

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

VITOR BRANDÃO VELOSO

**ANÁLISE GEOTÉCNICA EM TALUDES ROCHOSOS PELO MÉTODO *Q-SLOPE*
EM LOTEAMENTO NO MUNÍCIPIO DE CAXIAS DO SUL, RS**

Caçapava do Sul

2022

VITOR BRANDÃO VELOSO

**ANÁLISE GEOTÉCNICA EM TALUDES ROCHOSOS PELO MÉTODO *Q-SLOPE*
EM LOTEAMENTO NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Me. Diogo Peixoto Cordova

Caçapava do Sul

2022

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

V432a Veloso, Vitor Brandão

ANÁLISE GEOTÉCNICA EM TALUDES ROCHOSOS PELO MÉTODO Q-
SLOPE EM LOTEAMENTO NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL, RS /
Vitor Brandão Veloso.

59 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2022.

"Orientação: Diogo Peixoto Cordova".

1. métodos empíricos. 2. estabilidade de taludes. 3.
classificação geomecânica. I. Título.

VITOR BRANDÃO VELOSO

**ANÁLISE GEOTÉCNICA EM TALUDES ROCHOSOS PELO MÉTODO *Q-SLOPE* EM
LOTEAMENTO NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

17 de março de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Me. Diogo Peixoto Cordova

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Vinicius Matté

UNIPAMPA

Me. Fernando Alves Cantini Cardozo

(Eng. Civil e Minas)



Assinado eletronicamente por **VINICIUS MATTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/03/2022, às 16:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **DIOGO PEIXOTO CORDOVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/03/2022, às 16:22, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0765994** e o código CRC **3F7BCFC2**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

AGRADECIMENTO

Agradeço imensamente a minha família pelo esforço e apoio ao longo de todos os anos, em especial a minha mãe Mara e minha irmã Marília que nunca me desampararam.

Agradeço meu grande irmão Paulo Roberto Brandão, que infelizmente não está mais aqui para me ver realizando esse sonho, mas que mesmo distante se mantém perto me ajudando e me iluminando nos momentos difíceis.

Ao Professor Me. Diogo Peixoto Cordova pela orientação deste trabalho e por toda a ajuda prestada, tanto nesse trabalho quanto no período de estágio. Sem você não seria possível.

Aos meus amigos e colegas de curso Pedro Borborema, Juliana Gomides e Jéssica Botelho que estiveram comigo durante esse período.

À empresa Urbanizadora Delta LTDA. pelo acesso a área de estudo.

À empresa Terraservice – Geologia e engenharia LTDA. por acreditarem em mim, incentivando e auxiliando em todas as fases desse trabalho.

Aos amigos Pedro Susin e Marla Griebler por me acompanharem em campo e á amiga Janaína Rizzi pela ajuda prestada.

Agradeço a Universidade Federal do Pampa, por todo subsídio na elaboração desse trabalho e acolhimento nesses anos de graduação.

RESUMO

A instabilidade de taludes ocorre quando as tensões de cisalhamento mobilizadas se igualam ou ultrapassam a resistência ao cisalhamento do material. Esse comportamento é observado em locais onde a topografia apresenta-se irregular e é intensificado por processos erosivos como na serra gaúcha, onde o clima subtropical e a interferência antrópica resultam em diversos casos de instabilidade de taludes. Projetos de engenharia nessas regiões muitas vezes trazem como premissa a necessidade de estudos dos fatores geotécnicos e geométricos que impactam na estabilidade de taludes rochosos, já construídos ou que serão expostos após a execução do projeto, dependendo da necessidade do proprietário e de acordo com a legislação vigente. A qualidade desses projetos de engenharia depende da confiabilidade das investigações de campo, método aplicado, parâmetros definidos, bem como da interpretação desses resultados. O presente trabalho teve como objetivo executar uma análise das propriedades geomecânicas que conduzem o comportamento estrutural do talude, com relação a sua estabilidade, bem como classificar o maciço rochoso pelo método *Q-Slope*, indicando ângulos favoráveis ao talude. A área do estudo corresponde a taludes rochosos de dois lotes do loteamento Delta Um, no bairro Nossa Senhora das Graças, no município de Caxias do Sul/RS. Esses taludes têm até 8 metros de altura, o que justifica sua importância no conhecimento dos fatores que podem influenciar na estabilidade e os possíveis tipos de ruptura que podem ocorrer. De acordo com imagens históricas de satélite, os cortes dos taludes ocorreram em períodos diferentes entre os anos de 2011 e 2018, em decorrência da abertura de uma rua e a modificação do relevo de acordo com cada lote planejado. A metodologia empregada consistiu na divisão do talude em nove faces onde foram realizados levantamentos das discontinuidades. Em detalhe, foram determinados o *Rock Quality Designation* modificado (*RQD'*), análise cinemática para a identificação dos mecanismos de ruptura, grau de alteração das paredes das famílias de discontinuidades e análises dos fatores externos que influenciam na estabilidade dos taludes. Os resultados mostraram que das nove faces analisadas, cinco apresentaram-se estáveis e quatro apresentaram-se instáveis ao método. Com a aplicação do método foi possível indicar ângulos favoráveis aos taludes estudados. O método mostrou-se uma ferramenta prática e eficiente para os maciços rochosos pouco alterados e homogêneos, mostrando resultados aplicáveis na prática. Entretanto, para determinações em casos mais complexos, como em taludes compostos por saprólitos, o resultado apresentou alguma discrepância entre os ângulos de face recomendados e aplicabilidade real desses ângulos. Isto é evidenciado principalmente na face W01 onde o ângulo indicado de 25° é praticamente o ângulo de repouso de materiais inconsolidados, como em solos. Desta forma se sugere que nos casos mais complexos o método *Q-slope* deve ser usado juntamente com outros métodos de classificação para a descrição detalhada e uma avaliação mais condizente com a realidade do problema.

Palavras-chave: métodos empíricos, estabilidade de taludes, classificação geomecânicas.

ABSTRACT

Slope instability occurs when the mobilized shear stresses equal or exceed the shear strength of the material. This behavior is observed in places where the topography is irregular and is intensified by erosive processes such as in the Serra Gaúcha, where the subtropical climate and human interference result in several cases of slope instability. Engineering projects in these regions often have as a premise the need to study the geotechnical and geometric factors that impact the stability of rocky slopes, already built or that will be exposed after the project is carried out, depending on the owner's need and in accordance with legislation. in force. The quality of these engineering projects depends on the reliability of field investigations, method applied, defined parameters, as well as the interpretation of these results. The present work aimed to perform an analysis of the geomechanical properties that drive the structural behavior of the slope, in relation to its stability, as well as classify the rock mass by the Q-Slope method, indicating favorable angles to the slope. The study area corresponds to rocky slopes of two lots of the Delta Um subdivision, in the Nossa Senhora das Graças neighborhood, in the city of Caxias do Sul/RS. These slopes are up to 8 meters high, which justifies their importance in understanding the factors that can influence stability and the possible types of failure that may occur. According to historical satellite images, the slope cuts occurred in different periods between 2011 and 2018, as a result of the opening of a street and the modification of the relief according to each planned lot. The methodology used consisted of dividing the slope into nine faces where discontinuities were surveyed. In detail, the modified Rock Quality Designation (RQD'), kinematic analysis for the identification of failure mechanisms, degree of alteration of the walls of the families of discontinuities and analysis of the external factors that influence the stability of the slopes were determined. The results showed that of the nine analyzed faces, five were stable and four were unstable to the method. With the application of the method it was possible to indicate favorable angles to the slopes studied. The method proved to be a practical and efficient tool for rock massifs little altered and homogeneous, showing results applicable in practice. However, for determinations in more complex cases, such as slopes composed of saprolites, the result showed some discrepancy between the recommended face angles and the real applicability of these angles. This is evidenced mainly in the face W01 where the indicated angle of 25° is

practically the angle of repose of unconsolidated materials, as in soils. Thus, it is suggested that in more complex cases the Q-slope method should be used together with other classification methods for a detailed description and an assessment more consistent with the reality of the problem.

Keywords: empirical methods, slope stability, geomechanical classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista sul da área de estudo.	21
Figura 2 - Modelagem 3D da superfície topográfica.	22
Figura 3 - Mapa de situação e localização da área de estudo.	22
Figura 4 - Imagem da área capturada em junho de 2011.	23
Figura 5 - Imagens de satélite do desenvolvimento dos cortes ao longo dos anos. .	23
Figura 6 - Configuração geológica do município de Caxias do Sul, com indicação da espessura de cada unidade vulcânica.	25
Figura 7 - Mapa geológico-geotécnico de Caxias do Sul - RS.	28
Figura 8 - Características das descontinuidades passíveis de observação.	31
Figura 9 - Gráfico de estabilidade <i>Q-slope</i>	40
Figura 10 – Probabilidade de ocorrência de falha em taludes quase estáveis.	40
Figura 11 - Fluxograma com a exposição das metodologias aplicadas e sua ordem.	42
Figura 12 – Divisão dos taludes em faces e perfis de elevação.	43
Figura 13 – Vista para o talude norte.	44
Figura 14 – Levantamento das descontinuidades no talude N01.	45
Figura 15 – Vista para os taludes norte.	45
Figura 16 – Planilha de campo para levantamento geotécnico usando o método <i>Q-Slope</i>	46
Figura 17 - Principais mecanismos de ruptura em taludes e sua projeção estereográfica.	47
Figura 18 – Estereogramas das famílias das descontinuidades presente nas faces E01, N01, N02, N03, N04 e N05.	49
Figura 19 – Talude W01	51
Figura 21 – Resultados do <i>Q-Slope</i>	53
Figura 22 – Gráfico com a relação do <i>Q-Slope</i> com o ângulo do talude para cada face.	53
Figura 23 – Gráfico relacionando os ângulos dos taludes.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Qualidade da Rocha.....	34
Tabela 2 - índice dos números de família de descontinuidade J_n	35
Tabela 3 - Índice de rugosidade da junta J_r	35
Tabela 4 - Índice de alteração das paredes das fraturas J_a	36
Tabela 5 - Fator de orientação de descontinuidade: Fator O.....	37
Tabela 6 - Condições ambientais e geológicas J_{wice}	38
Tabela 7 - Condições físicas do talude SFR_a	38
Tabela 8 - Faixas de tensão e resistência do talude SFR_b	39
Tabela 9 - Descontinuidade principal SFR_c	39
Tabela 10 – Estimativa do RQD' para cada talude.....	48
Tabela 11 – Família de descontinuidades.....	50
Tabela 12 – Estimativo do tamanho de bloco.....	50
Tabela 13 – Parâmetros relacionados à resistência ao cisalhamento.....	51
Tabela 14 – Fatores externos ao talude(J_{wice}) e análise de tensões:.....	52

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

RMR – *Rock Mass Rating*

RQD – *Rock Quality Designation*

RS – Rio Grande do Sul

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

LISTA DE SÍMBOLOS

ψ_p – Mergulho do plano de deslizamento

β – Inclinação do talude

ϕ – Ângulo de atrito

α_i – Direção do mergulho da linha (*trend*)

ψ_i – Mergulho da linha (*plunge*)

λ – Número de descontinuidades por metro

c – Coesão

τ - Resistência ao cisalhamento

σ_n – Componente do esforço perpendicular ao plano de ruptura

σ_1 – Maior tensão efetiva de ruptura

σ_3 – Menor tensão efetiva de ruptura

σ_{ci} – Resistência a compressão uniaxial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	Geral	19
2.2	Específicos.....	19
3	JUSTIFICATIVA.....	20
4	ÁREA DE ESTUDO.....	21
4.1	Localização da área.....	21
4.2	Histórico da área.....	23
4.3	Contexto geológico	24
4.3.1	Geologia regional.....	24
4.3.2	Geologia local	25
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
5.1	Teoria dos métodos e técnicas	29
5.1.1	Mecânica de rochas.....	29
5.1.1.1	Maciços rochosos	30
5.1.1.2	Caracterização das descontinuidades	30
5.1.2	O Método Q-Slope.....	32
5.1.3	Índice de qualidade da rocha <i>IQR</i>	33
5.1.4	Índice dos números de família de fraturas <i>Jn</i>	34
5.1.5	Índice de rugosidade <i>Jr</i>	35
5.1.6	Índice de alteração <i>Ja</i>	36
5.1.7	Fator de orientação: <i>Fator O</i>	37
5.1.8	Condições ambientais e geológicas <i>Jwice</i>	37
5.1.9	Condições de estados de tensão <i>SRFSlope</i>	38
5.1.10	Relação do <i>Q-slope</i> e o ângulo do talude.....	39
6	MATERIAIS E MÉTODOS	42
6.1	Fluxograma	42
6.2	Planejamento do campo	42
6.3	Levantamento das descontinuidades.....	44
6.4	Identificação do tipo de ruptura	46
7	RESULTADOS	48
7.1	RQD – Rock Quality Designation	48
7.2	Análise Cinemática e <i>Jn</i>	48
7.3	Classificação Geomecânica <i>Q – Slope</i>	50
7.3.1	Tamanho de bloco	50
7.3.2	Resistência ao cisalhamento	51
7.3.3	Fatores externos e tensões.....	52

7.4	Cálculo do Q-slope e a relação com o ângulo dos taludes	52
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
9	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Na implantação de loteamentos residenciais, um dos pontos mais observados é a viabilidade geotécnica da área. Com isso, no cumprimento da lei, público carregam as responsabilidades sociais das quais incluem a segurança dos futuros moradores, bem como da comunidade que as cercam.

