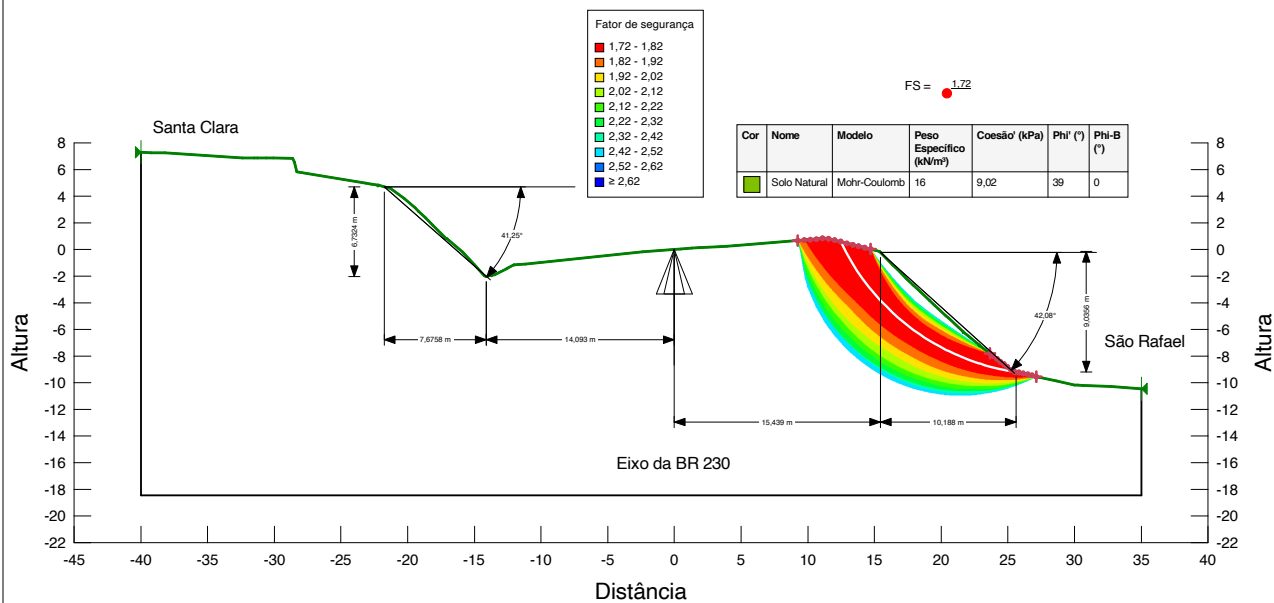
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

