

 MINERAÇÃO E SERVIÇOS	<p style="text-align: center;">GOVERNO FEDERAL</p> <p style="text-align: center;">MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p style="text-align: center;">UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira.	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 1/71	Versão: V-01

RELATÓRIO TÉCNICO

Laudo geológico – geotécnico





Belo Horizonte/MG

Elaborado por:



LB Mineração & Serviços Ltda

Agosto de 2025

	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  <small>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</small> </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira		Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 2/71 Versão: V-01

SUMÁRIO

1	‘IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E EMPRESA CONSULTORA	6
2	INTRODUÇÃO E OBJETIVO	7
2.1	MATERIAIS E MÉTODOS	8
2.2	SONDAGEM SPT	9
2.3	LEVANTAMENTO AÉREO POR DRONE.....	11
2.4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.4.1	TALUDE	12
2.4.2	RESISTÊNCIA DOS SOLOS.....	13
2.4.3	FATOR DE SEGURANÇA	13
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
3.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	14
3.2	contexto local.....	15
4	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	16
4.1	CLIMA E METEOROLOGIA	16
4.2	HIDROGRAFIA.....	18
4.3	GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA.....	20
4.4	GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA REGIONAL	21
5	ASPECTOS GEOTÉCNICOS REGIONAIS	26
5.1	Movimentos de massa	29
6	RESULTADOS	30
6.1	MAPEAMENTO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO LOCAL	30
6.2	LEVANTAMENTO AÉREO POR DRONE.....	35
6.3	ANÁLISE HISTÓRICA	38
6.4	SONDAGEM SPT	42
6.5	ANÁLISE DE ESTABILIDADE	46
6.6	AVALIAÇÃO DE GRAU DE RISCO DO TALUDE	47
6.7	ESTRUTURAS DE DRENAGEM	50
6.8	MEDIDAS DE ESTABILIZAÇÃO SUGERIDAS	58

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 3/71 Versão: V-01</p>

6.9	ESTUDOS ADICIONAIS NECESSÁRIOS	65
7	RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Identificação do contratante	6
Tabela 2	– Identificação da empresa consultora.....	6
Tabela 3	- Classificação dos solos (ABNT NBR 6484:2020).....	10
Tabela 4	- Tabela dos estados de compacidade e consistência	46
Tabela 5	- Descrição dos graus de probabilidade de risco a movimentação	47
Tabela 6	- Valores utilizados para cálculo de vazão do projeto.....	53
Tabela 7	- Dimensões mais usadas no muro de gabião.	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Mapa de localização do talude em estudo.	7
Figura 2	- Imagem ilustrativa dos elementos da Sondagem SPT (Pinto, 2006).....	9
Figura 3	- – Figura esquemática mostrando a geração de um MDE a partir do uso de Drones.	11
Figura 4	- Elementos de um talude (Caputo, 1988).....	12
Figura 5	- Mapa de acesso à área de estudo	14
Figura 6	- Climograma de Belo Horizonte. Fonte: Climate data.....	16
Figura 7	- Bacia do Rio das Velhas (Fonte: IGAM, 2010).....	18
Figura 8	- Bacias hidrográficas e padrões de drenagem do território de Belo Horizonte.....	19
Figura 9	- Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, com destaque para a área de estudo. Modificado de Endo et. al, 2020.....	22
Figura 10	- Mapa geológico de Belo Horizonte. Fonte: Parizzi, 2021	23
Figura 11	- Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero, com destaque para a unidade presente na área de estudo (Modificado de Endo et.al, 2020).....	24
Figura 12	– Ilustração esquemática de um aquífero fraturado. Fonte: Department of Environment & Conservation, Government of Newfoundland & Labrador (2016).	25
Figura 13	- - Unidades Geológicas/ Geotécnicas do Município de Belo Horizonte – MG. FONTE: Reis Jr & Parizzi, 2018.....	27
Figura 14	- Modelo de desenvolvimento dos escorregamentos em solos residuais de gnaiss a partir de processos erosivos.	29
Figura 15	- Fotografia tirada a sul da região do talude. Observa-se processo de voçorocamento ativo, com movimento de rejeitos antrópicos pela encosta.	31
Figura 16	– Crista do talude, com evidências de movimentação ativa do terreno e desmoronamento.	32
Figura 17	– Parede exposta do talude silto-argiloso com presença de canaleta entupida e em péssimo estado de conservação.....	33
Figura 18	- Fotografia da parede oeste da ravina, responsável pela exposição do solo local.	34



	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  <small>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</small> </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira		Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 4/71 Versão: V-01

Figura 19 - Imagem aérea da região do talude.....	35
Figura 20 - Ilustração da declividade local.....	37
Figura 21 - Situação do talude em estudo no mês de setembro de 2019	38
Figura 22 - Situação do talude em janeiro de 2020, com presença de cicatrizes incipientes.....	39
Figura 23 - Imagem do talude no mês de dezembro de 2020.....	40
Figura 24 - Situação atual do talude (Imagem de março de 2025).	41
Figura 25 - Boletim da sondagem executada.	42
Figura 26 - Mapa de localização da sondagem SPT.	43
Figura 27 - Sondagem SPT realizada durante visita técnica.	44
Figura 28 - Materiais amostrados pela Sondagem SPT	45
Figura 29 - Setorização de risco local.	49
Figura 30 - Canaleta localizada próximo a crista do talude.	50
Figura 31 – Ilustração de canaleta quebrada e parcialmente obstruída.....	51
Figura 32 - Equação utilizada para cálculo de vazão máxima da canaleta.....	53
Figura 33 - Projeto conceitual de drenagens superficiais a serem implementadas.....	54
Figura 34 – Topo do talude e muro de concreto. Ausência de estruturas de drenagem, escorregamento ativo de material antrópico e declividade acentuada.	56
Figura 35 - Dimensões aproximadas da erosão a ser contida. Localização da estrutura de drenagem rompida.....	57
Figura 36 - lustração esquemática de processo de retaludamento, associado com implantação de estruturas.....	59
Figura 37 - Representação básica do muro de gabião por gravidade (Patrício, 2013).	60
Figura 38 - Mapa de localização de possíveis acessos de maquinários para realização das obras. .	64



LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Anotação de responsabilidade técnica - "ART"	71
--	----

	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 5/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

APRESENTAÇÃO

O presente documento visa a apresentação de um Laudo Geológico-Geotécnico com objetivo de avaliar o talude presente na área de estudo, diagnosticar as patologias estruturais observadas, identificar suas causas e realizar um direcionamento acerca de possíveis soluções para estabilização. A área de estudo está localizada na faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG.

 <p>LB MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 6/71 Versão: V-01</p>


1 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E EMPRESA CONSULTORA

Tabela 1 – Identificação do contratante

Razão Social:	MINISTÉRIO DA GESTÃO E INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS
CNPJ:	00.489.828/0120-80,
Endereço:	Avenida Afonso Pena, no 1.316, Centro, 7º Andar, Ala “B”, do Edifício-Sede do Governo Federal em Belo Horizonte, Minas Gerais.
Contato:	Andréa Heloisa da Silva Soares - sra.mg.ssc@gestao.gov.br

Tabela 2 – Identificação da empresa consultora

Razão Social:	LB Mineração & Serviços Ltda
CNPJ:	28.618.421/0001-08
Endereço:	Rua Capelinha, 501. Bairro Serra Belo Horizonte / MG - CEP: 30220-300
Contato:	Ian Costa Braga (31) 99931-1509 – lbmineracaoeservicos@gmail.com
Responsável Técnico:	IAN COSTA BRAGA Reg. CREA-MG: MG0000219869D MG

	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL BRA UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 7/71 Versão: V-01</p>

2 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A área de estudo está localizada nas proximidades do túnel de carga desativado, situado no bairro Santa Inês, próximo à Estação de Metrô José Cândido da Silveira (endereço aproximado: rua Marcelino Ferreira, nº 48, bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG, coordenada: lat. -19,881708° / long. -43,913213°), colocando em risco a segurança de pessoas, edificações e a integridade de vias públicas.

O presente relatório técnico tem como objetivo a caracterização do meio físico do terreno, a partir do estudo das questões relacionadas a geologia e geotecnia local, com análise dos resultados da sondagem executada e considerações acerca do meio físico local. Serão feitas avaliações do talude em questão e propostos soluções de contenção adequadas, caso necessário.

Os laudos geológicos-geotécnicos têm como objetivo avaliar as condições geológicas, geotécnicas, geomorfológicas, pedológicas, topográficas e hidrogeológicas de uma determinada área de interesse, possibilitando a avaliação, de forma qualitativa, de importantes variáveis como estabilidade da área, nível de fragilidade dos meios subterrâneos e superficiais e, ainda, susceptibilidade a erosão. Na Figura 1, a seguir, ilustra-se os limites da área de estudo.

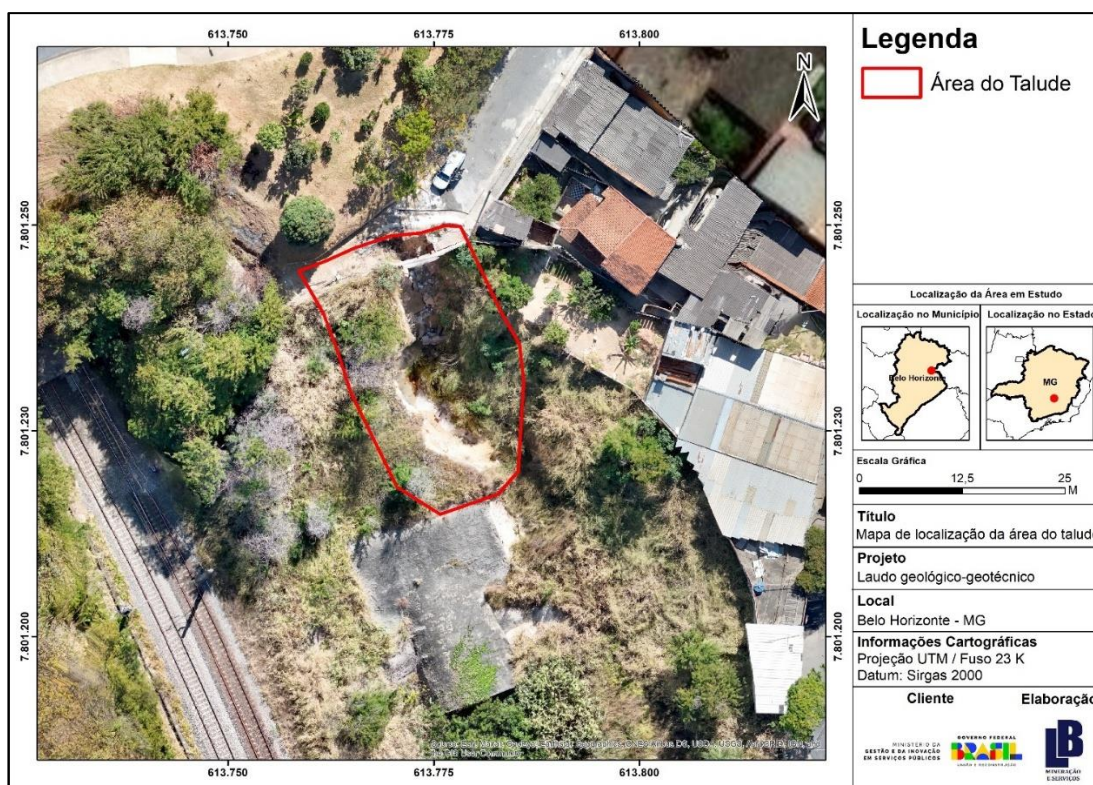



Figura 1 - Mapa de localização do talude em estudo.

	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  <small>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</small> </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 8/71</p>	
		<p>Versão: V-01</p>	



2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente estudo foram abrangidas três etapas principais, dentre elas:

Levantamento bibliográfico: nesta etapa foi realizada uma busca por artigos técnico-científicos, imagens de satélite, relatórios técnicos dentre outras publicações e estudos relevantes ao trabalho a ser executado. Com esses dados em mãos foi possível planejar a visita técnica em campo e realizar análises prévias sobre a área.

Levantamento de campo: com os dados adquiridos na etapa anterior foi feito o planejamento e visita técnica de campo. Procurou-se percorrer toda a área de modo a coletar informações suficientes para desenvolver os temas necessários para realizar a caracterização da área e para a elaboração do presente documento. Todos os pontos de campo foram registrados por meio de equipamento específico (GPSMapGarmin 60Cx) e, armazenados no sistema de coordenadas UTM, no Datum SIRGAS2000, zona 23S. O levantamento aéreo foi realizado utilizando veículos não tripuláveis (VANTs/Drones), com geração de orotofoto georreferenciada da área do talude. Áreas de interesse foram devidamente fotografadas e descritas em caderneta e ainda na etapa de campo, foi realizada uma sondagem SPT, com o intuito de compreender a natureza do material existente em subsuperfície.

Elaboração do relatório técnico de estabilidade do terreno: nesta última fase foi confeccionado o presente documento. Nele constam os dados obtidos em todas as fases de trabalho: descrições de pontos de campo, descrição da sondagem realizada, análises de estabilidade, inventário fotográfico e análises sobre o contexto geotécnico local.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL</p>  <p>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 9/71</p> <p>Versão: V-01</p>

2.2 SONDAGEM SPT

Os métodos de sondagem e do Ensaio de Penetração Padrão (Standard Penetration Test – SPT) foram conduzidos com base nos procedimentos recomendados na ABNT NBR 6484:2020 Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio.

O ensaio de simples reconhecimento é a mais usual ferramenta de investigação rotineira e econômica praticamente usada em todo mundo, permitindo uma indicação da densidade de solos granulares e também aplicado à identificação da consistência de solos coesivos e mesmo rochas brandas (Schnaid, 2000).

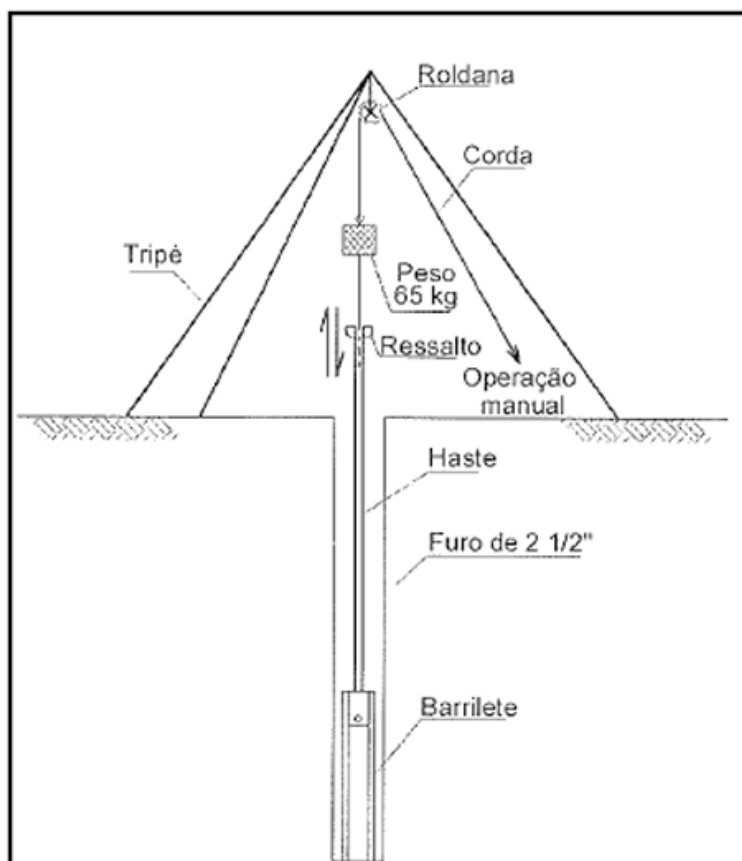




Figura 2 - Imagem ilustrativa dos elementos da Sondagem SPT (Pinto, 2006).

As amostras foram colhidas a cada metro de profundidade por meio do amostrador padrão, sendo as mesmas acomodadas em recipientes adequados e posteriormente encaminhadas para identificação tátil-visual em laboratório de mecânica dos solos.

	<p style="text-align: center;"> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira		Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 10/71 Versão: V-01

Os índices de penetração foram obtidos a partir da cravação do amostrador padrão por meio de quedas sucessivas do martelo padronizado, com a massa de 65 kg e altura de 0,70 m, até se atingir a penetração de 45 cm. Anotou-se o número de golpes necessários à cravação de cada 15 cm do referido amostrador padrão, ou conforme orientação da ABNT NBR 6484:2020. A Tabela 3 apresenta a classificação dos solos conforme a resistência (N_{SPT}):

Tabela 3 - Classificação dos solos (ABNT NBR 6484:2020).



Solo	Índice de resistência à penetração (N_{SPT})	Designação
Areia e silte arenoso	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Mediamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
Argila e silte argiloso	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	20 a 30	Muito rija (o)
	> 30	Dura (o)

As principais finalidades das sondagens de simples reconhecimento de solo são:

- Determinação dos tipos de solos e suas respectivas profundidades de ocorrência;
- Posição do nível d'água;
- Índices de resistência a penetração (N) a cada metro.

O índice de resistência a penetração, abreviado por N, é expresso pela soma do número de golpes requeridos para a segunda e a terceira etapas de penetração de 0,15m, ou seja, o número de golpes correspondentes a cravação do amostrador nos 0,30m finais, dos 0,45m totais, estes valores são apresentados graficamente no perfil obtido através das inspeções geológicas-geotécnicas.

O resultado das avaliações geológicas obtidas por meio das sondagens foi interpretado de modo a identificar espacialmente a composição do solo, as profundidades das camadas, sua resistência a penetração e suas características geotécnicas principais.

	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 11/71	
		Versão: V-01	

2.3 LEVANTAMENTO AÉREO POR DRONE

O levantamento aéreo foi realizado na área do talude e nas suas adjacências, com o objetivo de gerar imagens detalhadas e de alta precisão da área em análise. A metodologia empregou aerofotogrametria com drone DJI Mini 4 Pro e processamento por meio do software WebODM.

A missão de voo foi planejada previamente em um software dedicado de planejamento de missões, definindo altura de 70 metros, sobreposição frontal de 80% e lateral de 70%, garantindo boa cobertura e resolução (GSD médio de 2,5 cm/pixel). O Mini 4 Pro, equipado com câmera de alta resolução e sistema de estabilização, realizou os voos de forma automatizada, cobrindo toda a área de forma eficiente.