Para Borsatto (2019), Caxias do Sul sofre com problemas geotécnicos decorrentes da dinâmica social, geomorfologia e devido às características das rochas e estruturas geológicas que compõem o subsolo urbano. A cidade faz parte dos 959 municípios que possuem histórico de registros de desastres naturais em decorrência de movimentos de massa e ou processos hidrológicos e são monitorados pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais). Esses registros incluem deslizamentos de encosta, queda e rolamento de blocos rochosos e processos erosivos (CEMADEN, 2021).

O tema observado no mundo todo motivou pesquisadores a se dedicarem em desenvolver métodos para classificar e avaliar as condições geotécnicas, a fim de que se proceda com medidas a prevenir, impedir ou mitigar qualquer risco eminente e se obter um cenário seguro principalmente no que diz respeito à vida das pessoas.

Dentre os métodos empíricos mais utilizados no mundo, está o sistema de classificação de maciços rochosos RMR (*Rock Mass Rating*), desenvolvido por Bieniawski (1976, 1989) e o sistema Q de Barton (1976) que foram empregados largamente em análise de maciços rochosos no ramo da mineração e construções de túneis. Esses métodos sofreram adaptações com o passar dos anos, no entanto, sempre houve uma carência de análise que predita ajuste no ângulo do talude de forma prática e que evita o retrabalho por corte em ângulos inadequados (BAR e BARTON, 2017).

Assim, Barton e Bar (2015) introduziram o método *Q-Slope* para suprir essa carência. O método é derivado de adaptações no sistema Q de Barton, utilizado há mais de 40 anos na mineração e em construções de túneis. O método foi concebido para avaliar cortes em rocha de forma a possibilitar um ajuste no ângulo do talude a partir da análise empírica da face exposta.

O RQD (*Rock Quality Designation*) é o primeiro parâmetro analisado tendo sido desenvolvido por Deere em (1967), baseado na verificação de fraturas em testemunhos de sondagem. Mais tarde, Priest e Hudson (1976), apresentaram uma forma de se estimar o valor do RQD por meio da medida do espaçamento das discontinuidades na face do talude, o que definiram como RQD', técnica que será utilizada nesse trabalho.

Os parâmetros J_n , J_r e J_a continuam praticamente inalterados do clássico sistema Q, porém no *Q-Slope* pode-se atribuir à razão (J_r/J_a) o fator "O" que corresponde à orientação e pode ser aplicado para cada lado de uma possível ruptura em cunha já o J_w e SRF foram os parâmetros mais modificados, estando agora atribuídos às condições ambientais que atuaram sobre o talude e os fatores que reduzem à resistência a ruptura (BAR e BARTON, 2017).

Neste trabalho cada um dos parâmetros supracitados, foi determinado a partir do levantamento sistêmico das discontinuidades do talude pelo método de *Scanline*, descrito em Brady e Brown (1985). O método compreende a análise de todas as discontinuidades que cruzam uma linha projetada na face do talude, após, com todos os parâmetros definidos, o maciço será classificado para cada subdivisão pré-estabelecida o que possibilitará a proposição de ângulos favoráveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo principal determinar as propriedades geomecânicas que conduzem o comportamento estrutural de um talude rochoso, a respeito de sua estabilidade e classificar o maciço pelo método Q-Slope indicando os maiores ângulos que podem ser adotados para as faces dos taludes.

2.2 Específicos

Para cumprir com o objetivo geral, foi necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Levantamentos de descontinuidades do maciço rochoso;
- Determinar as propriedades geotécnicas em ensaios *in situ*;
- Identificar o mecanismo de ruptura, se planar, cunha, de tombamento ou circular;
- Classificar o maciço rochoso no sistema Q-Slope e indicar ajustes nos ângulos de talude.

3 JUSTIFICATIVA

O interesse em realizar esse estudo se dá em decorrência das frequências de casos de instabilidade de encostas em maciços rochosos na região de Caxias do Sul. Esse cenário desencadeia a necessidade de metodologias mais práticas que auxiliem os geólogos e engenheiros a aperfeiçoar os levantamentos e reduzir o tempo despendido no complexo processo de análise de dados dos levantamentos de campo e determinação de medidas estabilizadoras com indicação de ângulos seguros a reduzir riscos que possam causar danos materiais, ambientais e principalmente à vida humana.

Esse trabalho se torna realizável a partir da metodologia aplicada que foi desenvolvida recentemente por Nick Barton e Neil Bar (2015), que pode ser utilizada em casos similares.

A decisão dos taludes deste estudo de caso é justificada pelo fato de que, mesmo de forma descontínua, são possíveis de se analisar as faces em diferentes direções espaciais. Esse comportamento é vantajoso e pode possibilitar uma análise mais efetiva relacionada às persistências das discontinuidades e à compreensão tridimensional do maciço.

4 ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo serão descritas as características da área de estudo, envolvendo localização e acesso, e as questões do contexto geológico em que ela se encontra.

4.1 Localização da área

Localizada a sul do perímetro urbano do município de Caxias do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, a área de estudo corresponde às fachadas dos lotes 001 e 002 da quadra 5828, no bairro Nossa Senhora das Graças.

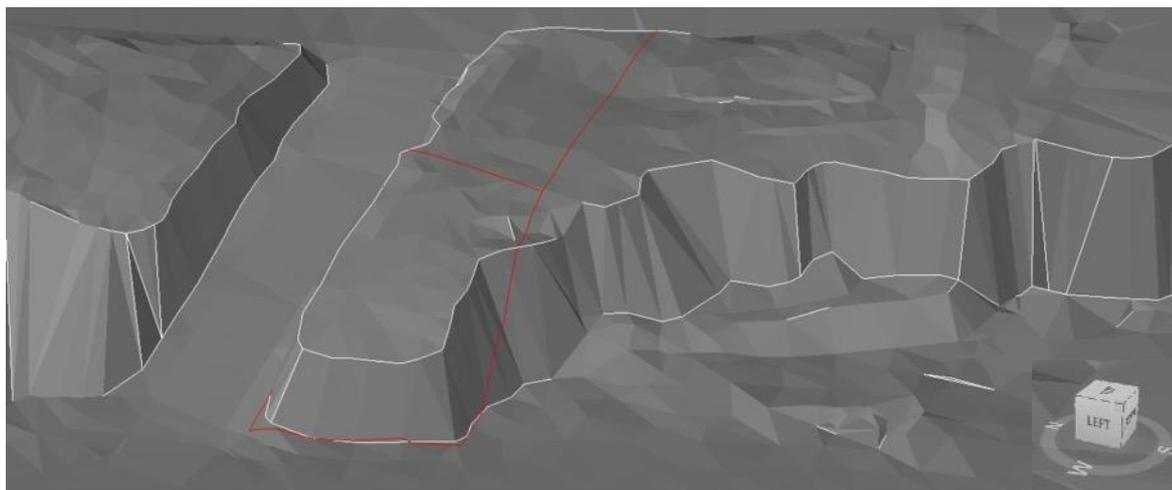
A (Figura 1) mostra parte da testada dos lotes em questão, trata-se de um maciço rochoso com declividade igual ou superior a 30%. A (Figura 3) mostra a situação espacial dos taludes e a (Figura 2) mostra a modelagem 3D da superfície topográfica.

Figura 1 - Vista sul da área de estudo.



FONTE: Autor.

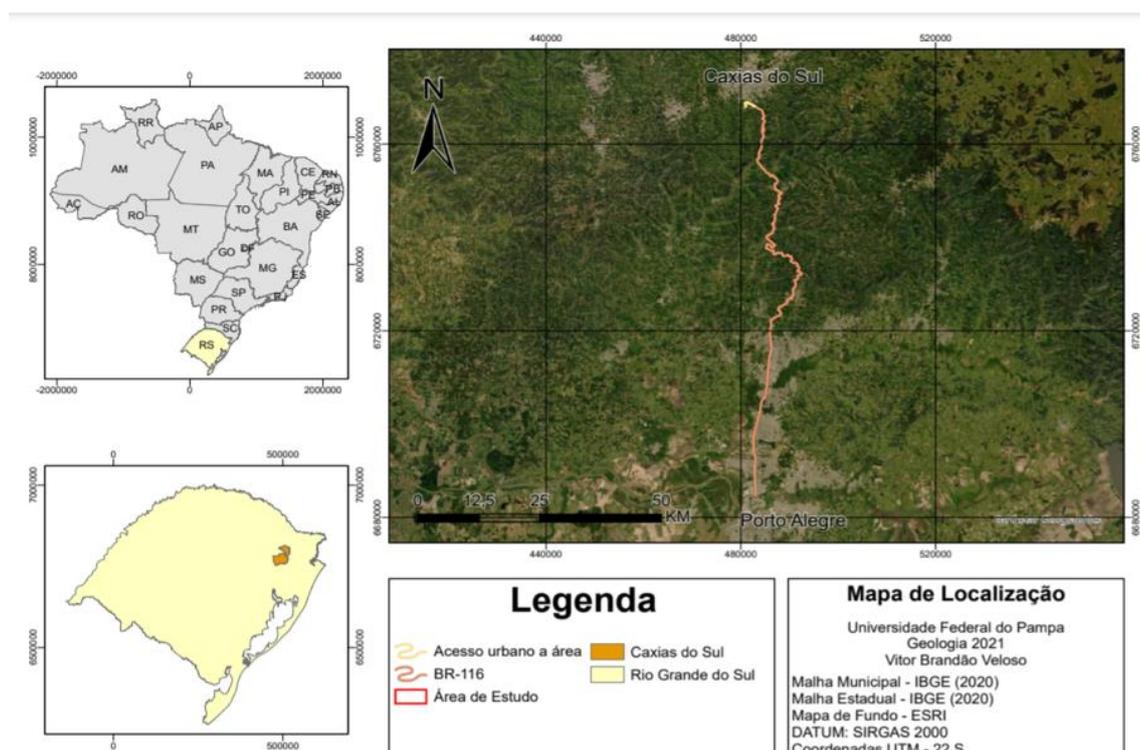
Figura 2 - Modelagem 3D da superfície topográfica.



Fonte: Modificado de TERRASERVICE (2021).

O acesso, com origem na capital do Estado, Porto Alegre, inicia-se pela BR-116, onde seguindo a norte por 124 km até o distrito de Galópolis, na interseção com a Rua Pedro Olavo Hofman, a leste, onde se mantém até a Rua Amilcar Rossi, por ela transita-se até encontrar a Estrada do Imigrante e assim segue-se a sul por 1 km até a área de estudo. Outro acesso alternativo pode ser pelas estradas estaduais RS-240, RS-122 e RS-452.

Figura 3 - Mapa de situação e localização da área de estudo.



Fonte: Autor

4.2 Histórico da área

Na (FIGURA 4), é possível observar a execução do sistema viário ocasionado à modificação do relevo.

De acordo com levantamento aerofotogramétrico realizado nos anos de 2011 e 2018 disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Caxias do Sul, no sítio eletrônico GeoCaxias, é possível observar por meio de imagens históricas, os cortes dos taludes para implantação do Projeto Urbanístico (FIGURA 5).

Figura 4 - Imagem da área capturada em junho de 2011.



Fonte: Google Street View (2021).

Figura 5 - Imagens de satélite do desenvolvimento dos cortes ao longo dos anos.



Fonte: Modificado de GEOCAXIAS (2021).

4.3 Contexto geológico

Nesta seção serão descritas as características geológicas da área de estudo, baseada na revisão bibliográfica de alguns trabalhos importantes sobre o contexto geológico regional e local.

4.3.1 Geologia regional

A geologia regional da área corresponde à porção sudeste da Bacia do Paraná. De acordo com Zalán et al.(1988; 1990) a bacia teve acumulação de rochas sedimentares com início no Ordoviciano. Durante o Mesozoico, o supercontinente Gondwana foi palco de intensa atividade magmática fissural, resultando em extensos derrames em certas regiões desse continente. Posteriormente, por meio de processos distensivos da litosfera, deu-se a separação continental, com o aparecimento de novas bacias oceânicas (NARDY, MACHADO & OLIVEIRA, 2008).

Esses derrames deram origem a províncias magmáticas, do qual se destaca a Formação Serra Geral, que representa umas das maiores manifestações vulcânicas do mundo e que segundo Nardy, Machado & Oliveira (2008) cobre praticamente toda a região meridional do Brasil, as áreas oriental do Paraguai e ocidental do Uruguai (Formação Arapey), e a do norte da Argentina (Membro Posadas da Formação Curuzú Cuatiá).

O município de Caxias do Sul está inserido principalmente na unidade geológica Formação Serra Geral, que recobre toda a metade norte do Estado do Rio Grande do Sul, e é representada por uma sucessão de derrames de lavas. São aflorantes no município, rochas vulcânicas dessa formação e arenitos da Formação Botucatu (BRESSANI et al., 2005)

As idades das rochas vulcânicas da província, obtidas por meio de datações $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, revelam que o pico de atividade ígnea ocorreu num curto período, entre 133 e 130 Milhões de Anos (Ma) (RENNE et al.1996, TURNER et al. 1994).

