



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades
Coordenadoria do curso de Engenharia Civil – CAP/UFSJ

CAROLINE MARQUES DOS SANTOS
GABRIELA ANDRADE FERREIRA

***ESTUDO DE AVALIAÇÃO DA EROSÃO NO
CAMPUS ALTO PARAPEBA, OURO BRANCO,
MINAS GERAIS***

OURO BRANCO - MG
DEZEMBRO - 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação e Humanidades

Coordenadoria do curso de Engenharia Civil – CAP/UFSJ

CAROLINE MARQUES DOS SANTOS

GABRIELA ANDRADE FERREIRA

***ESTUDO DE AVALIAÇÃO DA EROSÃO NO
CAMPUS ALTO PARAPEBA, OURO BRANCO,
MINAS GERAIS***

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Tales Moreira de Oliveira

Co-Orientador: Prof. Dr. Leandro Neves Duarte

OURO BRANCO – MG

DEZEMBRO-2015

CAROLINE MARQUES DOS SANTOS

GABRIELA ANDRADE FERREIRA

***ESTUDO DE AVALIAÇÃO DA EROSÃO NO
CAMPUS ALTO PARAPEBA, OURO BRANCO,
MINAS GERAIS***

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do grau de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL e aprovado em sua forma final pelo orientador e pela Coordenadora de TCC do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei.

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, aprovou este TCC:

Prof. Me. Tales Moreira de Oliveira
Orientador - UFSJ

Prof. Dr. Leandro Neves Duarte
Co-Orientador - UFSJ

Prof. Dr. Stélio Maia de Menezes
Avaliador – UFSJ

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter nos dado força para superar as dificuldades.

A esta universidade, seu corpo docente e demais funcionários.

Ao nosso orientador Tales Moreira de Oliveira, co-orientados Leandro Neves Duarte e aos técnicos do laboratório, em especial, Andréia e Robinson pelo suporte, ajuda, orientação, motivação e incentivo.

Aos professores Erivelto e Stélio pela participação na banca avaliadora.

Aos nossos pais e irmãs, pelo amor e apoio incondicional.

Aos nossos colegas, em especial, Flávio, Jackson, Luís e Rodrigo, pela compreensão e apoio.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação.

RESUMO

Erosões podem trazer grande impacto nas regiões onde ocorrem. Nas imediações do *Campus* Alto Paraopeba existe um exemplo deste problema. Nesta situação uma via de acesso ao prédio está interdita por motivos de segurança, pois a continuação do processo pode ser abrupta. Ao perceber a evolução do problema foi identificada a necessidade de estudo do local para entendimento do problema e embasamento de projeto de contenção. Apesar de as informações existentes sobre a formação geológica do solo local indicar que ele tem alta erodibilidade, os ensaios foram realizados com amostra resistente aos esforços aplicados. O pré-projeto apresentado traz solução simples, enfatizando a necessidade de desviar o efluente do local afetado bem como conter a massa que tende a se deslocar.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	2
2.1 Objetivo geral.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3.1 Tipos de rocha.....	3
3.1.1 Rochas ígneas.....	3
3.1.2 Rochas sedimentares.....	3
3.1.3 Rochas metamórficas.....	3
3.1.4 Formação de solos erodíveis.....	3
3.2 Encostas naturais.....	4
3.3 Taludes.....	5
3.4 Erosão.....	6
3.4.1 Erosão pluvial.....	6
3.4.2 Erodibilidade.....	7
3.4.3 Sulcos, ravinas e voçorocas.....	8
3.5 Movimentos de massa.....	8
3.5.1 Escoamentos: rastejos e corridas.....	9
3.5.2 Subsídências, recalques e desabamentos.....	9
3.5.3 Escorregamentos.....	10
3.6 Classificação dos movimentos de massa.....	11
3.6.1 Quanto aos grupos.....	11
3.6.2 Quanto à velocidade.....	12
3.6.3 Quanto à profundidade.....	12
3.7 Agentes que causam movimentos de massa.....	13
3.8 Estabilização de taludes.....	14
3.9 Mapeamento da área de risco.....	15

4. METODOLOGIA	16
4.1 Observação direta do fenômeno	16
4.2 Materiais.....	20
4.3 Métodos e procedimentos.....	20
4.3.1 Granulometria.....	21
4.3.2 Massa específica dos sólidos	21
4.3.3 Limite de liquidez.....	22
4.3.4 Limite de plasticidade.....	22
4.3.5 Perda de massa por imersão.....	22
4.3.6 Adensamento uniaxial	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 Resultados	25
5.1.1 Massa específica dos sólidos	25
5.1.2 Granulometria.....	25
5.1.3 Limite de liquidez.....	28
5.1.4 Limite de plasticidade.....	28
5.1.5 Índice de plasticidade	29
5.1.6 Perda de massa por imersão.....	29
5.1.7 Adensamento uniaxial	29
5.1.8 Mapa geológico da região.....	30
5.2 Discussão	31
6. CONCLUSÃO.....	35
7. RECOMENDAÇÕES.....	36
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	37

Lista de Figura

Figura 3.1 - Perfis de Encostas Naturais.....	4
Figura 4.1 - Foto aérea da erosão 03/2006	16
Figura 4.2 - Foto aérea da erosão 03/2011.....	17
Figura 4.3 - Foto aérea da erosão 09/2011.....	17
Figura 4.4 - Foto aérea a erosão 08/2012	18
Figura 4.5 - Foto aérea da erosão 07/2015	18
Figura 4.6 - Rede pluvial quebrada aparente 09/2015	19
Figura 4.7 - Fluxo de água em dia chuvoso 11/2015.....	19
Figura 4.8 - Ensaio de Sedimentação	21
Figura 4.9 - Amostra fissurada no ensaio de Limite de Plasticidade	22
Figura 4.10 - Corpo de prova esculpido para ensaio	23
Figura 4.11 - Ensaio de Perda de Massa por Imersão.....	23
Figura 4.12 - Evidência da saturação do corpo de prova.....	24
Figura 4.13 - Prensa de adensamento durante o ensaio	24
Figura 5.1 - Curva Granulométrica - Amostra 1	26
Figura 5.2 - Curva Granulométrica - Amostra 2.....	26
Figura 5.3 - Curva Granulométrica - Amostra 3.....	27
Figura 5.4 - Gráfico de limite de liquidez.....	28
Figura 5.5 - Tensão de Pré-adensamento pelo método de Pacheco-Silva.....	30
Figura 5.6 - Mapa geológico - Ouro Branco - MG.....	30
Figura 5.7 - Gráfico de plasticidade	33

Lista de Tabelas

Tabela 5.1 - Composição Granulométrica conforme a AASHTO.....	27
Tabela 5.2 - Composição Granulométrica conforme ABNT (1995).....	27
Tabela 5.3 - Parâmetros do Solo	28
Tabela 5.4 - Determinação da Perda de Massa por Imersão	29
Tabela 5.5 – Parâmetros e classificação do solo segundo AASHTO	32

Lista de Quadros

Quadro 3.1 - Terminologia dos elementos de um talude	5
Quadro 3.2 - Classificação dos movimentos	11
Quadro 3.3 - Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento	11
Quadro 3.4 - Classificação quanto a velocidade do movimento de massa	12
Quadro 3.5 - Classificação quanto a profundidade do movimento de massa	13
Quadro 3.6 - Fatores deflagradores de movimento de massa	13
Quadro 3.7 - Principais causas de movimento de massa	14
Quadro 5.1 – Peso específico relativo dos minerais comuns.....	31

1. Introdução

Os processos erosivos, quando não devidamente identificados e controlados, trazem danos sociais, econômicos e ambientais além de apresentar riscos a vidas humanas, podem danificar ou até colapsar estruturas importantes ao seu redor. Além das características geotécnicas e climáticas da região, a ação antrópica exerce forte influência no surgimento e desenvolvimento de erosões.

Por esses motivos, foi dado enfoque a voçoroca existente no terreno que hoje abriga o Campus Alto Paraopeba (CAP) da Universidade Federal de São João Del-Rei, localizado na latitude 20°13'23.14"S e longitude 43°44'43.86"O, notada desde meados de 2005 com considerável avanço ao longo do tempo, suspeita-se que seu avanço foi influenciado pelo regime de chuvas e o possível direcionamento de efluentes pluviais para a área.

Com avanços deste estudo se pretende auxiliar na prevenção de outros pontos críticos na região e embasar o projeto de uma possível solução técnica e de acordo com as características da região e que seja economicamente viável.

2. Objetivo

2.1 *Objetivo geral*

Este estudo tem por objetivo avaliar a ocorrência de uma erosão em um talude no CAP, caracterizando o solo local.

2.2 *Objetivos específicos*

- Definir características geotécnicas do solo;
- Traçar a curva granulométrica através de ensaios de peneiramento e sedimentação;
- Determinar os Limites de Attemberg de Liquidez e Plasticidade;
- Analisar a perda de massa após imersão do solo em água durante um período de 24 horas;
- Obtenção da curva de adensamento e determinação da tensão de pré-adensamento do solo;
- Propor um anteprojeto para o problema.

3. Referencial teórico

3.1 Tipos de rocha

Segundo Das (2006), as rochas podem ser divididas em três tipos básicos: ígneas, sedimentares e metamórficas.

3.1.1 Rochas ígneas

Ainda, segundo Das (2006), o magma expelido pelo manto terrestre, após resfriado na superfície da terra, solidifica-se dando origem às rochas ígneas. Podendo ser intrusivas quando este processo ocorre abaixo da superfície, sendo aflorada a partir de processos erosivos dos materiais que a cobriam. Ou por erupção vulcânica, quando o magma derramado sob a superfície se solidifica, chamadas de extrusivas.

3.1.2 Rochas sedimentares

De acordo com Carneiro et. al. (2009), as rochas sedimentares formam-se a partir de partículas derivadas dos diversos processos de intemperismo sofridos por qualquer rocha exposta a superfície terrestre, este processo leva a rocha a perder coesão e com isso se desgastar. Após transportadas pelo vento ou água e se acumularem em bacias sedimentares estes fragmentos são aglomerados e compactados por sobrecarga de pressão e cimentadas por minerais como quartzo, dolomita, calcita e óxido de ferro, processo chamado de diagênese.