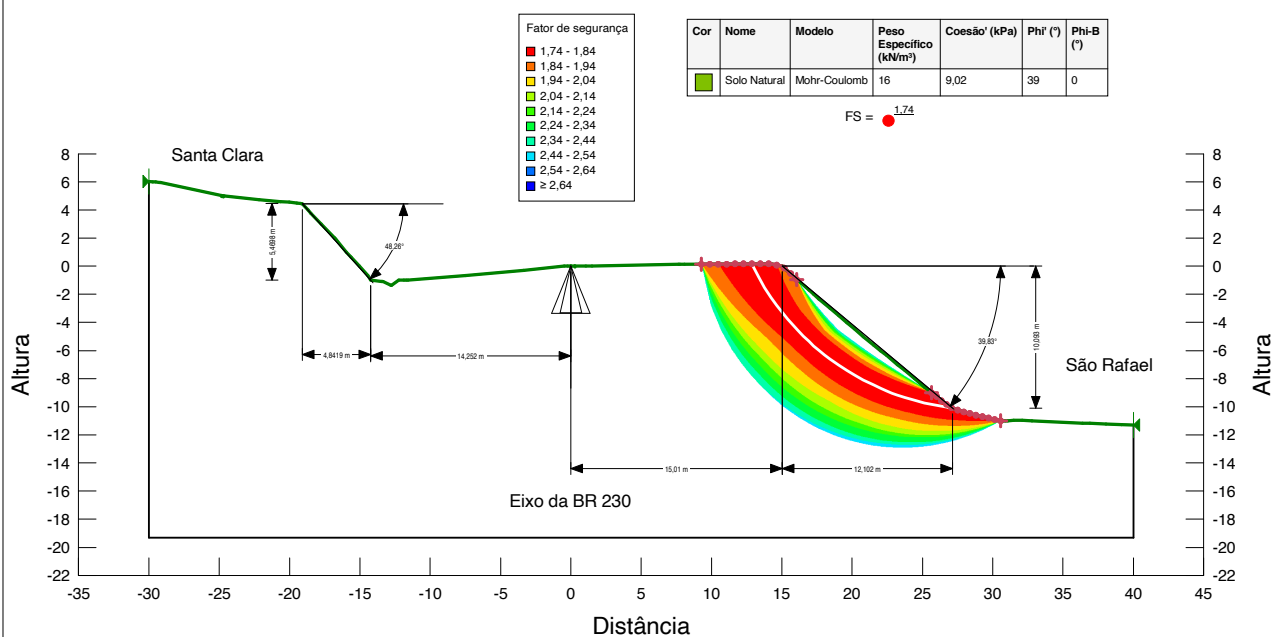


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



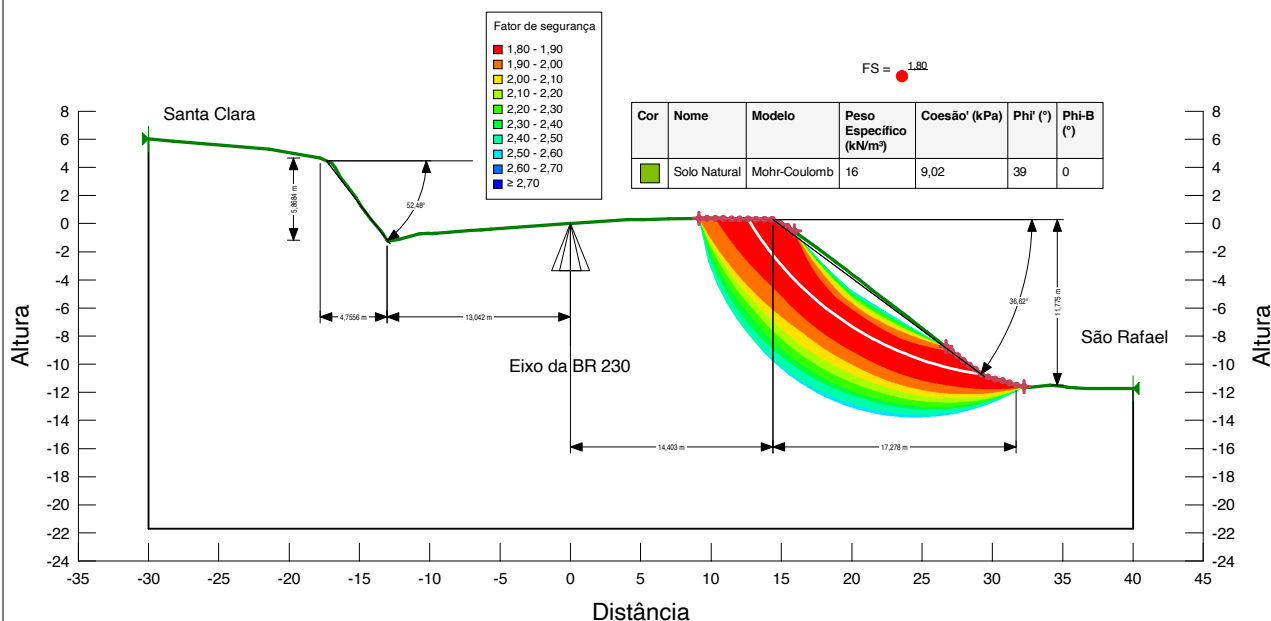
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 996 (km 19,920) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