4.3.2 Geologia local

No município de Caxias do Sul, segundo classificação geoquímica e litoestratigráfica de Nardy, Machado e Oliveira (2008), ocorrem rochas da Fácies Caxias e Gramado. Na área estudada, afloram apenas rochas da Fácies Caxias, caracterizadas por coloração cinza, por vezes, vermelho acastanhado, afírica, com textura variando de hipohialinas a holohialinas e aspecto “sal & pimenta”, variando de intermediárias à ácidas. Posteriormente, tais fácies foram subdivididas para unidades geológico - geotécnicas, segundo o Mapa de Unidades Geotécnicas da Área Urbana do Município de Caxias do Sul, visto nas (Figura 7) (BORSATTO, 2011, APUD BRESSANI, FLORES E NUNES, 2005).

Foi determinado por Bressani et al. (2005) alguns principais tipolitológicos encontrados no município, sendo predominantes da área urbana, denominados segundo sua maior área de abrangência, Dacito Galópolis, Dacito Canyon, Dacito Caxias/Carijó e Dacito Ana Rech.A (Figura 6) apresenta o modelo litoestratigráfico da área urbana de Caxias do Sul, onde observa-se a posição dos tipos litológicos.

Figura 6 - Configuração geológica do município de Caxias do Sul, com indicação da espessura de cada unidade vulcânica.

PERÍODO	IDADE Ma	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	ROCHAS		ESPESSURA
			TIPO		
CRETÁCEO INF.	128	FORMAÇÃO SERRA GERAL	CAXIAS	DACITO ANA RECH	80m
				DACITO CAXIAS/CARIJÓ	170m
				DACITO CANYON	70m
				DACITO GALÓPOLIS	70m
			BASALTOS E ANDESIBASALTOS TIPO GRAMADO	450m	
JURÁSSICO	138	FORMAÇÃO BOTUCATU		ARENITOS EÓLICOS	160

Fonte: Adaptado de BRESSANI; FLORES; NUNES, 2005.

a) Dacito Galópolis: originalmente 2 derrames que ocorrem de forma bem característica na região de Galópolis, unificados em uma só unidade devido à declividade do local e semelhança de comportamento dos solos plásticos derivados, o que proporciona uma proximidade em planta baixa (BRESSANI et al., 2005).

b) Dacito Canyon: este material tem grande importância por ser altamente alterável e ocorrer em grande parte da cidade. Seus afloramentos mais importantes são encontrados no Bairro Canyon (entorno da cota 700 m), no Bairro Santa Corona (cota 680 m) e nos vales ao sul da cidade (em direção a Galópolis e ao sul do bairro Desvio Rizzo) (BRESSANI et al., 2005). Este derrame caracteriza-se por possuir estruturas de fluxo subvertical e coloração cinza escura a vermelho amarelada. A diferença na coloração é relacionada ao estado de oxidação da rocha, sendo que na maior parte das vezes ela aparece alterada, e quando são, apresenta cor cinza escura (BORSATTO et al., 2012).

c) Dacito Caxias/Carijó: de maior abrangência na região, ocupa a parte central do município e grande parte da área ao sul e ao centro. O termo Carijó é comumente utilizado no meio científico para rochas vulcânicas cinzas, com textura equigranular, granulação fina a média e que ocorrem em escala regional (BRESSANI; FLORES; NUNES, 2005). No estudo do autor a rocha que define a unidade Dacito Caxias/Carijó apresenta coloração cinza oliva clara e granulação média. Essa unidade litológica se caracteriza por apresentar um aspecto maciço com disjunções tabulares medindo cerca de 30 cm de espessura. Também foram observados estratos tabulares sub-horizontais na porção basal dessa unidade, com espessuras de 5 a 30 cm.

d) Topo do Dacito Caxias: este material se constitui da porção de topo da sequência anterior, mas por possuir características vítreas tão importantes poderia ser identificado como Vitrófiro Forqueta, que ocorre com seus aspectos mais característicos por toda extensão territorial da Região Administrativa de Forqueta, em cotas comumente superiores a 730 m (BORSATTO et al., 2012). As cotas de ocorrência acompanham as cotas do Dacito Caxias/Carijó, ocupa regiões também mais planificadas, que são topos de erosão, como a região do aeroporto (BRESSANI

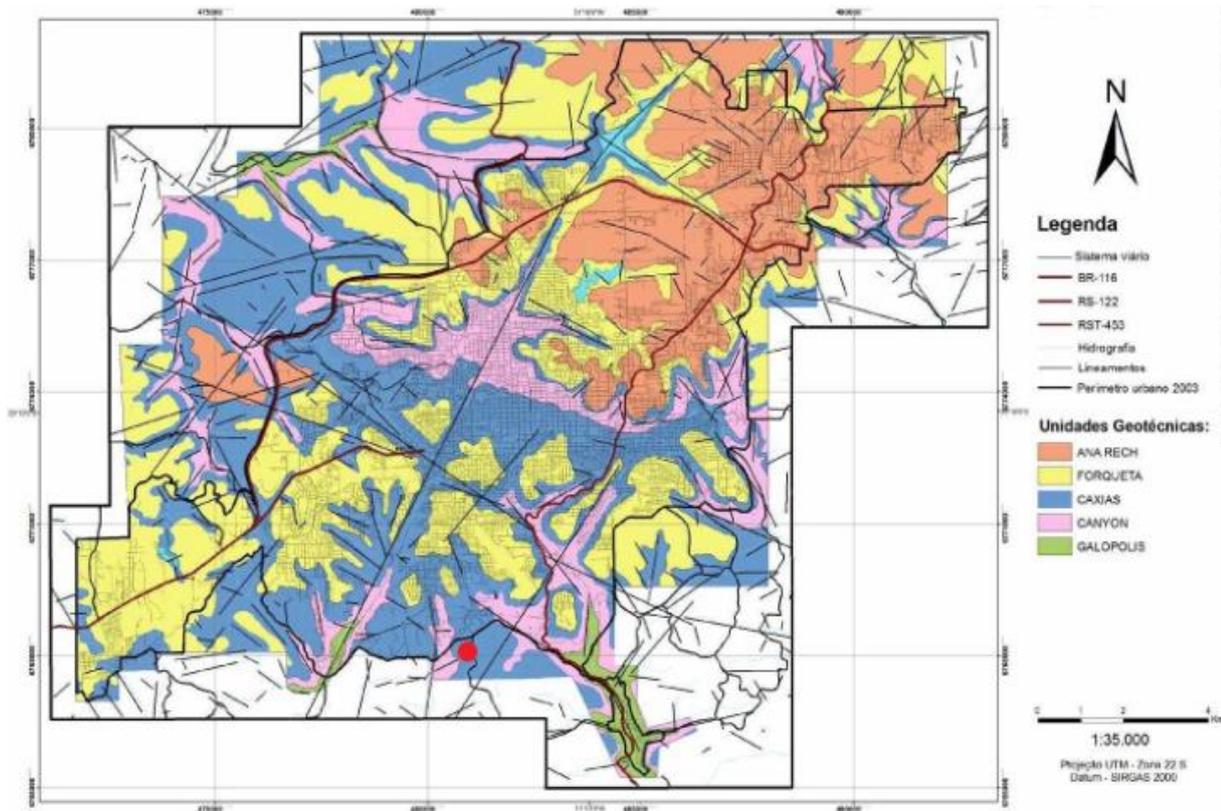
et al., 2005). Compreende vulcanitos com marcada estrutura de fluxo verticalizado e associado a autobrechas e presença abundante de vesículas e amígdalas nas porções mais superiores. Segundo (BORSATTO et al., 2012) o aspecto predominante observado em campo é a existência de uma sutil estrutura de fluxo magmático, definindo bandas de coloração que variam de cinza esverdeada a cinza muito escuro.

e) Dacito Ana Rech: encontra-se na região administrativa de Ana Rech e grande parte da área norte da cidade, geralmente nas cotas superiores na região, podendo atingir cotas de até 900 m. Caracteriza-se pela marcada estratificação horizontalizada em toda sua área de ocorrência. Apresenta padrão mineralógico que origina solos de características arenosas a granulares grosseiras (BRESSANI; FLORES; NUNES, 2005).

De acordo com Bressani et al. (2005) a geologia do município é subordinada, em termos estruturais, a lineamentos de extensões regionais e que são vinculados a eventos tectônicos de natureza distensional, que são facilmente observados em imagens orbitais, como é o caso da falha Caxias, que apresenta uma extensão aproximada de 70 km. Os extremos desta falha localizam-se nas proximidades da localidade de Vila Cristina (extremo sudeste do município) e da localidade de Boqueirão (extremo nordeste do município).

Na área desse estudo é possível observar características que enquadram a rocha como Dacito Caxias, como a notável tabularidade do maciço rochoso marcado por descontinuidades sub-horizontalizadas, com espaçamentos de 5 a 30 cm e descontinuidades verticais com espaçamento médio de 1 m, apresentando coloração cinza e desenvolvimento de alteração esferoidal.

Figura 7 - Mapa geológico-geotécnico de Caxias do Sul - RS.



Fonte: Adaptado de (BORSATTO et al., 2012)

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão revisadas as referências bibliográficas importantes sobre o assunto, detalhando as teorias sobre o método e as técnicas que foram utilizadas para o desenvolvimento desse trabalho. Também são comentados os trabalhos anteriores com temática semelhantes.

5.1 Teoria dos métodos e técnicas

Para a realização da análise de estabilidade de taludes pelo método proposto, definições relevantes e tópicos relacionados aos trabalhos de Bar e Barton serão descritos e revisados a seguir para dar subsídio ao entendimento e aplicabilidade a esse trabalho.

5.1.1 Mecânica de rochas

A Mecânica de Rochas é o estudo teórico e prático do comportamento de maciços rochosos e de seu resultado diante de forças aplicadas no seu entorno. Os distintos campos de aplicação de mecânica de rochas podem se agrupar naqueles em que o material rochoso constitui a própria estrutura (escavação de túneis, galerias de mineração, taludes), aqueles em que a rocha é a sustentação de outras estruturas (como fundações de edifícios) e aqueles em que a rocha é empregada como material de construção (VALLEJO et al., 2002).

De acordo com Vallejo (2002), a caracterização dos maciços rochosos é um estudo complexo, devido ao fato de existirem grande variabilidade das propriedades e elevado número de fatores que os condicionam, assim o objetivo da mecânica das rochas é conhecer e prever o comportamento dos materiais rochosos antes da ação das forças internas e externas que são exercidas sobre eles.

5.1.1.1 Maciços rochosos

Por maciço rochoso entende-se uma massa de rocha interrompida por descontinuidades, constituída de blocos discretos, estes últimos com propriedades de rochas intactas; rocha intacta é uma designação aplicada a rochas que não apresentam descontinuidades ou planos de fraqueza (FIORI et al., 2015).

Para Fiori et al., (2015), a avaliação das propriedades geotécnicas de um maciço rochoso inclui o conhecimento das propriedades da rocha intacta, da ocorrência e natureza das descontinuidades, da extensão e do grau de alteração e da posição espacial das descontinuidades do maciço.

5.1.1.2 Caracterização das descontinuidades

As descontinuidades são planos de fraqueza na rocha, onde a estrutura da rocha é descontínua, apresentando uma resistência menor ao cisalhamento, podendo ser nula a depender do preenchimento, quanto ao tipo e a frequência. Diversas estruturas podem ser consideradas descontinuidades: falhas, juntas, planos de foliação, zonas de cisalhamento, veios, diques, fendas de tração e laminações (FIORI et al., 2016).

As superfícies ou planos de descontinuidade dos maciços rochosos condicionam suas propriedades e comportamento resistente, deformacional e hidráulico. As descontinuidades apresentam planos diferentes de alteração, intemperismo e fratura, permitindo o fluxo de água. O reconhecimento, descrição e caracterização das descontinuidades são fundamentais para o estudo do comportamento mecânico e hidro geológico dos maciços rochosos. A estabilidade de cimentações e escavações em rocha, por exemplo, depende da orientação e resistência das descontinuidades (VALLEJO et al., 2002).

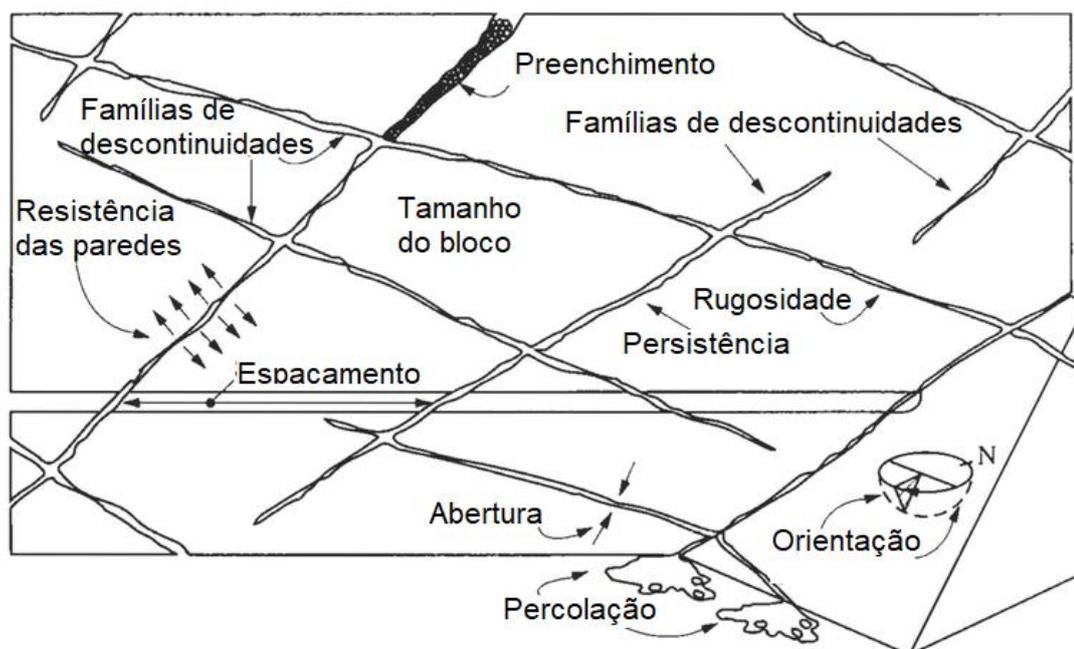
Existem características das descontinuidades que influenciam no comportamento geotécnico dos maciços fissurados, como a orientação, o espaçamento, a persistência, a rugosidade, o preenchimento, abertura, percolação de água e a alteração causada pela percolação (FIORI et al., 2015).