3.1.3 Rochas metamórficas

As rochas ígneas e sedimentares ao serem submetidas a calor e pressão em grandes profundidades, dão origem às rochas metamórficas pela reorientação dos minerais. Podem sofrer dois tipos de metamorfismo, a recristalização de minerais ou a formação de novos minerais e deformações na estrutura da rocha. Sendo que as rochas metamórficas possuem diferente composição e textura da rocha que a deu origem (Carneiro et. al., 2009).

3.1.4 Formação de solos erodíveis

A estrutura, o clima, o relevo e a litologia são fatores fundamentais ao conhecimento

durante o estudo de erosões por voçorocas. Segundo LAL (1990) solos finos, constituídos por argila, silte e areia, apresentam maior erodibilidade devido aos seus grãos terem a tendência a se dispersar mais facilmente.

3.2 Encostas naturais

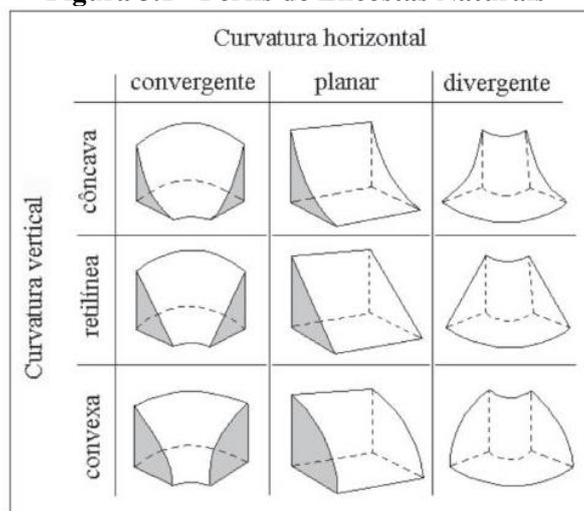
Conforme afirmações de Guidicini e Nieble (1983), as encostas naturais são definidas como uma superfície inclinada com perfil proveniente da natureza, ou seja, sem que haja interferência da ação do ser humano em seu traçado.

Uma encosta é geralmente constituída por uma camada e material decomposto, manto de intemperismo, sobre a superfície rochosa. Em certas condições geológicas, percebe-se que a transição dessas camadas é gradual, não possuindo assim um limite nítido. As encostas encontram-se em equilíbrio com o clima e com os fenômenos predominantes atuantes sobre a mesma (Guidicini e Nieble, 1983).

Processos de erosão e movimentos gravitacionais de massa são considerados como principais modeladores das encostas naturais. Sendo a declividade importante variável na análise de sua estabilidade, segundo Pisani (2003).

As encostas naturais possuem três formas de perfil vertical: retilíneo, côncavo ou convexo e, horizontal: convergente, planar ou divergente, sendo formadas pela combinação entre elas, conforme mostrado na figura 3.1.

Figura 3.1 - Perfis de Encostas Naturais



Fonte: Dikau, 1990

3.3 Taludes

Segundo Das (2006), taludes são por definição superfícies de terreno expostas, não naturais, que possuem uma determinada inclinação com a base horizontal. Os taludes são chamados de corte, de aterro ou de formação mista dependendo da estrutura original do maciço em que o talude for empregado e o do tipo de movimentação de massa que será feito para sua configuração. Os taludes são provenientes de obras geotécnicas com fins de estabilizar encostas, barragens, muros de arrimo, entre outros.

Em superfícies no formato de um talude, onde a superfície do solo encontra-se inclinada, a componente gravitacional atuante no maciço tenderá a move-la para baixo, criando uma zona de possível instabilidade. O talude estará estável até que a força motriz supere a resistência do solo.

Os elementos constituintes de um talude são descritos na norma brasileira NBR 11682 pelo quadro 3.1 (ABNT, 2006)

Quadro 3.1 - Terminologia dos elemento de um talude

TERMINOLOGIA DOS ELEMENTOS	DEFINIÇÃO
Crista	Região não escorregamento adjacente à parte mais alta do início do movimento.
Escarpa	Superfície íngreme, do terreno intacto, correspondente à parte visível da superfície de ruptura.
Material escorregado	Correponde ao volume total que se delocou de sua posição original.
Corpo	Material escorregado, que fica sobre a superfície de ruptura.
Base do escorregamento	Porção da massa escorregada situada além da superfície de ruptura (sobre a superfície de separação).
Pé do escorregamento	Linha, geralmente curva, de limite mais distante da massa escorregada, correspondente ao limite da base.
Superfície de ruptura	Superfície do tereno natural onde houve ruptura.
Topo do escorregamento	Ponto mais alto da massa escorregada junto a escarpa principal.
Flanco	Transição para material não atingido pela movimentação, situado nas laterais da massa escorregada. A designação de direita e esquerda deve ser referida a um observador situado na crista.
Superfície original do terreno	Superfície da encosta existente antes do deslizamento.

Fonte: ABNT, 2006

3.4 Erosão

Recebe o nome de erosão o transporte de fragmentos por detritos gerados por processos físicos, químicos ou biológicos (intemperismo), por meio da água, vento, gravidade ou agentes químicos como hidrólise e dissolução segundo Bacellar (2000). O potencial erosivo do agente transportador e a sensibilidade do material a erosão são os fatores determinantes para a velocidade do processo. Este processo natural sofre interferências que variam sua incidência devido a atividades antrópicas, segundo Shelby (1993¹ apud Bacellar, 2000). Concordando com Guerra e Mendonça (2004) quando diz que o processo erosivo possui diversos condicionantes como: clima, relevo, cobertura vegetal, ação antrópica e natureza do solo, o que o torna um sistema com certo grau de complexidade conforme sua evolução, o tornando de difícil entendimento.

3.4.1 Erosão pluvial

Segundo Maciel et al. (2011), erosão pluvial é aquela exercida pela água da chuva que escorre sobre o solo. Em solos cobertos por vegetação, sua ação é pequena. Mesmo assim, principalmente em áreas com gramíneas e com o passar do tempo, a erosão chamada em lençol ou laminar (em contraposição a ravinas e voçorocas) é sentida.

O escoamento superficial das precipitações atmosféricas ocorre de duas formas, finos filetes ou riachos trançados. Quando o escoamento proporciona a formação de filetes, a erosão é chamada laminar, entretanto quando o escoamento forma riachos trançados é chamada erosão em sulcos, ravinas ou voçorocas (Maciel et.al., 2011).

Em áreas que não possuem vegetação a erosão pluvial é dada de forma intensa reduzindo o fator de segurança de estabilidade do local, pelo enfraquecimento e desestabilização do solo. Para Rodrigues (1998) a erosão pluvial e eólica pode ser protegida pelo revestimento vegetal. Segundo Prandini et. al. (1976), em áreas de grande concentração de florestas a infiltração profunda e consequente saturação do solo, bem como o escoamento superficial são consideravelmente atenuados. Augusto Filho (1994), acredita que o enraizamento das plantas favorece a estabilidade do maciço acrescentando resistência a ele e redistribuindo

¹ Shelby, M.J., 1993, *Hillslope Materials and Processes*. Oxford University Press.

o fluxo de água.

3.4.2 Erodibilidade

A erodibilidade demonstra quantitativamente a capacidade de erosão hídrica sofrida pelo solo, segundo Hudson (1981² apud Albuquerque et.al., 2000). A água influenciará nas propriedades atuantes na resistência a desagregação e seu transporte, de acordo com Ellison (1946³ apud Albuquerque et.al., 2000). Enquanto a erosão depende diretamente da declividade do terreno, características da chuva, a erodibilidade depende mais das propriedades do solo em si.

De acordo com Camapum de Carvalho et al. (2006), as características geológicas-geotécnicas do solo como textura, estrutura, mineralogia, sucção e teor de matéria orgânica (MO) influem na erodibilidade dos solos. Sabe-se que solos menos coesos e mais expansíveis como aqueles compostos por partículas de tamanho silte e areia fina e com pouca argila são mais erodíveis.

Ensaio geotécnicos como o de Inderbitzen (1961) avaliam a erodibilidade do solo. Outros ensaios como os de caracterização física do solo; perda de massa por imersão e infiltrabilidade da metodologia MCT; e os ensaios de desagregação avaliam de forma indireta a erodibilidade do solo. Entretanto, para Wischneier & Mannering (1969⁴ apud Silva et.al., 1999); Wischmeier et. al. (1971⁵ apud Silva et.al., 1999) e Romkens et. al. (1977⁶ apud Silva et.al., 1999) os resultados obtidos por determinações indiretas não têm se mostrado adequados quando aplicados em solos tropicais.

Sendo os ensaios de características físicas de grande importância, mesmo que sua inter-

² HUDSON, N., 1981, *Soil Conservation*. Ithaca, Cornell University Press.

³ ELLISON, W.D., 1946, *Soil detachment and transportation*. Soil Conserv.

⁴ WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V., 1969, *Relation of soil properties to its erodibility*.

⁵ WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V., 1971, *A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites*.

⁶ RÖMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B.; NELSON, D.W., 1977, *Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties*.

relação não seja considerada simples e direta. Para solos tropicais pode ser precipitado concluir sobre sua erodibilidade considerando apenas os resultados de ensaios geotécnicos. Na granulometria, por exemplo, não é estabelecida relação direta com a erodibilidade pois quando intemperizados, este tipo de solo tende a se agregar. Também quanto ao índice de plasticidade o resultado do teste pode ser confuso, pois neste caso a presença de oxi-hidróxido de ferro deixa o solo mais estável, mesmo sem apresentar alta plasticidade (Maciel Filho et. al., 2011)

3.4.3 Sulcos, ravinas e voçorocas

A formação de uma voçoroca passa por estágios, o primeiro é a formação de sulcos, formados pelo intenso escoamento superficial resultando em erosão laminar demonstrada por incisões rasas e em forma de filete (Almeida Filho; Teixeira Filho, 2014), passando a ravinas, que são sulcos profundos formados por canaletas bem definidas devido à alta concentração de escoamento de água superficial (Rego,1987). Posteriormente, de acordo com Lopes e Guerra (2001), ocorre o aprofundamento e alargamento da voçoroca, nesse ponto fica evidente a contribuição do lençol subterrâneo no processo erosivo.

