



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005

ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Luciano Ferreira dos Santos

ESTABILIDADE DAS ENCOSTAS NA EXTRAÇÃO DE CRISTAIS DE
QUARTZO A PARTIR DO DESMONTE HIDRÁULICO NA REGIÃO DE
CRISTALÂNDIA-TO.

Palmas –TO

2015

Luciano Ferreira dos Santos

ESTABILIDADE DAS ENCOSTAS NA EXTRAÇÃO DE CRISTAIS DE QUARTZO A PARTIR DO DESMONTE HIDRÁULICO NA REGIÃO DE CRISTALÂNDIA-TO.

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina trabalho de conclusão de curso II (TCC II) do Curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Esp. José Cleuton Batista.

Luciano Ferreira dos Santos

ESTABILIDADE DAS ENCOSTAS NA EXTRAÇÃO DE CRISTAIS DE QUARTZO A PARTIR DO DESMONTE HIDRÁULICO NA REGIÃO DE CRISTALÂNDIA-TO.

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina trabalho de conclusão de curso II (TCC II) do Curso de Engenharia de Minas, orientado pelo Professor Esp. José Cleuton Batista.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. José Cleuton Batista
Centro Universitário Luterano de Palmas

M.Sc Daniel Francisco Padilha Setti
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp. Valério Sousa Lima
Centro Universitário Luterano de Palmas

Mestre Daniel dos Santos Costa
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas –TO
2015

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	Taludes.....	10
2.2	Movimento de massas e escorregamentos.....	11
2.2.1	Tipos de escorregamentos.....	11
2.3	Características que aumentam à ruptura.....	13
2.4	Estabilidade de taludes e encostas.....	13
2.5	Resistência ao cisalhamento e esforços.....	17
2.5.1	Ângulo de atrito.....	17
2.5.2	Coesão.....	18
2.5.3	Resistência máxima e resistência de pico.....	18
2.5.4	Resistência residual.....	18
2.6	Ábacos de Hoek e Bray (1981).....	26
2.7	Análises e teste laboratorial.....	26
2.7.1	Ensaio de laboratório.....	27
2.7.2	Ensaio de cisalhamento direto.....	27
2.8	Desmonte hidráulico.....	28
2.8.1	Quartzo.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Coleta de amostras.....	30
3.2	Preparação das amostras.....	30
3.3	Preparação do molde do corpo de prova.....	30
3.4	Ensaio de compressão simples (Uniaxial).....	32
3.5	Limite de liquidez.....	34
3.6	Ensaio de cisalhamento direto.....	36
3.7	Densidade.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

RESUMO

A estabilidade do talude é uma ciência que consiste no estudo do balanço de massas que mensura a resistência ao cisalhamento e a resistência necessária para manter o equilíbrio do maciço. Em geral, a inclinação do talude é um fator representativo entre a viabilidade econômica e a segurança. Contudo, foram feitos estudos com base na estabilidade de taludes para o garimpo Manchão do Felipe que se encontra no município de Cristalândia, para determinar a estabilidade com finalidade de otimizar a lavra e aumentar a segurança. Para a estabilidade dos taludes foram feitos estudos com bases na teoria da superfície circular, que se encontra no garimpo. Foi determinado o limite de liquidez do material da frente do garimpo, com resultado de 48%, confirmando que o material da frente da mina é dúctil. Todavia, foram feitas análises com ábacos de Hoek e Bray (1981), onde foi determinado o ângulo geral do talude com 50° com fator de segurança $FS= 1,37$. O projeto foi desenvolvido no garimpo Manchão do Felipe, com o auxílio do laboratório de Engenharia de Minas e Civil, com visitas técnicas para o município de Cristalândia onde foram coletadas as amostras para os estudos em questão.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de talude. Fator de Segurança.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – limite de liquidez.....	43
Tabela 2 – Peso específico.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do Talude.....	10
Figura 2 - Escorregamento por queda.....	12
Figura 3 - Escorregamento por desprendimento.....	12
Figura 4 - Deslizamento por escorregamento.....	13
Figura 5 - Diagrama de esforço de deformação.....	19
Figura 6 - Sequência crescente dos ábacos Hoek e Bray (1981).....	20
Figura 7 - Modelos de linhas freáticas de águas subterrâneas.....	21
Figura 8 - Ábaco número 1 de estabilidade Hoek e Bray (1981): linha freática profunda.....	22
Figura 9 - Ábaco número 2 de estabilidade Hoek e Bray (1981): linha freática 8x a altura do talude.....	23
Figura 10 - Ábaco número 3 de estabilidade Hoek e Bray (1981): linha freática 4x altura do talude.....	24
Figura 11 - Ábaco número 4 de estabilidade Hoek e Bray (1981): linha freática 2x altura do talude.....	25
Figura 12 - Ábaco número 4 de estabilidade Hoek e Bray (1981): solo saturado.....	26
Figura 13 - Ensaio de cisalhamento direto.....	28
Figura 14 - Molde do corpo de prova.....	31
Figura 15 - Procedimentos para obtenção do corpo de prova.....	32
Figura 16 - Ensaio de compressão uniaxial.....	34
Figura 17 - Aparelho Casagrande.....	35
Figura 18 - Procedimentos da confecção do corpo de prova para ensaio de cisalhamento direto.....	37
Figura 19 - Gráfico tensão VS deformação.....	38
Figura 20 - Gráfico tensão cisalhante VS tensão normal	40
Figura 21 - Tensão cisalhante VS Deslocamento horizontal.....	41
Figura 22 - Ábaco Hoek e Bray (1981) com resultados Manchão do Felipe.....	42

LISTA DE SÍMBOLOS

T	Esforço de resistência ao cisalhamento
C	Coesão ou cimentação eficaz
Σ	Tensão normal total no plano de ruptura
μ	Pressão de água intersticial dos poros
μ_a	Pressão do ar intersticial
Φ	Ângulo de atrito interno do material

LISTA DE ABREVIATURAS

CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
COOPERCRISTAL	Cooperativa e Mineração dos Garimpeiros de Cristalândia
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil
TO	Tocantins

1 INTRODUÇÃO

Talude é uma massa rochosa ou solo com características particulares, podendo ela ser natural ou artificial. Um talude é composto pelo pé do talude, crista, leira, berma, em uma superfície plana ou inclinada (DYMINSKI, 2014).

Os taludes são uma espécie de massas rochosas ou fragmentadas, com inclinação que varia de acordo com as características do maciço podendo ter maior inclinação, rochas com maior competência na estabilidade. Em fragmentadas fragmentadas, ou solos, a estabilidade é feita decorrente de estudos voltados a coesão do material e o seu ângulo de atrito interno.

A estabilidade do talude engloba diversas áreas como, engenharia civil, de minas e a geotecnia como ponto chave de estudo. No estudo dos balanços da estabilidade existem dois caminhos para se seguir, que é o da geologia e o da engenharia (JÚNIOR, 2005).

No estudo da estabilidade dos taludes na engenharia o estudo é voltado para o aprimoramento dos maciços e dos solos, tendo o equilíbrio das massas no respectivo local com o objetivo de observar o deslocamento das rochas ou solos e mantê-las estáveis (JÚNIOR, 2005).

A necessidade que muitas empresas do ramo da mineração e obras civis têm para o determinado assunto engloba diversos problemas com a estabilidade dos taludes, nisso é primordial o estudo em estabilidade dos taludes para determinação da melhor forma de estabilizar o maciço rochoso não perdendo o foco onde a viabilidade e a segurança esteja ligada de maneira singular.

Contudo, a importância do estudo para determinar a estabilidade do talude é necessária para qualquer maciço com viabilidade econômica com o resultado de ser lavrado, para morros com riscos de deslizamentos e para a segurança de pessoas que entram em contato com o maciço rochoso.

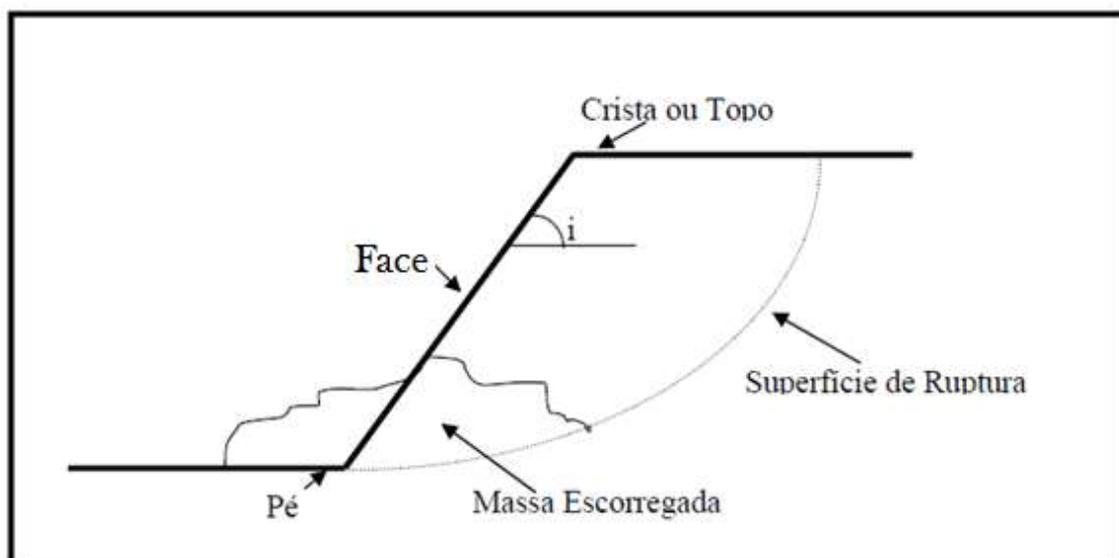
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Taludes

Um talude é originado de formação geológica, executada a milhões de anos. É uma massa rochosa com características particulares, podendo ela ser natural ou artificial. É composto por pé do talude, crista, leira, berma, em uma superfície plana ou inclinada (DYMINSKI, 2014).

A figura a seguir demonstra basicamente as características do talude onde a superfície do ângulo do talude é inclinada necessariamente pela segurança e pelo mecanismo da geomecânica (DYMINSKI, 2014).

Figura 1 – Composição do Talude



Fonte: DYMINSKI, 2014, p. 01

Os taludes são uma espécie de massas rochosas com inclinação que varia de acordo com as características do maciço podendo ser com maior inclinação, rochas com maior competência na estabilidade. Taludes naturais são provenientes a rochas inalteradas à sua estrutura e artificiais são rochas mecanicamente e naturalmente alteradas para promover segurança e um índice maior de produção (CAPUTTO 1988, apud SANTOS, 2014).

2.2 Movimento de massas e escorregamentos

Movimento de massa é dito como qualquer tipo de movimento em uma inclinação em relação à superfície, que a ação da gravidade age sobre o corpo. Esse fenômeno trata basicamente do transporte de um local para o outro do material, modificando a paisagem. A evolução do movimento ocorre de maneira lenta em relação ao tempo e de maneira rápida e significativa (GOMES, 2000 apud SANTOS, 2014).

Segundo Dyminski (2014), o aumento por aperfeiçoamento em estudos sobre instabilidade vem sendo maior, pois a má administração da estabilidade pode acarretar uma série de prejuízos para o ser humano como para a empresa. Um escorregamento pode causar danos significativos a ponto de inviabilizar um empreendimento.

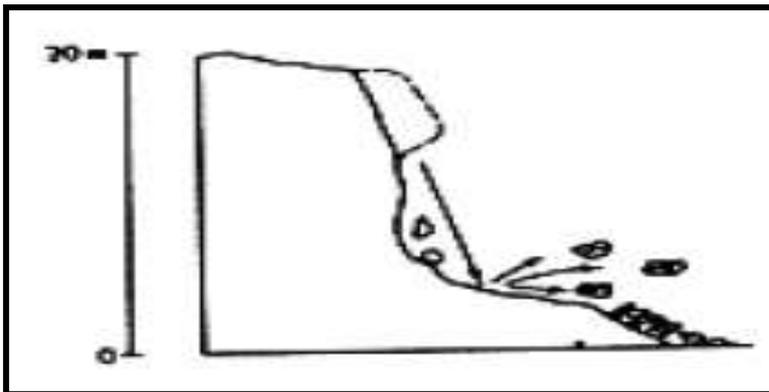
2.2.1 Tipos de escorregamentos

O conhecimento dos tipos de escorregamentos é necessário para uma boa adaptação do real em uma estabilização de talude. Existem cinco tipos de escorregamentos dos taludes e encostas. Escorregamento é um desprendimento em uma determinada área do talude que é ocasionado pelo cisalhamento do material (DYMINSKI, 2014).