Segundo Fiori et al., (2016), a rugosidade das paredes de uma descontinuidade é uma das características importantes na sua resistência ao

cisalhamento, principalmente em juntas não preenchidas, quanto maior a abertura da descontinuidade e a espessura do material que a preenche, menor a importância da rugosidade. A ondulação da superfície de uma descontinuidade (responsável pela variação na orientação ou na atitude) e a rugosidade da superfície (responsável pelo atrito entre dois blocos adjacentes) são dois fatores principais ao estudar as propriedades das superfícies.

Em uma junta, a abertura é medida pela distância média de afastamento dos blocos contínuos ou o espaço entre as paredes das juntas. Estas podem ser fechadas ou abertas, sendo a segunda com possível percolação de água, causando alteração nas paredes e no preenchimento, e assim influenciando na resistência ao cisalhamento no maciço. A causa das aberturas é resultado dos alívios de pressão e da temperatura e esforços tectônicos, estes que criam as juntas (alívio de carga na superfície) ou alargam as juntas, com a presença de fluidos com pressões perpendiculares às paredes. Próximo às superfícies do terreno, as aberturas comumente são maiores e vão afinando com o aumento da profundidade (FIORI et al., 2016).

Figura 8 - Características das descontinuidades passíveis de observação.



Fonte: Adaptado de ISRM (2007).

5.1.2 O Método Q-Slope

O método Q-Slope foi desenvolvido por Bar e Barton (2015) a partir do método *Rock Tunnel Quality*, mais conhecido como Sistema-Q, proposto por Barton et al. (1974). Além desse, outros métodos de avaliação geomecânica são historicamente relevantes, do qual, destacam-se o *Rock Quality Designation* (RQD), proposto por Deere et al. (1964), o *Rock Mass Rating* (RMR), desenvolvido por Bieniawski (1973), que passou por diferentes revisões até sua versão final em 1989, com sugestões de modificação em seu uso em 2011.

Apesar da popularidade dos Métodos de Equilíbrio Limite e dos Métodos Numéricos para avaliar a estabilidade de taludes, métodos empíricos podem ser utilizados para prever de forma rápida e com parâmetros facilmente levantados em campo o comportamento ou determinar o melhor sistema de suporte e reforço de taludes escavados em rocha, como o SMR, proposto por Romana (1985), modificado em 1995, e o *Global Slope Performance*, proposto por Sullivan (2013).

Nenhum desses métodos fornece informações sobre ângulos apropriados de inclinação de taludes rochosos que sejam estáveis em longo prazo, especialmente naqueles taludes onde contensões sejam inexistentes ou inviáveis. Além disso, um problema recorrente dos projetos de engenharia geotécnica é a dificuldade de conferir a estabilidade de taludes rochosos durante sua execução em tempo real usando abordagens analíticas e numéricas, pois as operações ocorrem de forma muito rápida para que tais métodos sejam utilizados para esse fim (BAR e BARTON, 2015).

A partir desta percepção, Bar & Barton (2015) desenvolveram o método *Q-slope*, utilizando mais de 400 estudos de casos ao redor de mundo em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, além de alguns saprólitos desses tipos de rocha. De acordo com os autores, a proposta do *Q-slope* é permitir que os engenheiros geotécnicos tivessem acesso em campo, às condições de estabilidade de taludes escavados em rocha, e possam fazer ajustes aos ângulos de inclinação assim que as condições geotécnicas do maciço rochoso vão se tornando visíveis durante o processo construtivo. Inicialmente, o método é aplicável para tomadas de decisão quanto a ângulos de face em minas a céu aberto, mas também pode ser empregado em obras de engenharia civil (BAR; BARTON, 2017).

Na região de estudo, outros trabalhos e pesquisas já foram realizados sobre a temática de análise geotécnica de taludes rochosos, porém não foi encontrada nenhuma que houvesse utilização do método aqui empregado.

O método Q_{slope} requer a atribuição de classificações para designação de qualidade de rocha RQD , número de família de descontinuidades J_n , número de rugosidade J_r e número de alteração da junta J_a , que permanecem inalterados do sistema Q (Barton et al., 1974).

$$Q_{slope} = \frac{RQD}{J_n} \times \left(\frac{J_r}{J_a}\right)_0 \times \frac{J_{wice}}{SRF_{slope}} \quad \text{Equação 1}$$

Assim como acontece com o sistema Q, a qualidade do maciço rochoso no Q_{slope} pode ser considerada uma função de três parâmetros, que são medidas brutas de:

1. Tamanho do bloco: $\left(\frac{RQD}{J_n}\right)$.
2. Resistência ao cisalhamento: menos favorável $\left(\frac{J_r}{J_a}\right)$ ou cisalhamento médio no caso de cunhas $\left(\frac{J_r}{J_a}\right)_1 \times \left(\frac{J_r}{J_a}\right)_2$.
3. Fatores externos e estresse: $\left(\frac{J_{wice}}{SRF_{slope}}\right)$.

A resistência ao cisalhamento, τ , utilizado é: $\tau \approx \sigma_n \tan^{-1} \left(\frac{J_r}{J_a}\right)$.

5.1.3 Índice de qualidade da rocha IQR

Tanto o RMR quanto o Sistema-Q utilizam valores de pesos atribuídos aos parâmetros do maciço rochoso e de suas descontinuidades, obtidos por meio de levantamentos geológico-geotécnicos, e consideram o valor do *Rock Quality Designation* (RQD) também conhecido como IQD (Índice de Qualidade da Rocha) em seus cálculos. Inicialmente o RQD foi desenvolvido por Deere (1963) com base na recuperação de testemunhos de sondagem em diâmetro NX.

Assim, na ausência de testemunhos de sondagem em diâmetros NX, Priest e Hudson (1976), apresentaram uma forma de se estimar o valor do RQD por meio da

medida do espaçamento das descontinuidades na face do talude, o que definiram como RQD'. No método *Q-Slope*, o RQD (DEERE 1963) Índice de Qualidade da Rocha continua sendo um parâmetro importante para a avaliação do maciço rochoso e para esse parâmetro será utilizado a técnica de Priest e Hudson nesse trabalho.

$$RQD' = 100e^{-0.1\lambda}x(0,1\lambda + 1) \quad \text{Equação 2}$$

Fonte: Adaptado, Brady e Brown (2005).

Onde: RQD: Índice teórico de qualidade da rocha.

λ : Número de descontinuidades dividido pelo comprimento total da scanline em metros.

A partir do resultado obtido tem-se a classificação RQD para os maciços rochosos, proposta por Deere (1967), que varia de muito fraco até excelente (tabela 2), dependendo do valor obtido através dos cálculos.

Tabela 1 - Índice de Qualidade da Rocha.

Índice de Qualidade da Rocha	RQD (%)
A Muito pobre	0-25
B Pobre	25-50
C Regular	50-75
D Bom	75-90
E Muito Bom	90-100

Onde RQD é < 10 (incluindo zero), o valor nominal de 10 é usado para a avaliação pelo método Q-slope.

FONTE: Barton, Lien e Lunde (1974).

5.1.4 Índice dos números de família de fraturas Jn

Assim como no sistema Q, o sistema *Q-slope* não leva em consideração parâmetros de espaçamento das juntas, mas leva em conta essa informação de forma implicitamente pelo fator $\left(\frac{RQD}{Jn}\right)$. Essa razão representa uma medida aproximada do tamanho de bloco, desta forma, o índice dos números de família de descontinuidade Jn deve ser avaliado conforme a tabela 2.

Tabela 2 - índice dos números de família de descontinuidade J_n .

Número de família de descontinuidades	J_n
A Maciço, nenhuma ou poucas descontinuidades.	0.5-1
B Uma família de descontinuidades	2
C Uma família de descontinuidades mais descontinuidades aleatórias	3
D Duas famílias de descontinuidades	4
E Duas famílias de descontinuidades mais descontinuidades aleatórias	6
F Três famílias de descontinuidades	9
G Três famílias de descontinuidades mais descontinuidades aleatórias	12
H Quatro ou mais família de descontinuidades, mais aleatórios fortemente articuladas.	15
J Não se identifica famílias (Muito alterada)	20

FONTE: Barton, Lien e Lunde (1974).

5.1.5 Índice de rugosidade J_r

A rugosidade das paredes de uma descontinuidade é uma característica potencialmente importante no comportamento de sua resistência ao cisalhamento, especialmente nos casos de juntas não preenchidas. A importância da rugosidade diminui à medida que aumenta a abertura da descontinuidade e a espessura do material de preenchimento (FIORI et al., 2015).

Barton, Lien e Lunde (1974) apresentaram o índice de rugosidade das fraturas J_r , divididas em fraturas com contato rocha-rocha, porém, sem deslocamento relativo na tabela 3 (a) e com deslocamento relativo em 3 (b) e fraturas com certa abertura e com deslocamento relativo em (c).

Tabela 3 - Índice de rugosidade da junta J_r .

Descrição do índice de rugosidade	J_r
(a) Contato rocha – rocha sem deslocamento	
A Fraturas não persistente	4
B Fraturas rugosa ou irregular, ondulada	3
C Fratura suave ondulada	2
D Fraturas polida, ondulada	1.5
E Fraturas rugosas ou irregulares planas	1.5
F Fraturas lisas, planas	1
G Fraturas polidas ou estriadas, planas	0.5
(b) com deslocamento.	
H Contendo preenchimento argiloso espesso o suficiente para evitar o contato da parede de rocha	1
(c) Nenhum contato entre os blocos.	
J Zona arenosa, esmagada	1

FONTE: Barton, Lien e Lunde (1974).

5.1.6 Índice de alteração J_a

Barton, Lien e Lunde (1974) desenvolveram o índice de alteração das descontinuidades considerando três principais situações: fratura sem deslocamento relativo onde há contato rocha-rocha entre as paredes das fraturas (TABELA 4 A); fraturas com deslocamento relativo (menos de 10 cm) e também há contato rocha-rocha entre as paredes das fraturas (TABELA 4 B); fraturas com deslocamento relativo (TABELA 4 C). Assim, o valor de J_a cresce de acordo com o tamanho da abertura, a espessura e a consistência do preenchimento.

Tabela 4 - Índice de alteração das paredes das fraturas J_a .

	Descrição	J_a	Φ aprox.
Fraturas sem deslocamento relativo	A Paredes duras, compactas, preenchimentos impermeáveis (quartzo ou epidoto)	0.75	
	B Paredes sem alteração, somente leve descoloração	1	25-35°
	C Paredes levemente alteradas com partículas arenosas e rochas desintegradas não-argilosas	2	26-30°
	D Paredes com películas siltosas ou areno-argilosas	3	20-25°
	E Paredes com películas de materiais moles ou com baixo ângulo de atrito (caolinita clorita, talco, grafita etc.) e pequena quantidade de minerais expansivos	4	8-16°
Fraturas com deslocamento relativo (menos de 10 cm). Há contato rocha-rocha entre as paredes das fraturas	F Paredes com partículas de areia e rochas desintegradas, sem argila	4	25-30°
	G Fraturas com preenchimento argiloso sobre consolidado (espessura < 5 mm)	6	16-24°
	H Fraturas com preenchimento argiloso subsolidado (espessura < 5mm)	8	12-16°
	I Fraturas com preenchimento argiloso expansivo (espessura <5 m)	8 - 12	6-12°
	J, K, L Zonas com rochas trituradas ou esmagadas, com argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	6 - 8 ou 8 - 12	12-16°
Fraturas com deslocamento relativo. Não há contato rocha-rocha entre as paredes das fraturas	M Zonas siltosas ou areno-argilosas com pequena quantidade de argila	5	12-16°
	N, O, P Zonas ou bandas contínuas de argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	10 - 13 ou 13 - 20	6-12°

FONTE: Barton, Lien e Lunde (1974).

5.1.7 Fator de orientação: *Fator O*

Foi adicionado à relação $\left(\frac{J_r}{J_a}\right)$ o fator de orientação de descontinuidade, denominado fator O. Esse fator é utilizado para promover ajustes na ponderação relativa à presença de descontinuidades nos taludes rochosos. A Tabela 1 apresenta os valores do fator O, que deve ser aplicado considerando a descontinuidade menos favorável (Família A), e para as duas menos favoráveis no caso de ruptura em cunha (Família B) (Barton e Bar, 2015).

Tabela 5 - Fator de orientação de descontinuidade: Fator O

Descrição do fator O	Família A	Família B
Orientação muito favorável	2	1.5
Orientação favorável	1	1
Orientação desfavorável	0.75	0.9
Orientação muito desfavorável	0.5	0.8
Provoca falha na ausência de suporte	0.25	0.5

FONTE: Barton e Bar (2015).