A diferença entre voçoroca e ravina é que na voçoroca a erosão é provocada pela água da chuva e subterrânea, já na ravina, apenas provocada pela água da chuva. Existe, ainda segundo Castro et. al. (2004), a erosão interna, provocada por carregamento de grãos pela água subterrânea, chamada de “*piping*”.

A erosão regressiva (progressão do processo erosivo de jusante para montante), e o nível base (cota acima da qual o sistema tem mais energia e ocorre a erosão) são os fatores que norteiam os métodos de controle de ravinas e voçorocas, sendo assim, o tratamento a jusante controlaria a evolução do processo a montante, bem como o emprego de gabiões, que é eficiente por suportar deformações do terreno e pela capacidade de dissipação da energia da água pelo formato de escadas, em conjunto com o desvio de água a montante (canaletas). (Maciel Filho et. al. 2011)

3.5 Movimentos de massa

Os movimentos de massa são caracterizados por deslocamentos de grande volume de solo ou rocha, ocorrendo grão a grão. Os movimentos de massa se diferenciam de duas formas,

uma quanto a velocidade de movimentação e outra quanto a forma de ruptura. A partir da identificação desses fatores, ainda dividem-se em três categorias: escoamentos; subsidências; e escorregamentos (Freire, 1965⁷ apud Guidicini e Nieble, 1983).

3.5.1 Escoamentos: rastejos e corridas

Rastejos são movimentos lentos e contínuos (escoamento fluido-viscoso), e são medidos em centímetros de material por ano. Por apresentar baixa velocidade, existe dificuldade na identificação das porções ativas ou estacionárias do material, mesmo que esteja envolvido um grande volume de solo e/ou rocha fraturada, sendo assim, a presença de objetos inclinados como postes, muros e paredes, ou até mesmo eixos de estradas e trilhos desalinhados funcionam como sinalizadores da movimentação (Maciel Filho et al., 2011).

A causa dos escoamentos está ligada à ação da gravidade associada a efeitos causados pela variação de temperatura e umidade. O deslocamento acontece quando o solo atinge a tensão de fluência, que é inferior à resistência ao cisalhamento (Guidicini e Nieble, 1983).

Dentro deste contexto, destacam-se, também, as corridas de terra que ocorrem quando há presença de água em excesso no solo, faz com que o solo fluidifique, perdendo seu atrito interno. Tal processo de fluidificação pode ser originado por: adição de água, caso de solos arenosos; esforços dinâmicos, como terremotos, cravação de estacas; amolgamento em argilas muito sensíveis (Guidicini e Nieble, 1983).

As corridas são formas rápidas de escoamento (escoamento plástico), sendo medida em metros de material por hora e de caráter hidrodinâmico. As avalanches de detritos representam a forma mais catastrófica de deslizamento de terra (Maciel Filho et al., 2011).

3.5.2 Subsidências, recalques e desabamentos

O afundamento ou adensamento de camadas do solo pela remoção de certa porção, seja ela sólida, líquida ou gasosa, por processos naturais (ação erosiva de águas subterrâneas, por exemplo) ou pela ação do homem (trabalhos de mineração, por exemplo), refletem-

⁷ FREIRE, E. S. de M., 1965, Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática.

se na superfície como subsidências (Guidicini e Nieble, 1983).

Os recalques se assemelham às subsidências, possuindo como diferencial a área atingida, significativamente menor que a das subsidências, e sua origem, pelo peso próprio ou pela deformação do solo proveniente de outro agente (remoção do confinamento lateral devido a escavações, por exemplo) (Guidicini e Nieble, 1983).

As subsidências que ocorrem de forma brusca e que envolvem ruptura ou remoção do substrato são denominados desabamentos. Estes são originados, principalmente, em locais onde há mineração de escavação subterrânea, podendo também ser de causa natural, e são considerados catastróficos por ocorrerem em locais habitados (Guidicini e Nieble, 1983).

3.5.3 Escorregamentos

O processo de desestabilização de encostas, ocupadas ou não, seguido por movimentos gravitacionais de massa, é chamado escorregamento. Este processo pode ser motivado por chuvas, terremotos ou ações vulcânicas, podendo ser agravados quando há ação antrópica (Pisani, 2003).

Os escorregamentos são divididos em três categorias segundo Maciel Filho et al. (2011):

Escorregamentos Rotacionais: possuem superfície de ruptura curva. É considerado de talude quando toda a superfície de ruptura se propaga acima do sopé do talude. E, é considerado de base quando a superfície de ruptura passa abaixo da base do talude, neste caso a parte inferior do talude irá ser soerguida.

Escorregamentos Translacionais: possuem superfície de ruptura plana. Estes se desenvolvem em etapas contínuas rumo à parte ascendente da encosta. Os escorregamentos translacionais podem ser de rocha, solo, mistas ou remontantes.

Escorregamentos Mistos: são uma combinação dos escorregamentos translacionais e rotacionais, que podem ser progressivos ou sucessivos.

3.6 Classificação dos movimentos de massa

Existem inúmeros estudos relacionados aos processos de movimentos de massa, algumas dúvidas referentes às terminologias e classificações persistem. A grande maioria dos autores trata de forma distinta, por exemplo, à erosão dos solos e os movimentos de massa.

3.6.1 Quanto aos grupos

A classificação feita por Varnes (1978⁸ apud Gerscovich, 2009), quadro 3.2, é referência para essa categoria, considerada oficial para a *International Association of Engineering Geology and Environment* – IAEG.

Já a classificação proposta por Augusto Filho (1992), quadro 3.3, é considerada um referencial para elaboração de mapas de risco.

Assim, tem se:

Quadro 3.2 - Classificação dos movimentos

Tipo de Movimento			Tipo de Material		
			Rocha	Solos (engenharia)	
				Grossoiro	Fino
Quedas			De Rocha	De Detritos	De Terra
Tombamentos			De Rocha	De Detritos	De Terra
Escorregamentos	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento e Rocha De Blocos Rochosos De Rocha	Abatimento de detritos de Blocos de detritos De detritos	Abatimento de terra De blocos de terra de Terra Translacional
	Translacional	Muitas unidades			
Expansões Laterais			De Rocha	De Detritos	De Terra
Corridas/ Escoamentos			De Rocha (rastejo profundo)	De Detritos	De Terra
Complexos: combinação de dois ou mais dos principais tipos de movimentos					

Fonte: Varnes (1978 apud Gerscovich, 2009)

Quadro 3.3 - Características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento

Processos	Características do movimento, material e geometria
Rastejo ou fluência	Vários planos de deslocamento (internos)

⁸ VARNES, D.J., 1978, *Landslide types and processes*.

	<p>Velocidades de muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade</p> <p>Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes</p> <p>Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada</p> <p>Geometria indefinida</p>
Escorregamentos	<p>Poucos planos de deslocamento (externos)</p> <p>Velocidades de médias (km/h) a altas (m/s)</p> <p>Pequenos a grandes volumes de material</p> <p>Geometria e materiais variáveis</p> <p>Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza</p> <p>Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas</p> <p>Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza</p>
Quedas	<p>Sem planos de deslocamento</p> <p>Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</p> <p>Velocidades muito altas (vários m/s)</p> <p>Material rochoso</p> <p>Pequenos a médios volumes</p> <p>Geometria variável: lascas, placas, blocos etc.</p> <p>Rolamento de matacão</p> <p>Tombamento</p>
Corridas	<p>Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação)</p> <p>Movimento semelhante ao de um líquido viscoso</p> <p>Desenvolvimento ao longo das drenagens</p> <p>Velocidades de médias a altas</p> <p>Mobilização de solo, rocha, detritos e água</p> <p>Grandes volumes de material</p> <p>Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</p>

Fonte: Augusto Filho, 1992

3.6.2 Quanto à velocidade

Quanto à velocidade da movimentação, de acordo com o quadro 3.4, tem-se:

Quadro 3.4 - Classificação quanto a velocidade do movimento de massa

Nomeclatura	Velocidade
Extremamente Rápido	>3,00 m/s
Muito Rápido	0,30 m/s a 3,00 m/s
Rápido	1,60 m/dia a 3,00 m/s
Moderado	1,60 m/mês a 1,60 m/dia
Lento	1,60 m/ano a 1,60 m/mês
Muito Lento	0,06 m/ano a 1,60 m/ano
Extremamente Lento	< 0,06 m/ano

Fonte: Gerscovich, 2009

3.6.3 Quanto à profundidade

Quanto à profundidade os movimentos de massa podem ser classificados como, conforme o quadro 3.5:

Quadro 3.5 - Classificação quanto a profundidade do movimento de massa

Nomeclatura	Profundidade
Superficial	<1,50 m
Raso	1,50 m a 5,00 m
Profundo	5,00 m a 20,00 m
Muito Profundo	>20,00 m

Fonte: Gerscovich, 2009

3.7 Agentes que causam movimentos de massa

Duas ações desencadeiam fatores deflagrantes do movimento de massa, são eles o aumento das solicitações e a redução da resistência do maciço. O primeiro é condicionado por fatores como remoção de massa, sobrecarga, solicitações dinâmicas e pressões laterais. O segundo, devido a características inerentes ao material, como textura, granulometria e estrutura, e, fatores variáveis. Segundo Varnes (1978⁹ apud Augusto Filho e Virgili, 1998), o quadro 3.6, explicita os fenômenos geológicos e antrópicos ocasionados por tais fatores.

Quadro 3.6 - Fatores deflagradores de movimento de massa

Ação	Fatores	Fenômenos geológicos/ antrópicos
Aumento da Solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	<ul style="list-style-type: none"> • Erosão, escorregamentos • Cortes
	Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> • Peso da água da chuva • Depósito do material • Peso da vegetação • Construção de estruturas, aterros, etc.
	Solicitações dinâmicas	<ul style="list-style-type: none"> • Terremotos, ondas, etc. • Explosões, tráfego, sismos induzidos.
	Pressões laterais	<ul style="list-style-type: none"> • Águas em trincas, congelamento, material expansivo.
Redução da Resistência	Características inerentes ao material (textura, granulometria, estrutura, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Características geotécnicas do material, tensões iniciais.
	Mudanças ou fatores variáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da coesão, ângulo de atrito • Elevação do nível d'água • Aumento da umidade/ redução da sucção

Fonte: Varnes, 1978 apud Augusto Filho e Virgili, 1998

⁹ VARNES, D.J., 1978, *Landslide types and processes*.