Segundo Dyminski (2014) o escorregamento ou falls por quedas é aquele que o material é desprendido do talude com inclinação alta e o material tende a cair pela declividade. O talude por estar em um ângulo elevado em relação ao solo tem a tendência de ser impulsionado para baixo pela força da gravidade.

A figura a seguir demonstra o escorregamento por quedas que varia dependendo da quantidade de falhas que o talude apresenta, sua rugosidade, o ângulo de inclinação do talude total. Taludes negativos apresentam facilidades de desprendimento de rochas pela ação da gravidade e pelo empuxo (DYMINSKI, 2014).

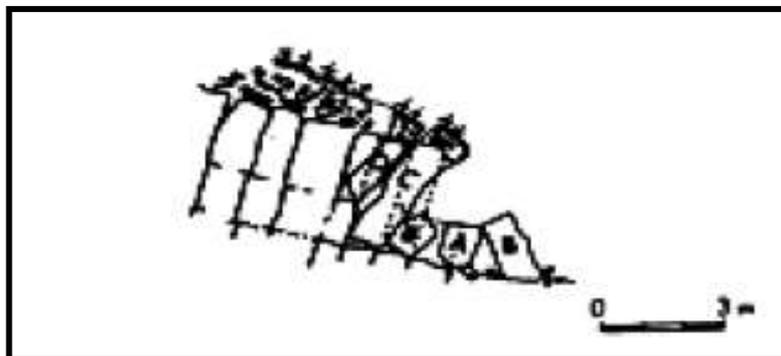
Figura 2: Escorregamento por queda



Fonte: DYMINSKI, 2014, p.3

A figura abaixo demonstra um desprendimento da rocha/solo, que se caracteriza pela ação da gravidade atuando na massa de desprendimento. Esse tipo de escorregamento geralmente é ocasionado em rochas com alta quantidade de falhas e fraturas (DYMINSKI, 2014).

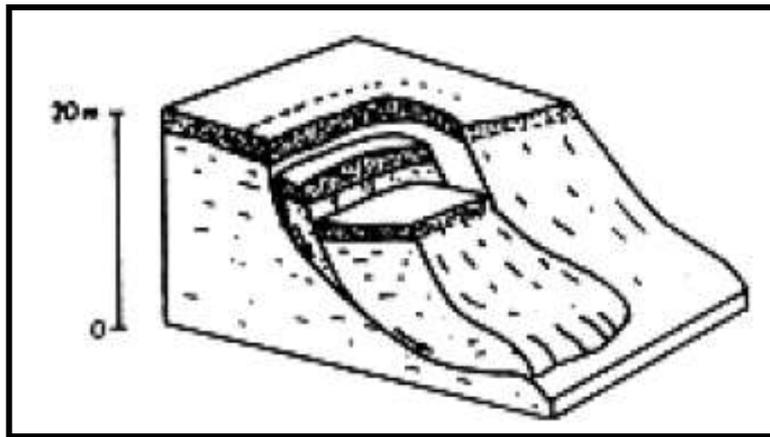
Figura 3: Escorregamento por desprendimento



Fonte: DYMINSK, 2014, p. 3

A figura abaixo demonstra um deslizamento por escorregamento onde o seu deslocamento é jusante ao talude e com superfície de fratura definida. Geralmente tem forma de concha bem definida para taludes com altura considerável (DYMINSKI, 2014).

Figura 4: Deslizamento por escorregamento



Fonte: DYMINSK, 2014, p. 3

2.3 Características que aumentam à ruptura

São características que influenciam o processo de estabilidade das encostas. Elas agem tanto nas forças estabilizantes quanto nas forças instabilizantes dos materiais, podendo haver um acréscimo das forças que atua no maciço quanto no decréscimo da resistência do material (DYMINSKI, 2014).

As causas que englobam a resistência do material e as forças atuantes no maciço são externas no talude ou interna do talude como mudança de característica do material. As causas externas que ocasionam à ruptura é a mudança do ângulo geral do talude, alteração da altura do talude, cargas elevadas sobre o talude. Já as causas internas é a variação do nível da água, onde o solo fica mais denso devido a água, aumento do peso específico, desagregação incoerente dos taludes (DYMINSKI, 2014).

2.4 Estabilidade de taludes e encostas

A estabilidade do talude engloba diversas áreas como o da engenharia civil, de minas e a geotecnia como ponto chave de estudo. No estudo dos balanços da estabilidade existem dois caminhos para se seguir, que é o da geologia e o da engenharia (JÚNIOR, 2005).

No caso da engenharia, estuda o aperfeiçoamento da estabilidade dos maciços rochosos e dos solos, para o equilíbrio das massas envolvidas no local, tendo o objetivo de observar os deslocamentos do solo ou rocha para as zonas de alívio para melhor aperfeiçoamento e segurança dos taludes (JÚNIOR, 2005).

Os taludes ou encostas naturais são definidos com superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos, originados por processos geológicos, geomorfológicos e ações antrópicas. Talude de corte é entendido como um talude originado de escavações antrópicas diversas. Talude artificial se refere ao declive de aterros construídos a partir de materiais de diferentes granulometrias e origens, incluindo rejeitos industriais, urbanos ou de mineração. (JÚNIOR, 2005, p.4).

É de suma importância à análise e o controle da instabilização das encostas, com o seu rápido desenvolvimento junto com a engenharia e a geotecnia e as obras civis. Essa análise é voltada para a área onde há exploração mineral, em construções e controle das rochas (JÚNIOR, 2005).

Na estabilização de um talude ou encosta, o princípio a se seguir é reconhecer os fatores que desestabilizam a rocha no momento da lavra subsequentemente até o momento em que há o fechamento da mina. Esses fatores estão relacionados desde a formação rochosa, se ela foi metamorfizada ou sedimentada ou resfriada pelo magma, e com os fatores de intemperismo (JÚNIOR, 2005).

Para taludes e encostas há um grau de determinação de ruptura, onde é avaliado a sua estabilidade, e é quantificado pelo seu grau de ruptura onde o talude é localizado (JÚNIOR, 2005).

Há três métodos abordados para analisar a estabilidade dos taludes, que é o método analítico, experimental e observacional. Onde a teoria do método analítico é visada sobre os cálculos de tensão deformação para estabilidade. O método experimental são as análises físicas do material em tamanhos diferentes. O método observacional é voltado para a experiência que o técnico tem com determinada rocha e com os testes feitos por rupturas (JÚNIOR, 2005).

Segundo Nagalli (2010), as técnicas de análises de estabilidade são divididas em três partes, onde a primeira refere-se à cinemática das suas aplicações e do equilíbrio limite onde suas tensões são igualadas. A segunda parte da técnica de análise é quantificada por métodos numéricos aplicados sobre a rocha em suas descontinuidades ou continuidades. A terceira técnica é aplicada em modelos híbridos, e simulações de suas fraturas no maciço rochoso.

No processo da estabilidade das encostas em primeira etapa é de fundamental importância o aprimorado conhecimento na topografia, geologia, geotecnia, e no ambiente para caracterização do suposto problema no qual se adote uma medida mitigadora sobre o problema. São estudados alguns parâmetros para aperfeiçoamento dessa análise (DIAZ, 1998).

Para averiguação da análise dos taludes de forma que seja estável, baseia-se no equilíbrio limite onde o somatório das tensões seja numa ou igual à zero, onde tensões dos lados opostos sejam de mesmo valor. Para aplicação desse estudo, o material analisado não pode ter um índice de plasticidade elevado (ZANARDO, 2014 apud MASSAD, 2003).

Os parâmetros que segundo Diaz (1998) lista são os geométricos, geológicos, hidrológicos, hidrogeológico, geotécnico, ambientais e antrópicos.

No parâmetro geométrico é baseado em cima da topografia, onde envolve as dimensões do terreno como a curvatura do local que irá influenciar como, por exemplo, na quantidade de água do lençol freático que possa percolar em declive para a instabilização do maciço rochoso que possam provocar o desmoronamento (DIAZ, 1998).

Segundo Diaz (1998), dentre as características empregadas pela topografia pode ser retirada características como zonas mais profundas com rochas intemperizadas nos taludes mais que íngreme, no qual é existente para cada grau de intemperismo um ângulo de repouso. Nisso, um dos parâmetros a ser analisado é o quanto a rocha já foi intemperizada.

Para solos em que sua estrutura existe espaços vazios, e esses espaços vazios são preenchidos com água e ar, são solos não saturados que apresentar uma diferença de pressão devido à migração da água e do ar para a sua estrutura (ZANARDO, 2014 apud PINTO, 2006).

Deve levar em consideração que quanto maior o espaço para infiltração de água em declive do terreno maior será o seu grau de instabilidade que irá afetar a sua encosta (DIAZ, 1998).

Sobre o parâmetro geológico Diaz (1998), diz que a geologia classifica o solo ou a rocha com suas características físicas e químicas sobre os minerais constituintes e que a formação geológica define a grandeza de resistência e descontinuidades das rochas que são adquiridas decorrentes ao tempo geológico.

Os parâmetros geológicos são avaliados pelo material e suas falhas. O que mais influencia na estabilização dos taludes é a direção e o seu mergulho da rocha e suas dimensões. Quando orientado as suas falhas é possível ter o controle de suas estruturas (RIZZO, 2007).

A geomecânica é o estudo das propriedades estruturais de uma determinada rocha. No caso da análise da estabilização dos taludes decorrente de seus balanços ocasionados pela movimentação de massas, é o comportamento de como a rocha se comporta a partir de tensões de força (SILVA 2014).

A meteorização que é a decomposição química e física da rocha que vem a diferenciar a rocha de sua origem modifica a permeabilidade e sua resistência deixando a rocha mais vulnerável para o movimento de massa segundo (DIAZ, 1998).

No requisito hidrológico e hidrogeológico é baseado em água das chuvas e águas subterrâneas onde são os causadores de deslizamentos de terra, e em um processo de análise de desmoronamento são avaliadas e mensuradas (DIAZ, 1998).

Segundo Diaz (1998), dentre os parâmetros geotécnicos está à resistência ao cisalhamento e a permeabilidade onde:

A resistência ao cisalhamento é a tensão que a rocha pode receber sem que ela venha a se romper tangencialmente, onde recebe um ângulo. Esse ângulo de repouso determina o fator de segurança sobre o deslizamento e pelos cálculos pode-se adicionar ou diminuir o mesmo (DIAZ, 1998).

As tensões iniciais são as tensões submetidas que a própria rocha fornece. Esse fato é natural. Entretanto, as tensões que a rocha sofre são por indução das escavações que geram forças cisalhantes no maciço rochoso (RIZZO, 2007).

Tensões gravitacionais são tensões expressas pela gravidade. Essas tensões são aplicadas pelo fato que a Terra tem uma pressão interior ocasionando a pressão gravitacional expressa por $9,807 \text{ m/s}^2$ (RIZZO, 2007).

A permeabilidade entra como um medidor de águas subterrâneas e a resistência interna sobre a rocha (DIAZ, 1998).