5.1.8 Condições ambientais e geológicas J_{wice}

Os taludes por manterem o maciço rochoso exposto, sobre a atuação de intemperismo provocou a necessidade de adaptação no J_w do clássico sistema Q para o J_{wice} que correspondem às condições geológicas (Barton e Bar 2015). A nova estrutura reconhece a necessidade de considerar o ambiente climático e a resistência da rocha.

As mais variadas condições ambientais são experimentadas pelos taludes expostos, todavia, as rochas competentes são geralmente mais resistentes à erosão e a deformação e ainda menos suscetíveis a saturação o que as torna mais durável. (Barton e Bar, 2015)

A nova classificação para as condições ambientais e geológicas J_{wice} está descrita na tabela 6 onde a nova estrutura inclui o efeito da erosão típica de áreas tropicais bem como o efeito da formação de gelo sobre as rochas. Barton e Bar (2015) também incluíram ajuste para caso em que o talude contenha contenções e medidas de drenagem, o que diminui a exposição do talude as intempéries, resultando numa estabilidade ao longo do tempo. Os autores também apresentaram valores para quando as medidas de drenagem forem instaladas, assim deve-se aplicar $J_{wice} \times 1.5$ e quando as medidas de contenções do talude

forem instaladas, aplica-se $J_{wice} \times 1.3$, para os dois, medidas de drenagem e contenções for instalados, multiplica-se ambos os fatores $J_{wice} \times 1.5 \times 1.3$.

Tabela 6 - Condições ambientais e geológicas J_{wice} .

J_{wice}	Ambiente de deserto	Ambiente úmido	Ambiente tropical	Ambiente gelado
Estrutura estável; rocha competente.	1	0.7	0.5	0.9
Estrutura estável; rocha incompetente.	0.7	0.6	0.3	0.5
Estrutura instável; rocha competente.	0.8	0.5	0.1	0.3
Estrutura instável; rocha incompetente.	0.5	0.3	0.05	0.2

Fonte: Barton e Bar, 2015.

5.1.9 Condições de estados de tensão SRF_{slope}

O *Q-Slope* traz a ampliação da análise do parâmetro SRF, que passa a ser chamado SRF_{slope} . Para determinar o valor do SRF_{slope} a ser utilizado deve-se comparar as características obtidas no levantamento de campo às tabelas que descrevem as condições SRF_a , SRF_b e SRF_c . O SRF_a descreve as condições físicas da superfície do talude devido aos efeitos de desmonte e à suscetibilidade ao intemperismo e erosão. O SRF_b descreve faixas de tensão e resistência no talude e está relacionado à presença de outras descontinuidades importantes, como falhas e zonas de fraqueza e suas características. Cada uma das três condições terá um valor atribuído e o maior dentre eles será utilizado para o SRF_{slope} . Os critérios utilizados para avaliação dos estados de tensões do maciço e determinação dos parâmetros SRF_a , SRF_b e SRF_c são apresentados nas (Tabela 7),(Tabela 8) (Tabela 9) respectivamente.

Tabela 7 - Condições físicas do talude SRF_a .

Descrição	SRF_a
A Ligeiro afrouxamento devido à localização da superfície, perturbação de desmonte de rocha ou escavação.	2.5
B Blocos soltos, sinais de rachaduras de tensão e cisalhamento da junta, suscetibilidade ao intemperismo, perturbação severa do desmonte.	5
C Como B, mas forte suscetibilidade ao intemperismo.	10
D O talude está em estágio avançado de erosão e afrouxamento devido à erosão periódica pela água e/ou formação de gelo.	15

E	Declive residual com transporte significativo de material encosta abaixo.	20
---	---	----

Fonte: Barton e Bar 2015

Tabela 8 - Faixas de tensão e resistência do talude SFR_b

Descrição	σ_c/σ_1^a	SFR_b
F Faixa de resistência ao estresse moderada	50 a 200	2.5 a 1
G Faixa de alta resistência ao estresse	10 a 50	5 a 2.5
H Ruptura de rocha intacta localizada	5 a 10	10 a 5
J Esmagamento ou rendimento de plástico	2.5 a 5	15 a 10
K Fluxo de plástico de material amolecido por deformação	1 a 2.5	20 a 15

σ_c^a = Resistência à compressão simples (UCS), σ_1 = tensão máxima principal.

Fonte: Barton e Bar 2015

Tabela 9 - Descontinuidade principal SFR_c .

Descrição	Favorável	Desfavorável	Muito desfavorável	Causando falha se sem suporte
L Descontinuidade principal com pouco ou com ausência de argila.	1	2	4	8
M Descontinuidade principal com $RQD_{100} = 0^b$ devido à argila e rocha triturada.	2	4	8	16
N Descontinuidade principal com $RQD_{300} = 0^c$ devido à argila e rocha triturada.	4	8	12	24

$RQD_{100} = 0^b = 1$ metro de amostra perpendicular à descontinuidade.

$RQD_{300} = 0^c = 3$ metros de amostra perpendicular à descontinuidade.

Fonte: Barton e Bar 2015

5.1.10 Relação do Q -slope e o ângulo do talude

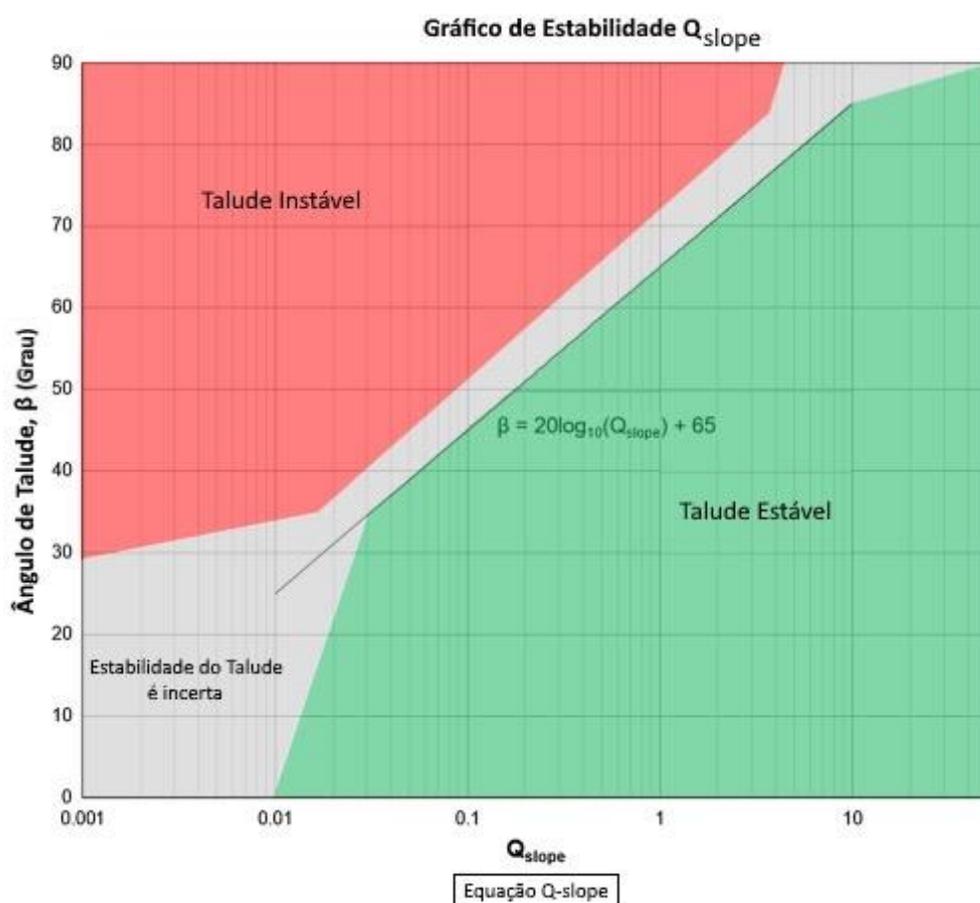
Barton e Bar (2015) desenvolveram uma fórmula simples para avaliar as condições de estabilidade de um talude rochoso a partir do método Q -*Slope*, assim deve-se dispor de dois valores: o valor do Q -*Slope* (Equação 1) e o valor de β , sendo este o ângulo de inclinação do respectivo talude.

$$\beta = 20 \log_{10} Q_{slope} + 65^\circ \quad \text{Equação 3}$$

Caso o talude já tenha sido escavado e o objetivo seja avaliar a sua estabilidade pelo método, o valor de β a ser utilizado será o ângulo de inclinação do talude no momento da avaliação. Para os casos em que se deseja realizar uma retroanálise ou conhecer a maior inclinação possível para que o talude seja classificado como estável, os autores propõem a Equação 3.

Considerando apenas os taludes quase estáveis, ou seja, que o resultado do *Q-Slope* se encontra na zona de incerteza na (Figura 9) a probabilidade de falha (PoF) pode ser calculada e é exibida usando linhas isopotenciais. Os autores reconhecem que essas linhas isopotenciais são uma interpretação possível para casos onde certos graus de falha são aceitos.

Figura 9 - Gráfico de estabilidade *Q-slope*.



Fonte: Barton e Bar 2015.

Figura 10 – Probabilidade de ocorrência de falha em taludes quase estáveis.

$$\text{PoF} = 1\%$$

$$\beta = 20 \log_{10} Q_{\text{slope}} + 65^{\circ}$$

Equação 4

$$\text{PoF} = 15\%$$

$$\beta = 20 \log_{10} Q_{\text{slope}} + 67.5^{\circ}$$

Equação 5

PoF = 30%

$$\beta = 20\log_{10}Q_{slope} + 70.5^\circ$$

Equação 6

PoF = 50%

$$\beta = 20\log_{10}Q_{slope} + 73.5^\circ$$

Equação 7

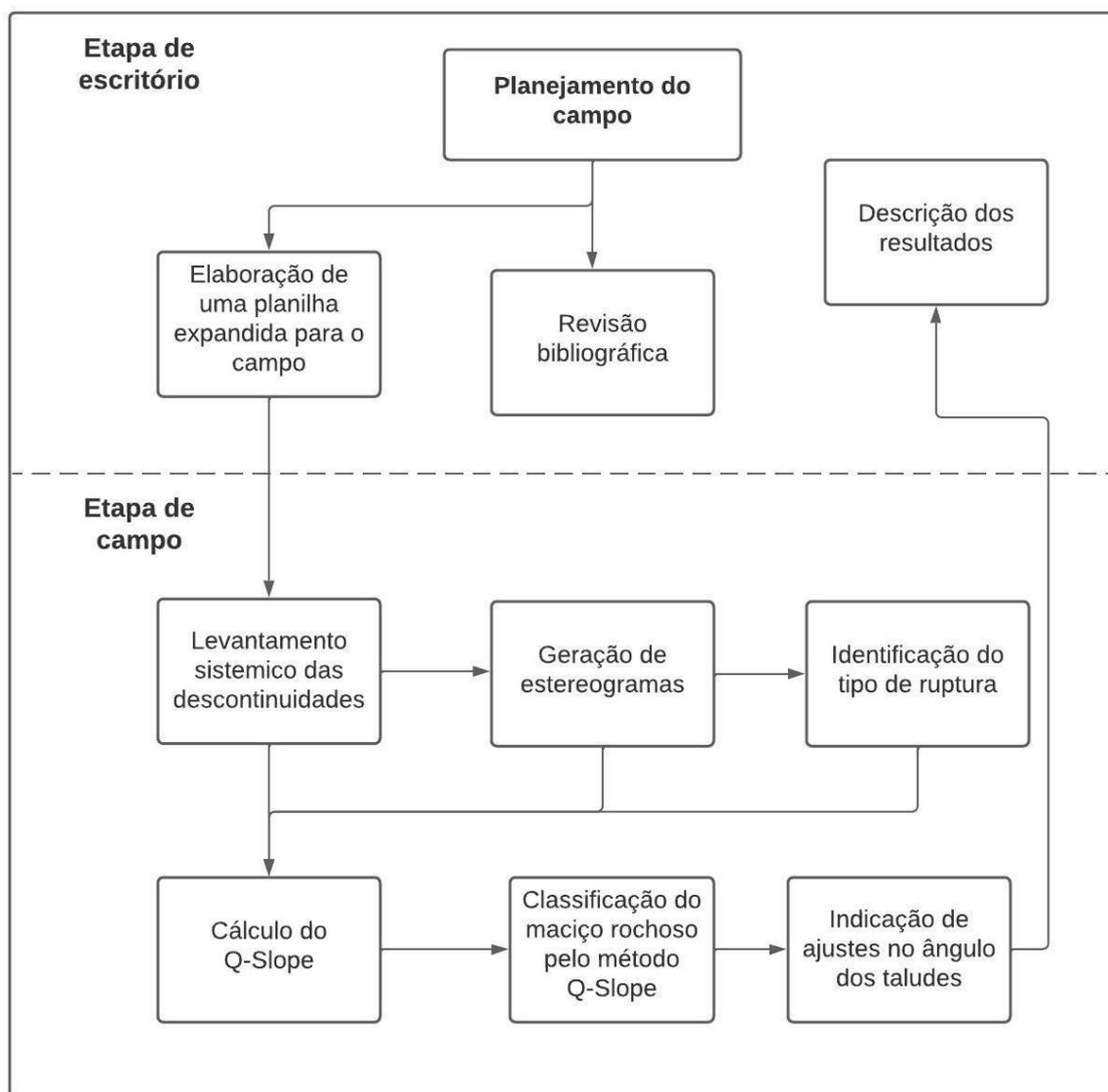
Fonte: Bar & Barton (2015).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Fluxograma

O fluxograma na (Figura 11) representa o fluxo em que as atividades foram realizadas, separado em uma série de etapas em campo e em escritório.

Figura 11 - Fluxograma com a exposição das metodologias aplicadas e sua ordem.



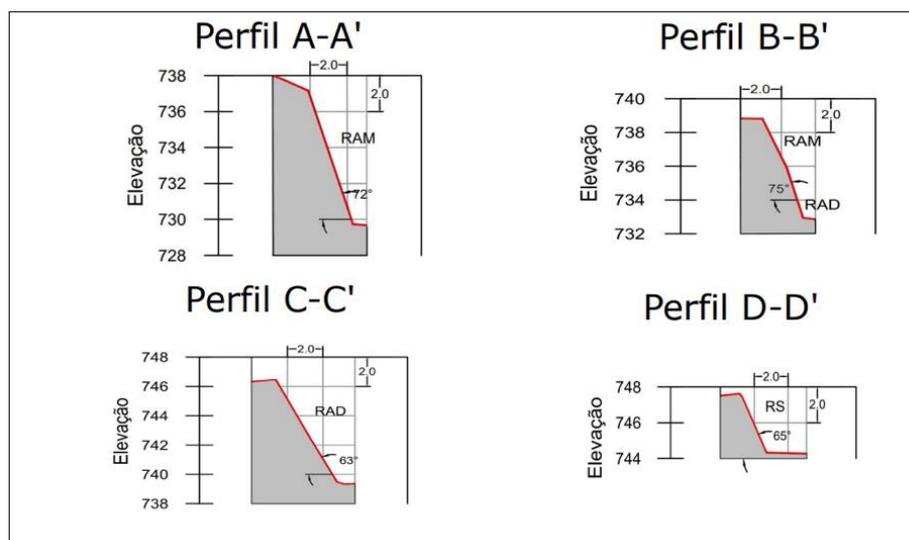
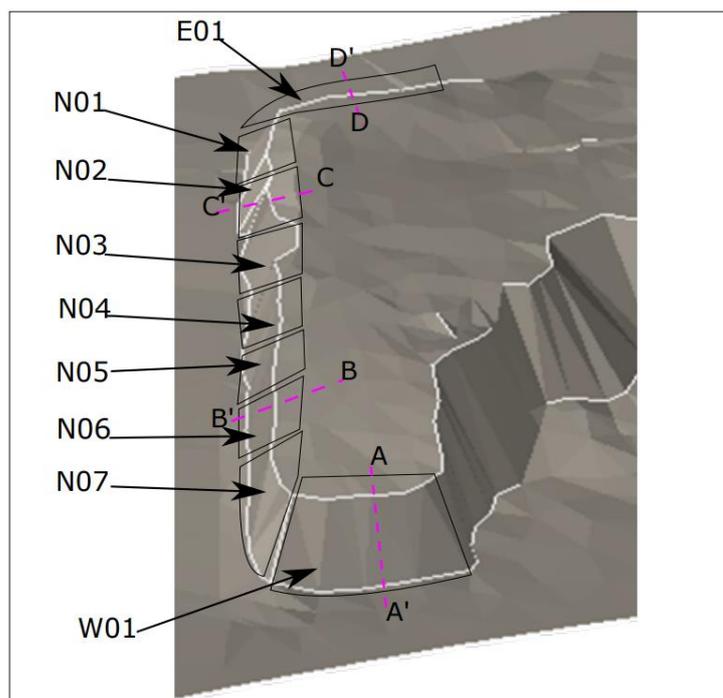
FONTE: Autor.

6.2 Planejamento do campo

O planejamento do campo conta com preparação de uma planta cartográfica para a locação dos *scanlines* e a elaboração de tabela para a coleta de dados de campo.

Os taludes foram divididos em nove faces, conforme a (Figura 12) e nomeados de acordo com o mergulho.

Figura 12 – Divisão dos taludes em faces e perfis de elevação.



Fonte: Modificado de TERRASERVICE (2021).

6.3 Levantamento das descontinuidades

A etapa de levantamento de descontinuidades em campo consistiu na coleta de uma série de parâmetros necessários para a determinação da qualidade do maciço e de sua análise geotécnica. Os materiais utilizados em campo foram o martelo de Schmidt, rugosímetro (pente de Barton), tinta spray, trena de 30 metros de comprimento, martelo petrográfico, marreta, material de escritório e tabelas de consulta (Anexo I).

Figura 13 – Vista para o talude norte.



Fonte: Autor.

Figura 14 – Levantamento das descontinuidades no talude N01.



Fonte: autor.

Figura 15 – Vista para os taludes norte.



Fonte: Autor.

Figura 16 – Planilha de campo para levantamento geotécnico usando o método Q-Slope.

Planilha para levantamento geotécnico Q-Slope						
Data: ____/____/____		Nº da janela		Coord. (UTM)		
Tamanho Horizontal (m)		Strike Talude (°)		X	Y	
Tamanho Vertical (m)		Ângulo do Talude (°)				
Estimativa de RQD'			J_{wice}	Ambiente úmido	Ambiente tropical	
Nº Total de Fraturas			Estrutura estável; rocha competente.	0.7 ()	0.5 ()	
Nº de fraturas por metro (λ)			Estrutura estável; rocha incompetente.	0.6 ()	0.3 ()	
RQD'			Estrutura instável; rocha competente.	0.5 ()	0.1 ()	
$RQD' = 100e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1)$			Estrutura instável; rocha incompetente.	0.3 ()	0.05 ()	
Parâmetros			$Q_{slope} = \frac{RQD}{J_a} \times \left(\frac{J_r}{J_{a_0}}\right) \times \frac{J_{wice}}{SFR_{slope}}$			
J_{a_1}	J_{r_1}	Fator O_1				
J_{a_2}	J_{r_2}	Fator O_2				
SFRa	SFRb	SFRc	SFR SLOPE			
Q_{slope}						
Nº	Jn / Fator O		Jwice		Jr	Ja
	Mergulho (°)	Strike (°)	Martelo Schmidt	Orientação do martelo	Valor de acordo com a tabela 5	Valor de acordo com a tabela 1
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Fonte: autor.

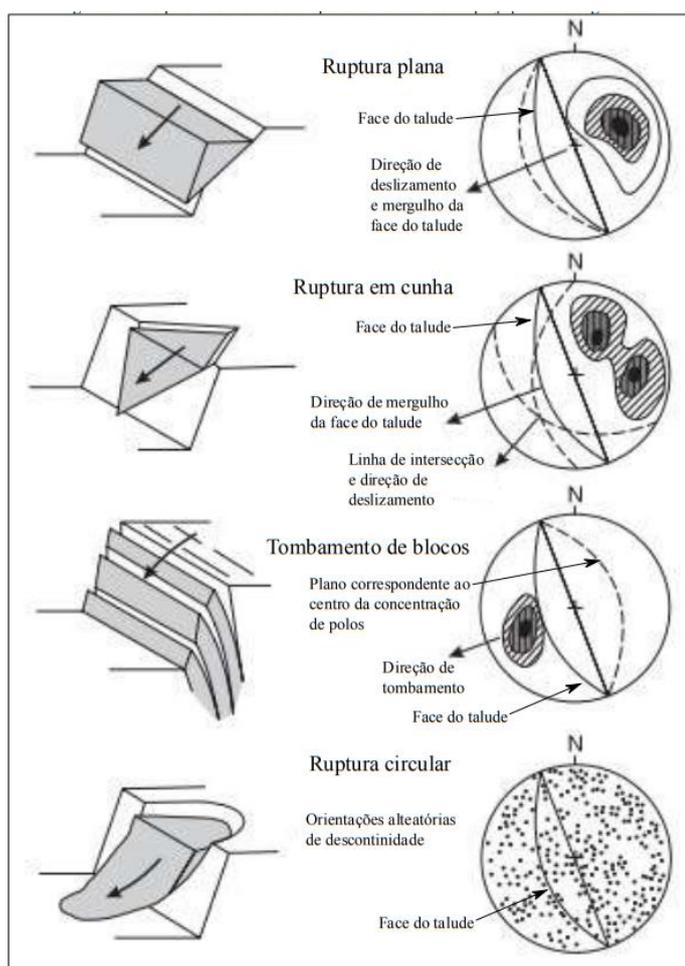
6.4 Identificação do tipo de ruptura

Os diferentes tipos de ruptura estão condicionados pelo grau de fraturamentos do maciço rochoso e pela orientação e distribuição de

descontinuidades em relação ao talude, sendo a estabilidade definida pelos parâmetros de resistência das descontinuidades e da matriz rochosa.

Os modelos de ruptura mais frequentes são a ruptura planar, em cunha, tombamento e circular (VALLEJO et al., 2002). Os principais mecanismos de ruptura e suas respectivas projeções estereográficas são apresentados na (FIGURA 9).

Figura 17 - Principais mecanismos de ruptura em taludes e sua projeção estereográfica.



Fonte: Adaptado de (WYLLIE; MAH, 2004).

O mecanismo de ruptura é um importante parâmetro por ser a partir dele que atribuímos valores para o fator de correção.

7 RESULTADOS

A seguir vão ser apresentados os resultados dos parâmetros relevantes na aplicação do método *Q-Slope* e por fim o seu calculo. Foram desempenhados os dias 18/12/2021 e 19/02/2022 para a coleta de dados em campo, e o talude foi analisado em nove seções de características similares.

7.1 RQD – Rock Quality Designation

No método *Q-Slope* o *RQD* (Deere 1963; Deere et al. 1967) o Índice de Qualidade da Rocha é um item importante para a avaliação do maciço rochoso e para esse parâmetro foi utilizado a técnica de Priest e Hudson por meio da medida do espaçamento das descontinuidades em afloramento. Os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Estimativa do RQD' para cada talude.

Face	Σ fraturas no trecho	Tamanho do trecho (m)	Frequência de fraturas	RQD (%)	Classificação
E01	15	16	0.94	99.59	Muito Bom
N01	25	8	3.13	96.02	Muito Bom
N02	16	8	2.00	98.25	Muito Bom
N03	18	8	2.25	97.82	Muito Bom
N04	21	8	2.63	97.10	Muito Bom
N05	37	8	4.63	92.09	Muito Bom
N06	41	8	5.13	90.60	Muito Bom
N07	76	8	9.50	75.41	Bom
W01	183	16	11.44	68.30	Regular

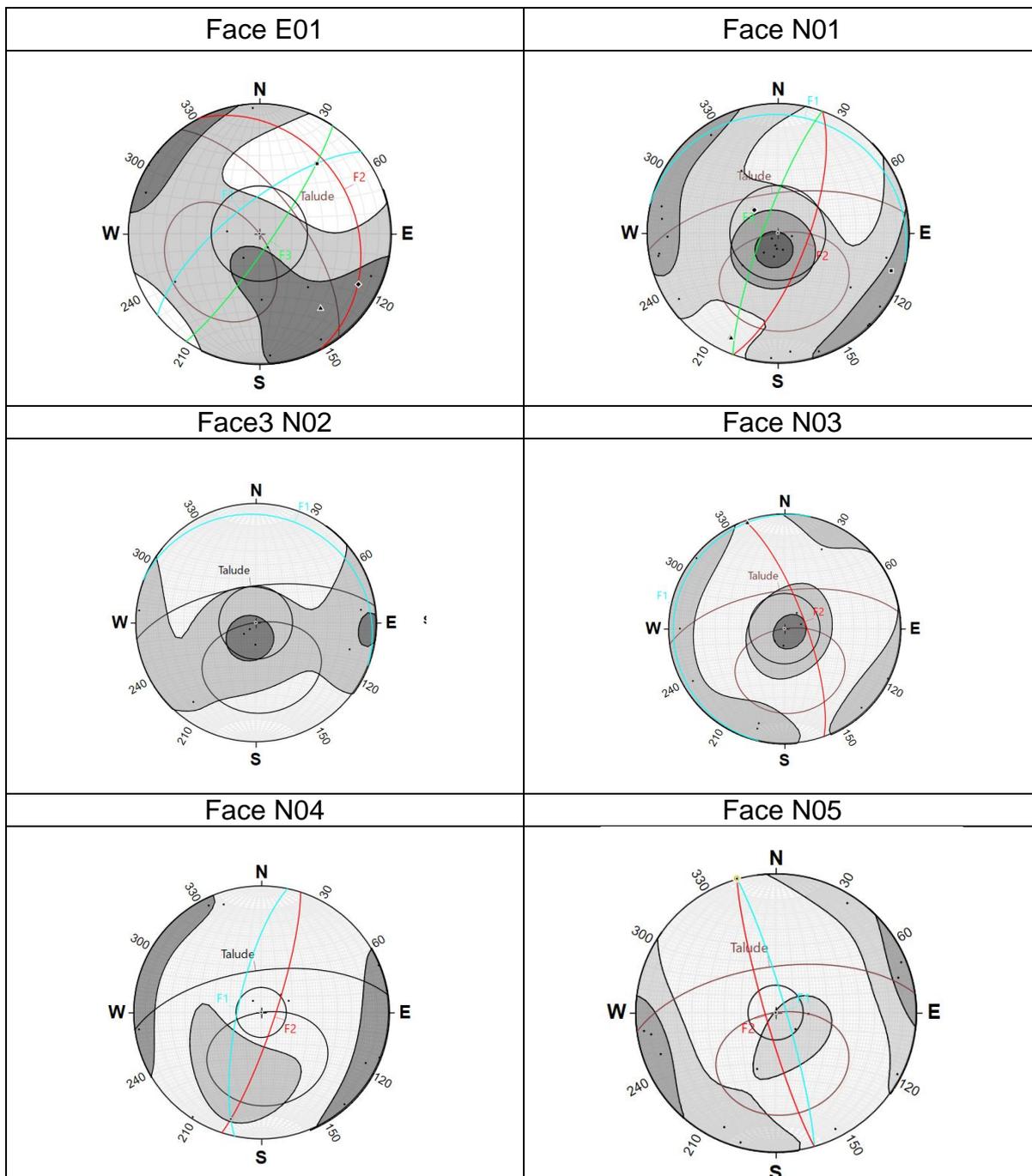
Fonte: Autor.

De acordo com a Classificação RQD (Deere, 1967), entre as opções, muito pobre, pobre, regular, bom e muito bom, os valores obtidos para o maciço rochoso variam de regular a muito bom.

7.2 Análise Cinemática e Jn.

A análise cinemática do potencial tipo de ruptura do talude para a classificação do fator de orientações das descontinuidades se deu a partir da elaboração de estereogramas no software stereonet V.11 conforme (Figura 18). A concentração de polos possibilitou a identificação das famílias de descontinuidades (Jn) conforme a Tabela 4:

Figura 18 – Estereogramas das famílias das discontinuidades presente nas faces E01, N01, N02, N03, N04 e N05.



Fonte: Autor

Para a mensuração do ângulo de atrito na análise cinemática em estereogramas, recorreu-se de Barton, que atribui valores aproximados de ângulo de atrito para cada classe de Ja (alteração das discontinuidades).

Tabela 11 – Família de descontinuidades

Face	Atitude do talude	Família 1	Família 2	Família 3	Jn
	Dip/direction	Dip/direction	Dip/direction	Dip/direction	
E01	65/053	71/321	28/062	82/124	12
N01	65/352	10/013	10/110	81/290	12
N02	63/352	11/021	-	-	6
N03	63/352	05/283	75/070	-	6
N04	63/352	75/282	81/108	-	6
N05	63/352	84/074	84/254	12/292	12
N06	63/352	-	-	-	15
N07	75/352	-	-	-	20
W01	72/241	-	-	-	20

Fonte: Autor

7.3 Classificação Geomecânica Q – *Slope*

Neste capítulo serão apresentados os demais parâmetros incluídos ao cálculo da classificação Q-Slope.

7.3.1 Tamanho de bloco

De acordo com Barton et al. (2015), a partir do cálculo da primeira fração do método, que consiste no quociente do RQD em relação ao Jn, é possível representar uma estimativa do tamanho de bloco. A Tabela 12 apresenta a estimativa do tamanho do bloco para cada talude analisado.

Tabela 12 – Estimativo do tamanho de bloco.

Face	RQD (%)	Jn	Tamanho relativo dos blocos (adimensional)
E01	99.6	12.0	8.30
N01	96.0	12.0	8.00
N02	98.2	6.0	16.37
N03	97.8	6.0	16.30
N04	97.1	6.0	16.18
N05	92.1	6.0	15.35
N06	90.6	15.0	6.04
N07	75.4	20.0	3.77
W01	68.3	20.0	3.42

Fonte: autor.

Os valores de tamanhos relativos de blocos variaram entre 3.4 a 16.37 (adimensional). Os taludes N02, N03 e N04, apresentaram os maiores tamanhos de

blocos. O talude W01 apresenta um alto grau de alteração, dificultando a identificação das famílias de descontinuidades.

Figura 19 – Talude W01



Fonte: Pedro Susin.

7.3.2 Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento interblocos é o aspecto mais detalhado do método. As descontinuidades são descritas em relação à alteração das facetas dos blocos (Tabela 4), o tipo e grau de rugosidade (Tabela 3) e é aplicado o fator O, que representa a análise cinemática do método. Na identificação de ruptura em cunha, as descontinuidades são agrupadas em famílias e aplica-se o fator O para cada uma das famílias e desta forma, é calculado o cisalhamento médio da cunha.

Os valores de Ja, Jn e fator O são apresentados na Tabela 13 separados por famílias identificadas na análise cinemática. Para os taludes que possuem somente uma família de descontinuidade, foi aplicado o valor 1, para anular o segundo quociente.

Tabela 13 – Parâmetros relacionados à resistência ao cisalhamento.

Face	Família 1			Família 2		
	Ja	Jr	Fator O	Ja	Jr	Fator O
E01	0.75	3.00	0.75	0.75	3.00	1.00
N01	0.75	3.00	0.50	0.75	3.00	1.00
N02	1.00	3.00	0.50	0.75	3.00	0.90
N03	1.00	3.00	0.50	1.00	3.00	0.90
N04	4.00	2.00	0.50	4.00	2.00	0.90

N05	6.00	2.00	2.00	6.00	2.00	1.00
N06	6.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
N07	8.00	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00
W01	13.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Fonte: Autor.

7.3.3 Fatores externos e tensões

Barton et al. (2015) ao elaborar o método, consideraram que os taludes por estarem em constante exposição as intempéries, poderiam apresentar maior fragilidade aos fatores externos. O último quociente analisa fatores climáticos, resistência da rocha e a estrutura do talude em relação aos estados de tensão.

O município de Caxias do Sul – RS por está inserido em uma região de clima subtropical, com invernos chuvosos, intensifica o intemperismo da face do talude. Desta forma, no parâmetro Jwice foi atribuída a classificação clima úmido. A resistência da rocha varia de competente nos taludes a leste à incompetente nos taludes a oeste, o que comprometeu o tipo de estrutura do talude, onde a rocha está mais alterada. A Tabela 14 apresenta os valores obtidos na análise de fatores externos ao talude.

Tabela 14 – Fatores externos ao talude(Jwice) e análise de tensões:

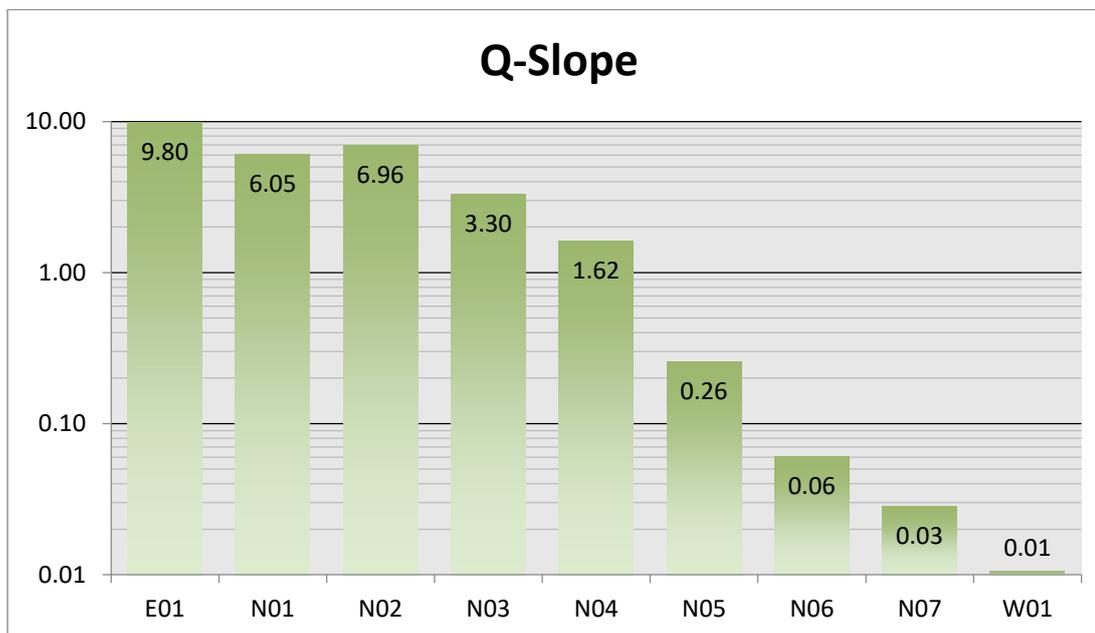
Face	Jwice	SFRa	SFRb	SFRc	SFRslope
E01	0.7	2.5	2.5	4.0	4.0
N01	0.7	2.5	2.5	-	2.5
N02	0.7	5.0	2.5	-	5.0
N03	0.5	5.0	2.5	-	5.0
N04	0.5	5.0	5.0	-	5.0
N05	0.5	10.0	5.0	-	10.0
N06	0.3	10.0	5.0	-	10.0
N07	0.3	2.5	2.5	-	2.5
W01	0.3	15.0	15.0	12.0	15.0

Fonte: Autor.

7.4 Cálculo do Q-slope e a relação com o ângulo dos taludes

A definição dos parâmetros para os três quocientes do método possibilitou o calculo Q-Slope para cada uma das subdivisões dos taludes. Os resultados estão expostos na (Figura 20).

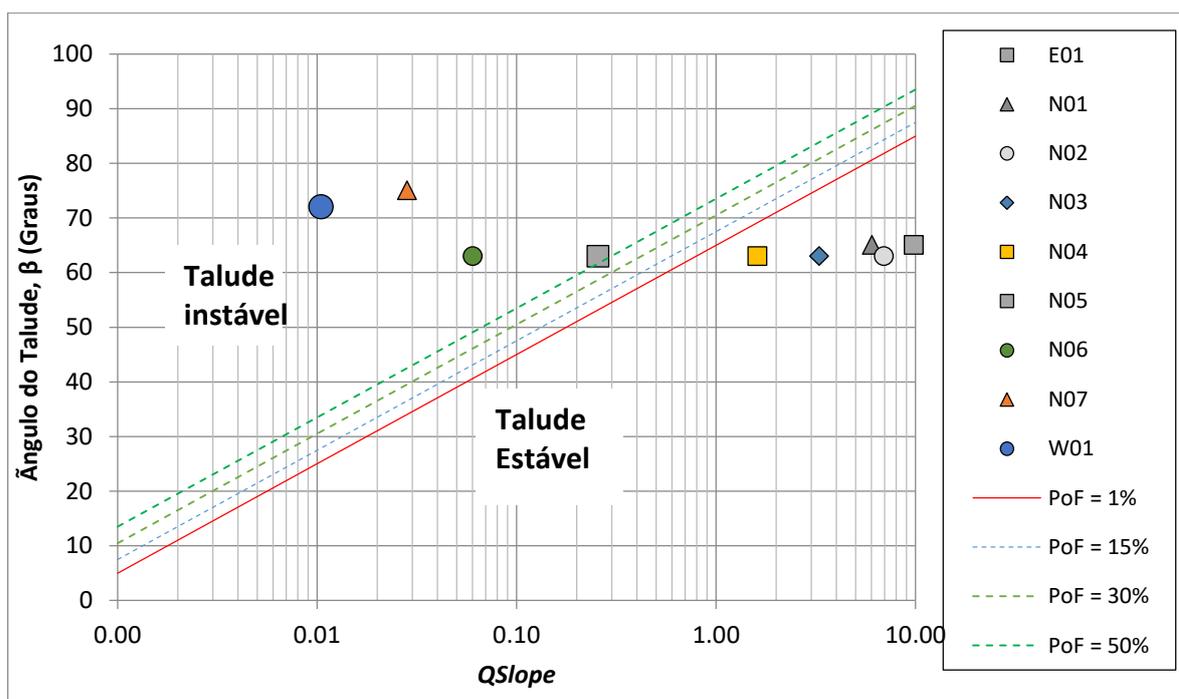
Figura 20 – Resultados do Q-Slope.



Fonte: autor

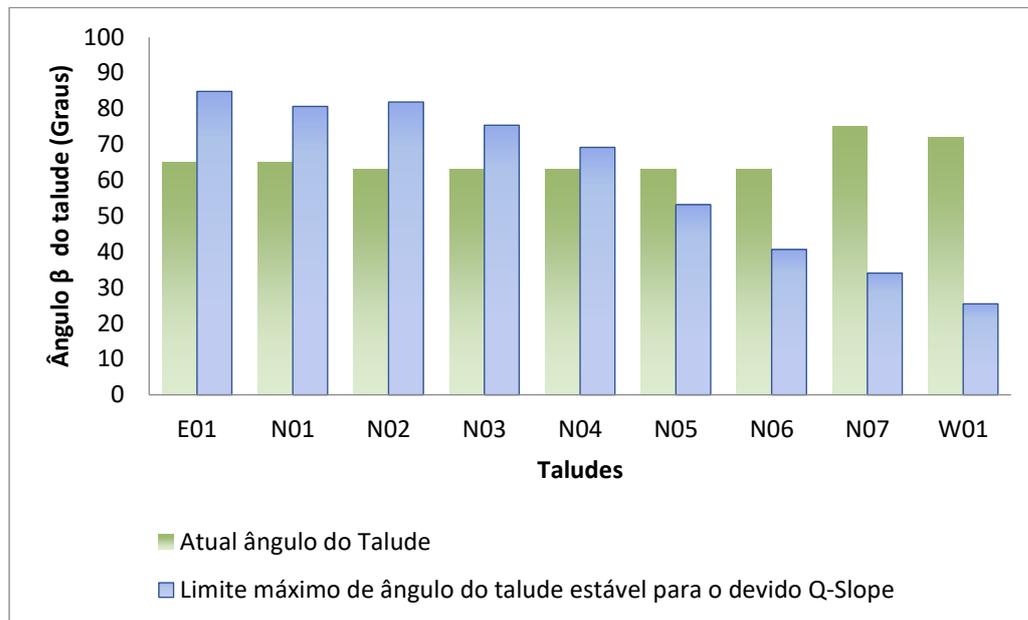
Após a obtenção dos valores relativos a cada um dos paramentos analisados, obtemos o valor de Q-Slope a partir da Equação 1. Com o resultado, o maciço pode ser classificado de acordo com a (Figura 21).