Em contrapartida, a USGS (*U. S. Geological Survey*) (2004¹⁰ apud Conti, 2012) identifica como principais causas do movimento de massa, fatores geológicos, morfológicos e antrópicos. O quadro 3.7 indica os principais fenômenos causadores do movimento de massas.

Quadro 3.7 - Principais causas de movimento de massa

Causas	Fenômenos
Geológicas	<ul style="list-style-type: none">• Materiais fracos ou sensíveis• Materiais alterados• Materiais fraturados• Orientação da descontinuidade (acamamento, xistosidade, falha, entre outros)• Contraste na permeabilidade e/ou dureza dos materiais
Morfológicas	<ul style="list-style-type: none">• Atividades vulcânicas ou terremotos• Dinâmica glacial• Erosão fluvial, por ondas do mar ou glaciais do pé e lateral das encostas• Erosão subterrânea (piping)• Carregamento por deposição• Remoção da cobertura vegetal• Degelo• Intemperismo por congelamento e derretimento• Intemperismo por variação de volume
Antrópicas	<ul style="list-style-type: none">• Escavações• Carregamentos• Exploração do lençol freático• Desmatamento• Irrigação• Mineração• Vibrações artificiais• Vazamento de tubulações

Fonte: Adaptado USGS, 2004

3.8 Estabilização de taludes

Segundo Guidicini e Nieble (1983), as técnicas de melhoria de estabilidade de taludes rochosos resumem-se em quatro grupos básicos: mudanças na geometria do talude; drenagem de água subterrânea; reforço do maciço; e controle e desmonte.

Em geral, quando é possível mudar a geometria do talude, significa mexer em sua altura

¹⁰ USGS. 2004, *Landslide types and processes*. U.S. Department of the Interior.

e inclinação, e é considerado o método mais barato de modificar a estabilidade de um talude. As mudanças feitas por esse método são permanentes desde que seja dada a devida manutenção aos sistemas de drenagem e aos possíveis reforços da estrutura.

Guidicini e Nieble (1983) ainda acreditam que a drenagem de água subterrânea dos taludes irá garantir as condições apropriadas de funcionamento do mesmo. O custo de um sistema drenante é alto, portanto, dependendo do porte da obra, nem sempre é interessante seu uso. Uma forma alternativa do controle dessa água seria tomar medidas que impeçam a infiltração de água no topo e face do maciço.

O aumento da estabilidade de um talude rochoso através do reforço artificial é, em geral, economicamente viável em taludes de pequeno porte ou em blocos com dimensões pequenas. A justificativa para esta afirmação é o fato de se fazer necessária à aplicação de até 20% do peso total da massa instável por meio do reforço considerado. Por exemplo, no caso de tirantes de aço, elementos estabilizantes que trabalham a tração e que devem ser ancorados na rocha ou porção estável do solo, o custo de estabilização seria excessivamente elevado. Outros métodos de proteção seriam o uso de gabiões e crib-wall.

3.9 Mapeamento da área de risco

O mapeamento de risco é uma importante ferramenta de planejamento da ocupação de áreas naturalmente suscetíveis a estes processos, além de servir de base para a adoção de medidas preventivas e corretivas em regiões onde as situações de risco já estão consolidadas (Augusto Filho e Wolle, 1996).

4. Metodologia

4.1 *Observação direta do fenômeno*

Nota-se que desde meados de 2006 existe um processo erosivo nos arredores da divisa do CAP com a Gerdau (figura 4.1), local onde existe plantação de eucalipto. O avanço deste processo erosivo pode ser percebido se comparada a figura 4.1 com a figura 4.2, e também as figuras 4.3 e 4.4. A figura 4.3 apresenta a dimensão da voçoroca no mês de setembro de 2011 e a figura 4.4, do mês de agosto de 2012, evidenciando o desenvolvimento da erosão no local a cada ano. A figura 4.5 mostra a dimensão do problema atual, indicando a necessidade de atuação no local para evitar maiores danos. No entorno, é percebida presença de rede pluvial (figura 4.6) e possíveis desvios da água para este local, sendo evidenciado barulho de água corrente em ocasiões de chuva, aparentando fluxo maior que o de simples escoamento superficial da água, no detalhe é indicado o local onde foi retirado o solo ensaiado (figura 4.7).

Figura 4.1 - Foto aérea da erosão 03/2006



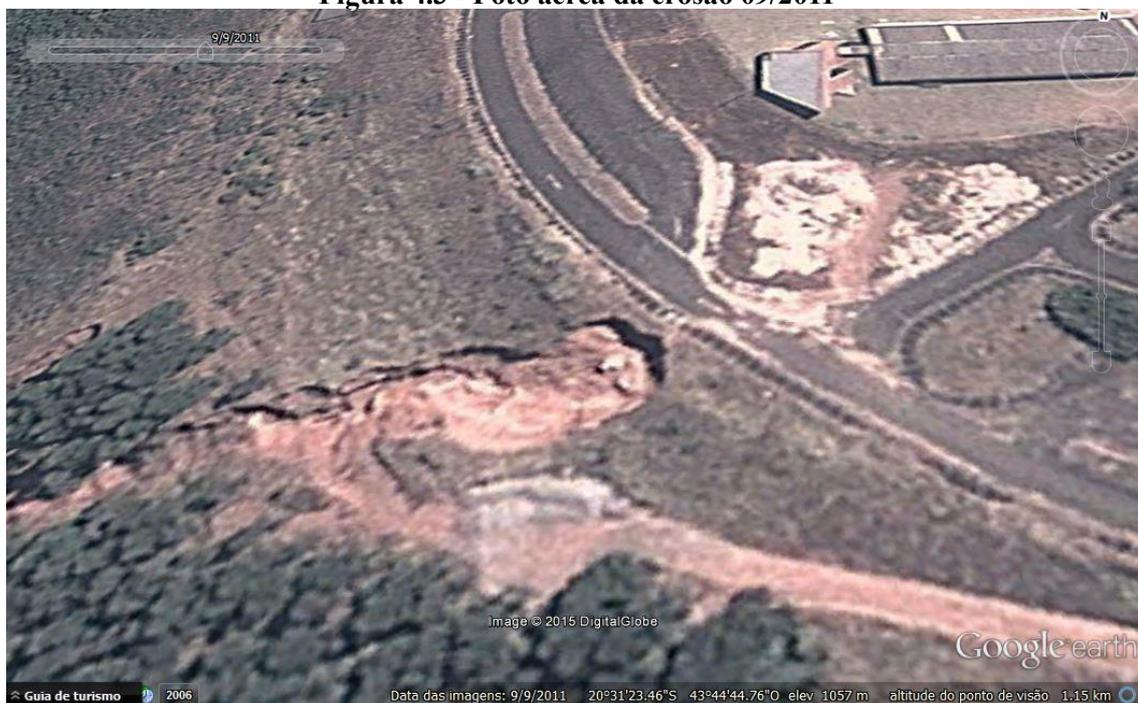
Fonte: Google Earth

Figura 4.2 - Foto aérea da erosão 03/2011



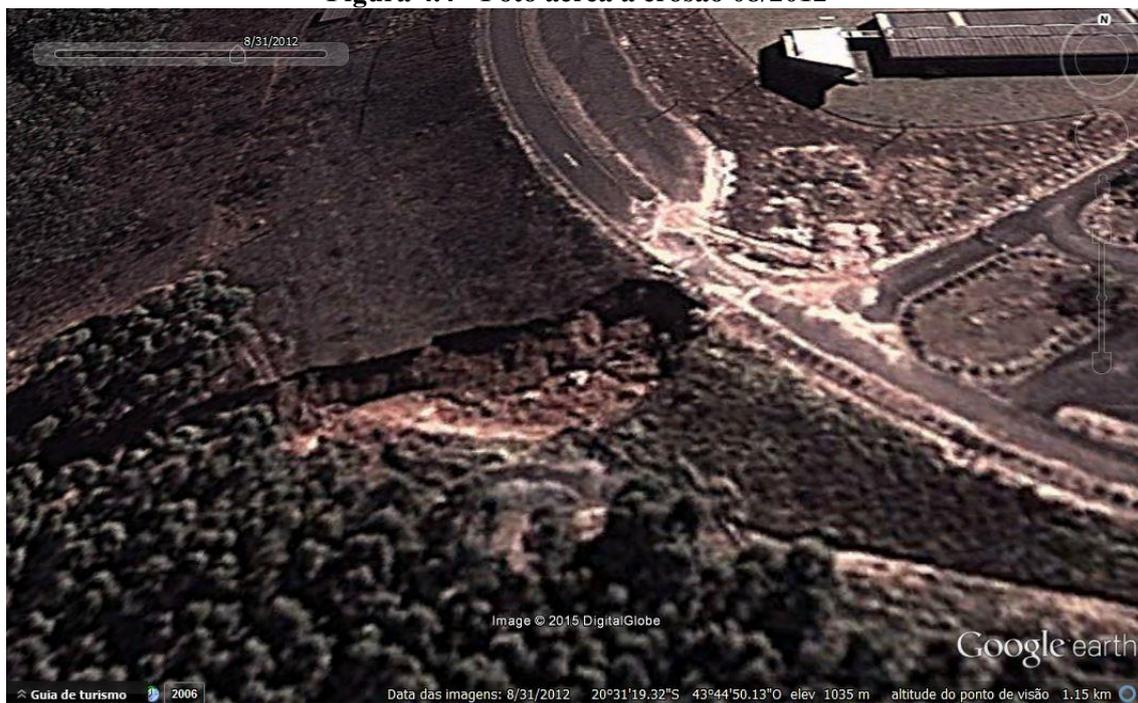
Fonte: Google Earth

Figura 4.3 - Foto aérea da erosão 09/2011



Fonte: Google Earth

Figura 4.4 - Foto aérea a erosão 08/2012



Fonte: Google Earth

Figura 4.5 - Foto aérea da erosão 07/2015



Fonte: Google Earth

Figura 4.6 - Rede pluvial quebrada aparente 09/2015



Fonte: Autores

Figura 4.7 - Fluxo de água em dia chuvoso 11/2015



Fonte: Autores

A região de estudo está situada em região de clima tropical, processos geológicos e/ou pedológicos típicos provocam modificações na rocha e solo, formando o solo laterítico, pouco resistente que apresenta grande probabilidade de formação de erosões quando em contato com águas superficiais ou subsuperficiais.