O processamento foi realizado no WebODM, onde as imagens foram transformadas em nuvem de pontos densa, ortomosaico, modelo digital de superfície (MDS) e modelo digital de terreno (MDT). Foram extraídas, a partir do MDT gerado, curvas de nível as quais foram analisadas em conjunto com o levantamento topográfico pré-existente, de modo a se obter uma topografia final ainda mais detalhada.

A integração do uso de VANT's e software livre permitiu a geração de ortofotos de alta qualidade, com ótimo custo-benefício e aplicabilidade direta nos estudos de erosão e instabilidade da área.

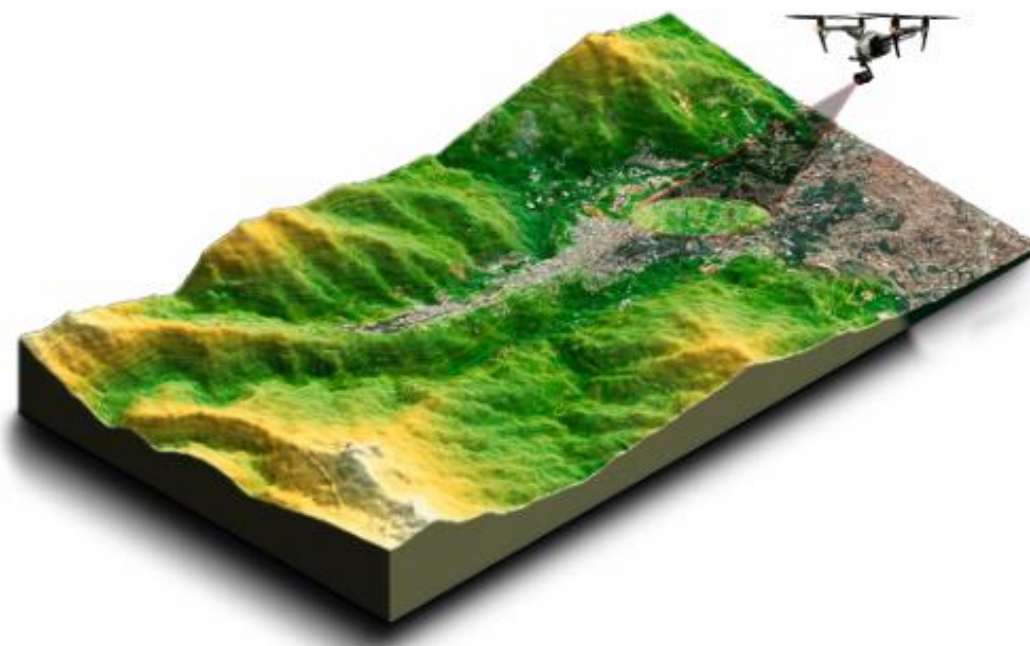


Figura 3 - -- Figura esquemática mostrando a geração de um MDE a partir do uso de Drones.

	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL BRAZIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 12/71 Versão: V-01</p>

2.4 REFERENCIAL TEÓRICO

2.4.1 TALUDE

Os taludes ou as encostas naturais são definidos como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), em relação a horizontal, originados de processos geológicos e geomorfológicos diversos, podendo apresentar modificações antrópicas, tais como cortes, desmatamentos, introdução de cargas, dentre outros (Filho & Virgili, 1998). Os taludes presentes na área alvo são classificados como de corte, ou seja, taludes originados por escavações antrópicas diversas.

O ângulo de um talude natural é o maior ângulo de inclinação para solos expostos ao tempo, formados sem afetar o equilíbrio do maciço. Nos solos com menor coesão (areias), esse ângulo praticamente coincide com o ângulo de atrito interno, e nos solos coesivos (argilas), que são apresentadas menos interconectividade entre os poros, este ângulo equivale, teoricamente, a 90° (Cardoso, 2002).

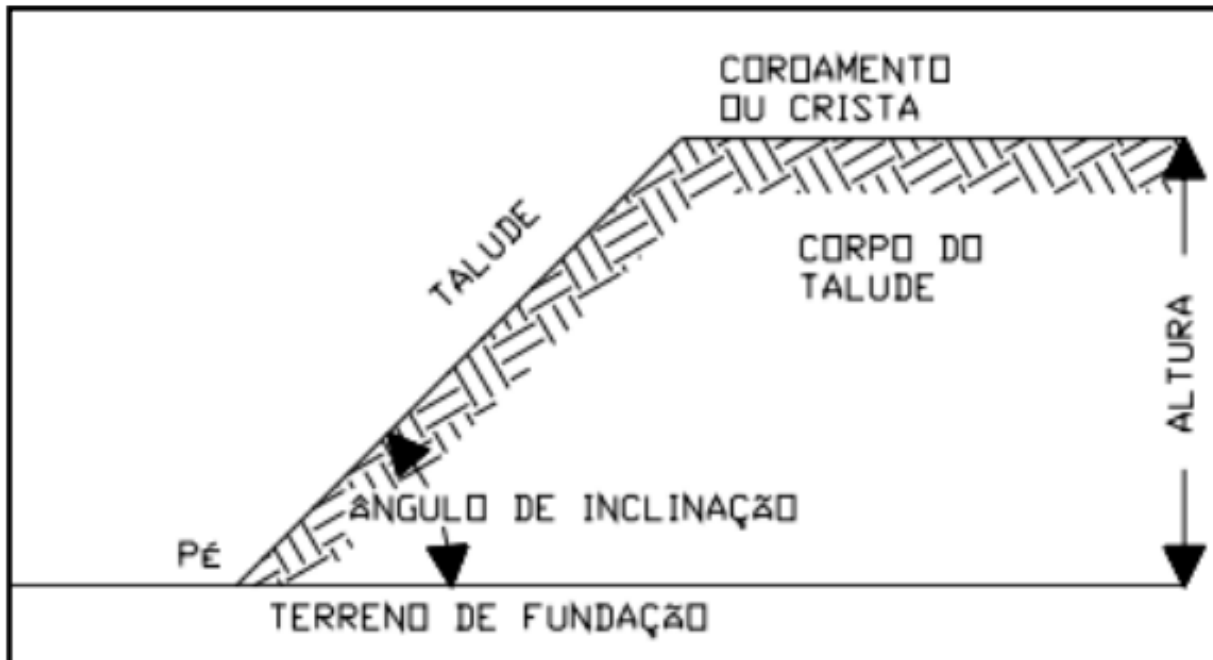



Figura 4 - Elementos de um talude (Caputo, 1988).

A estabilidade de taludes é afetada por condicionantes relativa à natureza dos materiais constituintes e dos agentes perturbadores, que podem ser de origem geológica, antrópica ou geotécnica (Rodrigues Junior, 2015).

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>GOVERNO FEDERAL</p> <p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 13/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

2.4.2 RESISTÊNCIA DOS SOLOS

A ruptura dos solos é muito comumente ocasionada por fenômenos de cisalhamento (Rodrigues Junior, 2015). A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser definida como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura estiver ocorrendo (Pinto, 2002). Com isso, a resistência dos solos pode ser definida como o resultante da ação conjunta do ângulo de atrito e da coesão, parâmetros esses que serão definidos adiante.

O fenômeno de atrito nos solos se diferencia do fenômeno de atrito entre dois corpos porque o deslocamento envolve um grande número de grãos, podendo eles deslizar-se entre si ou rolarem uns sobre os outros, acomodando-se em poros existentes no próprio material (Rodrigues Junior, 2015).

2.4.3 FATOR DE SEGURANÇA

A segurança de um projeto de engenharia é usualmente avaliada através de um fator de segurança (FS), definido como a razão entre a resistência disponível e o carregamento atuante. Segundo Dell'Avanzi e Sayão (1998), a adoção de um valor de FS mínimo admissível para uma determinada obra implica na adoção de um risco calculado ou aceitável.

Em uma análise de estabilidade geotécnica, seja para um talude, uma fundação ou qualquer estrutura em contato com o solo, o **Fator de Segurança (FS)** é um indicador crucial da margem de segurança do projeto. Ele é geralmente definido como a razão entre a **resistência disponível** do solo e a **tensão ou carga atuante** sobre ele

O fator de segurança é a variável usualmente aplicada para atestar a segurança de projetos de engenharia. Para se determinar o fator de segurança, verifica-se o equilíbrio entre as cargas estabilizantes (resistência do material (solo ou rocha)) e instabilizantes (cargas externas e peso do solo).

As causas mais comuns para deslizamentos e rompimentos de taludes são associadas a variação na frente de saturação e a alteração ou modificação progressiva da estrutura do solo por ação de fatores geológicos, essas causas diminuem a resistência ao cisalhamento do solo, provocando cenários de instabilidade.

	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL</p>  <p>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 14/71</p> <p>Versão: V-01</p>

A análise de estabilidade clássica equilíbrio limite considera uma típica seção transversal e define o fator de segurança (Fs) como a razão entre o momento resistente e o momento atuante, como é mostrado na equação a seguir:

$$FS = \frac{\text{Forças Resistentes}}{\text{Forças atuantes}}$$

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O bairro Santa Inês está localizado na porção leste do município de Belo Horizonte (Figura 5), a aproximadamente 55 km de Belo Horizonte. O acesso até a área de estudo é feito a partir de vias internas do município de Belo Horizonte. A Figura 5 a seguir ilustra a rota utilizada para acessar a área.

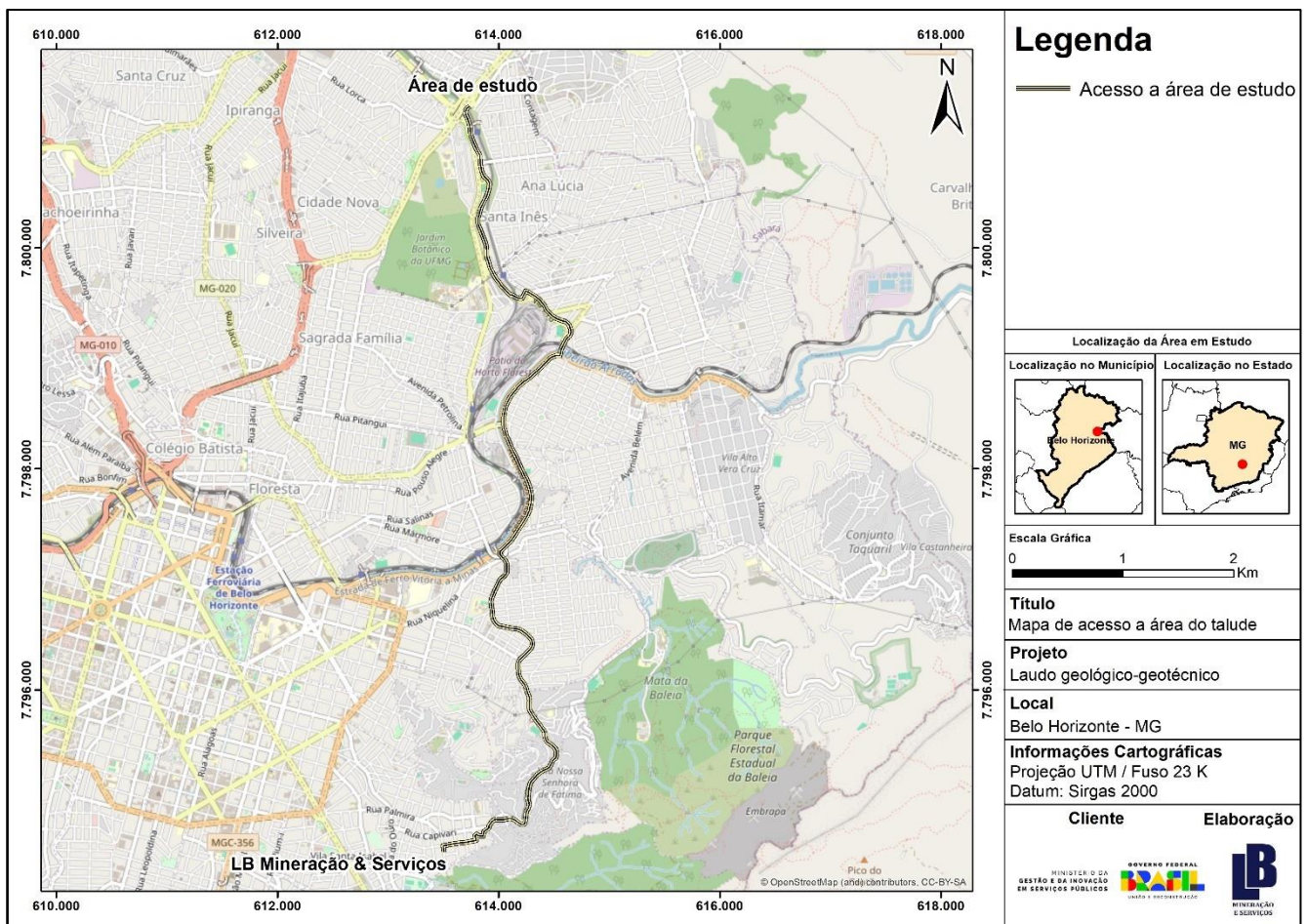




Figura 5 - Mapa de acesso à área de estudo

		LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 15/71	Versão: V-01



3.2 CONTEXTO LOCAL

O presente estudo, conforme delineado no Memorial Descritivo para Contratação de Laudo Técnico, busca abordar a ocorrência de problemas geotécnicos que afetam a estabilidade de uma área urbana localizada nas proximidades de um túnel de carga desativado. A área em questão está situada no bairro Santa Inês, próximo à Estação de Metrô José Cândido da Silveira, em Belo Horizonte/MG, com endereço aproximado na Rua Marcelino Ferreira, nº 48, e coordenadas lat. -19,881708° / long. -43,913213°. Este cenário representa um risco à segurança de pessoas, edificações e à integridade de vias públicas.

A demanda para esta análise emergiu de uma fiscalização de ofício de caráter emergencial motivada pela erosão no talude do túnel de carga desativado. Uma vistoria realizada em 12/02/2025 pela Secretaria do Patrimônio da União (SPU/MG) constatou que o processo erosivo persiste em curso acelerado. A gravidade da situação é evidenciada pela comparação com relatórios de fiscalizações anteriores, incluindo o RFI 4420 de 01/11/2022, RFI 1670 de 15/06/2023, e RFI 206 de 12/02/2024, que demonstram o avanço contínuo da erosão.

O talude apresenta uma situação crítica, onde um muro localizado no final da Rua Marcelino Ferreira está sem nenhum apoio, com risco iminente de desabamento. Além disso, uma parte considerável do aterro sobre a entrada e abaixo da estrutura de concreto do túnel foi comprometida pelo aumento da erosão. Já em 2023, foi observada a destruição do sistema de drenagem dos taludes do túnel desativado. Na inspeção mais recente, verificou-se que, com o agravamento da erosão, as canaletas de concreto se encontram mais expostas e uma delas está obstruída. Como medida paliativa, foi construída uma canaleta e colocados sacos para desviar a água da Rua Marcelino Ferreira, evitando que caia diretamente na área erodida abaixo do muro.

A proximidade da erosão com residências e a Avenida José Cândido da Silveira acentua os riscos potenciais à vida dos moradores e ao patrimônio. A complexidade da situação de risco, decorrente da movimentação do terreno (geológico) e do desabamento (construtivo), é uma preocupação primordial.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 16/71 Versão: V-01</p>

4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

4.1 CLIMA E METEOROLOGIA

O regime climático da região de Santa Inês, em Belo Horizonte/MG (aproximadamente na rua Marcelino Ferreira, nº 48, coordenadas lat. $-19,881708^\circ$, long. $-43,913213^\circ$), é determinado pelas condições médias da circulação geral da atmosfera, pela proximidade de fontes de umidade (como a Zona da Mata e o Atlântico distante) e pela topografia urbana e natural local. Segundo a classificação de Köppen–Geiger, a cidade de Belo Horizonte apresenta clima Cwa – tropical de altitude com estação seca bem definida e verões com chuvas intensas.

A região de Santa Inês herda esse padrão: verões quentes e úmidos, com chuvas concentradas entre outubro ou novembro até março ou abril, e invernos secos e amenos, principalmente entre maio e setembro. A precipitação média anual em Belo Horizonte gira em torno de 1.200 mm, com o mês mais seco sendo julho (~9 mm) e o mais chuvoso dezembro (~260 mm). A temperatura média anual da cidade é por volta de 21–22 °C, com médias diárias de 17–18 °C em julho e 22–23 °C nos meses quentes.

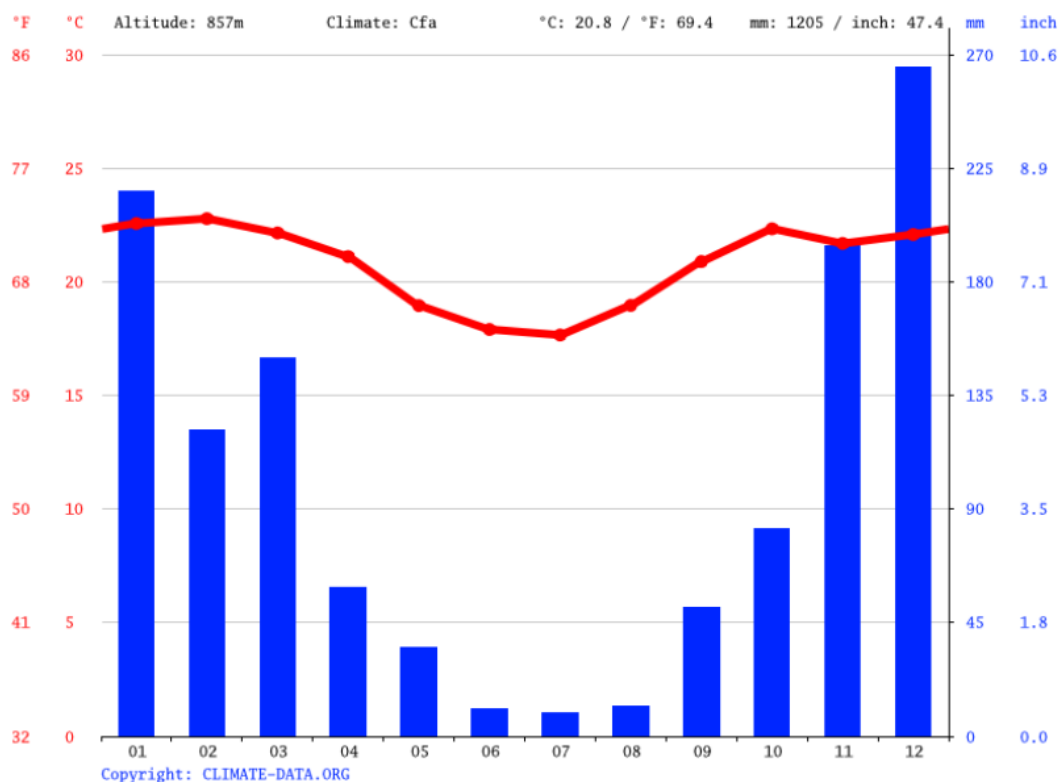




Figura 6 - Climograma de Belo Horizonte. Fonte: Climate data.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 17/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

Riscos climáticos e de segurança para pessoas, edificações e vias públicas.