2.5 Resistência ao cisalhamento e esforços

Segundo Diaz (1998), a resistência é empregada como um modelo matemático de cisalhamento para combater a instabilidade do talude ou encosta que é baseado em cima da teoria da resistência dos materiais, onde os materiais sem fraturas são empregados para a análise e cálculos por não ter falhas nem atrito, nisso baseia-se a equação de Coulomb onde:

Equação 1

$$\tau = c + (\sigma - \mu) \operatorname{tg}\varphi \quad (\text{para solos saturados})$$

Equação 2

$$\tau = c + (\sigma - \mu) \operatorname{tg}\varphi + (\mu - \mu_a) \operatorname{tg}\varphi \quad (\text{para solos parcialmente saturados})$$

Onde:

τ = Esforço de resistência ao cisalhamento

c = Coesão ou cimentação eficaz

σ = Tensão normal total no plano de ruptura

μ = Pressão de água intersticial dos poros

μ_a = Pressão do ar intersticial

φ = Ângulo de atrito interno do material.

A equação descreve que em qualquer ponto que seja superior tensões cisalhantes encontradas na fórmula será o momento da ruptura, dentro do envoltório estudado analisado sobre a resistência (ROCHA et al., 2002, apud, Benjamim & Cruse, 1985).

Pelo fato que o tempo é um agente de intemperismo nas rochas, e que influencia diretamente nos taludes em forma de fratura, a estrutura dos taludes sofre esforços cisalhantes em todas as direções por ter fraturas contínuas ocorrendo o ponto máximo do cisalhamento (ROCHA et al., 2002, apud, Vargas, 1989).

2.5.1 Ângulo de atrito

O ângulo de atrito é o ângulo onde ocorrerá o cisalhamento pela tangente e é descrito matematicamente como o coeficiente do próprio atrito denominado $\tan\varphi$. Para mensurar o ângulo de atrito exige de alguns cuidados

como, por exemplo, do tamanho dos grãos, forma estrutural juntamente com a sua densidade segundo (DIAZ, 1998).

2.5.2 Coesão

Coesão é o quanto uma rocha ou solo pode ser aderente entre suas partículas. Coesão é uma medida de cisalhamento em mecânica dos solos que é usado para identificação das tensões (DIAZ, 1998).

Em terrenos e solos que não há nível de coesão ou aderência como, por exemplo, em solos granulares é dado o valor de zero, classificados como solos não coesos (DIAZ, 1998).

2.5.3 Resistência máxima e resistência de pico

Para a análise em longo prazo da estabilidade dos taludes sobre a tensão deformação há duas resistências a ser exploradas, que é a resistência máxima e de pico (DIAZ, 1998).

Resistência de pico é a maior tensão sobreposta no material, onde depois dessa tensão máxima a curva desce e estabiliza na relação de tensão deformação. Essa curvatura é obtida pelo rompimento do material denominada como ponto de cisalhamento (DIAZ, 1998).

Segundo Diaz (1998), essa análise sobre a resistência de pico pode gerar divergências, pois o material do ensaio é apenas uma suposição do que está na rocha e geralmente é adotado para todo o maciço.

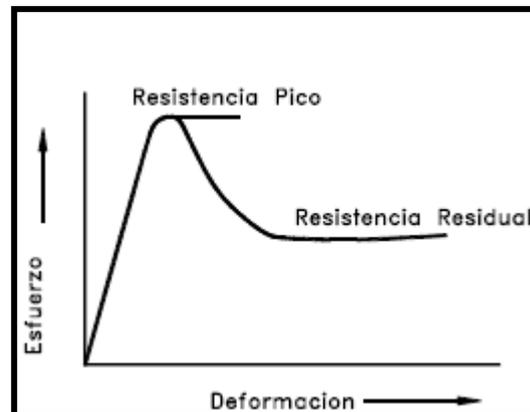
O cisalhamento do material tem ligação direta com as tensões exercidas no corpo que deixa vulnerável a fratura. Conforme o aumento das tensões o atrito aumenta estruturalmente, levando em consideração que o atrito interno das partículas ocorrerá pela ligação das partículas exteriores (COLANGELO, 2012).

2.5.4 Resistência residual

Resistência residual é obtida quando o material alcança o cisalhamento, após a fratura. A resistência é de importância para o cálculo do fator de segurança (DIAZ, 1998).

A figura a seguir exhibe a relação de tensão deformação, que demonstra a resistência de pico e a residual. Conforme a figura mostra, a resistência residual é depois que ocorre o cisalhamento (DIAZ, 1998).

Figura 5 - Diagrama de esforço de deformação



Fonte: DIAZ, 1998, p.83

Em casos de solos não granulares como a areia, cascalho e lama plástica, tem um índice de coesão baixa que da maioria das vezes é considerado como zero, o seu ângulo de atrito que vai depender diretamente no tamanho dos grãos e da sua densidade (DIAZ, 1998).

Geralmente, o ângulo de atrito em solos granulares varia de 27° a 42° , dependendo do tipo de ensaio a ser realizado. Por exemplo, um teste triaxial drenado o ângulo de atrito é menor do que o quinquagésimo medido num ensaio de corte direto. Em argila e silte normalmente consolidado pode ser considerado nulo o atrito e coesão como o valor total do esforço de resistência obtido. Em solos residuais geralmente predominam e misturas de partículas de argila granulares e ângulo de atrito depende da relação brita-areia-silte e argila e as características de cada tipo de partícula presente (DIAZ, 1998, p. 83).

2.6 Ábacos de Hoek e Bray (1981)

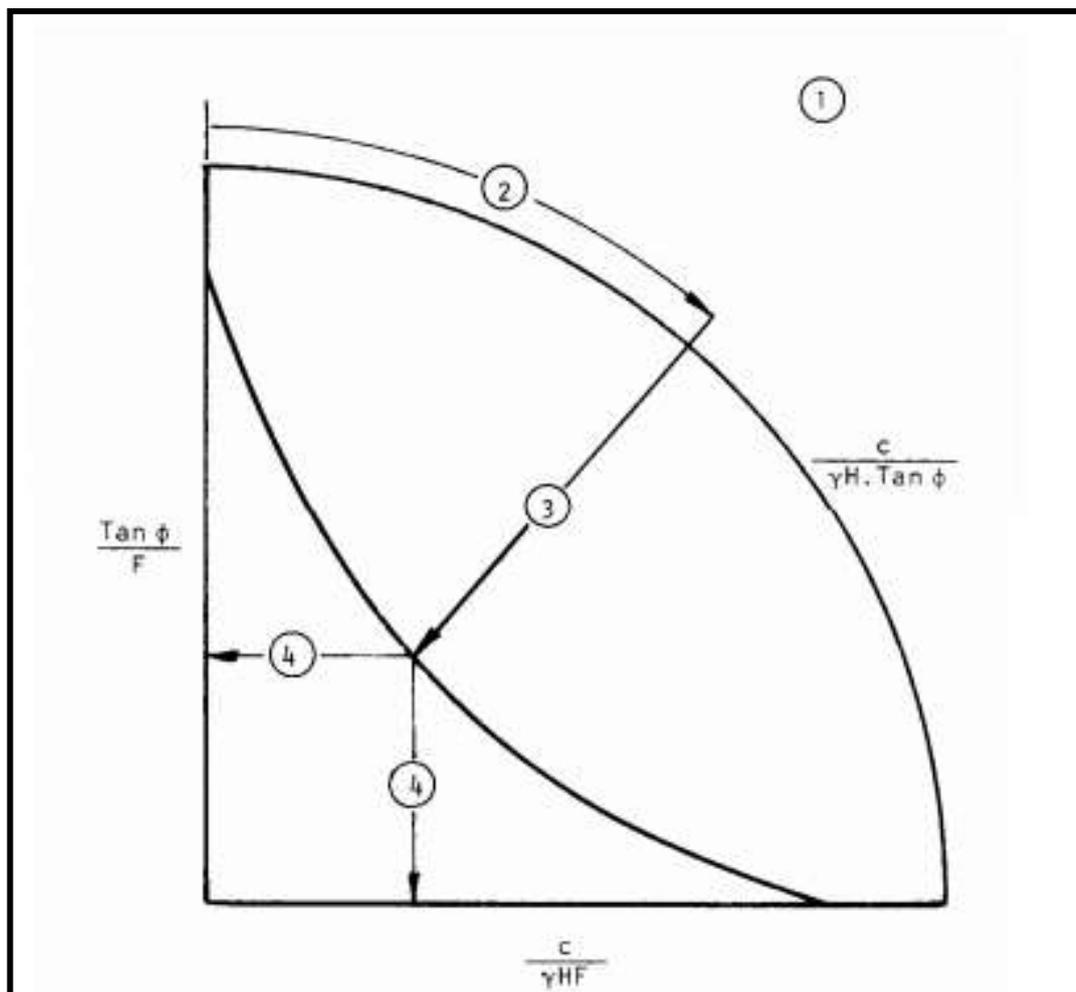
Os ábacos de Hoek e Bray (1981) foram desenvolvidos pelos doutores Evert Hoek e John Bray. É estudada a estabilidade de solos residuais, fragmentados, saturados, com grande linha freática. São cinco diferentes tipos de situações, onde é caracterizado o nível freático para maior aproximação do real (WILLIE e MAH, 2005).

Hoek e Bray (1981) defenderam a ideia de distribuição de tensões em determinado local com um tipo de desprendimento da massa instabilizadora. Alguns parâmetros para utilizar os ábacos como, taludes simétricos com o nível freático baixo ou alto em relação aos taludes (ÁGREDA, 2005).

Para utilizar o ábaco, tem uma sequência que deve ser seguida, de ordem crescente como mostra na figura 4. A primeira parte denominada 1, seleciona o que se aproxima com a realidade do terreno, onde esboça cinco alternativas com lençóis freáticos totalmente submersos ao talude, com largas distâncias, ou com terrenos completamente drenados. Na segunda parte, é determinado um valor sobre $c/(\gamma H \tan \phi)$, onde c é a coesão do material, γ é a densidade natural do solo, H é a altura do talude e ϕ é o ângulo interno do material. Depois de calculado, encontrar o valor no ábaco. Na terceira e quarta parte determina o fator de segurança $\tan \phi/F$ ou $c/(\gamma HF)$ (WILLIE e MAH, 2005).

Na figura abaixo é o exemplo do ábaco que demonstra a sequência que deve seguir para determinar o ângulo geral dos taludes para solos fragmentados e o fator de segurança. Também é necessário da coesão e o ângulo de atrito do material, a altura do talude e a relação freática que o talude se encontra (ÁGREDA, 2005).

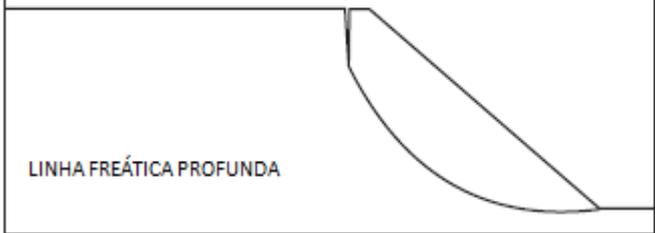
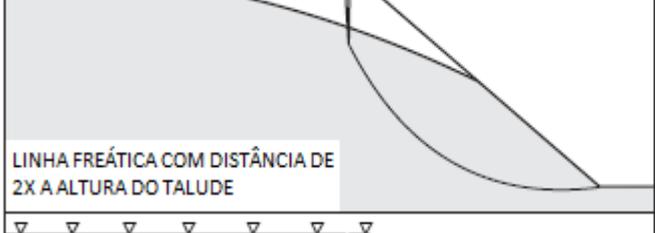
Figura 6 – Sequência crescente dos ábacos Hoek e Bray (1981)



Fonte: Ágredda, 2005. p. 23.

Na figura abaixo exibe os cinco exemplos de solos com as linhas freáticas, variando de totalmente saturado até totalmente profundo o nível d'água. As condições exibidas são para aprimoramento dos cálculos voltados para o ábaco, onde adapta a melhor condição que o solo se identifica (ÁGREDA, 2005).