4.2 Materiais

Para melhor conhecimento das características geotécnicas do local, foi proposta a realização de ensaios de laboratório, como:

- Análise Granulométrica, conforme ABNT NBR 7181/1984;
- Massa Específica dos Sólidos, conforme ABNT NBR 6508/1984;
- Limite de Liquidez, conforme ABNT NBR 6459/1984;
- Limite de Plasticidade, conforme ABNT NBR 7180/1984;
- Perda de Massa por Imersão, conforme DNER-ME 256/94;
- Adensamento, conforme ABNT MB-3336/1990.

Foi coletado solo que se encontrava em blocos soltos no interior da voçoroca (detalhe da figura 4.7), devido à falta de acessibilidade, com segurança, para sua retirada em profundidade. Estes foram mantidos indeformados no laboratório para preservação das características de campo. Para a realização dos ensaios de caracterização as amostras foram preparadas conforme a ABNT NBR 6457/1986.

Os demais materiais e equipamentos foram utilizados nos testes conforme suas respectivas normas, excetuando o ensaio de Perda de Massa por Imersão, cuja amostra, por não ter sido compactada, mas entalhada a partir do bloco de solo, demandou o uso do torno para a formação do corpo de prova e parafina para fixá-lo no molde para o ensaio.

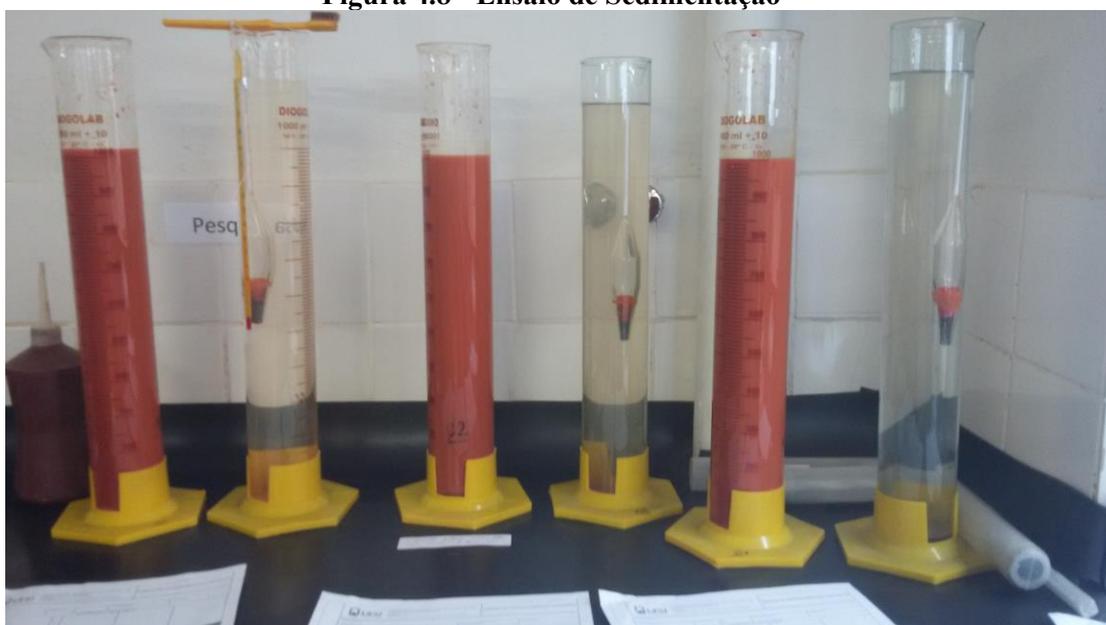
4.3 Métodos e procedimentos

Os ensaios foram realizados no laboratório de Geotecnia e Estradas do CAP (InfraGeo), sob supervisão do professor Me. Tales Moreira de Oliveira e acompanhamento dos técnicos Andréa e Robinson.

4.3.1 Granulometria

Este ensaio tem como objetivo identificar o tamanho dos grãos que compõe a amostra de solo e a partir disso classificar as porções de tamanho semelhante como pedregulho, areia, silte ou argila de acordo com diversos parâmetros como a ABNT NBR 6502/1995. A ABNT NBR 7181/1984 foi utilizada como instrução para os procedimentos realizados, sendo feitos os processos de sedimentação (figura 4.8) e peneiramentos fino e grosso para três amostras.

Figura 4.8 - Ensaio de Sedimentação



Fonte: Autores

4.3.2 Massa específica dos sólidos

O conhecimento da massa específica dos sólidos é fundamental para os cálculos dos resultados dos ensaios de granulometria e adensamento, para isso, foi realizado o ensaio respeitando as prescrições da ABNT NBR 6508/1984, bem como a calibração dos picnômetros utilizados no ensaio para quatro amostras.

Para esta etapa, os picnômetros cheios de água destilada permaneceram na geladeira até que o conjunto estivesse a 0°C, quando foi pesados e logo após levados ao aquecimento no bico Bunsen para que atingisse 5°C. Foi, então, efetuada a secagem de seu exterior e novamente pesados os conjuntos. Este procedimento foi repetido até que fosse atingida a temperatura de 40°C. Os respectivos valores de peso e temperatura de cada conjunto

foram compilados para a elaboração da curva de calibração da vidraria.

4.3.3 Limite de liquidez

O limite de liquidez informa sobre o teor de umidade de um solo argiloso que corresponde ao limite entre os estados líquido e plástico. O ensaio para tal determinação foi realizado seguindo as premissas da ABNT NBR 6459/1984.

4.3.4 Limite de plasticidade

O limite de plasticidade informa sobre o teor de umidade de um solo argiloso que corresponde ao limite entre os estados plástico e semi-sólido. O ensaio para tal determinação foi realizado seguindo as premissas da ABNT NBR 7180/1984 (figura 4.9). Esta norma também indica o cálculo do índice de plasticidade.

Figura 4.9 - Amostra fissurada no ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: Autores

4.3.5 Perda de massa por imersão

Para esta determinação foi seguida a DNER-ME 256/94, entretanto, não foram utilizadas amostras compactadas como prescrito na instrução, pois a intenção da realização deste ensaio era de medir a capacidade de desprendimento de grãos em campo (figura 4.11). Sendo assim foram esculpido corpos de prova dos blocos retirados do local da erosão (figura 4.10), respeitando as dimensões que eles deveriam ter se fossem compactados conforme a instrução e inseridos nos moldes para a realização do ensaio, sendo fixados com parafina na parte que não ficaria exposta.

Figura 4.10 - Corpo de prova esculpido para ensaio



Fonte: Autores

Figura 4.11 - Ensaio de Perda de Massa por Imersão



Fonte: Autores

4.3.6 Adensamento uniaxial

O ensaio foi realizado seguindo as recomendações da ABNT MB-3336/1990. A fim de comprovar a suspeita de o solo ser colapsível, o que ocorreria caso o solo rompesse quando efetuada a saturação da amostra. Foram utilizadas as tensões de 30, 60, 120 e 240 quilopascals no carregamento e posterior descarregamento para: 120, 60, 30 e 15 quilopascals, nesta ordem (figura 4.13). A primeira etapa de carregamento (30 quilopascals) realizada com o solo na umidade de campo e, as posteriores, com o solo saturado utilizando as entradas da célula de adensamento e uma bureta ligada a ela para a inundação da amostra, sendo aguardado o momento em que a água vazasse pela parte superior da célula evidenciando a saturação do corpo de prova (figura 4.12).

Figura 4.12 - Evidência da saturação do corpo de prova



Fonte: Autores

Figura 4.13 - Prensa de adensamento durante o ensaio



Fonte: Autores

5. Resultados e Discussão

5.1. Resultados

5.1.1. Massa específica dos sólidos

Foi obtido o resultado de 2,41% na determinação da umidade da amostra. Este valor, a equação de calibração dos picnômetros e os demais dados necessários como a temperatura foram utilizados para a determinação da massa específica dos sólidos, obtendo valor de 2,82 g/cm³. O critério de rejeição dos valores conforme a norma brasileira (NBR) 6508 diz para considerar apenas valores que não diferirem mais de 0,02 g/cm³ de sua média (ABNT, 1984).

Através da massa específica dos sólidos é obtido o peso específico relativo (G_s), quantificado pelo quociente do o peso específico dos sólidos, produto da massa específica dos sólidos e gravidade, pelo peso específico da água (10 kN/cm³) (equação 5.1):

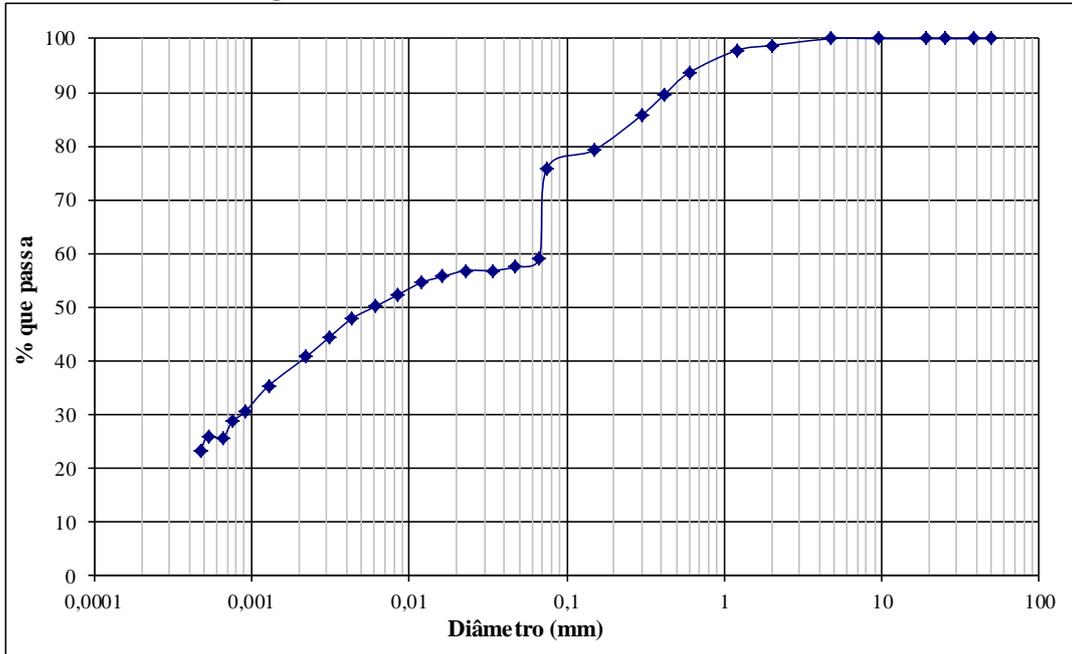
$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{2,82 * 9,81}{10} = 2,77$$