1. Inundações e alagamentos repentinos

Chuvas pesadas concentradas (especialmente entre novembro e março) podem provocar alagamentos em pontos baixos e calçadas da rua Marcelino Ferreira ou vias adjacentes, dificultando o tráfego e colocando pedestres e motoristas em risco. Episódios extremos como os de janeiro de 2020, com acumulados de 178–250 mm em 24 h, mostraram que trechos da capital ficaram inundados.

2. Deslizamentos e risco geológico local

Mesmo em áreas centrais como no Santa Inês, moradias construídas em encostas ou taludes alterados podem sofrer erosão ou deslizamentos, agravados pela saturação do solo durante chuvas intensas.

3. Danos à infraestrutura e queda de muros ou árvores

Ventos fortes associados a tempestades (com rajadas próximas de 80–100 km/h em BH) podem ocasionar quedas de árvores, muros e estruturas improvisadas nas calçadas ou terrenos, atingindo pedestres, veículos e ciclistas.

4. Impacto ao trânsito e acessos públicos

Alagamentos podem impedir o acesso à Estação de Metrô próxima, interromper linhas de ônibus e travessias, gerando bloqueios de ruas e riscos a quem circula, como ocorreu em temporais intensos que bloquearam tráfego na capital.

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 18/71

Versão: V-01

4.2 HIDROGRAFIA

Em uma classificação hidrográfica abrangente o município de Belo Horizonte está inserido na Bacia do rio das Velhas. Segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (IGAM, 2005), esta bacia está localizada, em sua totalidade, na região central do Estado de Minas Gerais, ocupando uma área de 29.173 km², equivalente a quase 60% do território da RMBH e a 4,05% da Bacia do São Francisco

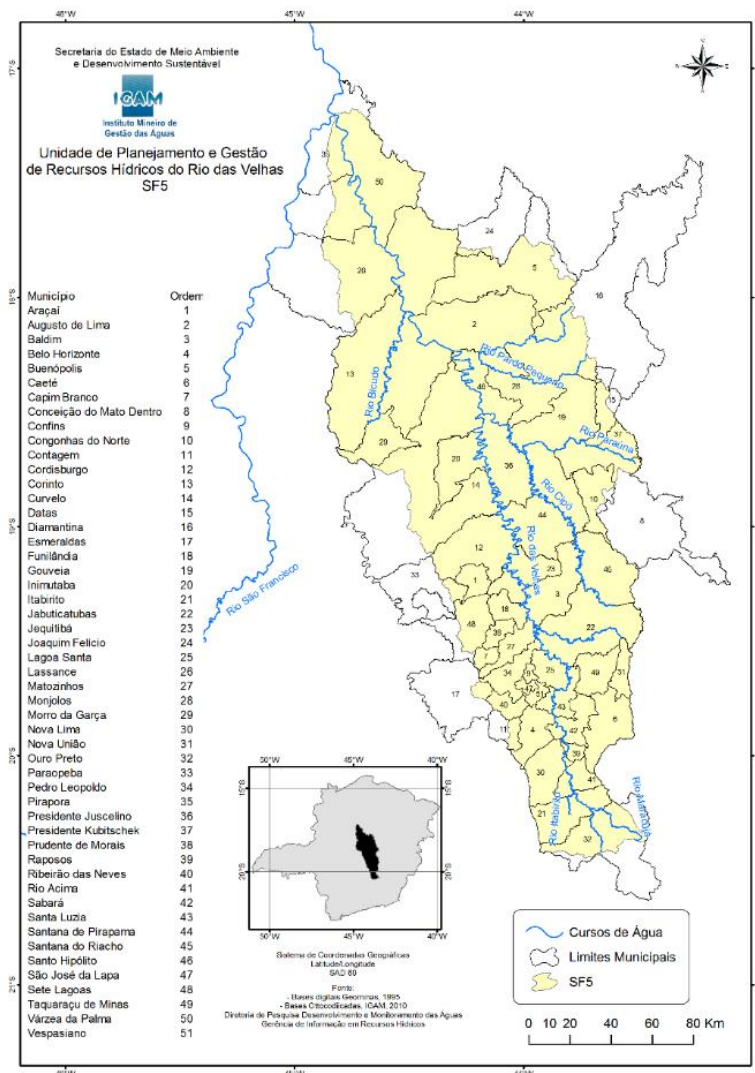


Figura 7 - Bacia do Rio das Velhas (Fonte: IGAM, 2010).

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 19/71

Versão: V-01

Em âmbito local existem duas bacias hidrográficas principais no município que são a Bacia do Ribeirão da Onça e a Bacia do Ribeirão Arrudas, sendo os padrões de drenagem distintos para cada uma delas.

A Bacia do Ribeirão do Onça encontra-se integralmente na área de mar de morros da Depressão Belo Horizonte. O padrão de drenagem é do tipo dendrítico e as sub-bacias apresentam formatos circulares a ramificadas. Parte da Bacia do Ribeirão Arrudas na área central do município encontra-se na área da depressão Belo Horizonte mantendo o padrão dendrítico. Entretanto ao sul do município, a Bacia do Ribeirão Arrudas apresenta drenagem do tipo paralela e sub-bacias alongadas, tendo forte influência das maiores altitudes e declividades e da orientação SW-SE da Serra do Curral e subcristas definidas pela sequência das rochas metassedimentares do Supergrupo Minas. A área de estudo está localizada na Bacia do Ribeirão Arrudas.

A Figura 11 abaixo mostra a hidrografia do município e os padrões de drenagem descritos.

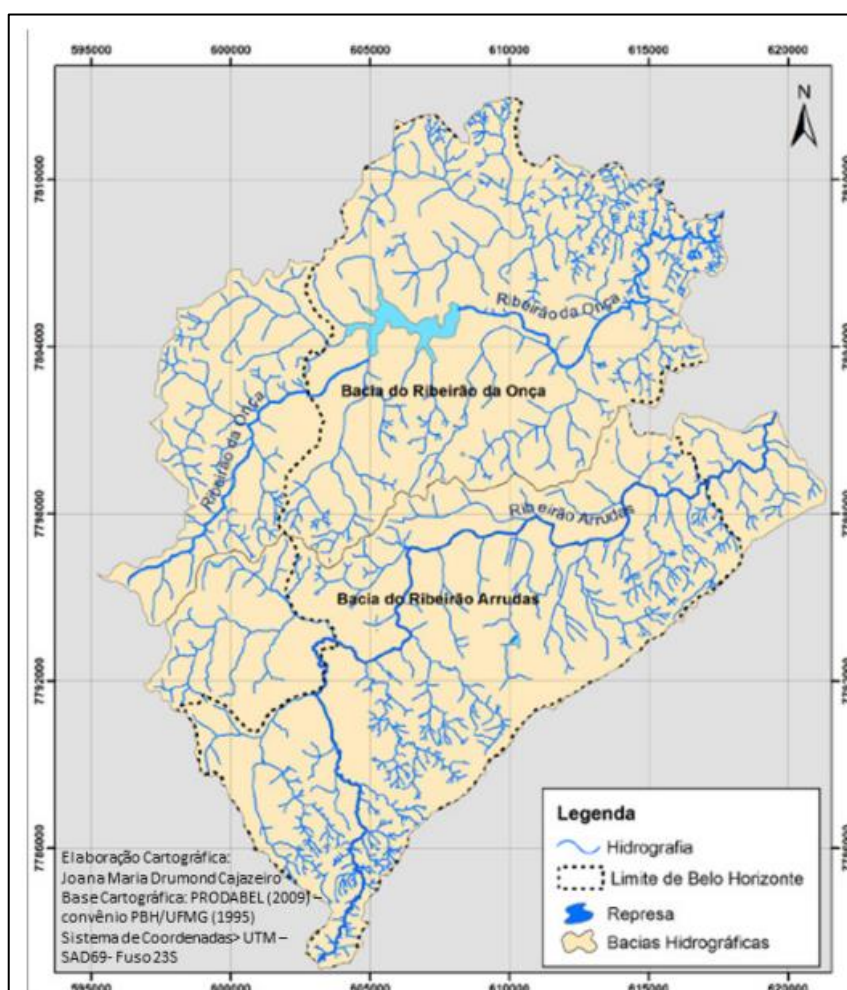




Figura 8 - Bacias hidrográficas e padrões de drenagem do território de Belo Horizonte

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 20/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

4.3 GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA

A área de estudo situa-se em região urbanizada do bairro Santa Inês, zona leste de Belo Horizonte/MG, com relevo suavemente ondulado a ondulado, típico do ambiente colinoso da província geomorfológica do Complexo Cristalino de Belo Horizonte. Esta unidade pertence ao domínio morfoestrutural do Escudo Atlântico Sudeste, representando superfícies de dissecação sobre rochas cristalinas antigas, em especial gnaisses e migmatitos do embasamento arqueano e proterozoico.



O relevo local é caracterizado por cumes arredondados e vertentes alongadas, recortadas por drenagens intermitentes, que têm sofrido interferência antrópica significativa com o avanço da malha urbana, pavimentação e canalizações. Observa-se na área uma feição erosiva do tipo ravina, com dimensões já decamétricas, indicando um processo de degradação acelerado que se iniciou a partir de um sulco incipiente (erosão linear superficial) e evoluiu com o tempo devido à concentração de escoamento superficial não controlado.

Essa ravina evidencia que os processos geomorfológicos ativos ainda estão em curso, refletindo a dinâmica entre uso do solo, capacidade de infiltração e erosividade do material de cobertura. A ausência de contenção adequada e drenagem pluvial eficiente contribui para a progressão da erosão, ampliando o risco à infraestrutura urbana no entorno.

Caracterização Pedológica e Geotécnica

Os solos da região são derivados do intemperismo profundo das rochas cristalinas mencionadas, formando perfis espessos, com características típicas de Latossolos Vermelhos-Amarelos ou Argissolos, altamente intemperizados, ácidos e com estrutura granular frouxa na superfície, passando a blocos subangulares em profundidade. A investigação de subsolo realizada por meio de sondagem SPT (Standard Penetration Test) revelou a seguinte estratigrafia típica:

- 0,0 – 5,0 m: Solo residual de alteração de rocha cristalina, classificado como silte arenoargiloso, de coloração variável, com resistência à penetração (NSPT) entre 6 e 8 golpes, indicando uma camada de baixa a média compactação/coesão.
- 5,0 – 6,0 m: Transição para material mais denso, com NSPT de 10 golpes.
- 6,0 – 7,0 m em diante: Material com NSPT superior a 15 golpes, indicando aumento significativo de resistência, compatível com horizonte saprolítico ou início do embasamento fraturado.

		LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 21/71	
		Versão: V-01	

O solo silte areno-argiloso da camada superficial apresenta alta suscetibilidade à erosão, especialmente quando exposto ou saturado, devido à sua granulometria fina, baixa coesão e capacidade limitada de drenagem interna. Essas características favorecem o início e a evolução de processos erosivos como ravinamentos, sobretudo em locais com concentração de fluxo superficial e ausência de cobertura vegetal.

Interpretação Geomorfológica e Risco

A presença da ravina indica um processo erosivo ativo, que, se não for tratado, pode comprometer infraestruturas, edificações e vias públicas nas proximidades. A geodinâmica atual é influenciada por:

- Topografia inclinada com convergência de fluxo superficial;
- Baixa resistência do solo superficial, com baixo NSPT;
- Ausência ou deficiência de drenagem pluvial adequada;
- Cobertura vegetal insuficiente ou substituída por impermeabilização urbana.

A tendência, na ausência de medidas corretivas, é o avanço da frente de erosão, aprofundamento do ravinamento e possível transição para processos mais graves, como voçorocas.

4.4 GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA REGIONAL

A área alvo do presente estudo, na porção leste do município de Belo Horizonte, está localizada dentro do perímetro do Quadrilátero Ferrífero, que conforme descrito por Barbosa & Rodrigues (1967) corresponde a um bloco de estruturas geológicas do Pré-Cambriano, elevadas em seus quatro lados por erosão diferencial. Segundo Azevedo et.al, 2012, o contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero é representado por três grandes conjuntos de rochas: um complexo metamórfico basal, as supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas e as seqüências metassedimentares paleo e mesoproterozoicas representadas pelo Supergrupo Minas, Grupo Sabará, Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço. Segundo essa classificação, a área de estudo está inserida no contexto das rochas do complexo metamórfico basal. A Figura 9 ilustra a localização da área dentro dos limites do Quadrilátero Ferrífero.

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 22/71

Versão: V-01

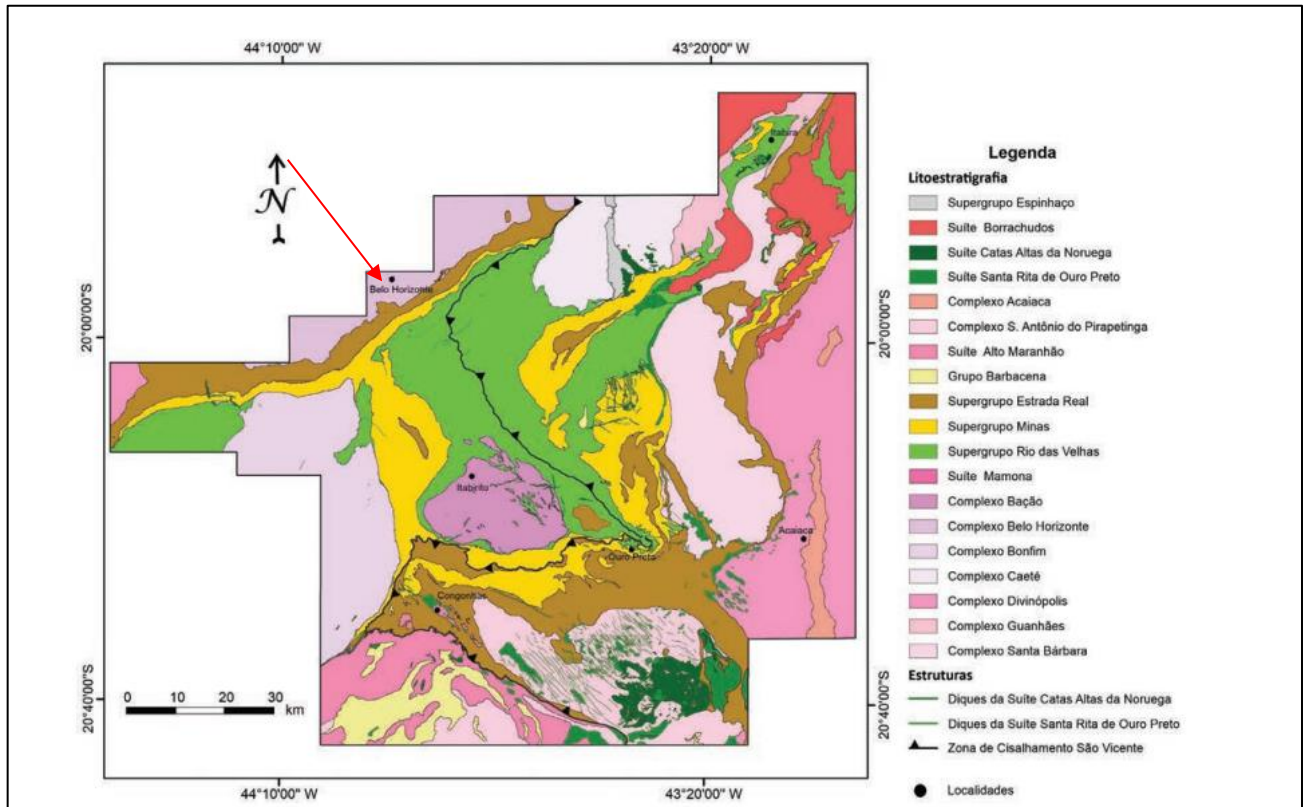


Figura 9 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero, com destaque para a área de estudo. Modificado de Endo et. al, 2020

Identificou-se a existência de apenas uma unidade geológica na área de estudo. A unidade presente na área do empreendimento corresponde ao Complexo Belo Horizonte formado durante a Era Mesoarqueana (Figura 10). Tal unidade litoestratigráfica é caracterizada pela presença de Gnaisses bandados tipo TTG e migmatitos. (A3bh) (Endo et.al, 2019).

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 23/71

Versão: V-01

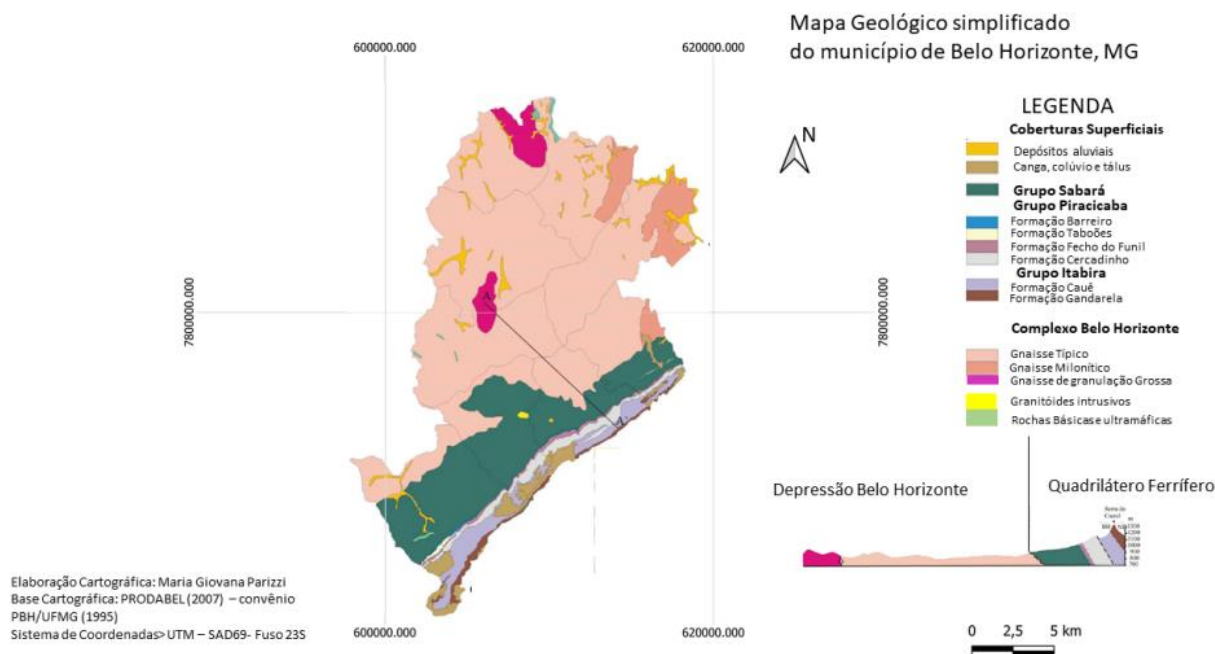


Figura 10 - Mapa geológico de Belo Horizonte. Fonte: Parizzi, 2021

Sobre o Complexo Belo Horizonte agrupam-se as rochas gnáissicas arqueanas, parcialmente remobilizadas e migmatizadas no Paleoproterozóico, constituindo cerca de 70% do território municipal, apresentando sua área de maior expressão a norte da calha do Ribeirão Arrudas. A litologia predominante é um gnaíse cinzento com bandamento composicional e feições de migmatização (Gnaíse Belo Horizonte). Estas rochas normalmente apresentam-se saprolitizadas ou muito alteradas e/ou recobertas por manto de intemperismo silto-argiloso de coloração rosa claro a avermelhado. Os solos residuais apresentam espessuras variadas, sendo delgados ou ausentes nas áreas de exposição dos maciços rochosos, e espessos, maduros e silto-argilosos nas áreas de relevo muito suave.