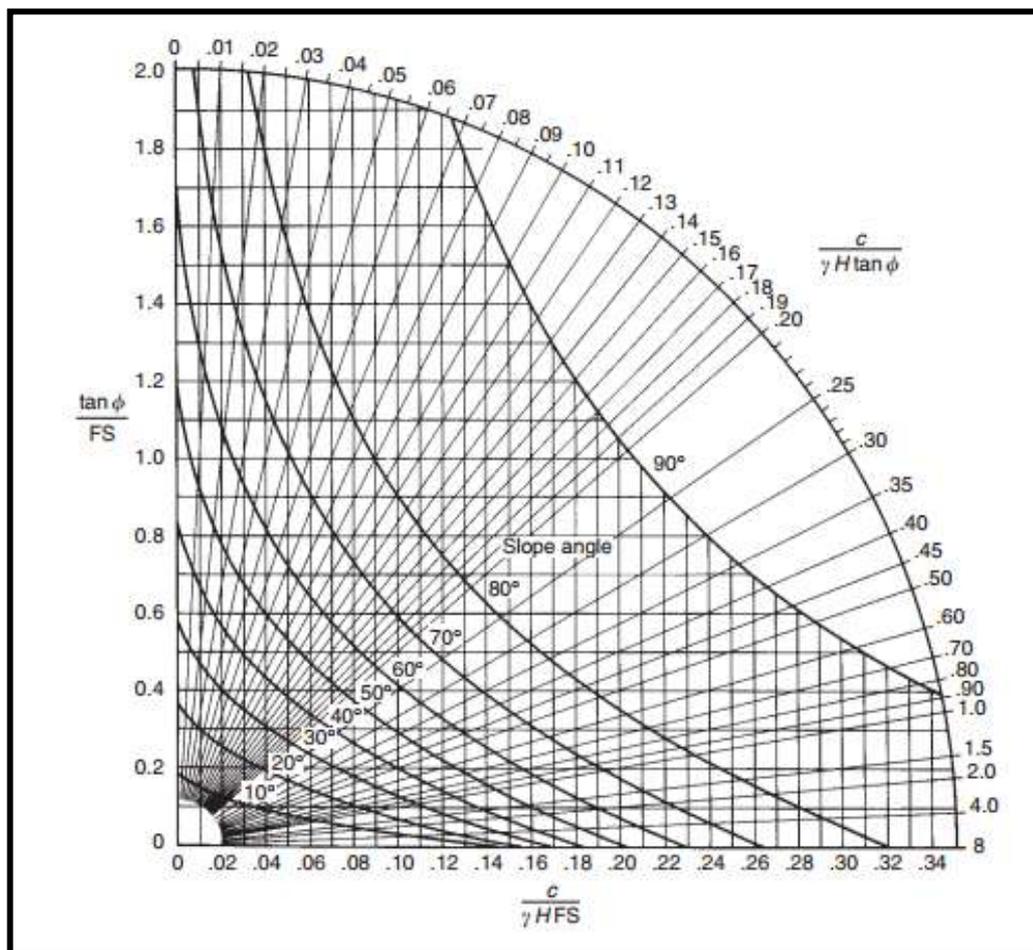
Figura 7 – Modelos de linhas freáticas de águas subterrâneas

CONDIÇÕES DE FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	NUMERAÇÃO
 <p>LINHA FREÁTICA PROFUNDA</p>	1
 <p>LINHA FREÁTICA COM DISTÂNCIA DE 8X A ALTURA DO TALUDE</p>	2
 <p>LINHA FREÁTICA COM DISTÂNCIA DE 4X A ALTURA DO TALUDE</p>	3
 <p>LINHA FREÁTICA COM DISTÂNCIA DE 2X A ALTURA DO TALUDE</p>	4
 <p>SOLO TOTALMENTE SATURADO</p>	5

Fonte: WILLIE e MAH, 2005, p. 182.

As figuras abaixo são ábacos de Hoek e Bray (1981), para determinar o ângulo do talude geral e o fator de segurança dos solos selecionados. Cada ábaco é destinado a um tipo de linha freática, e cada ábaco tem suas características distintas das outras. Para chegar ao resultado é necessário de alguns resultados provenientes dos testes de cisalhamento direto e a densidade do material. A sequência das figuras abaixo está relacionada as linhas freáticas da figura 5 na mesma ordem (ÁGREDA, 2005).

Figura 8 – Ábaco número 1 de estabilidade Hoek e Bray (1981): linha freática profunda

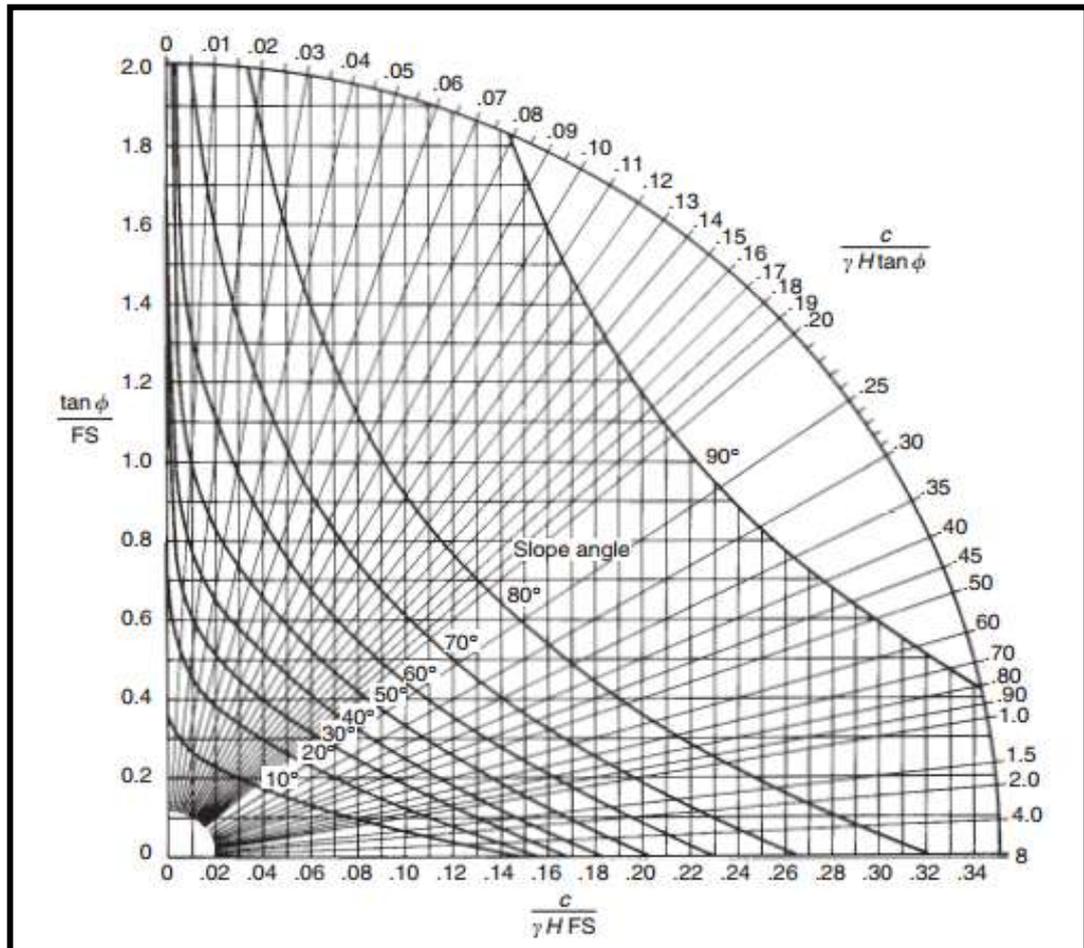


Fonte: WILLIE e MAH, 2005, p. 183.

A figura abaixo demonstra o ábaco com características do lençol freático oito vezes maiores que o comprimento do talude, isso corresponde que o nível de água subterrânea está em larga escala e grande espessura. Os ábacos de

Hoek e Bray (1981) são basicamente o mesmo procedimento, onde muda apenas as linhas verticais e horizontais do gráfico (ÁGREDA, 2005).

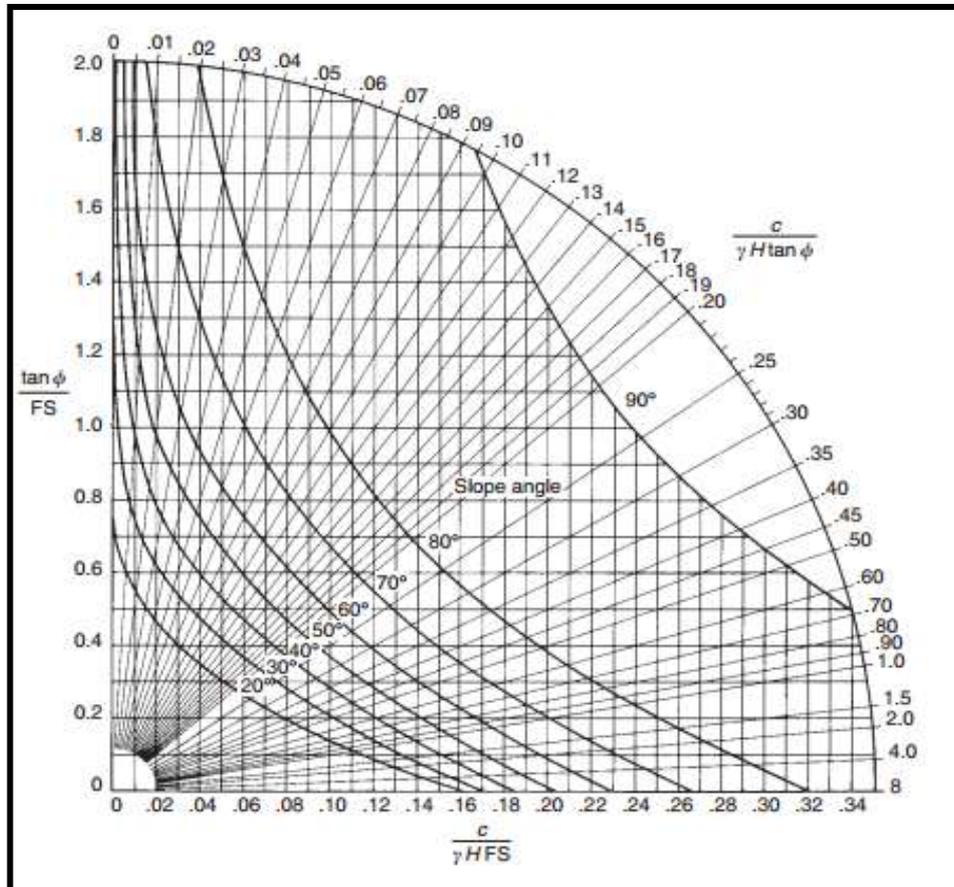
Figura 9 – Ábaco número 2 de estabilidade Hoek e Bray (1981): linha freática 8x a altura do talude



Fonte: WILLIE e MAH, 2005, p. 184.

Na imagem abaixo, o ábaco é destinado ao solo que tem uma linha freática em torno de quatro vezes a altura do talude. Nesse caso a espessura da camada de água subterrânea aumenta e o seu comprimento diminui. Para determinar a fator de segurança que o ábaco fornece, é necessário conter todos os parâmetros calculados, podendo optar pela forma mais prática para determinar o fator de segurança que o ábaco fornece (ÁGREDA, 2005).