Equação 5.1

5.1.2. Granulometria

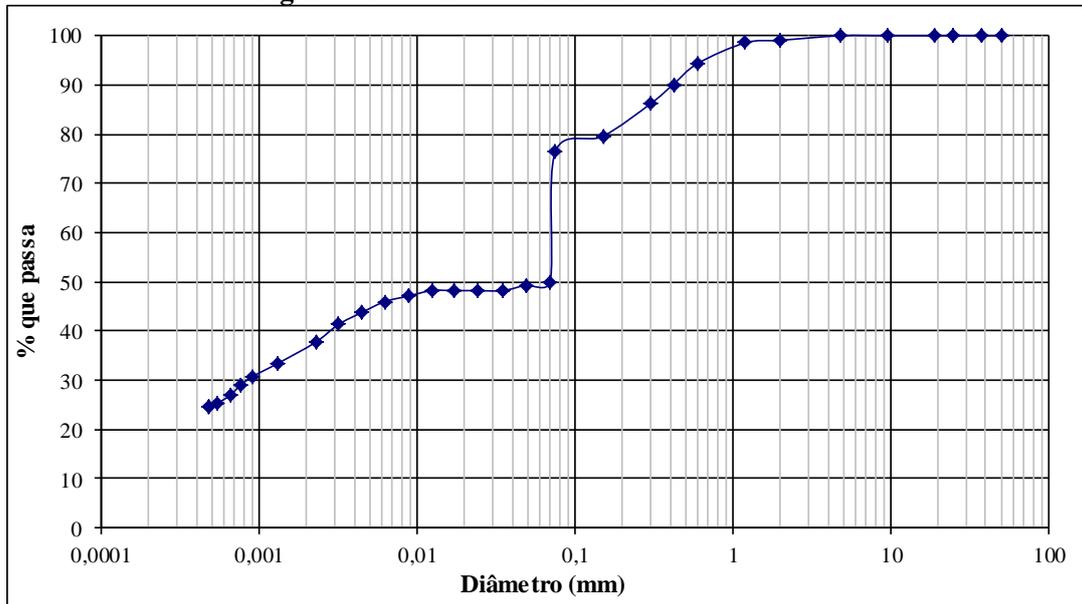
Através do ensaio de granulometria, que contempla sedimentação, peneiramento fino e peneiramento grosso, foi possível obter as figuras 5.1, 5.2 e 5.3, que apresentam a curva granulométrica das repetições, 1, 2, 3 respectivamente deste ensaio. As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam a composição de cada amostra em relação ao tamanho dos grãos, a primeira referenciando os parâmetros da AASHTO, e a segunda, da ABNT (1995).

Figura 5.1 - Curva Granulométrica - Amostra 1



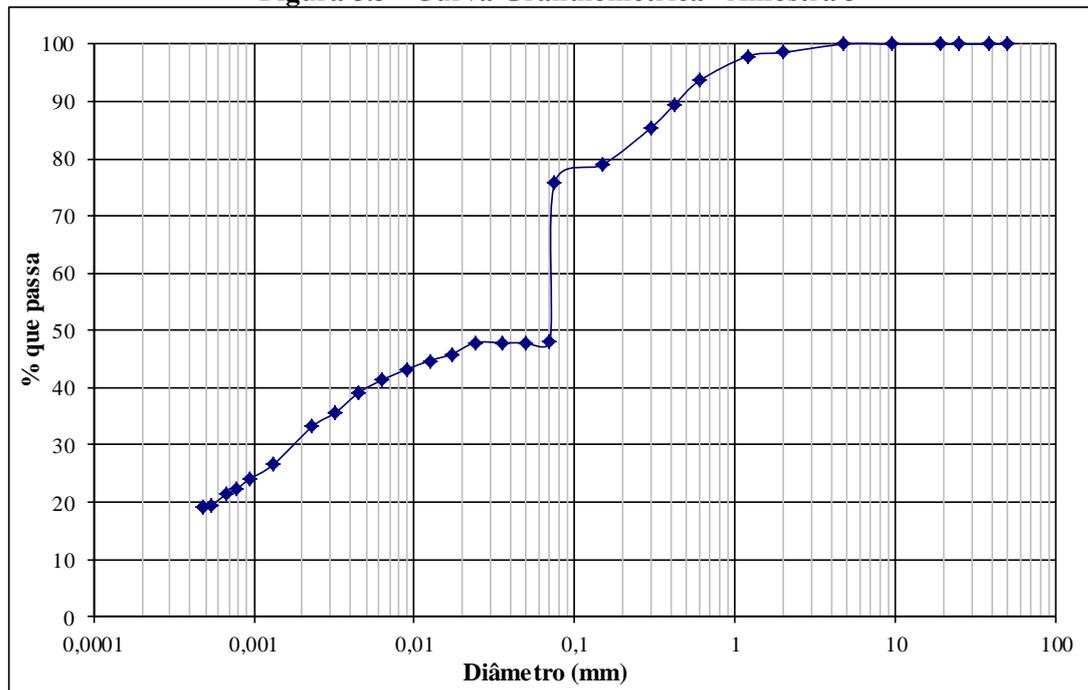
Fonte: Autores

Figura 5.2 - Curva Granulométrica - Amostra 2



Fonte: Autores

Figura 5.3 - Curva Granulométrica - Amostra 3



Fonte: Autores

Tabela 5.1 - Composição Granulométrica conforme a AASHTO

Classificação dos grãos	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Argila (%)	40	36	32
Silte (%)	36	41	44
Areia (%)	22	22	22
Pedregulho (%)	2	1	2

Fonte: Autores

Tabela 5.2 - Composição Granulométrica conforme ABNT (1995)

Classificação dos grãos	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Argila (%)	40	36	32
Silte (%)	18	14	16
Areia (%)	40	49	50
Pedregulho (%)	2	1	2

Fonte: Autores

Através da granulometria, é possível determinar três parâmetros importantes para o solo, sendo eles: diâmetro efetivo (D_{ef}), coeficiente de uniformidade (C_u) e coeficiente de curvatura (C_c). Os valores de referência para os parâmetros obtidos são $C_u < 5$ indica curva verticalizada e pouca variação de diâmetros (solo uniforme), $C_u > 15$ indica curva abatida e presença de muitos diâmetros diferentes (solo desuniforme), $5 < C_u < 15$ indica solo medianamente uniforme; $1 < C_c < 3$ indica solo bem graduado; $C_c < 1$ e $C_c > 3$ indica solo

mal graduado. Os resultados obtidos estão descritos na tabela 5.3, abaixo:

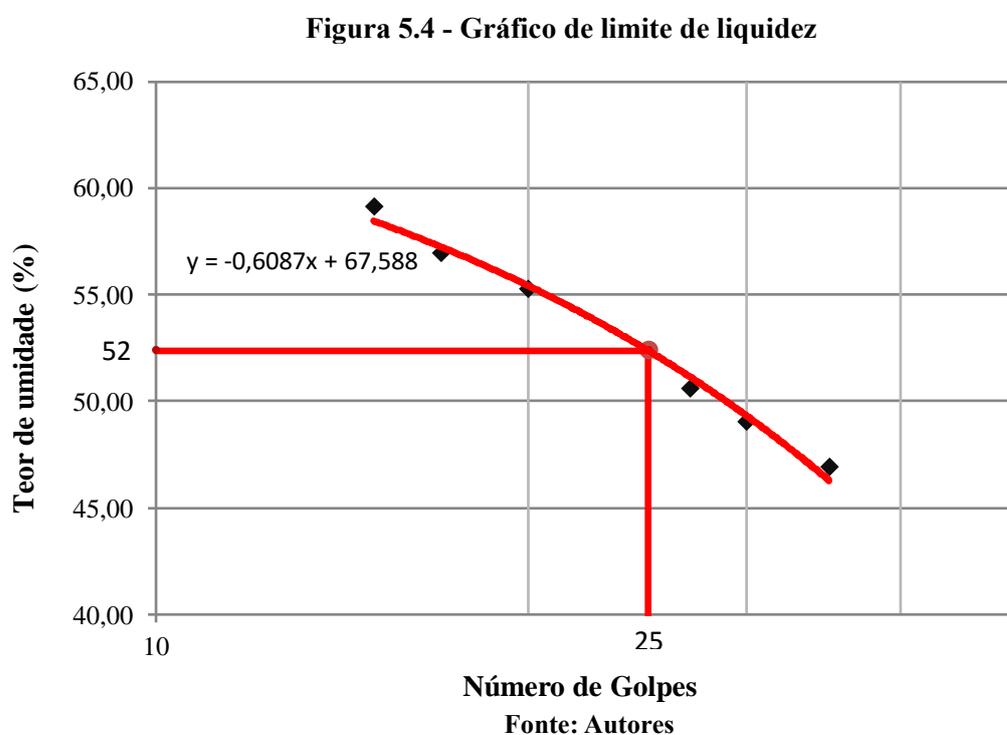
Tabela 5.3 - Parâmetros do Solo

Parâmetros do solo	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Diametro Efetivo	0,000195	0,000190	0,000225
Coef. Uniformidade	358,974	378,947	324,444
Coef. Curvatura	0,057	0,055	0,186

Fonte: Autores

5.1.3. Limite de liquidez

Após a compilação dos dados foi obtido o seguinte gráfico (Figura 5.4):



Pela equação de ajuste da reta é possível determinar o valor de umidade para 25 golpes, assim sendo de 52% o limite de liquidez (LL).

5.1.4. Limite de plasticidade

Assim como no ensaio de Limite de Liquidez, após a análise dos dados no Excel para a seleção dos dados a serem considerados, foi encontrado o valor de 33% para o limite de plasticidade (LP).

5.1.5. Índice de plasticidade

A realização do cálculo da diferença entre os valores de LL e LP informou o valor de Índice de Plasticidade (IP) de 19%.