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 24/71

Versão: V-01

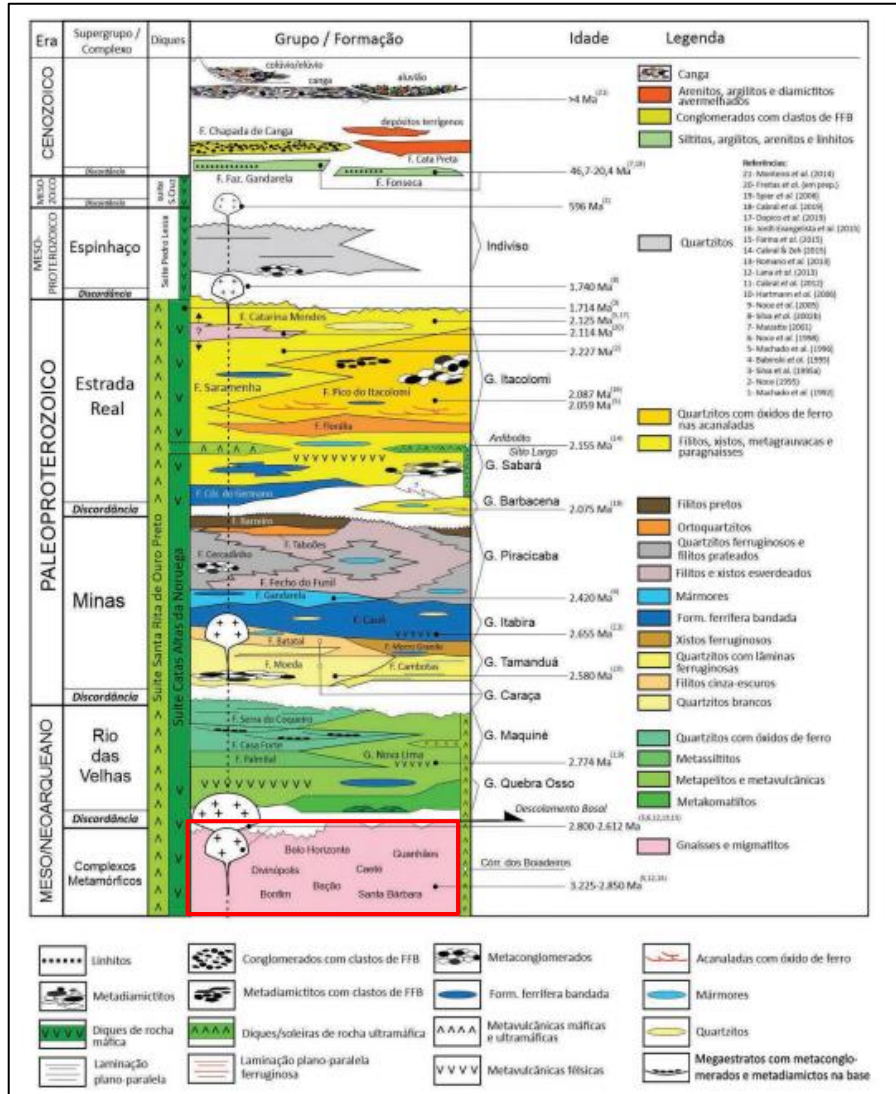


Figura 11 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero, com destaque para a unidade presente na área de estudo (Modificado de Endo et.al, 2020).

Os Domínios Hidrogeológicos são definidos como “representativo de um conjunto de unidades geológicas com similaridades hidrogeológicas, tendo como base, principalmente, as características litológicas das rochas” (Feitosa et.al, 2008). A caracterização hidrogeológica da região indica que ela se encontra inserida em um domínio hidrogeológico do tipo Metassedimentos-Metavulcânicas, segundo classificação da CPRM (Bonfim & Jesus 2007), ou seja, trata-se de um aquífero do tipo fissural.

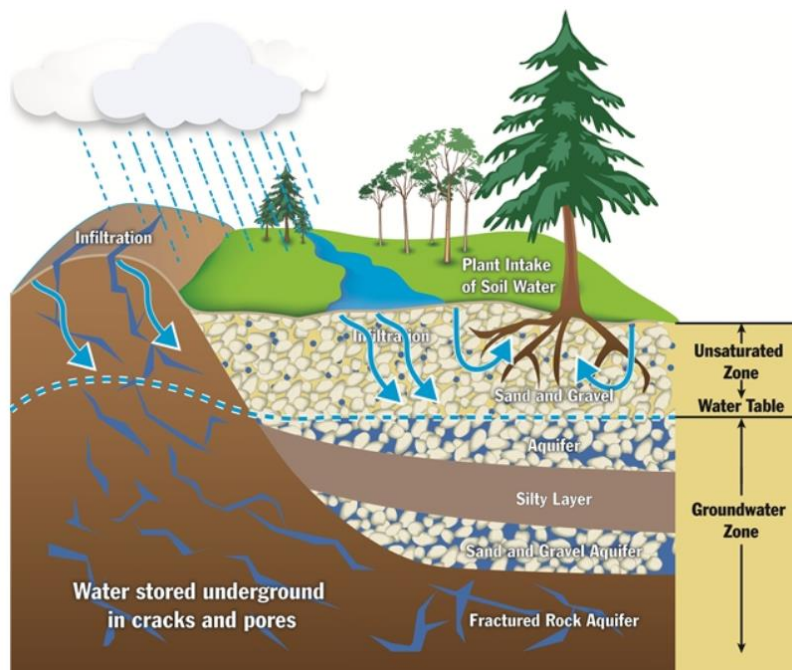




Figura 12 – Ilustração esquemática de um aquífero fraturado. Fonte: Department of Environment & Conservation, Government of Newfoundland & Labrador (2016).

Os aquíferos deste tipo apresentam porosidade secundária, sendo o armazenamento e circulação da água restrito às porções de interconexão de fraturas. Os aquíferos desta região apresentam potencial hidrogeológico variável, uma vez que ele está atrelado a quantidade de fraturas presentes no litotipo existente. Em certos trechos, a baixa densidade de fraturas interconectadas e as condições topográficas desfavoráveis reduzem as possibilidades hidrogeológicas.

Os aquíferos de complexos-graníticos-gnáissicos-migmatíticos são, geralmente, constituídos por uma porção porosa saturada do manto de decomposição/coberturas de alteração e pelo meio fraturado sotoposto. O aquífero poroso pode atingir espessuras superiores a 50 metros, mas normalmente varia entre 20 a 30 metros, sendo este o principal manancial de água do embasamento. O aquífero fraturado sotoposto é caracterizado como cristalino e fissural, sendo sua produtividade associada a quantidade e interconexão de fraturas.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 26/71</p>	
		<p>Versão: V-01</p>	

5 ASPECTOS GEOTÉCNICOS REGIONAIS

A área de estudo encontra-se inserida, regionalmente, no domínio do Complexo Belo Horizonte, que engloba todas as rochas infracrustais do denominado embasamento granito-gnáissico-migmatítico (embasamento cratônico) (CPRM, 2014). O intemperismo das rochas supracitadas é responsável pela formação de solos residuais silto-arenosos a argilo-areno-siltosos, sendo estes solos muito susceptíveis a processos erosivos, sobretudo nas porções recobertas por solos pouco desenvolvidos. Cortes e aterros, entre outras ações devem ser desenvolvidos com bastante cuidado, considerando as propriedades dos solos.

As propriedades dos solos sobressaem em relação às das rochas naquelas regiões onde a cobertura pedológica atinge maiores espessuras. Deste modo, o controle dos processos geodinâmicos se limita ao manto de alteração que recobre tais litotipos (Reis Jr & Parizzi, 2018). Em rochas intemperizadas observa-se a concentração de maiores riscos associados. O granito gnaisse gera um solo residual silto-arenoso ou argilo-areno-siltoso, com baixa coesão é altamente susceptível a erosão e processos correlacionados.

Reis Jr & Parizzi, 2018 desenvolveram um estudo de mapeamento das unidades geológicas/geotécnicas do Município de Belo Horizonte/MG. O Mapa Geológico/geotécnico do município indica, o predomínio de rochas graníticas do Embasamento cristalino nas porções centrais e topograficamente mais baixas do município. Essas rochas, quando submetidas às condições climáticas úmidas com temperaturas elevadas sofrem intenso processo de intemperismo químico e também mecânico, levando à formação de espessos mantos de intemperismo que favorecem a atuação de processos erosivos e de movimentos de massa, em especial em vertentes íngremes, sem, ou com pouca cobertura vegetal (YOUNG, 1972; OLIVA, et al., 2003; GABET, 2007). A área de estudo encontra-se inserida nesta unidade (Figura 17).

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 27/71

Versão: V-01

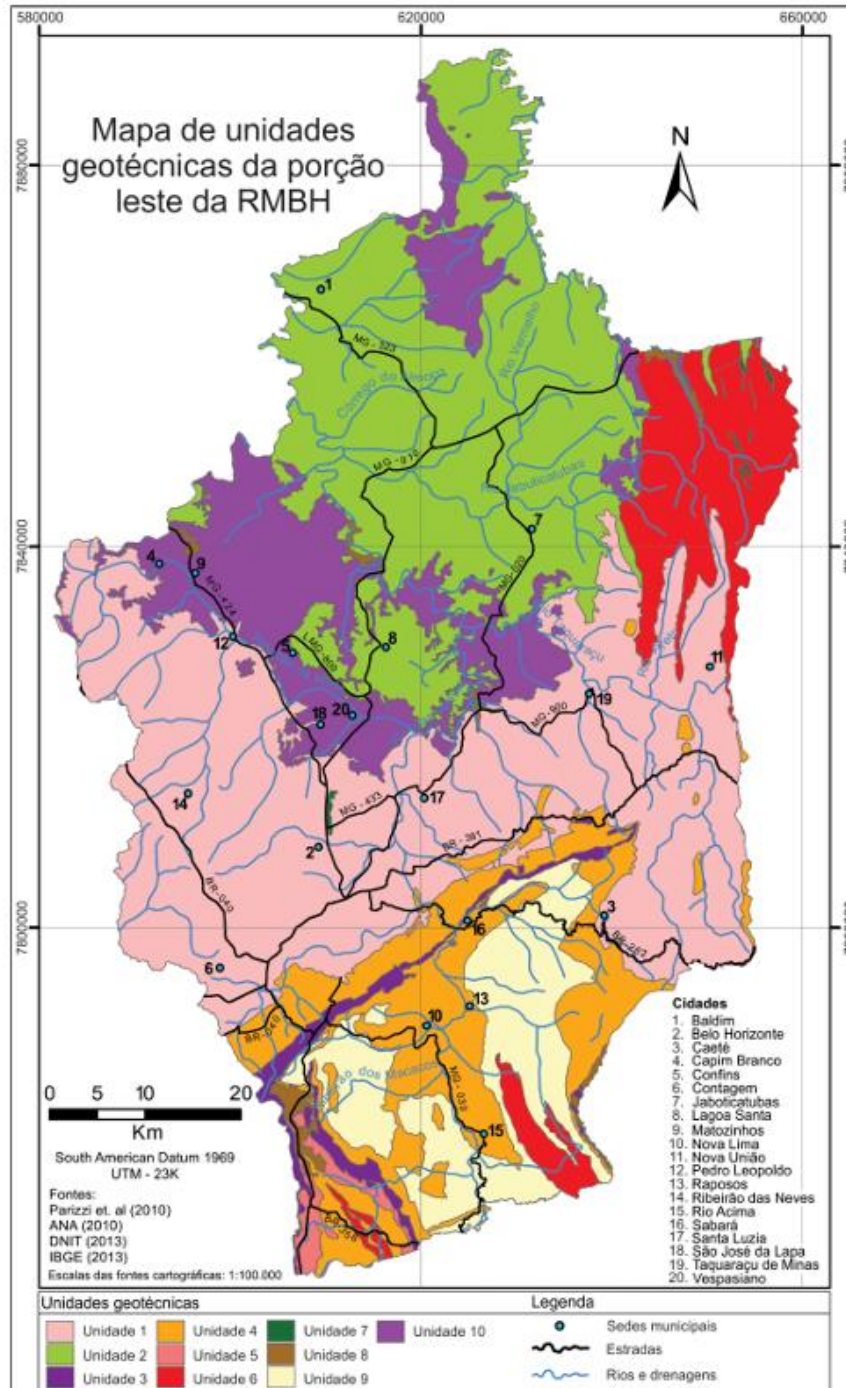




Figura 13 - - Unidades Geológicas/ Geotécnicas do Município de Belo Horizonte – MG. FONTE: Reis Jr & Parizzi, 2018.

	<p style="text-align: center;"> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small> </p> 	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 28/71	
		Versão: V-01	

O intemperismo dessas litologias origina perfis de alteração espessos, tipicamente constituídos por solo residual argilo-siltoso, frequentemente classificado como silte areno-argiloso, de coloração avermelhada, estrutura maciça ou levemente blocada, e com presença eventual de fragmentos rochosos ou saprólitos. Os solos da região apresentam baixa coesão e alta suscetibilidade à erosão quando expostos à ação direta da água pluvial.

Os dados obtidos por meio de uma sondagem SPT (Standard Penetration Test) indicam um perfil típico de solo residual pouco alterado:

- De 0 a 5 metros de profundidade: resistência à penetração variando entre 6 a 8 golpes/30 cm, indicativo de um solo com baixa compactação e consistência média, compatível com materiais argilo-siltosos friáveis.
- No 6º metro: aumento gradual da resistência para 10 golpes/30 cm, sinalizando uma transição para horizontes mais densificados ou menos intemperizados.
- A partir do 7º metro: resistência superior a 15 golpes/30 cm, representando horizonte saprolítico ou solo residual fortemente cimentado, com comportamento mecânico mais próximo ao da rocha alterada.

Em termos geotécnicos, trata-se de uma região com solos altamente erodíveis, sensíveis à variação do teor de umidade, sobretudo em áreas onde há concentração de escoamento superficial. A presença de encostas naturais ou taludes escavados sem proteção favorece a ocorrência de processos erosivos tipo ravinamento, como observado no local da intervenção. A evolução desses processos pode comprometer a estabilidade de edificações e a integridade de vias públicas.

Além disso, a geodinâmica local está associada a um regime hídrico sazonal, com elevados volumes de precipitação concentrados nos meses de verão, o que contribui para o agravamento dos processos erosivos, principalmente em áreas com urbanização desordenada, ausência de drenagem eficiente e cobertura vegetal insuficiente.

Dessa forma, recomenda-se que projetos de infraestrutura e controle de erosão adotem soluções integradas de contenção, drenagem e estabilização superficial, com base em estudos geotécnicos específicos, incluindo ensaios de permeabilidade, cisalhamento direto e análise de estabilidade de taludes.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 29/71 Versão: V-01</p>

5.1 MOVIMENTOS DE MASSA

Parizzi (2004) e Parizzi et al. (2011) estudaram os condicionantes de movimentos de massa no município de Belo Horizonte por meio da análise de estabilidade de taludes representativos das diversas litologias e solos presentes na área. Os autores estabeleceram os tipos de movimentos de massa e seus condicionantes atuantes nos diferentes materiais geológicos. Pôde-se observar a existência de processos gravitacionais particulares de três grupos de materiais geológicos distintos, a saber. A área de estudo se enquadra no Grupo 2.



- Grupo 1: Maciços rochosos da seqüência de metassedimentares (Supergrupo Minas)
- Grupo 2: Solos residuais de gnaiss (Complexo Belo Horizonte)
- Grupo 3: Depósitos superficiais.

Os solos residuais desenvolvidos a partir do intemperismo de rochas do Complexo Belo Horizonte, geralmente, contém os horizontes A, B, C, saprolítico e os saprólitos da rocha original. Os dois primeiros possuem espessuras variadas, dependendo do relevo local e possuem textura de argila arenosa e coesão mais alta que os horizontes sotopostos (Parizzi, 2016).

Os horizontes saprolíticos, geralmente areno-siltosos, apresentam coesão nula ou baixa, e ainda possuem estruturas reliquias da rocha matriz como famílias de fraturas e a foliação gnáissica. Processos erosivos, geralmente desenvolvidos nos horizontes de solo saprolíticos e sobre os saprólitos, são responsáveis pela alteração na morfologia das encostas, criando sulcos com paredes íngremes que facilitam o desencadeamento de escorregamentos dos solos pouco coesivos, como é o caso observado no presente estudo. A erosão também contribui para retirada dos horizontes A e B, permitindo a exposição dos horizontes sotopostos, caracterizados por maior erodibilidade e susceptibilidade a escorregamentos.



Figura 14 - Modelo de desenvolvimento dos escorregamentos em solos residuais de gnaiss a partir de processos erosivos.

	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  <small>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</small> </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 30/71	
		Versão: V-01	

6 RESULTADOS

6.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO LOCAL

A atividade de visita técnica local foi realizada no dia 24 de julho de 2025 e teve como objetivo caracterizar o meio físico local em relação a suas características geológico-geotécnicas, principalmente a região do talude e seu entorno. Os locais visitados tiveram suas coordenadas UTM coletadas (Datum SIRGAS 2000), sendo essas plotadas posteriormente em *software* de geoprocessamento.

Foi realizado, em pontos chaves do terreno, a coleta de informações relevantes ao contexto do trabalho, bem como um registro fotográfico, com o objetivo de ilustrar o contexto do meio físico e entender o contexto geotécnico local.

Foi detectado, ao longo do mapeamento realizado, a presença de um talude de solo silto-argiloso, de dimensões métricas (aproximadamente 10 a 12 metros) e presença de vegetação esparsa recobrendo algumas porções desse talude e toda sua área adjacente (Figura 15). Observa-se a presença de uma grande voçoroca, com escorregamento de suas paredes, potencializados pela ocupação local inadequada.

O talude em questão é composto por um saprólito de rocha com composição granito-gnaissica, referente ao Complexo Belo Horizonte. Observa-se a presença de uma grande quantidade de resíduos antrópicos escoando ao longo do máximo declive da ravina. A presença desses resíduos, aumenta a saturação do solo, contribui para o aumento de peso na face do talude e tem alto potencial contaminante.

A parte da encosta onde o processo de ravinamento se instalou está completamente exposta, sem presença de vegetação e estruturas de drenagem para captar o fluxo hídrico local, além de apresentar uma alta declividade percentual. A presença de moradias sobrepostas a face leste da ravina é outro ponto crítico, uma vez que elas incrementam a instabilidade local.

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS



Página: 31/71

Versão: V-01



Figura 15 - Fotografia tirada a sul da região do talude. Observa-se processo de voçorocamento ativo, com movimento de rejeitos antrópicos pela encosta.

O silte, por ser de maior granulometria, apresenta maior propensão a infiltração da água, enquanto a argila, de menor granulometria, retém a umidade. Quando não há um sistema de drenagem eficiente, a água da chuva ou de outras fontes tende a se acumular em áreas específicas, saturando o solo. Essa saturação diminui a coesão entre as partículas do solo e favorece a ocorrência de feições erosivas e movimentos de massa. A Figura 16 a seguir ilustra a situação crítica da crista do talude,



 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>GOVERNO FEDERAL</p> <p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>BRASIL</p> <p>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 32/71</p> <p>Versão: V-01</p>

com ocorrência de movimentação de massa e rejeitos antrópicos ao longo da face da encosta. Outro ponto crítico é o direcionamento de drenagens a montante do talude, em direção a encosta, aumentando substancialmente a saturação do solo no local e causando o colapso da crista. A modificação das características do aterro superior, por intervenções antrópicas, também contribuiu para o colapso observado, uma vez que o mesmo perdeu suas capacidades de compactação originais.



Figura 16 – Crista do talude, com evidências de movimentação ativa do terreno e desmoronamento.

Além disso, o escoamento superficial da água, sem presença de estruturas de drenagens para promover um direcionamento preferencial, pode arrastar as porções de solo saturado, criando sulcos e gerando as erosões ao longo do tempo. O talude em questão apresentou, em algum momento,

	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 33/71	
		Versão: V-01	

estruturas de drenagem, contudo as mesmas encontram-se em péssimo estado de conservação estando destruídas ou totalmente entupidas. A revitalização do projeto de drenagem é fundamental para diminuir os processos de ravinamento que vêm atuando na encosta.



Figura 17 – Parede exposta do talude silto-argiloso com presença de canaleta entupida e em péssimo estado de conservação.

Uma voçoroca, é um fenômeno geológico que consiste na formação de grandes buracos de erosão, causados pela chuva e intempéries, em solos onde a vegetação é escassa e não mais protege o solo, que fica cascalhento e suscetível de carregamento por enxurradas. O processo de erosão ativo foi responsável por expor a parede do talude, sendo o mesmo composto por um saprólito/solo residual de granito, de granulometria silto-argilosa e de coloração que varia do branco ao róseo.

	<p style="text-align: center;">GOVERNO FEDERAL MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> 	LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 34/71	Versão: V-01



Figura 18 - Fotografia da parede oeste da ravina, responsável pela exposição do solo local.

As alterações mais comuns no equilíbrio do talude ocorrem devido a uma alteração na sustentação do mesmo, causada pela erosão na face e pé do talude, o que desencadeia processos de abatimento do terreno e recalque diferencial. É válido citar que as forças coercivas do solo do talude derivam do atrito entre partículas segundo o ângulo de corte, das forças coesivas nos solos argilosos e na resistência passiva do pé do talude devido ao peso das partículas subjacentes. Assim, quando as forças responsáveis por desestabilizar o talude, superam as forças estabilizadoras, ocorrem cenários de ruptura e deslizamento. O escoamento indevido de água pluvial, somada a ausência de vegetação e estruturas de drenagem aumentam de risco geológico local.

	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL BRAZIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 35/71 Versão: V-01</p>

6.2 LEVANTAMENTO AÉREO POR DRONE



Foi realizado na área um levantamento aéreo com o uso de drone para a obtenção de ortofotos, as quais foram utilizadas para ter uma visão melhor da área.

Abaixo é apresentada imagem aérea descritiva da situação local.



Figura 19 - Imagem aérea da região do talude.

O local em análise apresenta uma grave situação de instabilidade superficial decorrente da formação de uma ravina de grandes proporções instalada sobre solo residual, em área urbana densamente ocupada. A erosão está concentrada em uma encosta com alta declividade, com valores que, visualmente, superam os 60°, especialmente na face interna da ravina onde o material já foi removido por processos erosivos.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 36/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

Na porção inferior e superior do talude (pé e crista), observa-se uma suavização da declividade, com valores estimados entre 15° e 30°, delimitando um patamar erosivo ativo inserido entre áreas com declividades naturais mais brandas. Essa morfologia evidencia uma quebra abrupta de relevo, compatível com escarpas formadas por escorregamentos ou erosões regressivas do tipo sulco-ravina.

A presença de habitações muito próximas à borda ativa da ravina agrava consideravelmente o risco geotécnico da área, pois aumenta a sobrecarga na borda instável e dificulta a realização de intervenções diretas sem remoção prévia de edificações. Além disso, observa-se a presença de entulho e resíduos sólidos depositados dentro da ravina, o que, além de comprometer a drenagem superficial, pode atuar como carga adicional e favorecer o avanço erosivo.

Do ponto de vista geotécnico, a alta declividade e a ausência de controle de águas pluviais são os principais fatores que contribuem para a evolução do processo erosivo. A morfologia da ravina indica que o fenômeno está ativo, com sinais de erosão regressiva em direção às moradias. A ausência de cobertura vegetal efetiva nas bordas e taludes laterais favorece ainda mais a exposição do solo aos efeitos da água da chuva, intensificando o escoamento superficial concentrado e a perda de material.

Embora a alta declividade por si só não implique instabilidade imediata, a combinação entre ausência de drenagem, uso irregular do solo, ocupação desordenada e solo de baixa coesão justifica a necessidade de intervenções emergenciais de estabilização. As medidas devem contemplar:

- Reconfiguração geométrica do talude, com redução do ângulo de inclinação para aumento do fator de segurança;
- Implantação de sistema de drenagem superficial;
- Execução de estruturas de contenção, sugerindo-se muros de gabião
- Revegetação controlada com espécies de raízes profundas para auxiliar na estabilização superficial e no controle da erosão;
- Remoção gradual e assistida das edificações em risco iminente, com reassentamento das famílias eventualmente afetadas.

Essas ações integradas visam interromper o avanço erosivo, restaurar a estabilidade geotécnica do local e preservar a segurança das edificações e dos moradores do entorno.

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 37/71

Versão: V-01

A Figura 20 abaixo ilustra o modelo 3D de elevação obtido, muito ruidoso por causa da grande quantidade de vegetação. O círculo azul indica a região de erosão, com cor escura, indicando altas declividades.

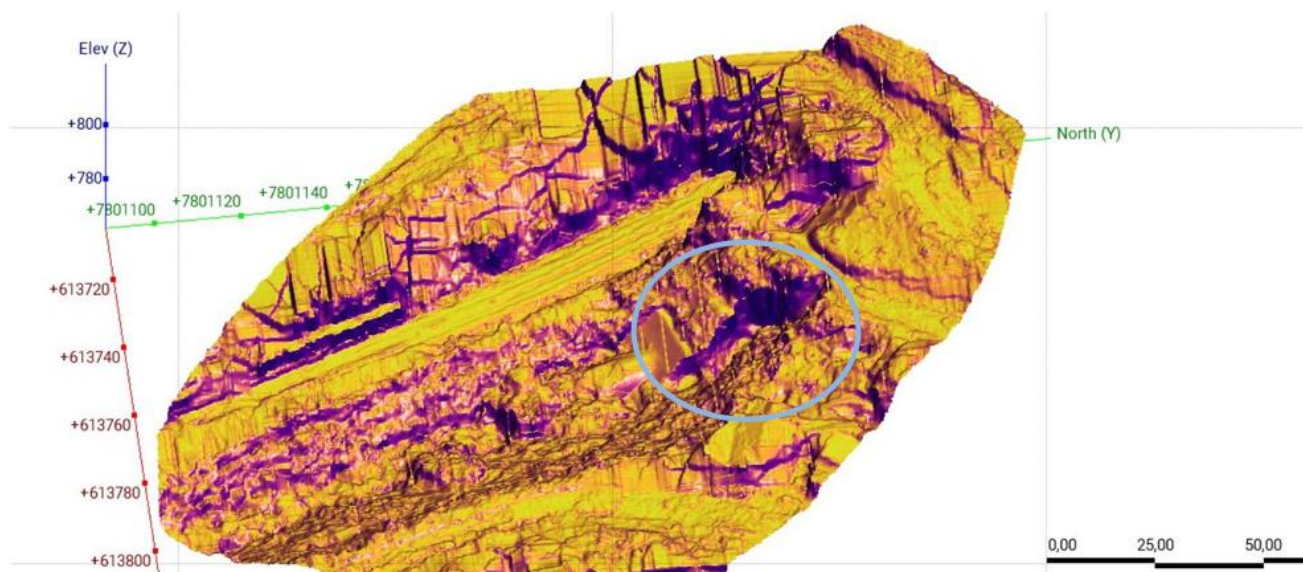



Figura 20 - Ilustração da declividade local

	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL BRAZIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 38/71 Versão: V-01</p>

6.3 ANÁLISE HISTÓRICA

Foram realizadas também análises comparativas do terreno, a partir da avaliação de imagens históricas do Google Earth, com o intuito de compreender a progressão temporal do fenômeno erosivo local. Em setembro de 2019 (Figura 21) não foi possível observar feições erosivas na face do talude, o que indica que o processo se iniciou, provavelmente, no período chuvoso de 2019, sendo que em 2020 já se observa algumas cicatrizes na encosta, indicando o início da instabilização.



Figura 21 - Situação do talude em estudo no mês de setembro de 2019

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>GOVERNO FEDERAL</p>  <p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 39/71</p> <p>Versão: V-01</p>



Figura 22 - Situação do talude em janeiro de 2020, com presença de cicatrizes incipientes.

A partir do mês de janeiro de 2020, as fotos aéreas mostram uma evolução do processo erosivo, até se chegar ao estado crítico observado na visita técnica atual.

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 40/71

Versão: V-01



Figura 23 - Imagem do talude no mês de dezembro de 2020.




	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 41/71 Versão: V-01</p>



Figura 24 - Situação atual do talude (Imagem de março de 2025).

A partir da observação das imagens aéreas históricas nota-se que o processo erosivo vigente não começou repentinamente, tendo avançado ao longo dos últimos 5 anos. Nota-se uma exposição progressiva do material silto-argiloso que compõe o talude, em conjunto com uma diminuição da vegetação presente na face da encosta, o que provavelmente contribuiu para a aceleração dos processos de erosão e ravinamento. A presença de vegetação rasteira, em toda extensão do talude, é importante no sentido de aumentar sua estabilidade, uma vez que diminui o escoamento superficial de água, aumenta a absorção da água pluvial e atenua eventuais processos erosivos.

As imagens históricas indicam que os fenômenos observados são graduais e apresentaram progressão acelerada ao longo dos últimos cinco anos, devendo haver intervenções o mais rápido possível de modo a atenuar os processos erosivos vigentes, uma vez que, caso não controladas, as erosões tendem a aumentar suas dimensões ao longo dos próximos meses e anos. Com isso, é possível dizer que existe um risco iminente de instabilidade, principalmente ao longo dos meses de maior precipitação. Tal situação exige uma intervenção imediata para garantir a integridade do talude

	<p style="text-align: center;"> GOVERNO FEDERAL MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS  UNIÃO E RECONSTRUÇÃO </p>	LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira		Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 42/71 Versão: V-01

e a segurança das moradias adjacentes, devendo ser considerada uma evacuação das moradias próximas a ravina durante período chuvoso.

Além da diminuição da vegetação foi também possível observar um carreamento de material na direção da base do talude, provavelmente ocorrido durante os períodos chuvosos. A diminuição da cobertura vegetal somada a ineficiência das estruturas de drenagem, contribui para a ocorrência de episódios de movimentação de massa, onde a ação da água carrega os sedimentos inconsolidados na direção do pé do talude.

6.4 SONDAGEM SPT

Foi realizada, na crista do talude, uma (1) sondagem SPT com o intuito de investigar a natureza do material presente em subsuperfície. A execução da sondagem foi feita conforme as orientações na Norma Brasileira NBR – 6484/2020. A Figura 25 a seguir ilustra a boletim da sondagem realizada.

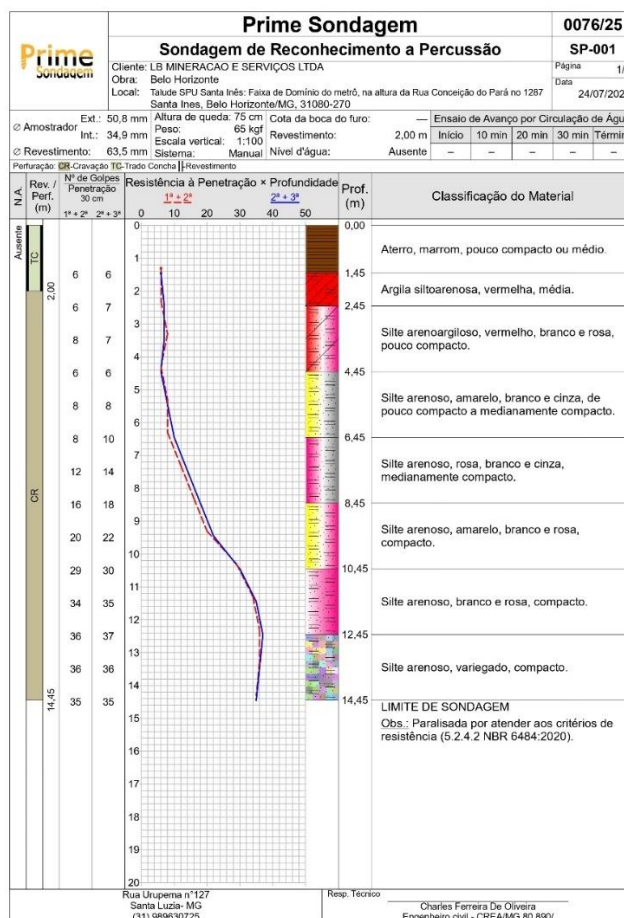




Figura 25 - Boletim da sondagem executada.

	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL</p> 	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 43/71</p> <p>Versão: V-01</p>

O resultado das avaliações geológicas obtidas por meio das sondagens foi interpretado de modo a identificar espacialmente a composição do solo, as profundidades das camadas, sua resistência a penetração e suas características principais. A Figura 26 mostra a localização da sondagem realizada.

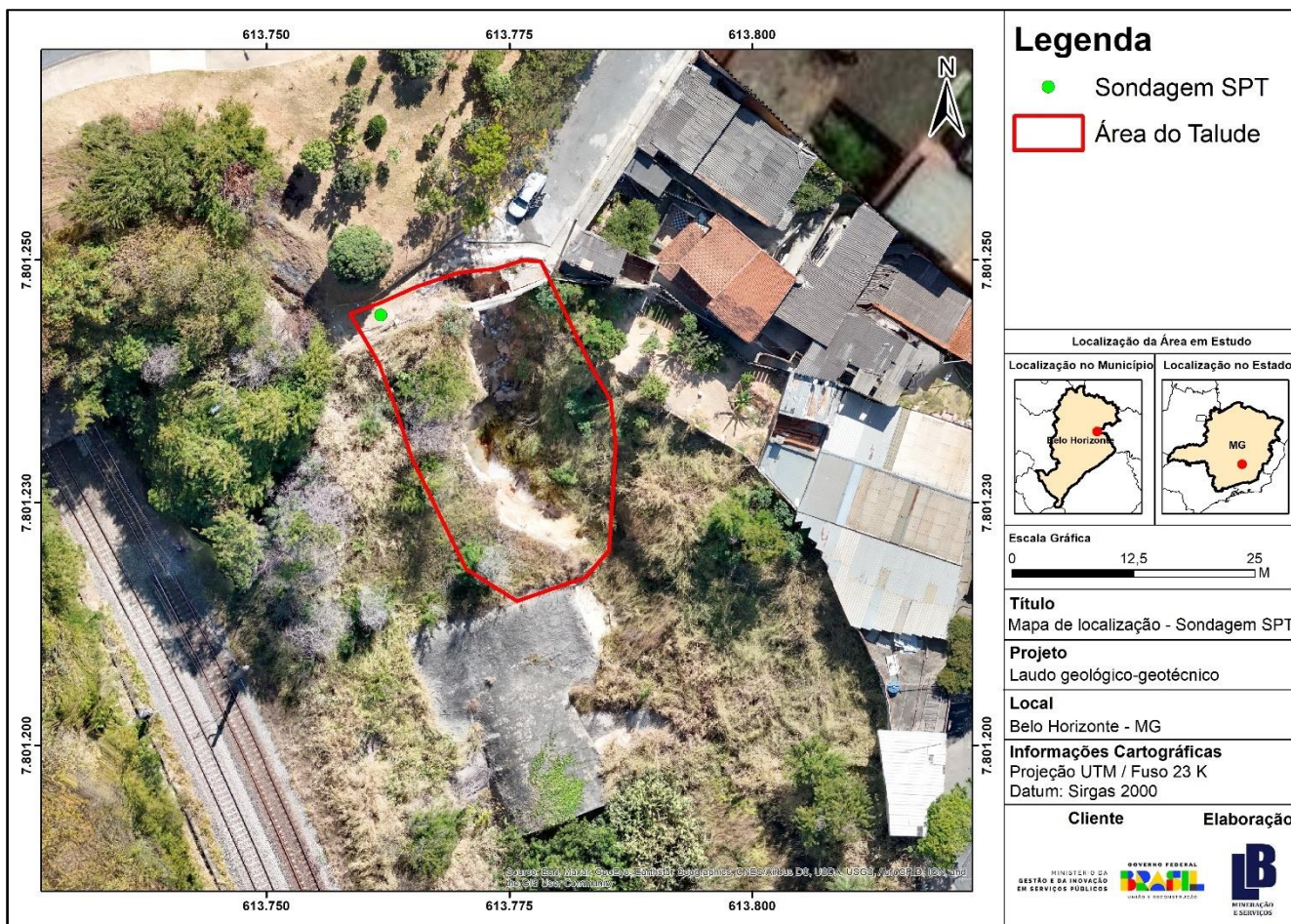



Figura 26 - Mapa de localização da sondagem SPT.