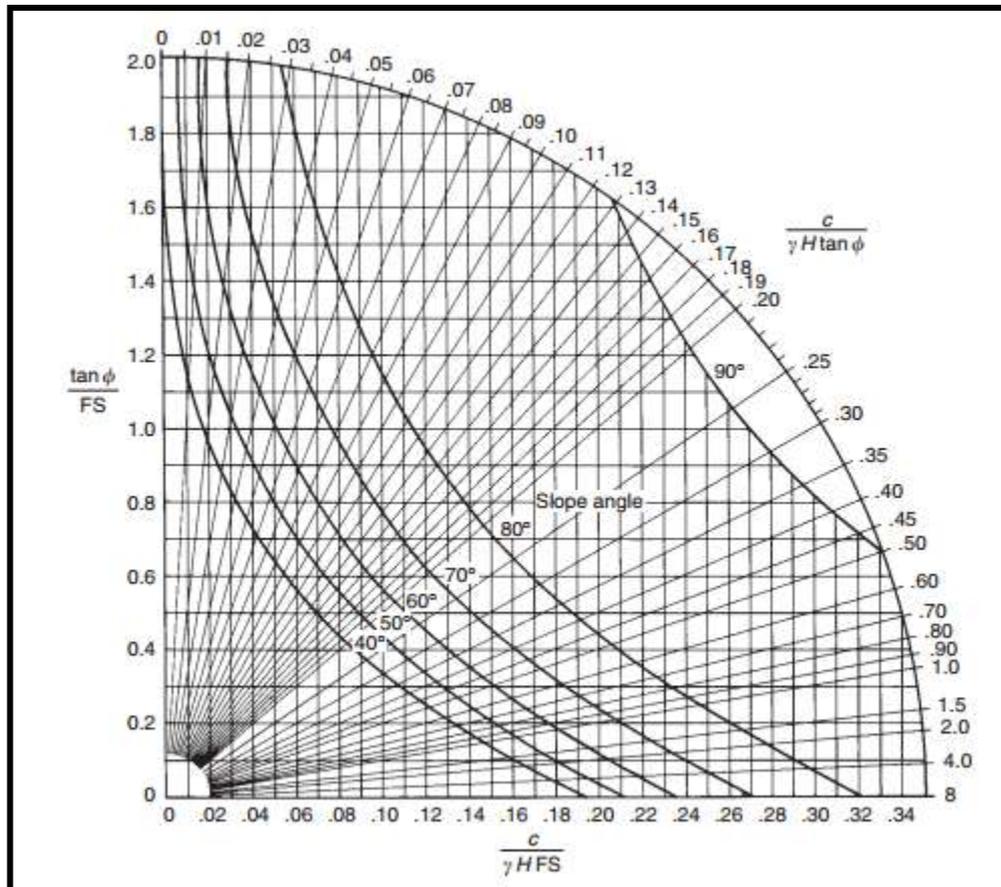
Figura 10 – Ábaco número 3 de estabilidade Hoek e Bray (1981): linha freática 4x a altura do talude



Fonte: WILLIE e MAH, 2005, p. 185.

Na imagem abaixo, é caracterizado pela zona freática das águas subterrâneas serem duas vezes maior que a altura do talude. Basicamente, a grande massa de solo está saturada, onde resta apenas uma pequena parcela do solo que não está submerso as águas do lençol freático (ÁGREDA, 2005).

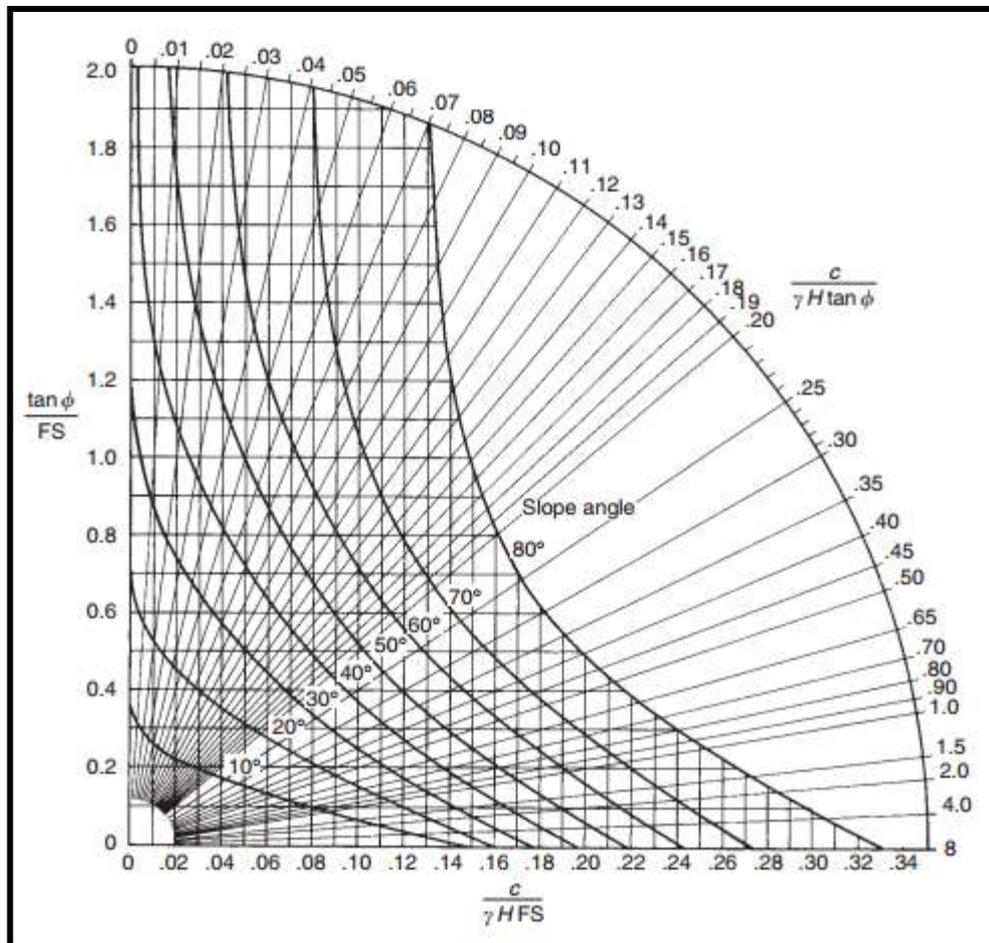
Figura 11 – Ábaco número 4 de estabilidade Hoek e Bray (1981): linha freática 2x a altura do talude



Fonte: WILLIE e MAH, 2005, p. 186.

Na imagem abaixo, o ábaco é destinado a solos totalmente saturados, onde a zona freática atingiu totalmente o solo fragmentado. O ábaco está relacionado com o quinto elemento da figura 5, onde está ligada ao ábaco. A diferença entre o ábaco da figura 8 é que apresenta uma angulação de até 90° e já no ábaco da figura 9 o ângulo do talude chega a 80°. Característica desenvolvida por Hoek e Bray como fator de segurança (ÁGREDA, 2005).

Figura 12 – Ábaco número 4 de estabilidade Hoek e Bray (1981): solo saturado



Fonte: WILLIE e MAH, 2005, p. 187.

2.7 Análises e teste laboratorial

Para a estabilidade dos taludes é preciso saber qual a resistência do material. No caso da resistência é adquirida em uma amostra do local em testes de laboratórios, que é a forma mais precisa, embora possam fazer testes no próprio local. Portanto, os testes de laboratório se aproximam mais da realidade pela perfeição das amostras, como a qualidade da amostra e o método de ensaio (DIAZ, 1998).

No entanto, a resistência ao cisalhamento está diretamente ligada ao grau de saturação que por sua vez varia com o tempo. Não é possível fazer o

teste em amostras insaturadas, e são feitas apenas em amostras saturadas (DIAZ, 1998).

Para determinar a quantidade de amostras que será retirada para os testes, é pela característica da rocha, por não ser linear as rochas, em suas particularidades de característica deve ser feita diferente amostras para o mais próximo da realidade (DIAZ, 1998).

As amostras selecionadas devem apresentar as características totais do local, levando em consideração todas as diferenças de estruturas e falhas expostas no maciço. Pode ser retirado de forma mecânica utilizando motores (GONZATTI, 2007).

2.7.1 Ensaio de laboratório

Existem dois tipos mensurados de resistência ao cisalhamento, os realizados em laboratórios e os feitos no campo. Os testes laboratoriais mais comuns são os testes de compressão triaxial e o de cisalhamento direto (DIAZ, 1998).

2.7.2 Ensaio de cisalhamento direto

O teste de cisalhamento direto é feito em uma caixa que consiste por duas circunferências onde uma fica na parte inferior e outra na parte superior que se movem em sentido horizontal entre eles onde se aplica a força de cisalhamento. A amostra adicionada tem que conter um nível de saturação, não sendo total insaturada. Para a obtenção da saturação em amostras, é adicionada a amostra e submersão em água em um determinado tempo (DIAZ, 1998).

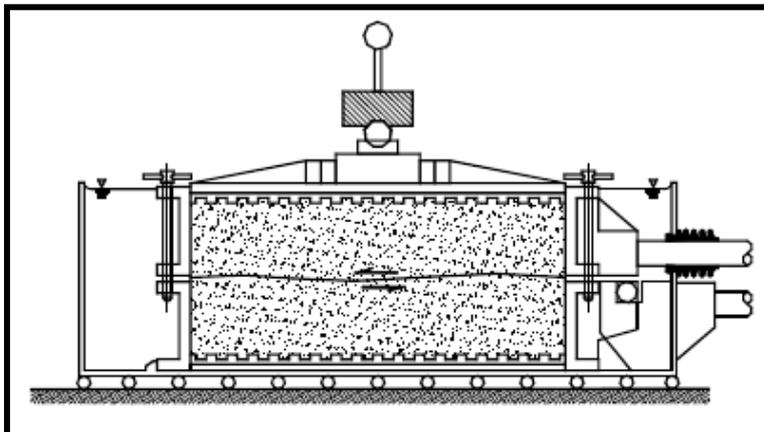
O teste de resistência é de fácil aplicação, onde é de simples e tem o custo baixo para sua execução. Como é de fácil execução, a vantagem desse método é que ele pode executar vários números de testes em um tempo curto (DIAZ, 1998).

A desvantagem sobre esse método é que é de pouco controle sobre as condições de drenagens, a escassez de aferir as pressões e os poros (DIAZ, 1998).

A figura abaixo é um aparelho cisalhante, que determina a coesão e o ângulo de atrito interno do material. É composto por uma caixa bifurcada no interior do aparelho, onde o material é adicionado no centro. O aparelho exerce

tensão vertical, que é mensurado pela expansão ou compressão da amostra. A tensão horizontal é a carga que força o cisalhamento da amostra. As leituras são feitas com o auxílio de relógios comparadores (CAPUTO, 1996).

Figura 13 - Ensaio de cisalhamento direto



Fonte: DIAZ, 1998, p. 93

2.8 Desmorte hidráulico

Desmorte hidráulico consiste na desagregação do minério pela água em altas pressões e pela força hidráulica. O desmorte hidráulico emprega minérios fragmentados para que possa ter a facilidade de ser extraída apenas pela força hidráulica. Entretanto o desmorte hidráulico tem uma particularidade em relação aos outros métodos, onde é o único que utiliza o agente do desmorte hidráulico para o próprio transporte de uma possível estação de coleta do material pelo fluxo de água e se o minério lavrado for a micro partículas para uma planta de beneficiamento. Minérios de grande porte devem ser alocados ao lado das frentes de lavra para um subsequente carregamento (IGM 1999).

Este método possui um baixo rendimento, pois a grande parte da energia usada para a expulsão da água é perdida em perdas de cargas onde são as curvas onde a água percorre que ocasiona a perda de velocidade. Quanto maior a distância maior é a perda de carga. A atmosfera entra como agente causador do baixo rendimento, pois a pressão atmosférica afeta a sua funcionalidade. Contudo, resta uma pequena porção de energia voltada para o desmorte hidráulico (Engendrar s.n.t).

2.8.1 Quartzzo

Segundo o autor Luz; Braz (2000), quartzzo é um mineral poliformo com as variações de temperaturas mudam de fase, cada qual recebendo uma

denominação específica. Sendo que o quartzo é o mais comum dos poliformos, que com suas características marcantes como cristais bem definidos, grandes, cristalinos e transparentes é reconhecido desde os tempos antigos.

As principais variedades cristalinas do quartzo são: quartzo hialino ou cristal de rocha, quartzo leitoso, esfumado, roxo (ametista), negro (mourion), verde (prásio) (LUZ; BRAZ, 2000, p. 3).

O emprego de quartzo está relacionado ao seu grau de impurezas, onde mais puro o quartzo é maior a seu custo. Está relacionado também a defeitos nos cristais ocasionados pelas fraturas nos cristais. O quartzo é encontrado na natureza na forma natural, mas existe o cultivado. O quartzo cultivado não é natural e é produzido pelo crescimento hidrotérmico (LUZ; BRAZ, 2000).