A partir do índice de plasticidade e da porcentagem de argila presente no solo, neste caso a média das três determinações realizadas (36%), é determinado o Índice de Atividade do solo (equação 5.2), dado por:

$$A = \frac{IP}{\% \text{ fração de argila}} = \frac{19}{36} = 0,528$$

Equação 5.2

5.1.6. Perda de massa por imersão

Os resultados deste ensaio, juntamente com os respectivos parâmetros utilizados no cálculo são apresentados na tabela 5.4:

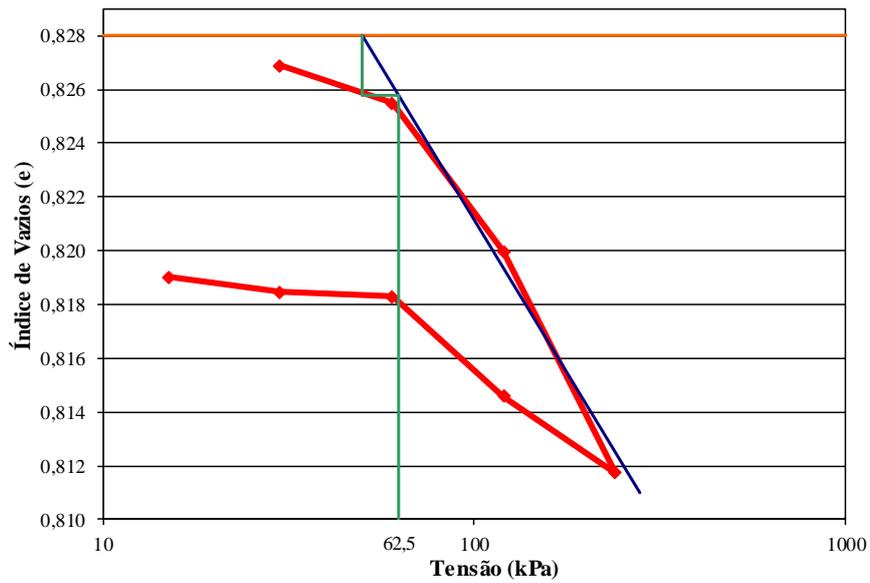
Amostra	1	2	3
Tara (g)	156,22	156,83	155,62
Massa Pote+Solo Seco (g)	156,41	157,13	155,94
Massa Solo Desprendido (g)	0,19	0,30	0,32
Perda de Massa por Imersão (%)	0,63	1,03	1,17
Perda de Massa por Imersão Média (%)	1,10		

Fonte: Autores

5.1.7. Adensamento uniaxial

A partir dos dados obtidos neste ensaio deles foi elaborado o gráfico mostrado na figura 5.5, nele, além da plotagem dos dados do ensaio, também contempla o método de Pacheco-Silva para a determinação da tensão de pré-adensamento.

Figura 5.5 - Tensão de Pré-adsensamento pelo método de Pacheco-Silva

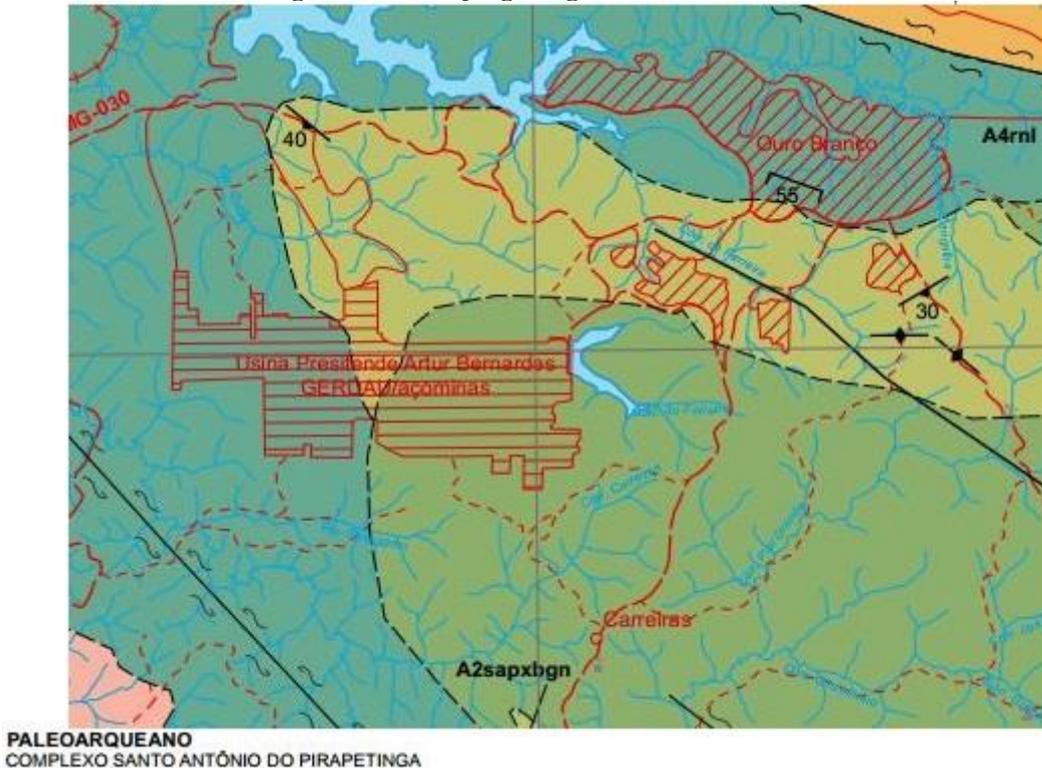


Fonte: Autores

5.1.8. Mapa geológico da região

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Serviço Geológico do Brasil, no mapa de classificação geológica datado de 2013, apresentado na figura 5.6, a composição geológica do local é:

Figura 5.6 - Mapa geológico - Ouro Branco - MG



Fonte: CPRM, 2013

Metamafitos e metaultramafitos: os metamafitos são anfibólio xistos cinza escuro, finos com tramas ígneas e tectura sugestiva de processos cumuláticos preservados (metabasaltos); os metaultramafitos são serpentinitos e talco xistos (A3sap); metautramafitos incluindo serpentinitos, talco xistos e ultramafitos também com evidências de processos cumuláticos (Ub). Dominio com intercalações de gnaisses bandado tipo TTG arqueanos no metamafito dominante (xbgn). Rocha básica cinza-escura, maciça ou discretamente foliada, granulação média a grossa, com fenocristais subedrais centimétricos de plagioclásio, representantes de magmatismo fissural (gb, gabro; db, diabásio) de idade incerta. (CPRM, 2013)

Tal composição apresenta rochas metamórficas, que dão origem aos gnaisses. O solo originado desta rocha apresenta predominância de silte e alto potencial erosivo de acordo com consulta ao geólogo Prof. Dr. Eduardo Marques.

5.2. *Discussão*

Analisando o quadro 5.1 (Das, 2006), que lista o peso específico relativo dos minerais mais comuns é notada a semelhança ao peso específico Relativo dos minerais Clorita, Biotita e Muscovita em relação ao peso específico relativo.

Quadro 5.1 – Peso específico relativo dos minerais comuns

Mineral	Peso Especifico Relativo, Gs
Quartzo	2,65
Caulinita	2,6
Ilita	2,8
Montmorilonita	2,65-2,80
Haloisita	2,0-2,55
Feldspato potássico	2,57
Feldspato sódico e cálcico	2,62-2,76
Clorita	2,6-2,9
Biotita	2,8-3,2
Muscovita	2,76-3,1
Hornblenda	3,0-3,47
Limonita	3,6-4,0
Olivina	3,27-3,7

Fonte: Das, 2006

A partir da obtenção da curva granulométrica, item 5.1.1, o solo foi classificado pelo método de tabelas da AASHTO, visto que se trata do mesmo solo foi usada a média entre

as três determinações. Conforme tabela 5.5, a classificação será A-7-5, caracterizando um solo argiloso, essa classificação indica solos com moderado índice de plasticidade em relação ao limite de liquidez, podendo ser altamente elásticos e sujeitos a elevadas mudanças de volume.

Tabela 5.5 – Parâmetros e classificação do solo segundo AASHTO

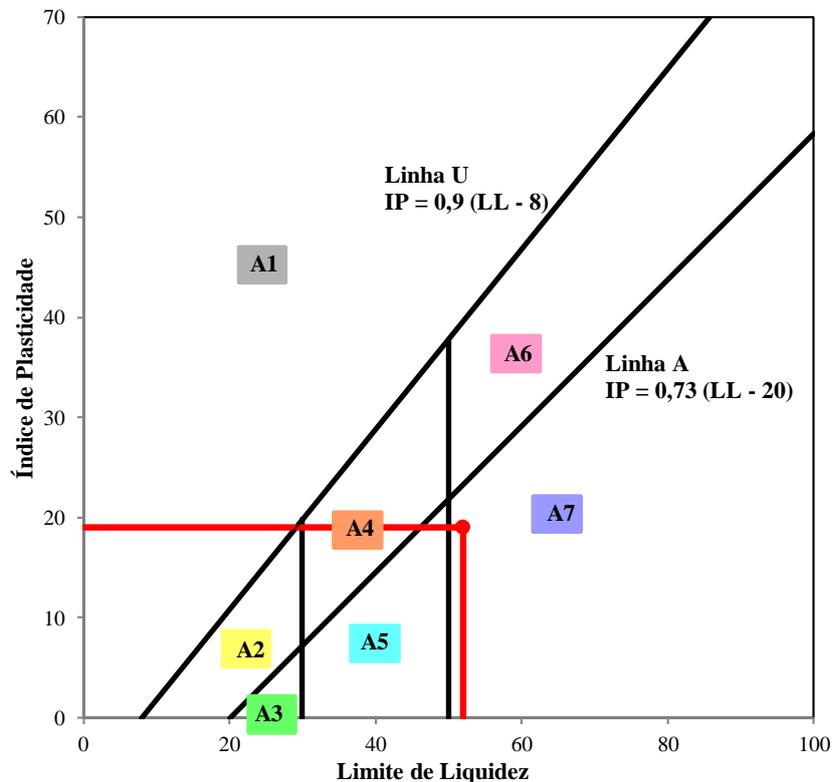
	#10 = 98,8%	LL = 52%
Porcentagem que passa	#40 = 89,7%	LP = 33%
	#200 = 75,4%	IP = 19%
Classificação AASHTO	A-7-5	

Fonte: Autores

Pela composição granulométrica indicada nas tabelas 5.1 e 5.2 foi possível perceber a diferença entre as classificações definidas pela AASHTO e ABNT (1995), de acordo com a primeira o solo é silto-argilo-arenoso, em divergência com a outra que o classifica como areno-argilo-siltoso. Estes parâmetros se diferem ao serem definidos o tamanho das partículas de silte e areia, sendo para a AASHTO, silte partículas de 0,002 mm a 0,075 mm, enquanto para a ABNT, esta faixa é de 0,002 mm a 0,06 mm. Como visto, o solo ensaiado apresenta grande concentração de partículas na faixa diferencial de 0,015mm entre elas.