Em âmbito geral pode se concluir que o terreno é composto, em suas profundidades iniciais (até aproximadamente 6 metros), por um material de baixa resistência a penetração, de granulometria essencialmente siltosa. A primeira metragem é constituída por um aterro de resistência a penetração extremamente baixo. Trata-se de um material extremamente fofo, compressível e de baixa capacidade de suporte. A baixa resistência inicial indica que o aterro não foi adequadamente compactado ou foi construído com material inadequado. A compactação é essencial para aumentar a resistência e reduzir a compressibilidade do solo.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>GOVERNO FEDERAL MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 44/71 Versão: V-01</p>

É válido dizer que houve, provavelmente, uma mudança na configuração inicial do aterro para a construção de um muro na região de estudo. A modificação na configuração do material aterrado foi responsável pela descompactação do solo e incrementou a instabilidade local. Os aterros são, geralmente, materiais bem compactados com maior resistência a penetração. Dessa forma, recomenda-se também a realização de uma nova compactação na camada de aterro modificada, de modo com que o material possa retomar suas características originais.



Figura 27 - Sondagem SPT realizada durante visita técnica.



Abaixo do material de aterro observa-se uma pequena camada de argila silto-arenosa, seguido por uma camada de solo silto argiloso de consistência rija. Em maiores profundidades têm-se um solo residual maduro, silto-areno-argiloso medianamente compacto a compacto e por fim um solo residual jovem compacto. A resistência a penetração do solo (nSPT) aumenta à medida que se alcança maiores

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>GOVERNO FEDERAL MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 45/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

profundidades, sendo que a partir dos 7 metros o solo local já apresenta uma resistência considerável. A profundidade do nível d'água não foi detectado nas sondagens realizadas.



Figura 28 - Materiais amostrados pela Sondagem SPT

		LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira		Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 46/71 Versão: V-01

6.5 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Devido à falta de uma topografia de detalhe, de mais dados de sondagem e da dificuldade de acesso direto ao talude não foi possível realizar um perfil para a avaliação do fator de segurança. Ressalta-se, porém, que o maior problema identificado relacionado ao processo de ravinamento não está relacionado diretamente com processos de deslizamento. O que predomina é uma erosão progressiva do solo devida à falta de medidas de drenagem e cobertura vegetal.



Conforme exposto, a análise de estabilidade no presente caso não é crucial, uma vez que foi possível observar, a partir da visita técnica de campo, que a encosta se encontra em estado crítico, apresentando processos erosivos e de carreamento de material ativos, que se desenvolveram rapidamente ao longo dos últimos anos, conforme capítulo 6.3 e que não estão diretamente relacionados com processos de deslizamento. Dessa forma, uma análise qualitativa de campo, somada a análises de sensoriamento remoto foram suficientes para atestar a instabilidade local, tornando prescindível uma análise de cunho quantitativo, visto que o cenário local é claramente crítico.

De acordo com a sondagem SPT realizada, os primeiros metros amostrados revelaram solos pouco compactos nos 5 primeiros metros e medianamente compacto até 9 metros

Tabela 4 - Tabela dos estados de compacidade e consistência

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação ¹⁾
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura (o)

¹⁾ As expressões empregadas para a classificação da compacidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compacidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 47/71 Versão: V-01</p>


Conforme mencionado anteriormente, a revitalização do projeto de drenagem local é essencial, de forma a garantir o funcionamento de tais estruturas, uma vez que elas são responsáveis por atenuar os processos de erosão subsuperficial e incrementar a estabilidade do talude em questão. As estruturas atuais encontram-se em péssimo estado conservativo, não apresentando nenhuma eficiência. Existe apenas uma canaleta próxima ao topo do talude, contudo recomenda-se a instalação de um projeto completo e interligado com outras porções da encosta.

6.6 AVALIAÇÃO DE GRAU DE RISCO DO TALUDE

A avaliação do grau de risco do talude foi elaborada de acordo com as orientações gerais para classificação dos graus de risco a movimentos de massa, erosões, subsidência, solapamento ou colapso, movimentação de dunas, expansão e contração de argilas (Modificado de Ministério das Cidades e IPT, 2007).

Tabela 5 - Descrição dos graus de probabilidade de risco a movimentação

GRAU DE PROBABILIDADE	DESCRIÇÃO
<p>R1 Baixo</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de BAIXA OU NENHUMA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Não se observa (m) sinal/feição/evidência (s) de instabilidade. NÃO HÁ INDÍCIOS de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. 3. Mantidas as condições existentes NÃO SE ESPERA a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
<p>R2 Médio</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de MÉDIA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Observa-se a presença de algum (s) sinal/feição/ evidência (s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente (s). Processo de instabilização EM ESTÁGIO INICIAL de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes, e REDUZIDA A POSSIBILIDADE de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R3 Alto</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Observa-se a presença de significativo (s) sinal/ feição/ evidência (s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em PLENO DESENVOLVIMENTO, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. 3. Mantidas as condições existentes, é PERFEITAMENTE POSSÍVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R4 Muito alto</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação a margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em AVANÇADO ESTÁGIO de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes, e MUITO PROVÁVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>

		LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 48/71	Versão: V-01

Com base nas análises apresentadas, observa-se que o talude em questão apresenta **muito alto risco** de movimentação (R4), que requer a adoção de intervenções emergenciais para garantir a segurança dos moradores e do patrimônio. O talude em questão devido a suas características naturais de declividade e pré-disposição a eventos erosivos, somada a ausência de estruturas de drenagem e proximidade de moradias a região da ravina caracteriza-se como de muito alta propensão ao desenvolvimento deslizamentos. Mantidas as condições atuais é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante chuvas intensas.

Foram observadas evidências de movimentação de massa no terreno, como o carreamento de sedimentos e materiais antrópicos em direção ao pé do talude. Como abordagem principal no que tange a resolução da problemática, faz se necessário a instalação de um sistema de drenagem que irá mitigar a atuação dos processos erosivos, além de diminuir a saturação do solo local e também a implantação de uma contenção ativa (muro de gabião) desde a base do talude até o seu topo, de modo a conter eventuais carreamentos.

Os fatores supracitados reforçam a probabilidade de eventos destrutivos, principalmente durante chuvas intensas e prolongadas, diante do intenso processo erosivo vigente. A decisão de evacuação da área deve ser tomada por autoridades competentes (como a Defesa Civil), mas o estudo fornece evidências de que o risco é real e iminente, principalmente durante eventos de alta precipitação, justificando a necessidade de ações rápidas, incluindo a possibilidade de evacuação temporária ou definitiva da área, enquanto as obras de estabilização não são realizadas. A adoção de medidas de contenção e implantação de projeto de drenagem tende a diminuir o risco geotécnico local.

Foi feito um mapa de setorização do risco geológico-geotécnico presente (Figura 29). Na região da erosão e suas adjacências diretas o risco é notavelmente muito alto, ficando menor à medida que se afasta da feição erosiva, contudo é válido citar que toda a região se enquadra em uma região de risco, ainda que o mesmo seja variável. As moradias localizadas no topo da face leste da ravina estão em estado comprometedor, uma vez que se enquadram no mesmo contexto da encosta, nesse caso qualquer movimentação/deslizamento que ocorrer provavelmente irá comprometer a estrutura das construções.

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 49/71

Versão: V-01

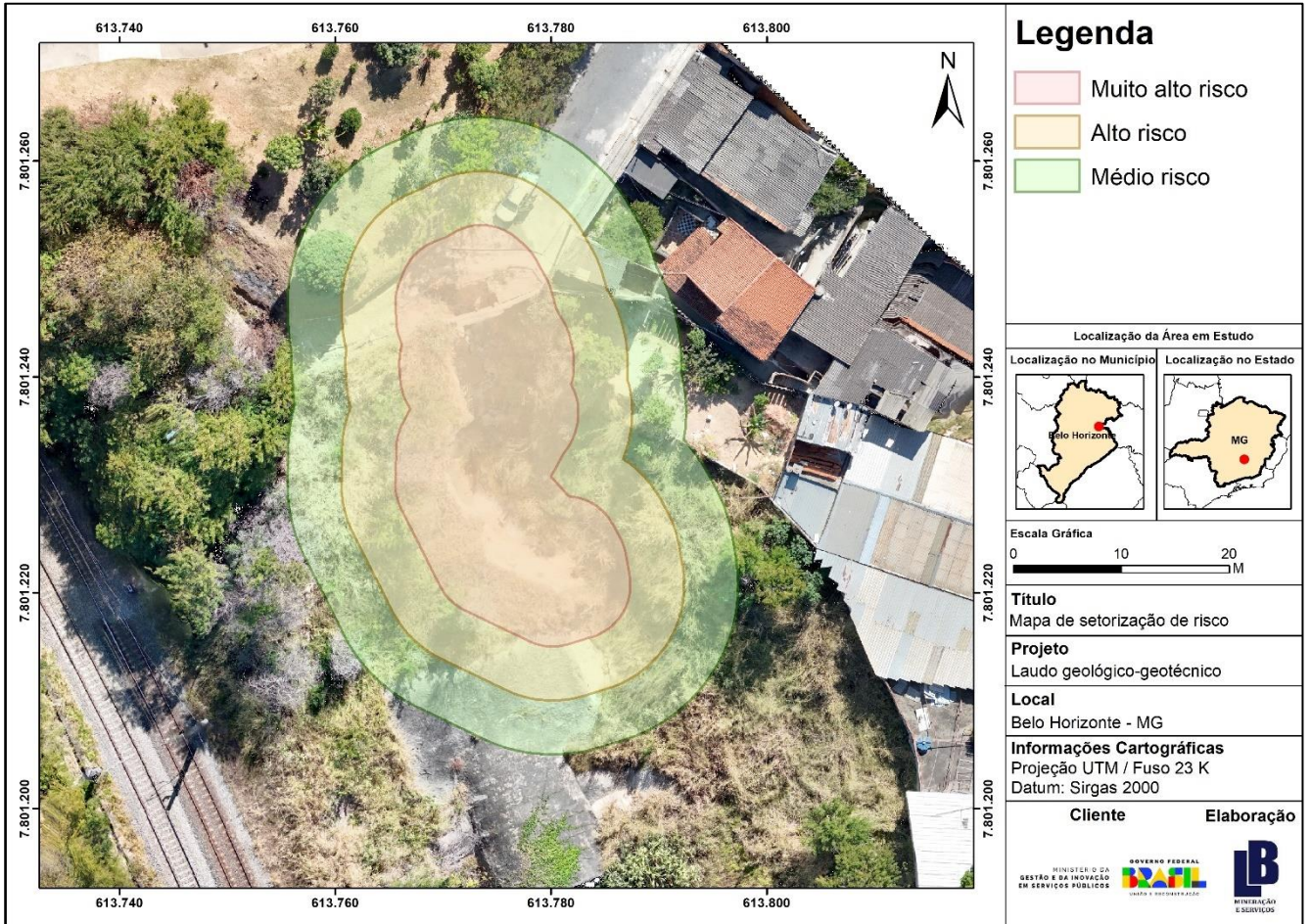


Figura 29 - Setorização de risco local.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL BRAZIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 50/71 Versão: V-01</p>


6.7 ESTRUTURAS DE DRENAGEM

Conforme mencionado anteriormente, a implantação de estruturas de drenagem na crista e nas bordas do talude é essencial, uma vez que atenua os processos de erosão subsuperficial e incrementa a estabilidade do talude em questão.

As estruturas de drenagem consistem, basicamente, na captação do escoamento de água superficial por meio de canaletas e, em seguida, condução destas águas para um local conveniente. A presença dessas estruturas evita fenômenos de erosão na superfície do talude e reduz a infiltração de água nos maciços, resultando numa diminuição dos efeitos nocivos de saturação do solo sobre sua resistência.



Figura 30 - Canaleta localizada próximo a crista do talude.

	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  <small>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</small> </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira		Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 51/71 Versão: V-01


A implementação dessas estruturas é de extrema importância, uma vez que vão diminuir a percolação de água na face do talude, mitigando a ação de processos erosivos e diminuindo a umidade do material que compõe a encosta. Sugere-se a instalação de canaletas de concreto.



Figura 31 – Ilustração de canaleta quebrada e parcialmente obstruída.

Recomenda-se a instalação de canaletas na crista do talude, com o objetivo de interceptar o fluxo de água superficial proveniente do terreno a montante, evitando que esse fluxo atinja a face da encosta e ocasione episódios de erosão superficial. Além disso, serão também implementadas canaletas de borda de talude, segundo a direção de máximo declive da encosta, que terão como intuito coletar e conduzir as águas superficiais captadas pelas canaletas da crista, diminuindo a velocidade de escoamento dessas águas no terreno.

A equação utilizada para cálculo de vazão do projeto foi:

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL UNião e RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 52/71</p>	
		<p>Versão: V-01</p>	

$$Q = \frac{C \times I \times A}{10 \times 3600}$$

Onde:

- Q = Vazão do projeto, em m³/s
- I = Intensidade pluviométrica, em mm/h
- A = área de contribuição, m².
- C = Coeficiente de escoamento (adimensional)

A Intensidade da Precipitação (I) depende do local, da estação do ano, das condições atmosféricas e de vários outros fatores. Sua avaliação é feita através de análise estatística das chuvas históricas no local, considerando o tempo de recorrência, a duração da chuva e o tempo de concentração da bacia. Os parâmetros utilizados para obtenção da intensidade pluviométrica foram retirados da bibliografia (Atlas Pluviométrico do Brasil -Belo Horizonte, CPRM, 2014).

O coeficiente de escoamento depende da distribuição da chuva, tipo de solo e condições iniciais de umidade do solo. No cálculo simplificado adota-se, para o coeficiente de escoamento, o valor de 0,9 para área pavimentada ou coberta e 0,2 para terreno vegetado. O coeficiente adotado no presente caso foi de 0,55, uma vez que bacia de contribuição abrange áreas vegetadas e pavimentadas.

A área de contribuição considerada corresponde a toda área acima do talude delimitada pelos divisores de água local. Conforme mencionado anteriormente não foi realizada uma topografia de detalhe para o talude em questão, dessa forma utilizou-se para o cálculo, uma bacia de contribuição aproximada, mas que fornece uma estimativa confiável para o dimensionamento das estruturas de drenagem a serem implantadas.

É válido citar que o talude já apresenta algumas drenagens superficiais em sua crista (Figura 40), contudo ela não é suficiente para drenar o fluxo hídrico local de maneira eficiente, sendo necessária a interligação com outras estruturas semelhantes, de modo com que não haja escoamento subsuperficial de água na face do talude.

A Tabela 6 mostra os valores utilizados para cálculo da vazão local a ser drenada pela canaleta.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL</p>  <p>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 53/71 Versão: V-01</p>

Tabela 6 - Valores utilizados para cálculo de vazão do projeto.

Coeficiente de escoamento	Área de contribuição (m ²)	Intensidade de chuva (mm/h)	Vazão do projeto (m ³ /s)
0,55	3224,18	191,6	0,094

O valor calculado para a vazão do projeto (Q_{proj}) foi de 0,059 m³/ s.

Efetuada o cálculo hidráulico de forma iterativa, é possível afirmar os seguintes parâmetros:

- H: Altura da canaleta = 0,2 m.
- B: Largura da base da canaleta =0,3 m.

Calculou-se também alguns parâmetros necessários para dimensionamento da canaleta:

- Al – *Altura de Lâmina D' água* = $H - 20\%H = 0,16$ m;
- Pm – *Perímetro molhado* = $B + 2x\sqrt{Al}^2 + (Al)^2 = 0,508$ m;
- A – *Área molhada* = $BxAl + AlxAl = 0,0736$ m²;
- R – *Raio Hidráulico* = $A/Pm = 0,144$ m.

As canaletas devem ser dimensionadas de modo a atender aos critérios de velocidade máxima e velocidade mínima, levando-se em conta a declividade, o material construtivo, os sedimentos transportados, entre outros. Para o dimensionamento da canaleta de topo, foi calculada sua vazão máxima, a partir da equação:

$$Q_{max} = \frac{A}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

Figura 32 - Equação utilizada para cálculo de vazão máxima da canaleta.

Onde:

- Q_{max} = vazão máxima da canaleta (m³/s);
- A = Área molhada;
- R = Raio hidráulico do canal (m);
- J = Declividade do canal;

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 54/71

Versão: V-01

- n = Coeficiente de rugosidade de Manning (0,016 concreto);

A vazão máxima calculada para a canaleta, com altura de 0,2 m e largura da base de 0,3 m foi 0,179 m³/s, que é maior do que a vazão do projeto (0,094 m³/s), logo observa-se que a canaleta dimensionada suporta a vazão da bacia para uma chuva no período de 10 min e um período de retorno de 10 anos, uma vez que $Q_{\text{máx}} > Q_{\text{proj}}$.

É válido dizer que as canaletas aqui propostas fazer parte de um projeto conceitual de drenagem, ou seja, caso haja limitações de infraestrutura local, o posicionamento e extensão das canaletas podem ser adaptadas de forma a cumprir o objetivo da estrutura sem comprometer sua eficiência. A Figura 33 a seguir mostra a localização esquemática das canaletas propostas. Em suma, propõe-se uma canaleta de crista, uma na base do talude e duas escadas hidráulicas transversais ao longo da face do talude.



Figura 33 - Projeto conceitual de drenagens superficiais a serem implementadas.

		LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 55/71	Versão: V-01

A partir do projeto conceitual desenvolvido, foram estimadas as metragens lineares das estruturas a serem implementadas. Obteve-se, como um valor aproximado:

- 55 metros lineares de canaletas de concreto (canaletas de topo e base);
- 65 metros lineares de escada d'água.