Os cristais de quartzo já foram substituídos desde a década de setenta pelo quartzo cultivado, mas o cristal ainda é utilizado na produção do cultivado sendo uma matriz para produção do cultivado. Um exemplo da produção de quartzo são as lascas de quartzo com alta purificação que é destinado ao quartzo cultivado, quartzo fundido e cerâmicas industriais. (LUZ; BRAZ, 2000).

Um exemplo de como quartzo fundido é produzido, utiliza-se o pó de quartzo, que é adquirido pelas lascas de quartzo e é transformado em quartzo fundido, que não é cristalino, mas é transparente e é perdido a sua característica piezelétrica decorrente do processo (LUZ; BRAZ, 2000).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido no município de Cristalândia no estado do Tocantins, na COOPERCRISTAL, onde foram feitos estudos com base nas características estruturais e geológicas do garimpo Manchão do Felipe para determinar as grandezas da estabilidade dos taludes da região.

3.1 Coleta de amostras

Foram realizadas duas visitas à cidade Cristalândia, na COOPERCRISTAL, para obtenção das amostras e coletar informações para os estudos determinados. As amostras foram utilizadas nos laboratórios de Engenharia de Minas e Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas. Foram coletadas amostras da frente de lavra do Manchão do Felipe com o auxílio de uma pá para coletar o material e um saco onde foi depositado o mesmo.

3.2 Preparação das amostras

As amostras selecionadas no garimpo Manchão do Felipe foram levadas para Palmas – TO, no CEULP/ULBRA para a sua preparação. As amostras foram separadas cada uma com uma finalidade. Uma parte das amostras foi para obtenção do teste de resistência, ensaio de cisalhamento direto, densidade do material, e a outra parte para limite de consistência. A divisão foi feita de forma em que a maior parte seja para o teste de resistência, que exige uma quantidade maior de material.

Para o teste de resistência as amostras foram confeccionadas com um molde de um corpo de prova cilíndrica com mesmas dimensões estipuladas pelo autor (DIAZ, 1998). Como a rocha do garimpo Manchão do Felipe não é consolidada e bastante fragmentada, foi necessário criar um molde para adequar um corpo de prova em sua real forma sem alterar as características da resistência do solo *in situ*.

3.3 Preparação do molde do corpo de prova

O molde foi confeccionado com um cano de esgoto de cinquenta milímetros de diâmetro, com dimensões de dez centímetros de altura e dois milímetros de espessura. Foram feitos cinco moldes para obtenção dos corpos de prova. Os moldes foram cortados no sentido horizontal e centralizados, onde cada molde ficou com duas partes. Para o fechamento do cilindro foi adquirido prensas que foram colocadas para segurar as paredes externas do molde e para a remoção do corpo de prova.

A figura abaixo é um molde para um corpo de prova que foi confeccionado com um cano de esgoto de cinquenta milímetros. O material é dividido em duas partes. As prensas são utilizadas para a fixação das paredes do molde e conseqüentemente para a retirada do corpo de prova.

Figura 14 – Molde do corpo de prova



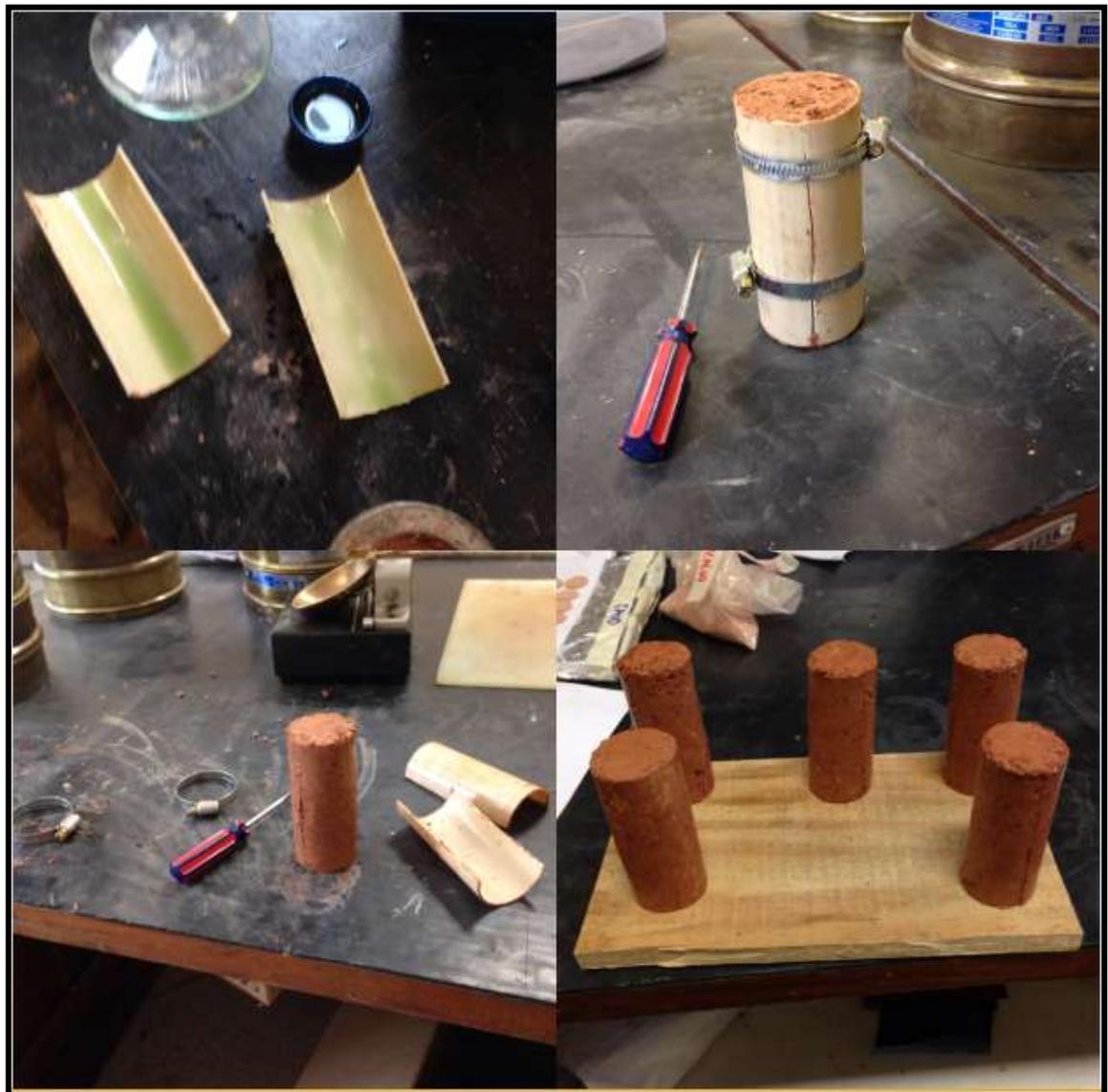
Fonte: Autoria própria

- **Procedimentos:**

Foi colocado o material da frente de lavra em um recipiente para moldá-lo. Adicionou 30% de água no material para melhor compactação dentro do molde cilíndrico. Depois do material umedecido, preparou-se o corpo de prova. Como o material da parede do corpo de prova é plástico e o solo residual do garimpo é argiloso, foi necessário inserir óleo na parede do corpo de prova para que o material não se prendesse a ela. Foi colocado o material dentro do molde para compactação. O material foi compactado com o uso de uma barra

de ferro de espessura fina que obteve maior compactação. Depois de compactado o material, foi retirado às paredes do molde com o desprendimento das prensas. O corpo de prova foi inserido à estufa para retirar a água que foi adicionada no processo de umedecimento. O tempo que o corpo de prova permaneceu na estufa foi 24 horas.

Figura 15 – Procedimentos para obtenção do corpo de prova



Fonte: Autoria própria

3.4 Ensaio de compressão simples (Uniaxial)

Após as amostras estarem todas padronizadas e confeccionadas, foi feito o teste de ensaio de compressão simples no CEULP/ULBRA, no laboratório de Engenharia Civil. O teste de compressão foi feito em um

aparelho que mensura a tensão de pico e tensão residual da amostra. Nele, mostra o limite em que uma rocha suporta determinada tensão.

- Procedimentos:

Após ter confeccionado a amostra nos padrões determinados, onde a sua altura deve ser pelo menos três vezes o diâmetro do molde, então foi colocado uma amostra no aparelho de compressão. O corpo de prova é colocado na posição vertical, onde suas extremidades fiquem apontadas para cima e para baixo.

Após ter acoplado a amostra no aparelho, o próximo passo foi ligar a máquina de forma que exerça uma tensão ascendente, até que o material venha a se romper. No ponto em que a amostra se rompeu, foi o máximo de tensões que o corpo de prova suportou. Após o término do ensaio de compressão, o aparelho retratou as tensões e as deformações exercidas no material, em uma tela, onde mostrou a tensão máxima correta que a amostra se rompeu.

A figura abaixo demonstra as etapas de um ensaio uniaxial. Na figura 9 A com o aparelho desligado, o corpo de prova é colocado para compressão e ajuste. A figura B o aparelho é ligado e são aplicadas tensões no corpo de prova e o material começa a ser fraturado. Na figura C após ter recebido as tensões máximas o material é fraturado, nesse momento o aparelho é desligado automaticamente. Na figura D encontra-se o corpo de prova fraturado fora do aparelho em seu resultado final.

Figura 16 – Ensaio de compressão uniaxial



Fonte: Autoria própria

3.5 Limite de liquidez

A outra parte das amostras foi destinada a esse método. Para a obtenção dos resultados dos testes o material utilizado foi o Casagrande. A finalidade dos testes é o resultado do limite de plasticidade, índice de plasticidade e o limite de liquidez.

A figura abaixo mostra um aparelho Casagrande com os cinzeis. O aparelho consiste em uma manivela que suspende e abaixa a concha com a rotação completa. A Concha é batida na parte inferior do Casagrande onde recebe uma tensão natural da base. Os cinzeis são destinados para abertura de um corte nas amostras fixadas na concha do aparelho.

Figura 17 – Aparelho Casagrande

Fonte: http://www2.dec.fct.unl.pt/seccoes/S_Geotecnia/Mecanica_solos_C/pratico.htm

Procedimentos:

Foi adicionado o material em uma bandeja, inserindo água para a mistura e homogeneização do solo. Depois dessa etapa feita, foi utilizado o aparelho Casagrande. Depositou o material na concha do aparelho e suavizou com a espátula de maneira que o material ficasse no mesmo nível da concha. Com o cinzel foi feito um corte no meio da massa de solo para iniciar o teste. Girou-se a manivela do Casagrande contando os golpes do aparelho. Quando a massa do material fechou o corte feito, foi parado de girar a manivela e parou de contar a quantidade de golpes. Foi retirada uma pequena quantidade de material do meio do aparelho e colocado em um recipiente. Depois disso, foi retirado o material do Casagrande e adicionado água no material para a reposição ao aparelho. Foi ajustada a quantidade de golpes para o material fechar. A média de golpes entre as amostras coletadas foi de sete em sete. A primeira amostra a ser coletada teve quarenta golpes e o material que foi coletada e caracterizada como um.

Depois de coletado cinco amostras do Casagrande, foram pesadas em uma balança para a obtenção da massa umedecida. Logo, as amostras foram depositadas na estufa com tempo mínimo de 24 horas para secar o material. Depois de seco, o material foi novamente pesado e coletado o resultado do seu peso.

3.6 Ensaio de cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento direto foi executado no laboratório de engenharia civil. O ensaio é feito com uma amostra indeformada do solo ou rocha ou pela moldagem de um corpo de prova. Foi realizado um molde do corpo de prova com dimensões de 6,5 cm laterais, em forma quadrada com área de 26 cm². O corpo de prova foi confeccionado com o auxílio do molde que acompanha o aparelho de cisalhamento direto.

O procedimento para confecção do corpo de prova é adicionar o material umedecido no molde, compactar o material adicionado e retirar o molde. Foi adicionado o material e umedecido com água, e compactado com o auxílio do cubo que acompanha o aparelho. Logo em seguida foi retirado o material e adicionado ao equipamento de cisalhamento. Foram feitos três corpos de prova.