O solo pode ser classificado de acordo com seu limite de liquidez através do gráfico de plasticidade (Das, 2006) (figura 5.7). De acordo com o gráfico, o solo foi caracterizado como silte inorgânico de alta compressibilidade e argila orgânica.

Figura 5.7 - Gráfico de plasticidade



LEGENDA	
A1	Solo sem coesão
A2	Argilas inorgânicas de baixa plasticidade
A3	Síltos inorgânicos de baixa compressibilidade
A4	Argilas inorgânicas de média plasticidade
A5	Síltos inorgânicos de média compressibilidade e síltos orgânicos
A6	Argilas inorgânicas de alta plasticidade
A7	Síltos inorgânicos de alta plasticidade e argilas orgânicas
	Solo ensaiado

Fonte: Adaptado Das, 2006

O índice de plasticidade é considerado um dos principais parâmetros na classificação de solos finos, segundo Burmister (1949¹¹ apud Das, 2006), o solo estudado é definido como de média plasticidade.

Com os valores do limite de liquidez, plasticidade e atividade, segundo Das (2006), o solo apresenta comportamento similar ao da haloisita desidratada.

¹¹ BURMISTER, D. M., 1949, *Principles and Techniques of Soil Identification*

Os resultados do ensaio de perda de massa por imersão, tabela 5.16, revelam que houve ínfimo desprendimento da massa de solo do corpo de prova. Tal resultado demonstra que a amostra recolhida em campo pertencia a porções argilosas do maciço.

No caso do ensaio de adensamento, onde havia expectativa de colapso do corpo de prova quando saturado, devido a suposição de que o solo seria colapsível, não foi obtido o resultado satisfatório, comprovando o resultado anterior de que a amostra se tratava de um bloco argiloso. Tais resultados divergem, em partes, da composição predominante na região, de acordo com o mapa geológico (item 5.1.7), por ser esperado resultado de solo siltoso e altamente erodível, mas não o contradiz completamente pois a composição indica a presença, também, de outras classificações de solo fino.

Como solução para o problema, após esta discussão, foi elaborado croqui de proposta de obra de contenção a ser executada na área onde, primeiramente deve ser efetuada a regularização do talude existente e construção de drenos laterais, a fim de evitar o despejo de águas pluviais na contenção (Anexos 1 e 2).

Como paramento, seriam executados muros de gabião apoiados no solo natural, com face jusante em forma de escada para amortecimento da energia da água, platôs de estabilização em solo cimento, com inclinação suficiente para direcionamento de água para os gabiões, e manta geotêxtil como material de transição para o não carreamento de finos para o interior das caixas permeáveis do gabião.

A jusante desta contenção seria instalado um colchão Reno com finalidade de amortecer e direcionar e dos efluente pluviais, além de conter sedimentos. A montante da erosão é necessário revitalizar as estruturas anteriormente existente e danificadas neste momento.

6. Conclusão

Conclui-se que, com o resultado dos ensaios de caracterização, que apontaram solo com alto teor de silte, o que concorda com o mapa geológico da região e sua interpretação.

Os demais ensaios realizados mostraram ter sido realizados com amostras argilosas e resistentes de solo. Entretanto, isto não vai contra a leitura do mapa geológico, visto que ele também sugere heterogeneidade no tamanho dos grãos de solo encontrado no maciço, apesar de indicar solo erodível. Maciel Filho et. al. (2011), afirma que apenas os resultados de ensaios geotécnicos não concluem sobre a erodibilidade de solos tropicais. No caso da granulometria, este tipo de solo, quando intemperizado tende a se agregar. E no caso da plasticidade a presença de oxi-hidróxido de ferro deixa o solo mais estável mesmo sem apresentar alta plasticidade.

O croqui proposto indica grande importância para a correta destinação da água e estabilização do maciço com estruturas flexíveis.

7. Recomendações

É importante que estudos mais aprofundados sejam feitos no local, como sondagens, elaboração da planta topográfica e a tentativa de retirada de um bloco indeformado de solo, bem como a repetição do ensaio de adensamento para maior confiabilidade dos resultados e que seja feito o dimensionamento do projeto utilizando dimensões atualizadas da erosão.

FERREIRA, G. A., SANTOS, C. M. dos; 2015, Estudo de Avaliação da Erosão no *Campus Alto Paraopeba*, Ouro Branco, Minas Gerais.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AASHTO - *AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS*, *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. MB 3336: Solo – Ensaio de Adensamento Unidimensional. Rio de Janeiro, 1990.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostra de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Rochas e Solo. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Grãos de Solo que Passam na Peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2006.

ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entre sulcos e estabilidade dos agregados, 2000.

ALMEIDA FILHO, G. S. de; TEIXEIRA FILHO, J. A importância da diferenciação dos processos erosivos lineares dos tipos ravina e voçoroca. In: SIMPOSIO DE RECURSOS

FERREIRA, G. A., SANTOS, C. M. dos; 2015, Estudo de Avaliação da Erosão no *Campus Alto Paraopeba*, Ouro Branco, Minas Gerais.

HIDRICOS DO NORDESTE, Natal, 2014.

AUGUSTO FILHO, O. Carta de Risco de Escorregamento: Uma Proposta Metodológica e sua Aplicação no Município de Ilhabela, SP. São Paulo, 1994. p. 172 Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

AUGUSTO FILHO, O; WOLLE, C.M. 1996. Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. Solos e Rochas – Revista Brasileira de Geotecnia (ISSN-0103-7021). v. 19., n.1, 1996.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. *In*: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. (Org.). Geologia de Engenharia. 1 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

BACELLAR, L. A. P. Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2000.

BURMISTER, D. M. *Principles and Techniques of Soil Identification. Proceedings, Annual Highway Research Board Meeting, National Research Council, Washington, D.C.* 1949.

CAMAPUM de CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; SOUZA, N. N. Processos erosivos no centro oeste brasileiro. Brasília, 2006.

CARNEIRO, C. D. R.; GONÇALVES, P. W.; LOPES, O. R. O ciclo das rochas na natureza. Terrae Didática. 2009.

CASTRO, S.S. de; XAVIER, L. de S.; BARBALHO, M. G. da S. (org.). Atlas Geoambiental das Nascentes dos Rios Araguaia e Araguinha – Condicionante dos Processos Erosivos Lineares. Goiânia: Secretaria do Estado do Meio Ambiente Recursos Hídricos de Goiás, 2004.

CONTI, A. Desenvolvimento de um modelo matemático transiente para previsão de escorregamentos planares em encostas. Rio de Janeiro, 2012.

DAS, B. M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. São Paulo: Thomson Learning,

FERREIRA, G. A., SANTOS, C. M. dos; 2015, Estudo de Avaliação da Erosão no *Campus Alto Paraopeba*, Ouro Branco, Minas Gerais.

2006.

DIKAU, R. *Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. Zeitschrift für Geomorphologie*, 1990.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 256/94 – Solos compactados por equipamento miniatura-determinação da perda de massa por imersão. 1994

ELLISON, W.D. *Soil detachment and transportation. Soil Conserv.*, 11:171-190, 1946.

FREIRE, E. S. de M. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. Construção, Rio de Janeiro, 1965.

GERSCOVICH, D. M. S. Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro, 2009.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Editora Blucher, 1983.

HUDSON, N. *Soil Conservation. Ithaca, Cornell University Press*, 1981. p. 324.

LAL, R. *Soil Erosion in tropics*. New York, McGraw Hill, 1990.

LOPES, S. L.; GUERRA, A. J. T. Monitoramento de Voçorocas por Satélite GPS em Áreas de Areia Quatzosa Podzolizada: Praia Mole, Florianópolis-SC. In: Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia, 2001.

MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER, A. V. Introdução à Engenharia Geológica. 4ª Ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2011.

MENDONÇA, J. K. S.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: Reflexões sobre a geografia física do Brasil. GUERRA, A. J. T. e VITTE, C. A. (orgs.) Rio de Janeiro, 2004.

PISANI, M. A. J. Características naturais e antrópicas agravantes nos processos de escorregamentos em encostas urbanas. Sinergia. São Paulo, 2003.

PRANDINI, L.F.; GUIDICINI, G.; BOTTURA, J.A.; PONÇANO, W.L.; SANTOS, A.R.

FERREIRA, G. A., SANTOS, C. M. dos; 2015, Estudo de Avaliação da Erosão no *Campus Alto Paraopeba*, Ouro Branco, Minas Gerais.

Atuação da Cobertura Vegetal na Estabilidade de Encostas: Uma Resenha Crítica. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, p. 38, 1976. (Relatório n. 1074).

REGO, J.J.V. Erosão Superficial em Talude de Corte em Solo Residual de Gnaisse. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1987.

RODRIGUES, B.B. Inventário e Análise de Susceptibilidade aos Escorregamentos de Massa Gravitacionais e Erosão na Região de Águas de Lindóia – SP – Escala 1:10.000. São Carlos, 1998. p. 163. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos.

RÖMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B.; NELSON, D.W. *Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v.41, n.5, 1977.

RUCHKYS, U. Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a Criação de um Geoparque da UNESCO, 2007, p. 64.

SHELBY, M.J. *Hillslope Materials and Processes*. Oxford University Press. 1993

USGS. Landslide types and processes. U.S. Department of the Interior. Fact Sheet 2004-3072. Jun, 2004.

VARNES, D. J., *Slope movement types and processes*. In Schuster, R. L. and Krizek, R. J. (Editores), *Landslides, Analysis and Control, Special Report 176: Transportation Research Board, National Academy of Sciences*, Washington, DC, 1978.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. *A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, 1971.

WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. *Relation of soil properties to its erodibility. Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 1969.