Os valores obtidos devem ser tratados como estimativas e servem para nortear e direcionar o projeto executivo, podendo haver modificações no posicionamento e extensão das estruturas a depender das condições encontradas em campo.

6.7.1 DESCRIÇÃO DAS PATOLOGIAS E DELIMITAÇÃO ESPACIAL

Conforme pormenorizado no capítulo de mapeamento geológico-geotécnico local foram identificadas algumas anomalias no talude em questão e na área circundante. A principal problemática existente na área de estudo é a ausência de um projeto de drenagem na região do talude, havendo apenas uma canaleta no topo do mesmo, sem conexão com outras estruturas. Foram identificadas também estruturas de drenagem quebradas ou entupidas, em péssimo estado de conservação. Acredita-se que a ruptura do talude foi responsável por obliterar as estruturas pré-existentes.

Notou-se também a presença de um muro de concreto próximo ao topo do talude. Percebe-se que sua fundação já se movimentou, ou seja, caso as movimentações observadas não cessem, em questão de tempo para que o muro também se movimente no sentido da encosta.




	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  <small>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</small> </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 56/71 Versão: V-01</p>



Figura 34 – Topo do talude e muro de concreto. Ausência de estruturas de drenagem, escorregamento ativo de material antrópico e declividade acentuada.

A encosta em estudo apresenta elevada declividade, com porções onde a inclinação supera os 60°. Durante os trabalhos de campo, não foi possível acessar a face do talude propriamente dita, tendo o caminhamento sido realizado na crista do talude e na parede leste da ravina. Dessa maneira, apesar de não ter sido realizado um acesso direto, foi realizada uma vistoria nos locais onde foi possível se caminhar e apontadas regiões que devem ser tratadas como ponto de atenção. A Crista do talude (613772.50;7801247.24) é o ponto mais crítico da região, uma vez que já houve colapso e desmoronamento do solo nessa região.

A Figura 35 abaixo mostra a área da face do talude (aproximada) que deverá ser revegetada e reconformada (aproximadamente 135 m²), além da localização da canaleta rompida observada em campo.

	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL</p> 	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 57/71</p> <p>Versão: V-01</p>

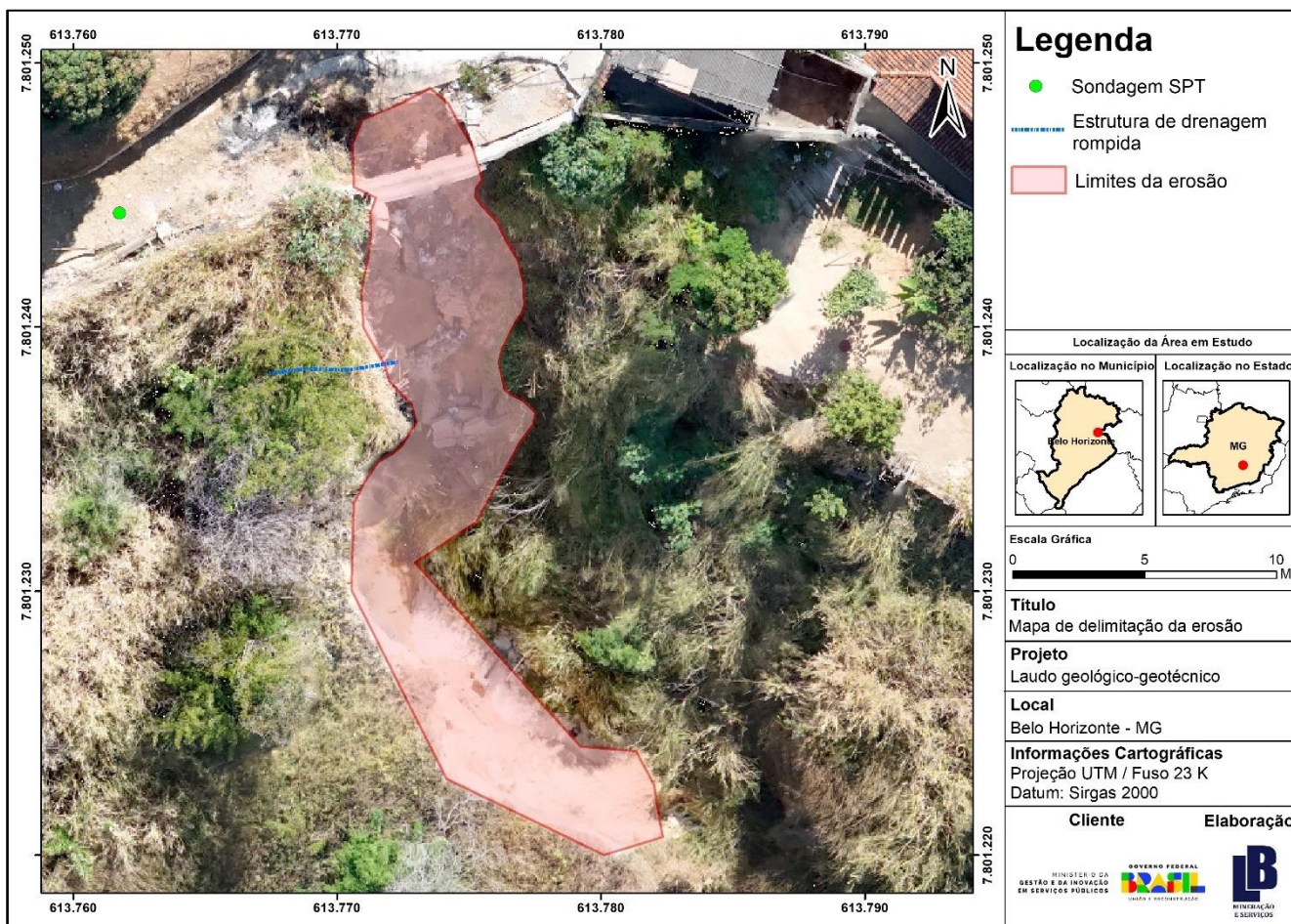




Figura 35 - Dimensões aproximadas da erosão a ser contida. Localização da estrutura de drenagem rompida.

É válido salientar que a problema de drenagem identificado apresenta natureza regional, uma vez que outras vias da região, a montante do talude, têm sua drenagem direcionada exatamente para o ponto onde foi possível observar colapso do solo (crista do talude). Nesse sentido, é importante haver esforços direcionados para uma remodelação e revitalização das drenagens em nível regional, incluindo análises nas vias a montante da encosta, para que dessa forma apenas a água referente a bacia de contribuição do talude seja drenada pelas canaletas a serem implantadas. Deverá ser feita uma articulação, junto a Prefeitura de Belo Horizonte, responsável pela gestão da drenagem regional, para buscar uma solução conjunta.

	<p style="text-align: center;"> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small> </p> 	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 58/71</p>	
		<p>Versão: V-01</p>	

6.8 MEDIDAS DE ESTABILIZAÇÃO SUGERIDAS

Diante do quadro geotécnico diagnosticado na área de estudo, especialmente da presença de uma ravina em estágio avançado de desenvolvimento, com alta declividade, proximidade de edificações e evolução contínua, torna-se imprescindível a adoção de medidas de contenção e estabilização integradas, com enfoque tanto corretivo quanto preventivo.

As soluções a seguir são propostas com base em princípios de engenharia geotécnica, manejo de águas pluviais e recuperação ambiental, considerando a composição do solo (silte areno-argiloso de baixa coesão), o regime climático da região e o risco iminente à segurança de pessoas e estruturas próximas.

Reconfiguração Geométrica da Encosta

A geometria atual da ravina apresenta taludes laterais com inclinação estimada superior a 60°, condição crítica para a estabilidade do maciço. Recomenda-se a execução de reperfilamento dos taludes, suavizando a inclinação para valores entre 1V:2H e 1V:3H, de acordo com a capacidade de suporte do solo local e espaço disponível.

Essa intervenção visa:

- Reduzir os esforços cortantes atuantes no plano de ruptura potencial;
- Aumentar a componente de resistência ao cisalhamento;
- Melhorar o desempenho estrutural e facilitar as ações de revegetação e drenagem.

Após a instalação das drenagens provisórias é recomendado a elaboração de projeto de retaludamento, com criação de bermas de estabilização e sistemas de drenagens permanentes principalmente nas cristas e nos pés de cada um dos taludes projetados.

O retaludamento consiste em um tipo de intervenção para estabilização de taludes, através de mudanças na sua geometria, com a execução de cortes em suas porções mais elevadas, visando regularizar a superfície e, sempre que possível, recompor artificialmente condições topográficas de maior estabilidade para o material presente. Muitas vezes são combinados com aterros compactados, que funcionam como carga estabilizadora para a base do talude.

Os cortes deverão ser realizados para obter uma inclinação mais suave, retirando material da crista do talude e compactando o solo, o que resulta numa alteração do estado de tensões da encosta, reduzindo as tensões de cisalhamento.

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 59/71

Versão: V-01

Devido à falta de uma topografia de detalhe não é possível realizar o dimensionamento preciso da altura e inclinação dos taludes finais, sendo necessária a realização de um levantamento topográfico detalhado para que haja um projeto executivo de retaludamento. Conforme mencionado anteriormente, pode-se trabalhar com uma suavização ideal do talude, reduzindo a inclinação para valores entre 1V:2H e 1V:3H.

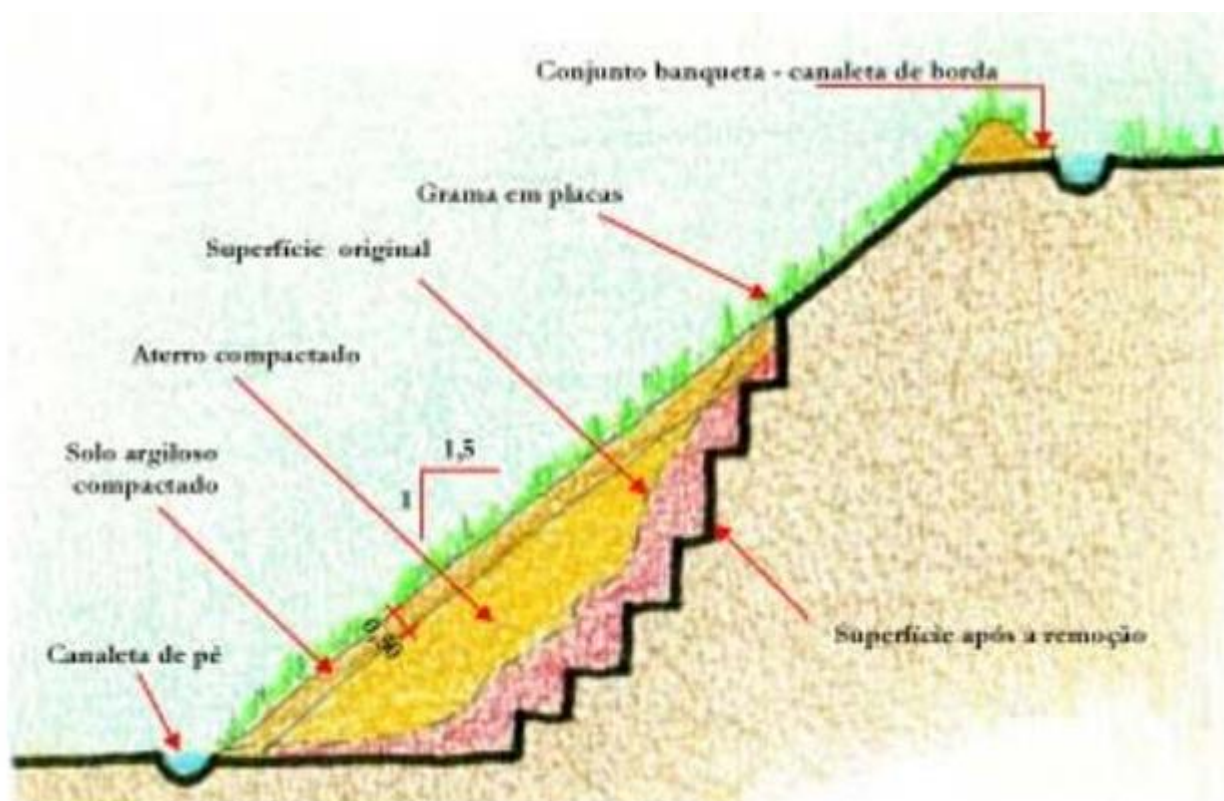



Figura 36 - Ilustração esquemática de processo de retaludamento, associado com implantação de estruturas **Drenagem Superficial**

A ausência de controle de escoamento superficial é o principal agente erosivo na região. Assim, é fundamental implementar um sistema de drenagem eficiente para interceptar, conduzir e dissipar as águas pluviais. Conforme mencionado anteriormente, deve ser feito um projeto regional, de modo a considerar também as drenagens a montante da área, que convergem, de maneira indevida, para a ravina em questão.

Drenagem superficial:

- Canaletas de contorno no topo da encosta para desviar o escoamento lateral;
- Escadas d'água nas laterais do talude;

	<p style="text-align: center;">GOVERNO FEDERAL MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> 	LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira		Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 60/71 Versão: V-01

- Caixas de dissipação e energia nos pontos de descarga.

Obras de Contenção

Após a reconfiguração geométrica do talude, recomenda-se a instalação de um muro de gabião a partir da base da encosta até o seu topo. Idealmente, sugere-se uma execução conceitual de uma camada de gabião na base da encosta, seguida por uma camada de solo aterrada, com outro muro de gabião na parte intermediária e por fim, na crista do talude, outra camada de solo aterrada e compactada.

Os muros de gabião são elementos modulares confeccionados em telas metálicas de malha hexagonal de dupla torção que, preenchidos com pedras de granulometria adequada e costurados juntos, formam estruturas destinadas à solução de problemas hidrológicos e geotécnicos, como por exemplo estabilidade de escavações e controle de erosões. O muro de gabião é um tipo de estrutura de contenção que funciona principalmente como um muro de gravidade, utilizando o peso da própria estrutura para garantir a estabilidade do talude.

O muro de gabião possui diversas vantagens, do ponto de vista técnico e econômico. Apresentam facilidade para confecção e não exigem mão de obra especializada, tornando viável sua implantação mesmo em locais que recebem menos investimentos. Outra característica interessante do muro de gabiões é que sua composição não constitui obstáculo impermeável para infiltração e percolação, permitindo, assim, passagem de água e o crescimento de vegetação, a qual deverá ser implantada na face do talude. Além disso, os muros de gabiões são práticos e versáteis, pois possuem grande flexibilidade e permitem deslocamentos e deformações (Barros, 2008).

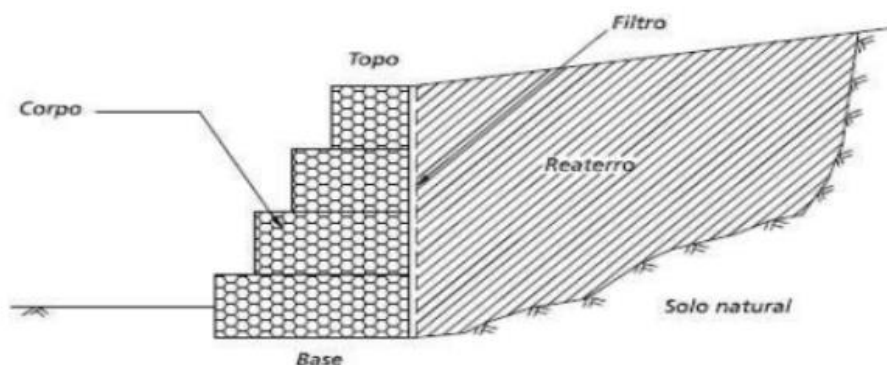



Figura 37 - Representação básica do muro de gabião por gravidade (Patrício, 2013).

		LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 61/71	Versão: V-01

Os gabiões são estruturas permeáveis. A malha de arame permite que a água escoe facilmente através da estrutura, aliviando a pressão hidrostática no interior do talude. A flexibilidade do gabião permite que ele se adapte a pequenas deformações do solo sem romper a estrutura, o que é uma grande vantagem em comparação com muros de concreto rígidos. Ele se acomoda a pequenos recalques diferenciais sem comprometer sua integridade.

Para garantir a efetividade da estrutura são necessários alguns cuidados: regularização e nivelamento do terreno de fundação, boa configuração das pedras e colocação de elemento de transição entre os gabiões e o material a ser contido. A Maccaferri é uma empresa parceira e renomada que oferece os materiais necessários para execução do muro de gabião, já o projeto executivo deve ser realizado por profissional de Engenharia devidamente habilitado, o qual pode ser indicado caso haja necessidade. Para execução das obras serão listados os principais estudos adicionais que deverão ser realizados, de modo a garantir a execução de uma estrutura segura e eficiente (Capítulo 6.9).



Revestimento e Estabilização Superficial

Para controle imediato da erosão superficial e favorecimento da recuperação ambiental, sugerem-se aqui algumas técnicas de bioengenharia.

- Aplicação de geomantas orgânicas ou sintéticas nas superfícies reconfiguradas;
- Hidrossemeadura com gramíneas de crescimento rápido (braquiária, vetiver, pennisetum);
- Plantio de espécies arbustivas e arbóreas nativas em áreas mais estáveis, visando o reforço das raízes na massa de solo;
- Fixação temporária de estruturas leves com estacas ou grampos para retenção do material superficial.

O plantio de gramíneas na face do talude é uma medida de estabilização importante, uma vez que reduzem a velocidade de escoamento superficial da água atenuando os processos de erosão. As árvores situadas no pé da encosta e que podem funcionar como barreira vegetal devem ser mantidas.

Áreas retaludadas ficam frágeis em virtude da exposição do solo nas áreas cortadas, razão pela qual a região retaludada deve estar recoberta por camada de proteção do talude alterado, através de revestimentos naturais ou artificiais associados a um sistema de drenagem eficiente. É importante salientar que antes do projeto de retaludamento ser executado, deve haver implantação das estruturas de drenagem provisórias como medida de contenção inicial.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>GOVERNO FEDERAL</p> <p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 62/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

No que diz respeito a técnicas de plantio e revegetação, recomenda-se a realização hidrosemeadura na parte mais inclinada do talude, coveamento, adubação e semeadura no interior da erosão, instalação de biorretentores e plantio de mudas de capim Vetiver para revegetação e contenção das erosões. A adoção das técnicas citadas tende a aumentar substancialmente a estabilidade local, uma vez que irão atuar no sentido de diminuir o escoamento superficial de água pluvial, impedindo a saturação do solo e diminuindo a velocidade do processo erosivo vigente. O plantio de capim Vetiver deverá ser realizado em locais onde for possível fazer o coveamento, quando não for possível, será empregada a hidrosemeadura.

O capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*) é tradicionalmente utilizado na recuperação de áreas degradadas por possuir um sistema radicular desenvolvido e profundo, podendo alcançar 5 metros. Os cordões de vetiver auxiliam na redução do escoamento superficial, retenção de sedimento e estabilização de taludes (Chaves & Andrade, 2013)

O desempenho das técnicas deve ser monitorado e avaliado a cada duas semanas em visitas in loco por um período de cinco meses.


Gestão Urbana e Monitoramento

Além das medidas físicas, é essencial implementar ações de gestão técnica e comunitária, uma vez que mesmo adotadas todas as medidas necessárias, o descarte inadequado de materiais antrópicos ao longo da encosta é um fator que prejudica a eficiência das técnicas sugeridas, podendo entupir as estruturas de drenagem e também prejudicar o crescimento das espécies vegetais na face do talude.

- Monitoramento periódico da área, com registro fotográfico e inspeções após eventos de chuva intensa;
- Capacitação da comunidade local sobre descarte correto de resíduos e identificação de sinais de movimentação de solo;
- Proibição ou controle de novas construções próximas à crista da ravina
- Instalação de marcos para acompanhamento técnico.

Em suma as etapas recomendadas para a estabilização do terreno são:

- 1- Implementação dos sistemas de drenagem provisória;
- 2- Elaboração de novo projeto de retaludamento detalhado juntamente ao sistema de drenagem permanente;

	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p> <p>GOVERNO FEDERAL</p> 	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 63/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

3- Adoção de técnicas de bioengenharia sugeridas

4- Após a reconfiguração geométrica do talude, implementação de muro de gabião.

Um dos desafios presentes na área de estudo é a limitação de espaço para acesso dos maquinários necessários para execução das obras, uma vez que não existem acessos diretos para a região do talude propriamente dito, pelo fato de o mesmo se encontrar em uma área densamente vegetada e de alta declividade. Dessa forma, foram aqui propostas duas alternativas (Figura 37), que podem, potencialmente, garantir o acesso dos maquinários necessários.

- Acesso 1: A primeira alternativa proposta para acesso dos maquinários é pela crista do talude, passando pela vegetação lateral até se atingir a face da encosta (Círculo Amarelo). Devido ao processo erosivo vigente, existe uma limitação de espaço que deve ser devidamente avaliada no projeto executivo.
- Acesso 2: A segunda alternativa seria realizar um acesso a partir da porção sudeste da área (Círculo Verde), em região onde se tem um muro de concreto, o que tornaria necessário a retirada parcial dessa estrutura para acesso do maquinário.

Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira

Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS

Página: 64/71

Versão: V-01

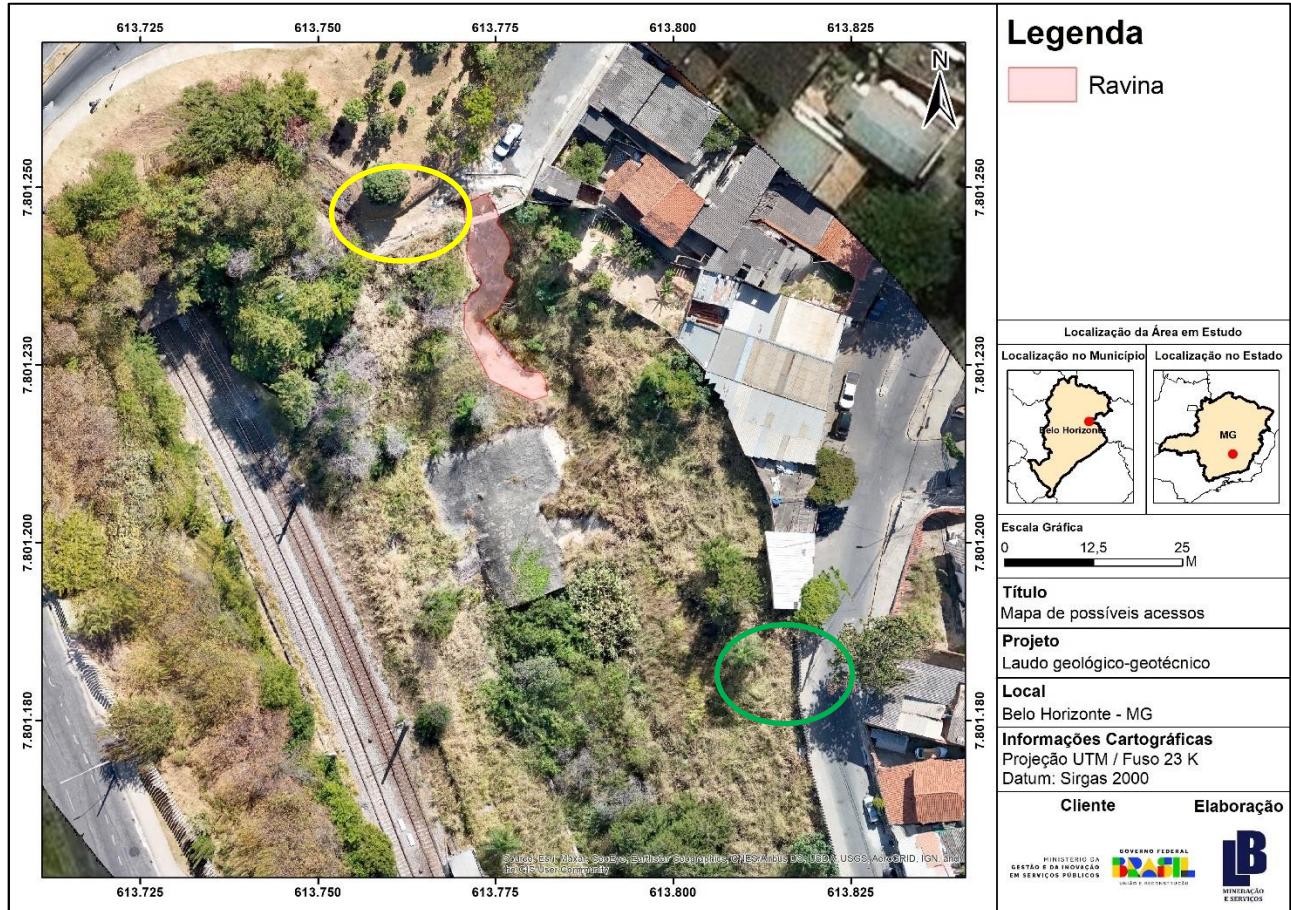




Figura 38 - Mapa de localização de possíveis acessos de maquinários para realização das obras.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 65/71 Versão: V-01</p>

6.9 ESTUDOS ADICIONAIS NECESSÁRIOS


A primeira ação a ser adotada é o isolamento da área degradada, com o objetivo de evitar o fluxo de pessoas e máquinas no local. O isolamento impede a intensificação dos caminhos já existentes bem como a formação de novos caminhos que ao longo do tempo poderiam se tornar em novos sulcos. Com a área isolada

Para que o processo de reconfiguração geométrica da encosta seja feito de forma assertiva e eficiente, deve-se realizar um levantamento topográfico de detalhe, para que assim atinja-se uma inclinação segura para o talude, além de elaboração de projeto executivo de drenagem ao longo do talude e na rua a montante. O levantamento topográfico de detalhe deve ser a primeiro estudo a ser realizado na área, uma vez que irá subsidiar todo projeto executivo. A partir desse levantamento poderá se delimitar com precisão a área propriamente dita do talude a passar por reconfiguração geométrica, além disso a topografia será utilizada como *input* no cálculo de análise de estabilidade do gabião e também na delimitação precisa da bacia de contribuição da área, a qual é primordial para elaboração do projeto executivo de drenagem.

A NBR 11682 (ABNT, 2009), determina que a base do muro deve ter uma largura de até 70% do tamanho da altura do muro, o seu tamanho deve ser determinado em cálculos específicos, durante o projeto executivo. Neste sentido, algumas dessas dimensões estão demonstradas de forma a exemplificar as dimensões do muro.

Tabela 7 - Dimensões mais usadas no muro de gabião.

Muro de Gabião c/ diafragma				
Dimensões			Volume (m ³)	Diafragmas
Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)		
1,50	1,00	0,50	0,75	-
2,00	1,00	0,50	1,00	1,0
3,00	1,00	0,50	1,50	2,0
4,00	1,00	0,50	2,00	3,0
1,50	1,00	1,00	1,50	-
2,00	1,00	1,00	2,00	1,0
3,00	1,00	1,00	3,00	2,0
4,00	1,00	1,00	4,00	3,0

		LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO	
Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira	Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS	Página: 66/71	
		Versão: V-01	

Além do levantamento topográfico recomenda-se também a execução de pelo menos mais 3 sondagens SPT, com o intuito de delimitar com maior precisão a profundidade do aterro na região, além de fornecer mais dados de resistência a penetração do solo, que permite estimar a capacidade de suporte do terreno de fundação, um dado crucial para dimensionar um muro de gravidade como o gabião.

Ensaio de caracterização do solo são também fundamentais pro estudo em questão. O ensaio de granulometria e os limites de Atterberg (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade) são fundamentais para classificar o solo e entender seu comportamento. Essas informações ajudam a definir parâmetros como a coesão e o ângulo de atrito, que são usados para calcular o Fator de Segurança do muro. Além disso, são também recomendados ensaios de compactação do solo, uma vez que, como mencionado anteriormente, as porções de solo entre os gabiões, devem ser devidamente aterradas e compactadas.



7 RECOMENDAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório técnico apresenta uma avaliação abrangente das condições geológicas, geotécnicas e morfológicas da área localizada no bairro Santa Inês, em Belo Horizonte/MG, com foco na análise da instabilidade associada à presença de uma ravina com dimensões decamétricas, desenvolvida em solo residual de rochas cristalinas sob intensa ação de escoamento superficial não controlado.

Ao longo do estudo foram realizadas análises do relevo local, da dinâmica erosiva vigente, além da caracterização do subsolo por meio de sondagem SPT, que identificou um perfil geotécnico composto por silte areno-argiloso de baixa resistência superficial, com aumento progressivo da compacidade a partir do 6º metro. Também foi observada a ausência de lençol freático até a profundidade investigada.

As altas declividades verificadas na encosta afetada (superiores a 60° em alguns trechos), somadas à ausência de um sistema funcional de drenagem pluvial, a presença de um processo de ravinamento em pleno desenvolvimento e ainda a existência de edificações próximas à borda da ravina, contribuem para a condição de instabilidade atual, caracterizada como muito crítica (R4). A evolução contínua do processo erosivo representa risco iminente à segurança de pessoas, à estabilidade de construções e à integridade das vias públicas no entorno imediato, o que exige intervenções imediatas.

Diante deste cenário, são propostas medidas corretivas e preventivas com caráter emergencial, a serem implantadas por meio de projeto executivo específico. A principal recomendação técnica consiste no reperfilamento geométrico do talude, com posterior execução de muros de gabião ao longo



 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 67/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

da face do mesmo especialmente nos trechos mais íngremes e instáveis, dada sua alta eficiência na contenção de solo erodido, facilidade de drenagem e boa adaptação ao relevo natural. Complementarmente, recomenda-se: Implantação de sistema de drenagem superficial, incluindo canaletas de contorno, caixas de dissipação e escadas d'água; Revestimento com biomantas e revegetação controlada, para estabilização superficial e contenção de processos difusos de erosão.

É importante ressaltar que a efetividade das soluções depende da sua correta execução e de um monitoramento contínuo da área. Sugere-se que o monitoramento geotécnico seja implementado para atestar a estabilidade e a eficiência das obras, permitindo ajustes caso sejam necessários.

Dada a complexidade da drenagem na área, que é agravada pela contribuição do escoamento de vias públicas, recomenda-se a articulação com a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) para a discussão e implementação de soluções conjuntas de drenagem regional, evitando que o problema se repita no futuro.

Como medida de urgência, a área de risco deve ser isolada. Em seguida, deve ser realizada uma drenagem provisória na crista do talude para mitigar o escoamento superficial de águas pluviais, reduzindo o risco de novos colapsos durante o período chuvoso. Dessa forma, pode-se realizar, posteriormente, a implantação de medidas de drenagens permanentes, reperfilamento do talude, adoção de técnicas de bioengenharia e implantação do muro de gabião. É válido citar que o estudo aqui apresentado é um guia técnico, majoritariamente qualitativo, que busca caracterizar e descrever os problemas geotécnicos presentes na área e fornecer diretrizes e recomendações das soluções mais adequadas tanto do ponto de vista técnico quanto logístico. Para a execução dos projetos executivos propriamente ditos, devem haver investigações mais detalhadas, conforme detalhado no capítulo 6.9.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira.</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 68/71 Versão: V-01</p>

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGE. Geologia de engenharia. OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S. N. A (editores). São Paulo: ABGE, 1998, 576 p.

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas – Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos – NBR – 6484, 2020.

AZEVEDO, U. R.; MACHADO, M. M. M.; CASTRO, P. T. A.; RENGER, F. E.; TREVISOL, A.; BEATO, D. A. C. Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG): proposta. In: SCHOBENHAUS, Carlos; SILVA, Cassio Roberto da (Org.). Geoparques do Brasil: propostas. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. Cap. 7

BARBOSA, G. V.; RODRIGUES, D. M. S Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1967. 130p.

BIENIAWSKI, Z. T. (1989), Engineering rock mass classification. New York. John Wiley. 215p

BISHOP, A W. The use of the Slip Circle in Stability Analysis of slopes. Géotechnique vol. 5, 1955, p7-17.

BROWN, E. T. (1983), Suggested method for rock characterization testing and monitoring, published for International Society for Rock Mechanics, ISRM. editor, Pergamon Press, 211p.



CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. Fundamentos. 6ª edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Volume 1, 1988.

CARDOSO, F.F. Sistemas de Contenção. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CRAIG, R.F. (2004) Craig's Soil Mechanics. 7th Edition, Spon Press, London. <https://doi.org/10.4324/9780203494103>

DAS, B. M.; SOBHAN, K. Principles of Geotechnical Engineering. Stamford, CT: Cengage Learning, 2014.

DELL'AVANZI, E; SAYÃO, A S. F. J. Avaliação da probabilidade de ruptura de taludes. In: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 1998, volume I, 1998.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 69/71 Versão: V-01</p>

ENDO, I. Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Tradução. Belo Horizonte, MG: 3i Editora, 2020. p. 70-113. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/ce698998-978f-41fd-b9fe-d6cf749cda33/3086757.pdf>. Acesso em: 01 outubro. 2024.

FEITOSA F.A.C., FILHO J.M., FEITOSA E.C., DEMETRIO J.G.A. (coords.). 2008. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3ª ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro, CPRM: LABHID. 812p. ISBN: 9788574990613.

FILHO, O.A; VIRGILI, J.C. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, A. M dos Santos; BRITO, S. N. A de. Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998

FIUME, B; NASCIMENTO, F. M. F. MIRANDA, J. S N; PAULA, T. L. F. Mapa hidrogeológico do quadrilátero ferrífero. [S.l]: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2022. Escala 1:100.000.

GABET, E.J. A theoretical model coupling chemical weathering and physical erosion in landslide-dominated landscapes. Earth and Planetary Science Letters, vol. 264, p. 259–26, 2007.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. (1984), Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2a. edição. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 195p.

HARDER, E. C., CHAMBERLAIN, R. T. Geology of Central Minas Gerais, Brazil. Journal of Geology, v. 23, p. 341-378, 1915.

IGA - Instituto de geociências aplicadas de Minas Gerais. 1996. Diagnóstico das condições físico-ambientais e do potencial turístico do município de Itabirito-MG. Belo Horizonte.

LAMBE, T. William & WHITMAN, Robert V. Mecânica de solos. México: Editorial Limusa S.A., 1974.

MAPA de solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE: Embrapa Solos, 2001. Mapa color. escala 1:5.000.000 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Escala 1:5.000.000, 2001.

OLIVA, P.; VIERS, J.; DUPRE, B. Chemical weathering in granitic environments. Chemical Geology, vol. 202, p. 225–256, 2003.

PARIZZI, M.G; MOURA, A.C.M; MEMÓRIA, E. & MAGALHÃES, D.M. 2010. Mapa de unidade geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. RMBH. 21p. In Programa Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH: Relatório de Geoprocessamento. 2010.

 <p>MINERAÇÃO E SERVIÇOS</p>	<p>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>  <p>GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</p>	<p>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</p>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará nº 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>		<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 70/71 Versão: V-01</p>

PINTO, Carlos de Sousa. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 2a ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2006.

PINTO, Carlos de Sousa. Apostila de Aula – Resistência ao Cisalhamento dos Solos; Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 1974.

REIS JUNIOR, W.; PARIZZI, M. G. Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da região metropolitana de Belo Horizonte. Geonomos, 26(2), 23-30, 2018.

RODRIGUES JUNIOR, A. R. Estudo de diferentes métodos de análises de estabilidade de taludes terrosos. 2015. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2015.

SANTOS C.A., SOBREIRA, F. G., NETTO M.M. 2004 Condicionantes do meio físico nas formas erosivas das bacias do Ribeirão Carioca, Córrego do Bação e Córrego Carioca, no município de Itabirito, MG. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. 5. São Carlos/SP, ABGE, CD Anais.

SILVA, C. R. (Ed.). Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

SJÖBERG, J. Analysis of large-scale rock slopes. Sweden: Division of Rock Mechanics - Luleå University of Technology, 1999. (Doctoral Thesis).

VARAJÃO, C.A.C. 1991. A questão da ocorrência das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências, 21:131-145.

YOUNG, A. Slopes. Clayton, K. (Ed.). London: Longman. 288p. 1972.

ZHU, D, Y. Investigations on the accuracy of the simplified Bishop method. Landslides and Engineered Slopes, Chen et al. (eds.), pp. 1055-1057, Taylor & Francis Group, London, 2008.

	<p style="text-align: center;"> <small>GOVERNO FEDERAL</small> <small>MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</small>  <small>UNIÃO E RECONSTRUÇÃO</small> </p>	<h2>LAUDO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO</h2>	
<p>Endereço do estudo: Faixa de Domínio do metrô, na altura da Rua Conceição do Pará n° 1287, Bairro Santa Inês, Belo Horizonte/MG. Próximo à estação José Candido da Silveira</p>	<p>Contratante: MINISTÉRIO DA GESTÃO E DA INOVAÇÃO EM SERVIÇOS PÚBLICOS</p>	<p>Página: 71/71</p>	<p>Versão: V-01</p>

Anexo 1 - Anotação de responsabilidade técnica - "ART"