A figura abaixo demonstra as etapas para a confecção do corpo de prova para o ensaio de cisalhamento direto. Na figura 11 A, foi adicionado água no material para o umedecimento do solo, onde foi homogeneizado o mesmo. Na figura 11 B, o material foi adicionado no molde. Na figura 11 C, o material foi compactado dentro do corpo de prova. Na Figura 11 D, o material foi retirado do corpo de prova.

Figura 18 – Procedimentos da confecção do corpo de prova para ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Autoria própria

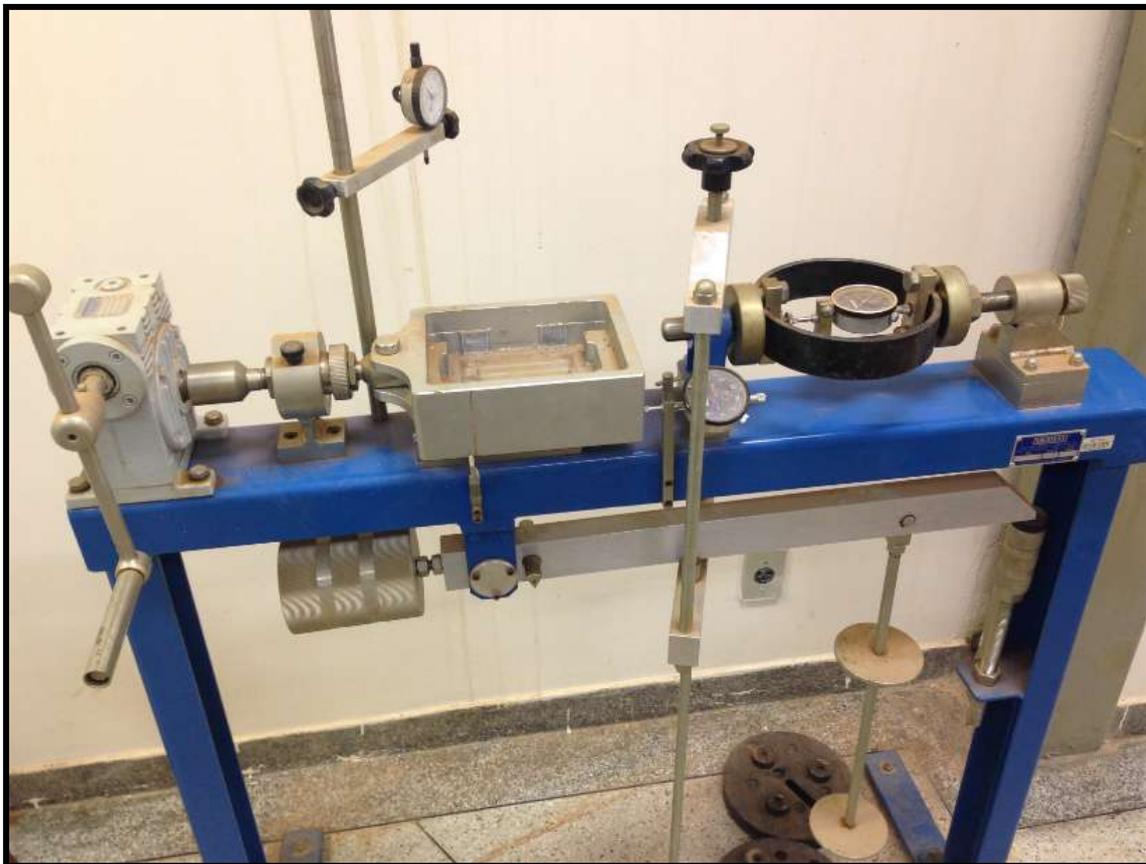
Após ter confeccionado o corpo de prova, o ensaio de cisalhamento foi iniciado. Foi adicionado o corpo de prova dentro da caixa de cisalhamento. Primeiramente foi colocado chapa de aço dentro da caixa, com as ranhuras perpendiculares a direção do cisalhamento, adicionado à pedra porosa, o corpo de prova, adicionado outra pedra porosa e chapa de aço. Após esse procedimento, foi fechada a caixa de cisalhamento.

Após ter adicionado o corpo de prova na máquina de cisalhamento, iniciou-se o procedimento. Foi realizado nove ensaios de cisalhamento, com cargas diferentes nas tensões verticais. Os nove ensaios tem a finalidade de

comprovar o correto tratamento de dados com segurança e confiabilidade nos ensaios. O ensaio foi lento, onde foi regulada a tensão horizontal.

Na figura abaixo, demonstra um aparelho para ensaio de cisalhamento. É composto por tensão vertical onde é mensurada a distância em milímetros que o corpo de prova aumenta ou diminui o volume, tensão horizontal que tem a função de cisalhamento do corpo de prova que é mensurada a distância horizontal que o aparelho exerce. A leitura do anel é lida em milímetros, onde mensura o comprimento que o corpo de prova se deslocou.

Figura 19 – Aparelho para ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Autoria própria

3.7 Densidade

Foi determinada a densidade do material no laboratório de Engenharia de Minas. Foram utilizados três picnômetros, uma balança, a amostra do material e água. O procedimento consistiu em pesar os picnômetros vazios, adicionar o material no picnômetro, pesá-los, adicionar água e pesá-los. Foram

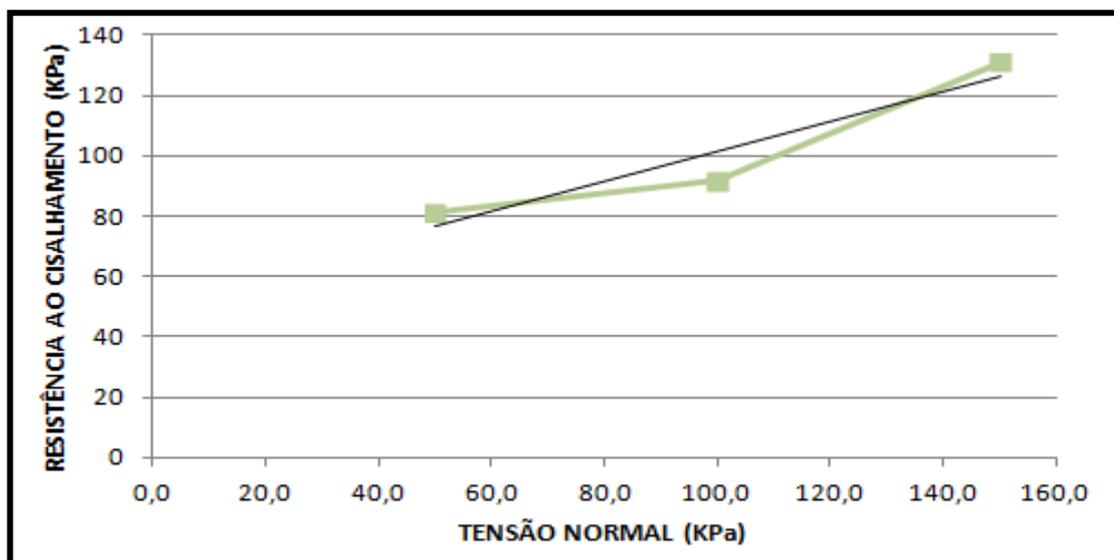
determinados os pesos do picnômetro mais água, picnômetro vazio, picnômetro mais amostras, picnômetro mais amostra mais água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos pelos ensaios de cisalhamento direto, foi feito gráficos utilizando tensões cisalhantes, tensões normais e deslocamento específico horizontal para determinar o intercepto coesivo e o ângulo interno de atrito do material do garimpo Manchão do Felipe. Traçado o gráfico resistência ao cisalhamento VS tensão normal foi feita uma interpolação da reta, onde foi possível determinar a coesão do material prolongando a reta até que tocasse na linha vertical do gráfico com o valor de $c= 50$ KPa. Foi determinado o ângulo formado pela tangente da reta interpolada em relação a vertical. Foi determinado um ângulo interno de atrito $\Phi= 43$.

A figura abaixo demonstra a interação entre a resistência ao cisalhamento no eixo vertical e a tensão normal no eixo horizontal. Os pontos traçados no gráfico são as resistências ao cisalhamento que o material suportou com uma carga determinada. A continuidade da reta origina a coesão do material Manchão do Felipe e define o ângulo de atrito interno pela tangente da reta. A linha escura é a interpolação da reta e a linha clara são os pontos das tensões cisalhantes. Foi utilizada uma média entre as tensões de pico onde originou o gráfico.

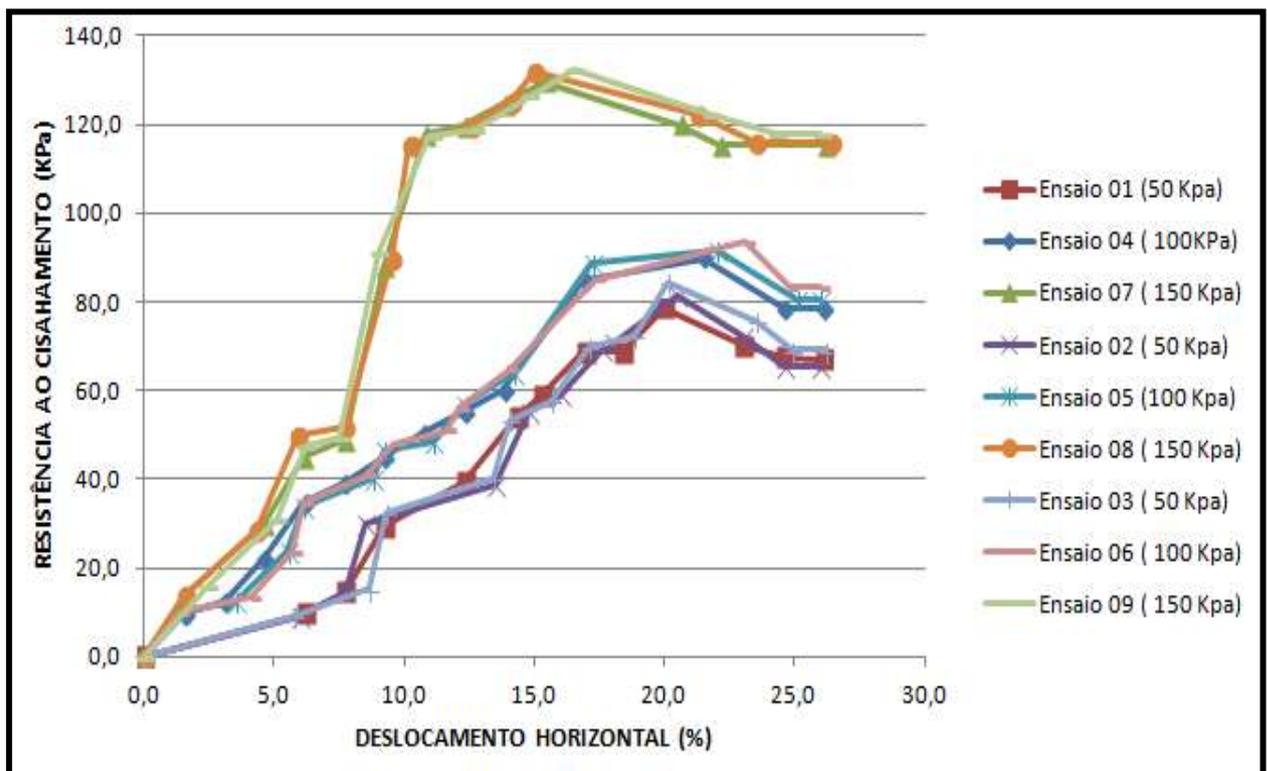
Figura 20 – Gráfico resistência ao cisalhamento VS tensão normal



Fonte: Autoria própria

Na figura abaixo demonstra a interação entre as resistências ao cisalhamento VS os deslocamentos específicos horizontais. No ensaio 01, 02 e 03 foram utilizados tensões normais nos ensaios de 50 KPa, nos ensaios 04, 05 e 06 foram utilizados tensões de 100 KPa, já nos ensaios 07, 08 e 09 foram utilizados tensões verticais de 150 KPa. O gráfico esboça os diferentes valores com as mesmas tensões, onde o tratamento de dados foi um ponto chave para determinar a resistência ao cisalhamento do material.