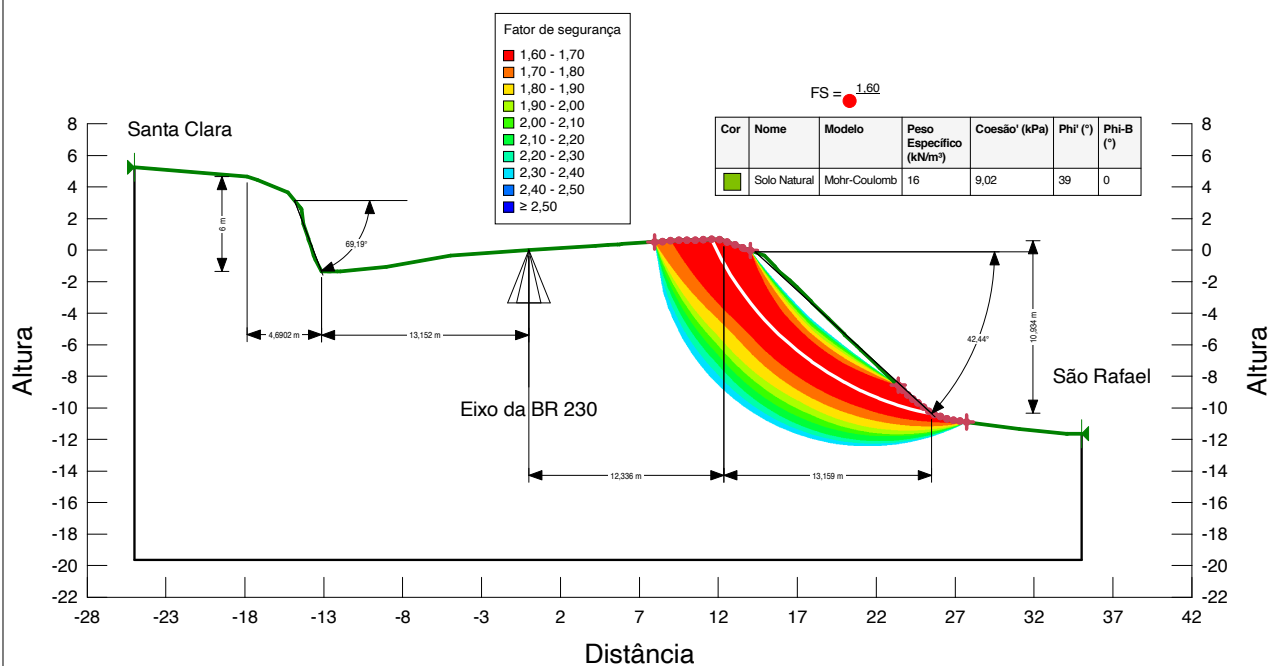


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 997 (km 19,940) da BR-230/PB.

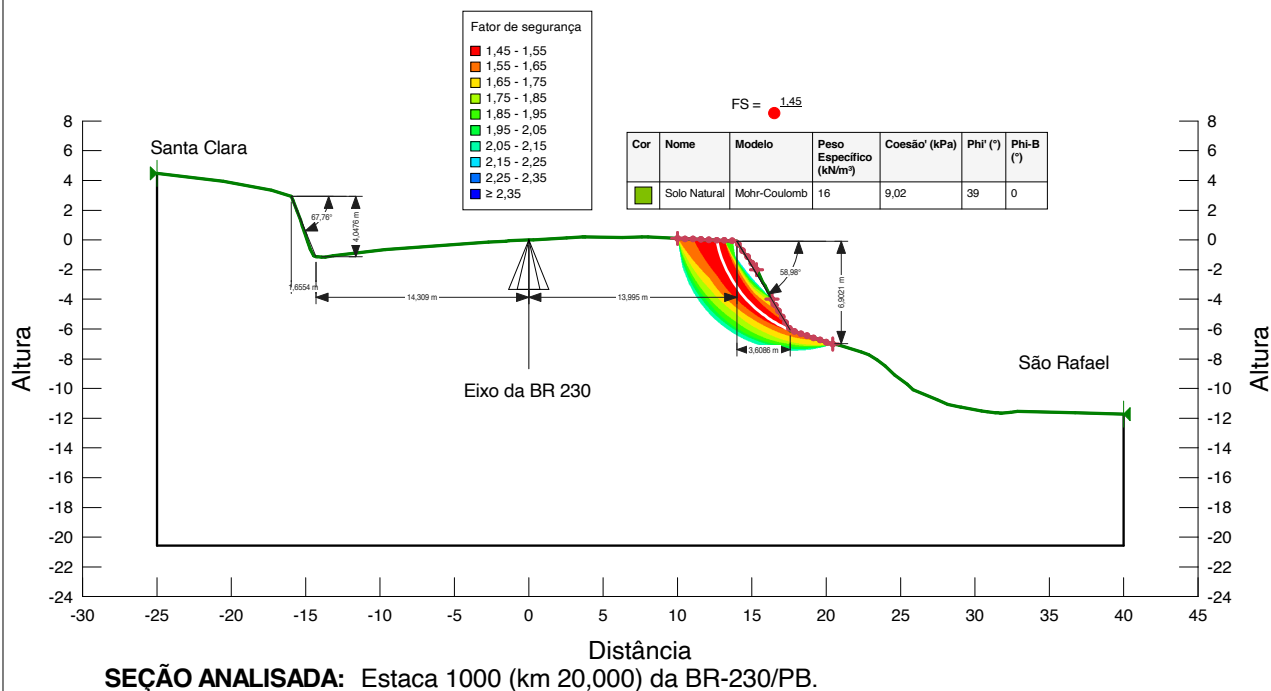
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



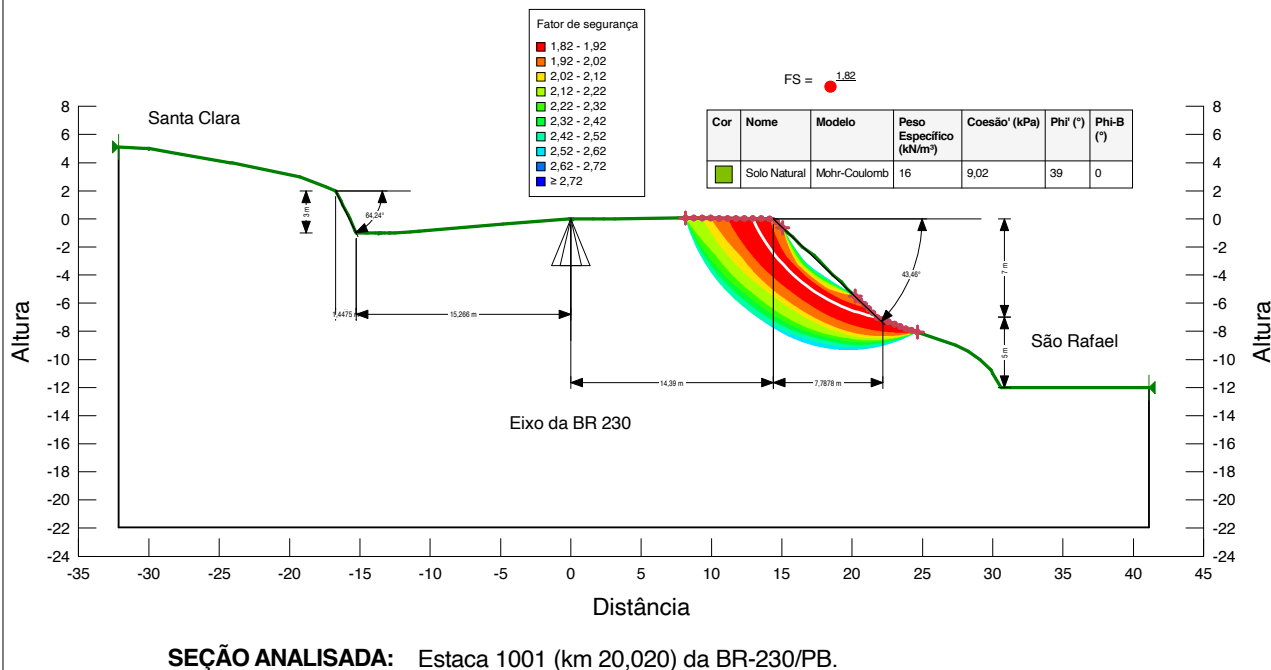
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



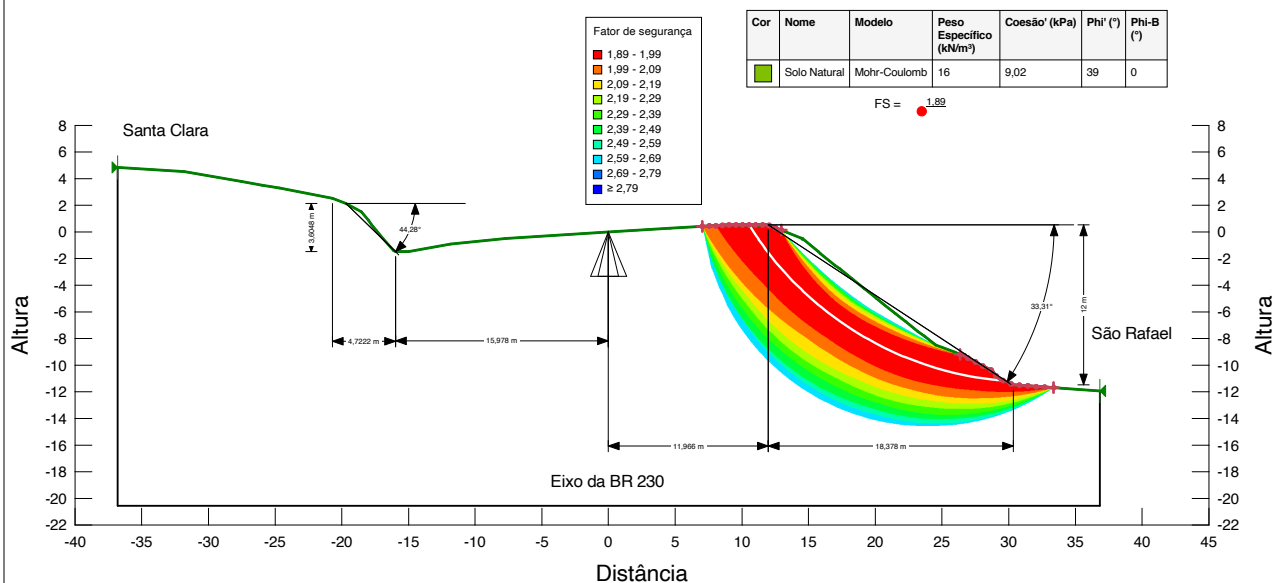
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

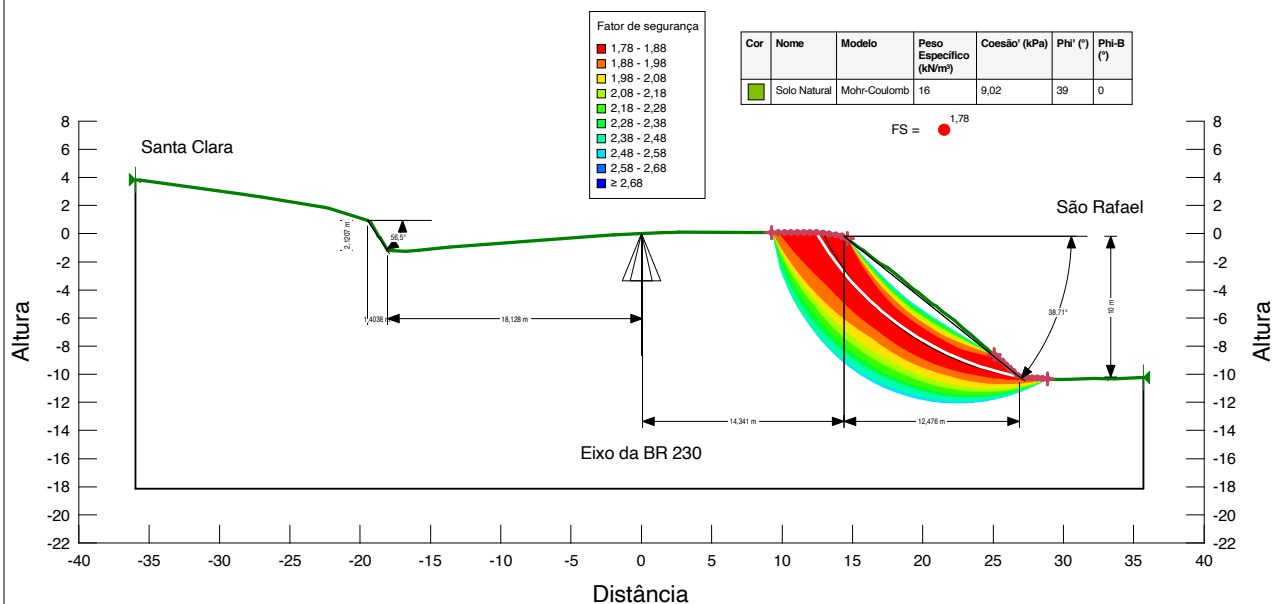


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



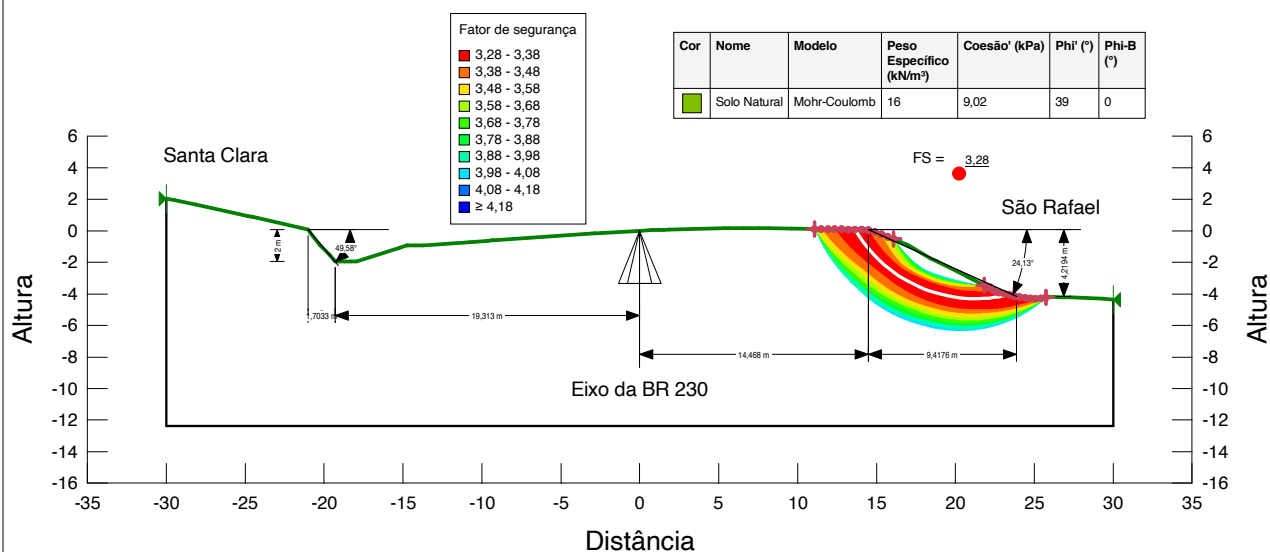
SEÇÃO ANALISADA: Estaca 1002 (km 20,040) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

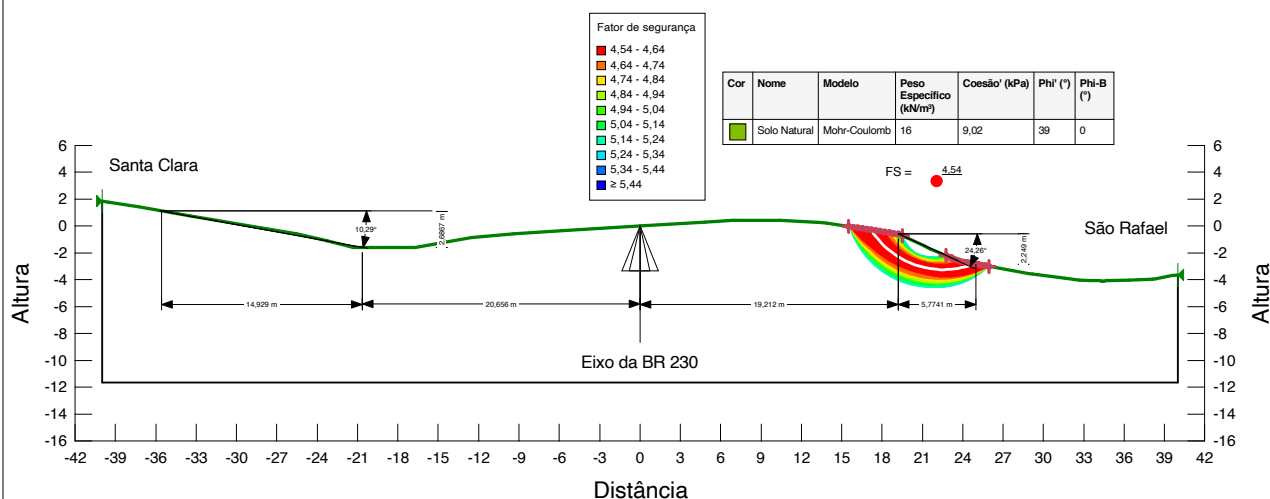


SEÇÃO ANALISADA: Estaca 1003 (km 20,060) da BR-230/PB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1

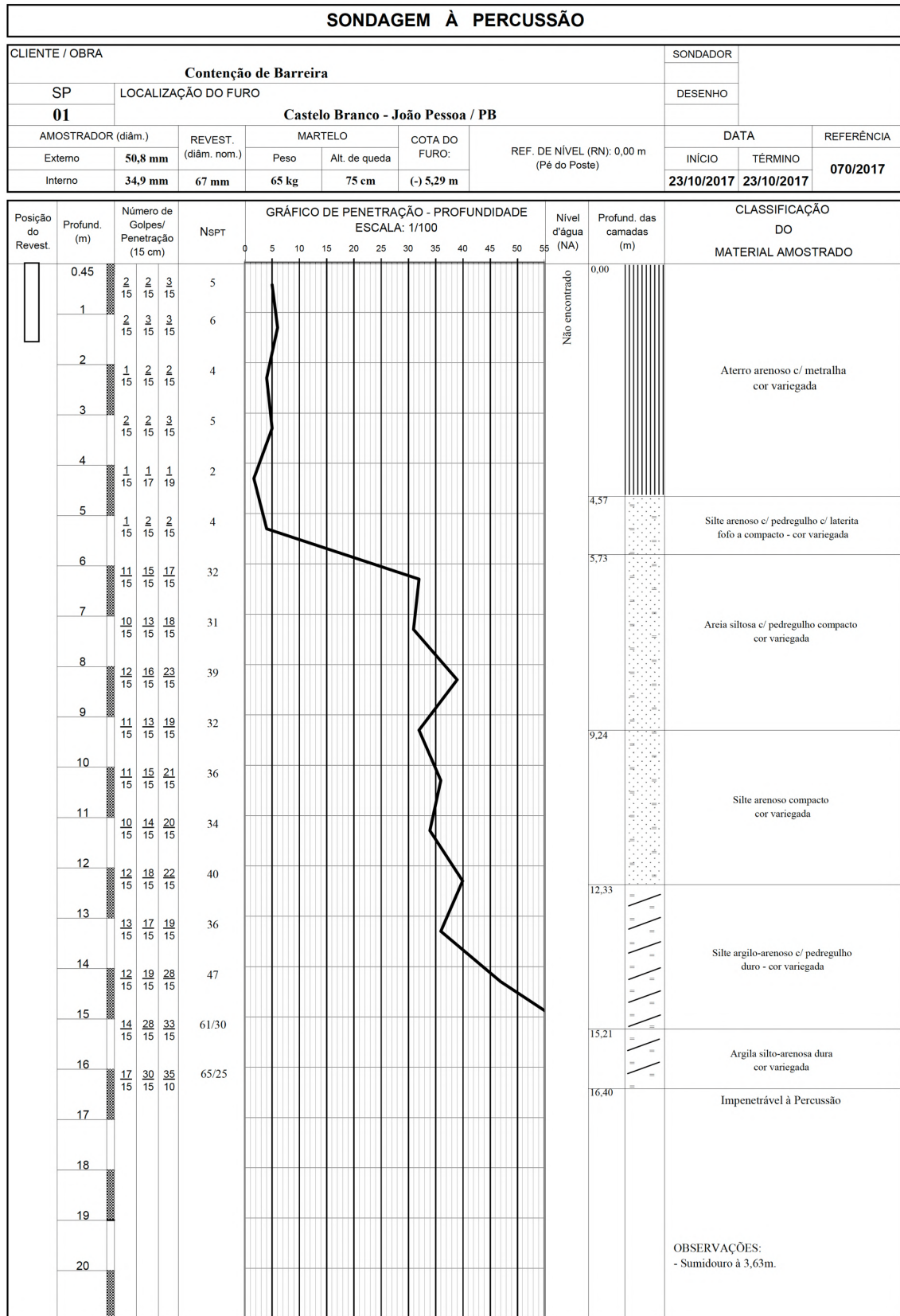


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
ESTUDO SOBRE SOLUÇÕES DE CONTENÇÃO PARA TALUDES INSTÁVEIS
Análise da estabilidade dos taludes na BR-230/PB - km 18,9 ao km 20,1



ANEXO

ANEXO A – Perfil de sondagem realizada no topo do talude da Comunidade Santa Clara



ANEXO B – Perfil de sondagem realizada no sopé do talude da Comunidade Santa Clara