Figura 21 – Gráfico com a relação do Q-Slope com o ângulo do talude para cada face.



Fonte: Autor.

Figura 22 – Gráfico relacionando os ângulos dos taludes.



Fonte: Autor.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho buscou descrever e interpretar características geotécnicas que induzem ao comportamento geomecânico dos taludes em questão. O trabalho contou com a realização de levantamento de descontinuidades com foco nos parâmetros necessários na classificação Q-slope.

Os resultados do Q-slope mostram uma variação significativa, com valores decrescentes de leste a oeste da área de estudo, sendo o valor máximo para a face E01 com 9.80 e o valor mínimo 0.01 na face W01. Após calcular o Q-slope para cada face do talude, foi possível plotar no gráfico (Figura 21) que relaciona o resultado com o ângulo do talude. Desta forma, as faces N05, N06 N07 e W01 caíram no campo de instabilidade.

As avaliações também mostraram que as faces E01, N01, N02, N03 e N04, encontram-se estáveis de acordo com método Q-slope. Esses resultados refletem coerência com as características geotécnicas observadas em campo, pois nessas faces as rochas são competentes, isto é, apresentam alta resistência quanto a rocha intacta. As faces E01 e N01 apresentam rochas pouco alteradas, as descontinuidades são fechadas e sem preenchimento ou quando ocorre são arenosos, todavia observa-se nas faces N02, N03 e N04 blocos soltos e de menores tamanhos, esse aspecto reflete as condições físicas do talude, classificada no parâmetro SRFa.

A partir da análise cinemática de estabilidade dos taludes que foi aplicada nas faces onde a rocha é competente, foi identificado possível ruptura planar nas faces E01, N01, N02 e N03 e em cunha nas demais. No caso de ruptura em cunha, é possível observar que ocorrem situações passíveis de ruptura devido à verticalidade constante do *Dip* das descontinuidades com altos valores de ângulo, próximos a 80°, e variação constante no *Dip Direction*.

Em relação ao Jn, todo o talude apresenta mais que uma família de juntas, desta forma foi aplicada o fator O que representa a criticidade aplicadas por cada família, variando em cinco classes de muito favorável até as situações que podem ocorrer falhas pontuais, entretanto nas faces N05, N06 e W01 o alto grau de alteração das rochas impossibilita o reconhecimento das famílias, essa situação foi considerada na classificação Jn e que corroborou para os resultados desses taludes apresentarem resultados tão abaixo da média.

Esses taludes foram escavados na rocha a partir do desmonte mecânico e com uso de explosivos, o que resultou no acúmulo de blocos soltos e descontinuidades aleatórias na face do talude que, em constante exposição às intempéries, vão alterando-se e se desprendendo do talude. A perturbação relacionada ao desmonte teve maior influência no parâmetro SFRslope.

Após calcular o Q-slope para cada face do talude, foi possível, a partir da (Equação 4) verificar ângulos os quais as faces com baixo valor de Q-slope, tornam-se estáveis segundo o método. Desta forma, as faces N05, N06 N07 e W01 precisariam de um retaludamento para os ângulos de 53°, 40°, 34° e 25°,

respectivamente. Esses resultados mostraram-se incoerentes com a realidade aplicável ao que se referem principalmente as faces N07 e W01 que apesar da baixa resistência da rocha e outros fatores, os ângulos sugeridos pelo método são ângulos extremamente baixos, considerando taludes rochosos ou até mesmo saprólitos.

Frente a isso, o método mostrou-se uma ferramenta prática e eficiente para definição de ângulos de face para maciços rochosos pouco alterados e homogêneos, mostrando resultados aplicáveis na prática. Para determinações em casos mais complexos, como em taludes compostos por saprólitos, o resultado foi muito conservador, considerando os ângulos recomendáveis aos taludes e aplicabilidade desses ângulos. Isto é evidenciada principalmente na face W01 onde o ângulo indicado de 25° é inferior ao ângulo de repouso de materiais inconsolidados, como taludes em solo. Desta forma sugere-se que nos casos mais complexos, envolvendo baixos valores de Q-slope o método deva ser usado com cautela e se possível em conjunto de outros métodos de análise, para a descrição detalhada e uma avaliação mais condizente com a realidade do problema.

9 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682/2009 **Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

ALMEIDA, Fernando F. M. de; HASUI, Yociteru. **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher, 1984. 374 p.

BAR, N.; BARTON, N. **The Q-Slope Method for Rock Slope Engineering**. 16p. 2017. Barton N, Bar N (2015) **Introducing the Q-slope method and its intended use within civil and mining engineering projects**. In: Schubert W, Kluckner A (eds) *Future development of rock mechanics; Proceedings of the ISRM regional symposium, Eurock 2015 and 64th geomechanics colloquium, Salzburg, 2015*, 162 p.

BARTON, N.R., LIEN, R. & LUNDE, J. **Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support**. *Rock Mechanics*. Volume 6, pp. 189-236. 1974.

BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering Rock Mass Classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering**. Wiley, 1989.

BORSATTO, S. et al. **Mapeamento Geológico da Área Urbana de Caxias do Sul**. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, p. 83–92, 2012.

BORSATTO, Saulo. **Contribuição ao estudo geológico-geotécnico da área urbana de Caxias do Sul - RS**. 2011. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Brady B.H.G., Brown E.T. **Rock mass structure**. In: *Rock Mechanics*. Springer, Dordrecht. PP. 46-84, 1999.

BRESSANI, L. A.; FLORES, J. A. A.; NUNES, L. F. **Desenvolvimento de Estudos de Engenharia Geotécnica / Geologia com Vistas à Geração de Relatório e Mapa Geotécnico dos Solos e Rochas Superficiais da Área Urbana da Cidade de Caxias do Sul**. Caxias do Sul, Brasil: Contrato No 2615.000386 - 97/2004. Programa Habitar Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

CAXIAS DO SUL, **Portal GeoCaxias – Mapa público**, Disponível em <https://geopublico.caxias.rs.gov.br/geocaxias>. 19 set.2021.

CEMADEM, **Municípios monitorados**, Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/municipios-monitorados-2/>. 19 set.2021.

DEERE, D. AND MILLER, R. **Engineering classification and index properties for intact rock**. 1º. New Mexico: University of Illinois, 1966. p. 300. Report AFNL-TR-65-116. 1966.

DEERE, D.U. E PATTON F.D. **slope stability in residual soils**. Proc 4nd. Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Juan, vol. 1. Pg.98-170. 1971.

DEERE, D.U. **technical description of rock cores for engineering purposes. Rock mechanics and rock engineering**, Vol. 1, No. 1, 1963, pp. 16-22, 1964.

FIORI, A.P., E GARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. São Paulo :oficina de Textos, 2016.

ISRM (INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS). **Rock Characterization, Testing and Monitoring - ISRM Suggested Methods**. Londres: Pergamon Press, 1981.

PRIEST, S.D. E HUDSON, J.A. **Discontinuity spacings in rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics**, 13, 135–148, 1976.

RENNE, P.R., DECKART, K., ERNESTO, M., FERRAUD, G., PICCIRILLO, EM., **Age of the Ponta Grossa Dike Swarm (Brazil) And implications to Parana flood volcanism**. Earth and Planetary Science Letters 199 – 212, 1996.

TERRASERVICE, **Levantamento topográfico**, TERRASERVICE-Engenharia e geologia LTDA. Arquivo DXF, Caxias do sul, 2020.

VALLEJO, L. I. G. et al., **Ingeniería Geológica**. Madri, Espanha: Pearson Educación, 2002.

WYLLIE, D. C.; MAH, C. W. **Rock slope engineering: civil and mining "Based on Rock Slope Engineering (third edition, 1981) by Dr Evert Hoek and Dr John Bray."**. 4.ed. London and New York: Spon Press Taylor & Francis Group, 2004.

ZALÁN, P. V; WOLFF, S; CONCEIÇÃO, J. C. J; ASTOLFI, M. A. M; VIEIRA, I. S; APPI, V. T; ZANOTTO, O. A.; **Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia**. Curitiba, v. 1, 1987.

ANEXOS

Anexo A - Sistema de Classificação geomecânica Q-Slope Barton e Bar (2015) – Tabelas utilizadas em campo.

Tabela 4a: SRF a Condições físicas do talude		SRFa
Ligeiro afrouxamento devido à localização da superfície, perturbação de detonação ou escavação		2,5
Blocos soltos, sinais de rachaduras de tensão e cisalhamento da junta, susceptibilidade ao intemperismo, perturbação severa da explosão		5
Como B, mas forte susceptibilidade ao intemperismo		10
O talude está em estágio avançado de erosão e afrouxamento de blocos devido à erosão periódica pela água e / ou efeitos de formação de gelo		15
Declive residual com transporte significativo de material encosta abaixo		20

Tabela 4b: SRFb Estresse e força		rc / r1a	SRFb
F	Faixa de resistência ao estresse moderada	50 a 200	2,5 a 1
G	Faixa de alta resistência ao estresse	10 a 50	5 a 2,5
H	Ruptura de rocha intacta localizada	5 a 10	10 a 5
J	Esmagamento ou rendimento de plástico	2,5 a 5	15 a 10
K	Fluxo de plástico de material amolecido por deformação	1 a 2,5	20 a 15

a rc = resistência à compressão não confinada (UCS), r1 = máximo estresse principal

Tabela 4c: SFRc Descontinuidade principal				Favorável	Desfavorável	Muito desfavorável	Causando falha se sem suporte
L	Descontinuidade maior com pouca ou nenhuma argila			1	2	4	8
M	Descontinuidade maior com RQD100 = 0a devido à argila e trituração pedra			2	4	8	16
N	Descontinuidade maior com RQD300 = 0b devido à argila e trituração pedra			4	8	12	24

aRQD100 = amostra perpendicular de descontinuidade de 1 m, RQDb300 = amostra perpendicular de descontinuidade de 3 m

Tabela 5: Descrição do índice de rugosidade							
(a) Contato rocha = rocha sem deslocamento e (b) com deslocamento.	A	Fraturas não persistentes	4	c) Nenhum contato entre os blocos.	H	Contendo preenchimento argiloso espesso o suficiente para evitar o contato da parede de rocha.	1
	B	Fraturas rugosa ou irregular, ondulada	3				
	C	Fratura suave ondulada	2				
	D	Fraturas polida, ondulada.	1,5				
	E	Fraturas rugosas ou irregulares planas	1,5				
	F	Fraturas lisas, planas	1				
	G	Fraturas polidas ou estriadas, planas	0,5		J	Zona arenosa, esmagada.	1

Tabela 1: Número de alteração da descontinuidades				
Descrição do número de alteração da junta				
a) Descontinuidade fechada	A	Paredes duras, compacta, preenchimento impermeável (quartzo ou epidotos).		0,75
	B	Paredes inalteradas, apenas descoloração da superfície.		1
	C	Paredes das descontinuidades ligeiramente alteradas com partículas arenosas e rocha desintegrada sem argila.		2
	D	Paredes com películas silteosas/argilosas.		3
	E	Paredes com películas de argila moles de baixa fricção (caulinita ou mica). Também clorita, talco, gesso, grafite e pequenas quantidades de argilas expansivas.		4
b) Descontinuidade aberta	F	Paredes com partículas de areia, rocha desintegrada sem argila, etc.		4
	G	Preenchimentos argiloso fortemente superconsolidados.		6
	H	Preenchimento argiloso subconsolidado		8
c) Descontinuidades largas	J	Preenchimentos de argila intumescente, isto é, montmorilonita. O valor de Ja depende da porcentagem de partículas de tamanho de argila dilatadas e do acesso a água.		8 a 12
	M	Zonas com rocha desintegrada ou esmagada e argila (ver G, H, J para a descrição da condição da argila)		6, 8 ou 8 a 12
	N	Zonas com argila silteosa ou arenosa, pequena fração de argila.		5
	.OPR	Zonas ou faixas contínuas e espessas de argila (ver G, H, J para a descrição da condição da argila)		10, 13, ou 13 a 20

Tabela 2: Fator O		
Descrição do fator O	Família A	Família B
Muito favoravelmente orientado	2	1,5
Bastante favorável	1	1
Desfavorável	0,75	0,9
Muito desfavorável	0,5	0,8
Causando falha se não for compatível	0,25	0,5

Tabela 3: Número de família de descontinuidades		Jn
A	Maciço, nenhuma ou poucas descontinuidades	0,5-1
B	Uma família de descontinuidades	2
C	Uma família de descontinuidades mais descontinuidades aleatórias	3
D	Duas famílias de descontinuidades	4
E	Duas famílias de descontinuidades mais descontinuidades aleatórias	6
F	Três famílias de descontinuidades	9
G	Três famílias de descontinuidades mais juntas aleatórias	12
H	Quatro ou mais família de descontinuidades, mais aleatórios fortemente articuladas	15
J	Não identifica-se famílias (Muito alterada)	20