Figura 21 – Resistência ao cisalhamento VS Deslocamento horizontal



Fonte: Autoria própria

Para determinar o ângulo geral do talude para o garimpo Manchão do Felipe, foi analisado pelo ábaco de Hoek e Bray (1981) para solos saturados. Conforme a figura 7 foi selecionada o solo com características semelhantes ao Manchão do Felipe. Foi utilizado o ábaco da figura 12 conforme os autores Hoek e Bray citaram.

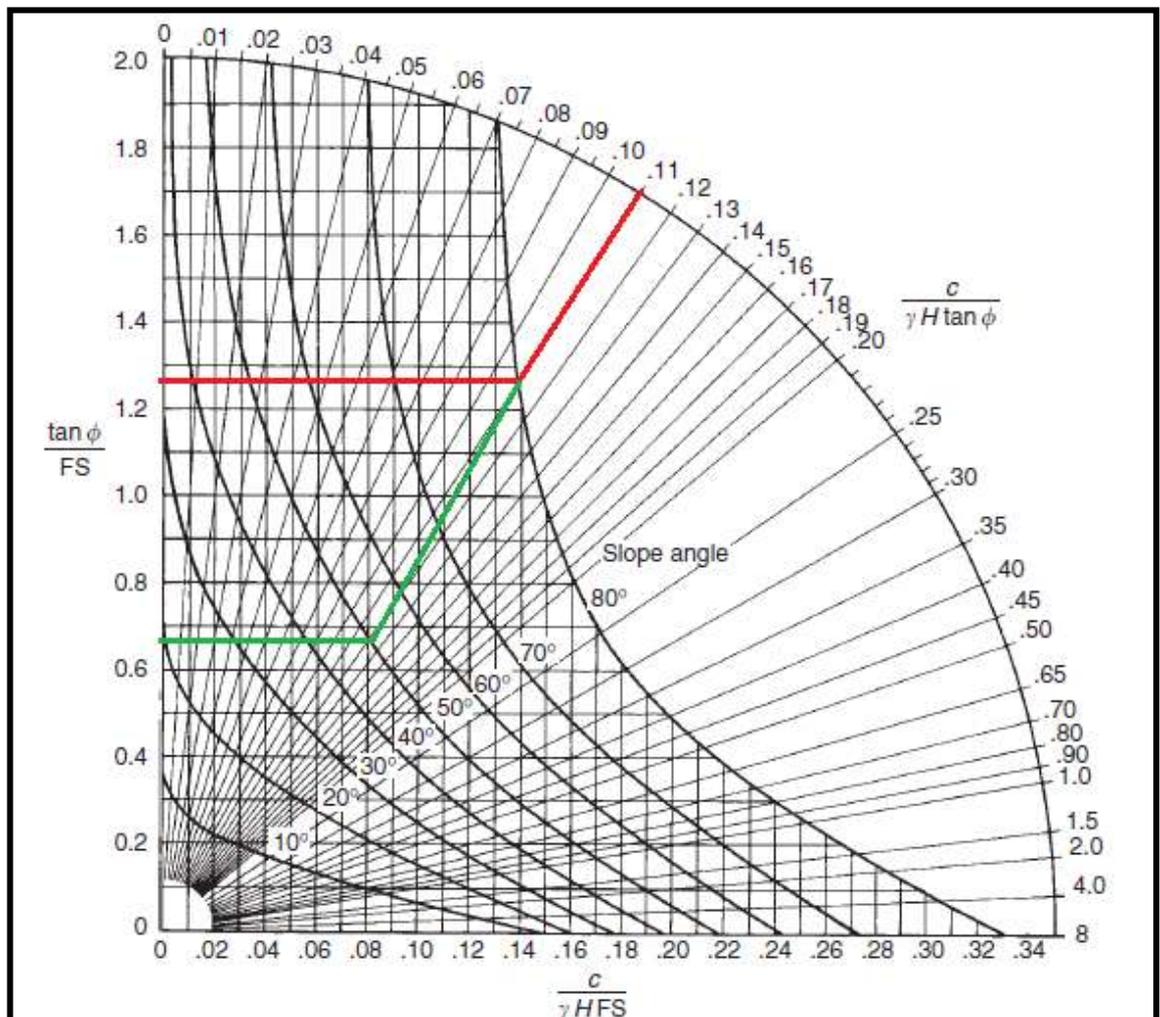
Os cálculos para determinar o ângulo geral do talude e o fator de segurança seguiu uma sequencia sugerida pelo ábaco, onde primeiro foi calculado $c/(\gamma H \tan \phi) = 50/(32 \times 15 \times \tan 43) = 0,11$. O resultado encontrado foi traçado no ábaco e determinado o ângulo geral do talude de 80° , como (ÁGREDA, 2005) relata. O fator de segurança foi determinado pela fórmula $\tan \phi / FS = \tan 43 / 1,28$ $FS = 0,73$. Como o fator de segurança foi baixo, para o

ângulo de 80°, então foi determinado um novo ângulo de talude, com 50°, onde o fator de segurança equivalente foi de FS= 1,37.

Concluindo que o ângulo ideia para o garimpo Manchão do Felipe é 50°, para garantir segurança e estabilidade para as atividades garimpeiras, com fator de segurança significativo e confiável de FS= 1,37. Todavia a bermagem sugerida para o garimpo foi de 6 metros de comprimento formando uma bancada segura e produtiva.

A figura abaixo demonstra o ábaco de Hoek e Bray (1981), onde foi determinado o ângulo geral de talude e o fator de segurança. A linha vermelha equivale ao resultado $c/(\gamma H \tan \phi)$, já a linha verde foi feito um reestudo para aumentar o FS e conseqüentemente diminuir o ângulo geral. Nisso, foi relacionado o valor presente no FS para o cálculo $\tan \phi / FS$ onde foi determinado o FS apropriado para o garimpo Manchão do Felipe.

Figura 22 – Ábaco Hoek e Bray (1981) com resultados Manchão do Felipe



Fonte: WILLIE e MAH, 2005 adaptado

A partir dos testes feitos com o aparelho Casagrande obtiveram os resultados de teor de umidade do material onde encontramos o limite de liquidez do material da frente de lavra do Manchão do Felipe com resultado de 48%. Com esses resultados comprova-se que o solo do garimpo é um material plástico com o índice alto de umidade.

Tabela 1 – limite de liquidez

Determinação	LIMITE DE DE LIQUIDEZ NBR-6459				
	1	2	3	4	5
Cápsula	1	2	3	4	5
Massa Solo Úmido + Cápsula (g)	76,37	71,65	74,79	75,71	85,44
Massa Solo Seco + Cápsula (g)	74,00	70,06	72,15	73,20	80,20
Massa da Cápsula (g)	63,14	64,32	62,57	65,50	71,71
Massa da Água (g)	2,37	1,59	2,64	2,51	5,24
Massa Solo Seco (g)	10,86	5,74	9,58	7,70	8,49
Teor de Umidade (%)	21,82	27,70	27,56	32,60	61,72
Número de Golpes	40	33	26	21	13

Fonte: Autoria própria

A densidade foi determinada pela fórmula $D_s = \frac{A_2 - A_1}{(A_4 + A_2) - (A_3 - A_1)}$, onde A1 é o peso do picnômetro vazio, A2 é o peso do picnômetro mais o peso da amostra, A3 é o peso do picnômetro mais o peso da amostra mais o peso da água e o A4 é o peso do picnômetro mais o peso da água. Os pesos específicos do material foram determinados e foi feita uma média entre os valores.

Tabela 2 – Peso específico

Picnômetro 1	(g)	Picnômetro 2	(g)	Picnômetro 3	(g)
A1	41,35	A1	34,38	A1	33,34

A2	43,86	A2	35,83	A2	34,72
A3	99,90	A3	89,34	A3	98,17
A4	98,33	A4	88,32	A4	97,23
Ds1= 2,67g/cm ³		Ds2=3,37g/cm ³		Ds3=3,13g/cm ³	
Densidade total	3,2gcm ³		Ou	32 KN/m ³	

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudo de estabilidade de taludes engloba diversos fatores relativos ao maciço rochoso e sua geometria. As sugestões para futuros trabalhos que irão explorar essa área é se aprimorar em técnicas determinísticas para aproximar o mais exato da realidade de um talude.

Como foi utilizado o ábaco de Hoek e Bray (1981), para futuros estudos no garimpo Manchão do Felipe, é viável fazer estudos com diferentes autores como Taylor (1948) ou Bishop (1955), pois o estudo desses autores embasa superfícies circulares, similar ao projeto estudado.

Utilizar outros estudos com características semelhantes ao do garimpo Manchão do Felipe, para comparar resultados determinados. Utilizar programas para determinar fator de segurança apenas com o intercepto coesivo e o ângulo interno do material, pois facilitará os estudos e a confiabilidade dos cálculos é maior.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGONZ, Raquel. **Purificação de rejeitos de lascas de quartzo das indústrias de silício**. 2001. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12770**: Ensaio de compressão simples. 1992. 2 p.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996. 244 p.

COLANGELO, Antônio Carlos. **Os parâmetros de resistência ao cisalhamento e a estabilidade das encostas no planalto de Paraibuna e Serra de Caraguatatuba**. 2012. 17 f. - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

DENISE M S GERSCOVICH. **Estabilidade de talude**. Rio de Janeiro: ., 2009. 160 p. Faculdade de engenharia Departamento de Estruturas e Fundações.

DIAZ, Jaime Suarez. **Deslizamientos: y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales**. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda, 1998. 541 p. Colombia.

DYMINSKI, Andréia Sell. **Noções de estabilidade de talude e contenções**. 2014. 28 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal de Paraná, Paraná, 2014.

ENGENDRAR. **Desmorte hidráulico**: Monitor hidráulico. Elaborada pela ENGENDRAR tecnologia produzindo soluções. Disponível em: <http://www.engendrar.com.br/arquivos/boletim/desmorteHidraulico_2-150.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2015.

IGM. **Regras de Boa Prática no Desmorte a Céu Aberto (1999)**. 1999. Edição: Divisão de minas e pedra de IGM. Disponível em: <http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/boa_pratica/texto#capitulo1>. Acesso em: 29 jun. 2015.

JÚNIOR, Itamar . **Caracterização geotécnica e análise de estabilidade de taludes de mineração em solos da mina Capão Xavier**. 2005. 145 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2005.

LUZ, Adão Benvindo da; BRAZ, Elizer. **Série Rochas e Minerais Industriais: quartzo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2000. 18 p. Digitação: Valéria Cristina de Souza.

SANTOS, Thaís Guimarães dos. **Estabilidade de taludes de escavação em mina de grafita**. 2014. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

SILVA, José Margarida da. "**Estabilidade de Escavações Subterrâneas**". Apostila em sala de aula. Universidade Federal de Ouro Preto e Escola de Minas. (José Margarida da Silva) CEULP/ULBRA Centro Universitário Luterano de Palmas. Setembro 2014. Arquivo PDF.

MARKO, František et al. **Tectonic and fluid inclusion constraints on the origin of quartz veins with giant crystals in the Tocantins structural province (Cristalândia, central Brazil)**. Journal Of South American Earth Sciences 21. Bratislava, p. 239-251. 01 jan. 2006.

NAGALLI, André. **Estabilidade de taludes em rocha com aplicação de escanêr a laser-caso da mina Saivá, Rio Branco do Sul, PR**. 2010. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Rio Grande do Sul: Universidade Feevale, 2013. 277 p.

RIZZO, Siney da Motta. **Monitoramento das escavações de uma área de rejeito de bauxita**. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ROCHA, W.w.; DIAS JÚNIOR, M.s.; LIMA, J.m.. **Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de lavras MG**. 2002. 8 f. REDAÇÃO - Curso de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2001.

ZANARDO, Bruno Felipe. **Análise de estabilidade de taludes de escavação em mina de bauxita**. 2014. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais.