

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES EM ÁREAS DE  
RISCO NO MUNICÍPIO DE GUARAREMA-SP

João Paulo de Almeida Fernandes

Orientador: Prof. Dr. Edilson Pissato

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2011 / 25)

SÃO PAULO  
2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES EM ÁREAS DE  
RISCO NO MUNICÍPIO DE GUARAREMA-SP**

**João Paulo de Almeida Fernandes**



**Orientador: Prof. Dr. Edilson Pissato**

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF- 11/25)**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900030338

**SÃO PAULO  
2011**



TF  
F363  
JPA.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES EM ÁREAS DE  
RISCO NO MUNICÍPIO DE GUARARAMA-SP



João Paulo de Almeida Fernandes

Orientador: Prof. Dr. Edilson F. de Sá

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

1993

SÃO PAULO

1993

## Trabalho de Formatura 11/25

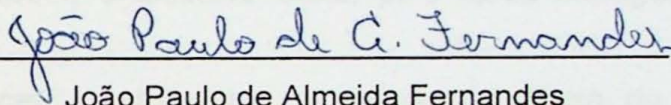
Título: Análise de estabilidade de taludes em áreas de risco no município de Guararema-SP.

Aluno: João Paulo de Almeida Fernandes

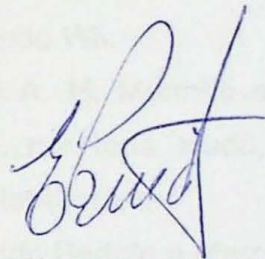
Orientador: Prof. Dr. Edilson Pissato

Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA)

De acordo,

  
João Paulo de Almeida Fernandes

Aluno



Edilson Pissato

Orientador

São Paulo, 07 de Novembro de 2011.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter estado ao meu lado durante todos estes anos de graduação, me orientando e me livrando dos maus caminhos. Ainda a Deus, agradeço por ter colocado em minha vida um anjo tão maravilhoso a quem posso chamar de mãe, sempre me dando forças e me inspirando, apesar das diversas dificuldades, e um "camarada" que me ensina tanto, que chamo de pai.

Não poderia deixar de agradecer ao meu professor, orientador e amigo Edilson Pissato, que sempre acreditou neste trabalho, mesmo quando tudo parecia dar errado, ou quando as 21:30 um bloco indeformado negava-se a ser talhado, agradeço por nunca deixar de acreditar e por sempre estar disposto a ajudar.

A todos aqueles que contribuíram com este trabalho, para que os objetivos deste fossem atingidos, meus sinceros agradecimentos, especialmente a:

Meus inestimáveis amigos da geologia, Henrique (Pereba), Diego (Lambe), Adnam (Placenta), Lyvia (Sarava) e todos que fizeram da turma 50 uma experiência inesquecível em minha vida, obrigado pela amizade e companheirismo.

Ao Gabriel (Mussum) e Gustavo Saka, pela ajuda impagável nos trabalhos de campo e de laboratório.

A todos moradores, ex-moradores e amigos da "Casa do Gonzo", Lucas (Sal Grosso), Lucas (Marmota), Pedro (P. Nenhuma), Danilo (Gonzo), Diego (Pescador), Fura, Guilherme (Solange), Victor (Pré-Pika), Vinicius (Rebitado) e Wesley, pelas divertidas "reuniões" e campeonatos de Nintendo Wii.

Ao Professor Dr. Fernando A. M. Marinho e aos Técnicos Joaquim e Antônio do Laboratório de Solos da EPUSP, por toda ajuda, conselhos, orientações e gentilezas oferecidas durante os trabalhos de laboratório.

Aos Professores Dr. Reginaldo Bertolo e Marcos Egídio, por mostrarem que ainda há pessoas de bom coração, que se prestam a ajudar seus alunos, dando-lhes a oportunidade de aprender, independente das barreiras e desafios, muitas vezes burocráticas. Suas atitudes nunca serão esquecidas por mim, muito obrigado.

Aos funcionários do Instituto de Geociências da USP, Henrique, Claudionor e o Sr. José da Gráfica, a Sandra e as outras meninas da Biblioteca, Dr. Fernando Saraiva e Paulinho do CEPAS, Marlene da seção de estágios e Marilda da seção de graduação, por todos favores que fizeram com muita competência e atenção, sou grato a todos vocês.

Por fim, a todos amigos e familiares que acompanharam de perto esta "caminhada", me incentivando e apoiando, principalmente a minha Irmã Fernanda, e minha futura esposa, Lais, por ter com muito carinho, apesar dos ciúmes durante as aulas de campo, compreendido a importância da geologia em minha vida. Muito obrigado a todos, e que Deus continue abençoando a vida de todos nós com amigos tão especiais.



## RESUMO

Dentre os desastres naturais, os escorregamentos são os responsáveis pelos maiores números de vítimas fatais e importantes prejuízos materiais em todo o Brasil. O município de Guararema, situado na porção leste da Região Metropolitana de São Paulo, apresenta muitas áreas susceptíveis a escorregamentos, tendo sido palco recentemente de graves acidentes geológicos.

O objetivo deste estudo foi caracterizar os tipos de movimentos de solos e rochas, através de sistemas de classificação consagrados, além da caracterização dos materiais constituintes dos taludes, sendo quantificada, quando possível, a susceptibilidade a escorregamento de alguns deles.

Os trabalhos realizados envolveram campanhas de campo para coletas de amostras e informações características de 6 taludes estudados. Em seguida as amostras foram encaminhadas a laboratório para determinação de propriedades e parâmetros físicos essenciais ao estudo de instabilidade, através de ensaios granulométricos, determinação dos índices de plasticidade, do peso específico natural e de ensaios de cisalhamento direto, que fornecem os valores de coesão e ângulo de atrito para alguns materiais.

As campanhas de campo mostraram que o município apresenta taludes com susceptibilidades a distintos tipos de movimentos de massa, podendo ser citados movimentos do tipo rastejo, escorregamentos tanto translacionais (ou planares), quanto rotacionais (ou circulares), escorregamentos de blocos de rocha com ruptura em cunha, quedas de blocos e movimentos complexos, formados pela combinação de dois ou mais tipos de movimentos, que podem gerar danos diretos a habitações e a malha viária de Guararema.

A partir dos resultados de laboratório, foram calculados fatores de segurança para dois taludes terrosos, sendo obtido um valor baixo para um talude que apresenta tendência a escorregamentos translacionais, e um valor intermediário a alto para outro talude que apresenta tendência a escorregamentos rotacionais.

Dentre os taludes rochosos, um apresenta maior tendência a instabilização, possivelmente rompendo em forma de queda de blocos.



## ABSTRACT

Among natural disasters, landslides are those responsible for the greatest numbers of fatalities and important material losses all over Brazil. The municipality of Guararema, placed on the east side of the metropolitan area of São Paulo, presents several areas subject to slips and has recently been the scene of serious geological accidents.

This study aims at describing the types of movement of soils and rocks, by means of consecrated grading systems, in addition to describing the constituting material of the embankments, by qualifying their susceptibility to landslide, whenever is possible.

The works performed comprised of field campaigns to collect samples and characteristic information of 6 embankments which were studied. Next, the samples were sent to the lab to determine essential properties and physical parameters to the instability study, by means of soil gradation tests, by determining the indexes of plasticity, natural specific weight and direct shear tests, which provide the values for cohesion and the angle of friction for some materials.

The field campaigns showed that the municipality presents embankments subject to different types of mass movement, some of which are crawling movements, both translational (or planar) and rotational (or circular) slips, block slide on wedge-shape, fall of ground and complex movements, formed by the combination of two or more types of movements, which can damage homes and the road network of Guararema.

Safety factors for two earthy embankments have been calculated from the lab results. It was obtained a low value for an embankment that is likely to translational slips, and an intermediate value for another embankment that is likely to rotational slips. Among the earthy embankments, one of them is more likely to instability, with possible fall of ground disruption.



# Sumário

Agradecimentos

Resumo

Abstract

1. Introdução .....	1
1.1 Localização da área de estudo .....	3
2. Metas e Objetivos .....	4
3. Geologia .....	5
3.1 Geologia Regional .....	5
3.2 Geologia Local .....	7
4. Fundamentação Teórica .....	10
4.1 Conceitos Fundamentais .....	10
4.2 Tipos de Movimentos de Massa .....	10
4.2.1 Rastejo .....	11
4.2.2 Escorregamentos .....	12
4.2.3 Queda de blocos .....	14
4.2.4 Tombamento de blocos .....	14
4.2.5 Rolamento de blocos .....	15
5. Fatores Condicionantes .....	16
5.1 Material Constituinte .....	16
5.1.1 Maciços terrosos .....	16
5.1.2 Maciços rochosos .....	16
5.2 Características Climáticas .....	17
5.3 Uso e ocupação do solo .....	17
6. Desenvolvimento do Trabalho .....	18
6.1 Trabalhos de campo .....	18
6.2 Trabalhos de Laboratório .....	19
7. Materiais e Métodos .....	20
7.1 Coletas de Amostras e dados de campo .....	20
7.2 Trabalhos de Laboratório .....	21
7.2.1 Ensaio de granulometria .....	21
7.2.2 Limites de Atterberg .....	24
7.2.3 Classificação dos solos segundo SUCS .....	25
7.2.4 Ensaio de cisalhamento direto .....	26
8. Resultados Obtidos .....	29
9. Considerações finais .....	39
10. Referências Bibliográficas .....	41



## Anexos

Anexo I – Curvas Granulométricas.....	I
Anexo II – Limites de Atterberg.....	VII
Anexo III – Ensaios de Cisalhamento Direto.....	XII
Anexo IV – Fichas de Campo.....	XIX



## 1. Introdução

Os escorregamentos são movimentos rápidos de materiais sólidos que recobrem as superfícies de vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação, induzidos diretamente pela ação da gravidade, fazendo parte dos chamados movimentos gravitacionais de massa (Infanti Jr & Fornasari Filho, 1998).

Estes processos estão presentes predominantemente nas regiões montanhosas e serranas em várias partes do mundo, principalmente naquelas onde predominam climas úmidos, constituindo um importante processo natural que atua na dinâmica das vertentes, fazendo parte da evolução geomorfológica destas regiões. (Tominaga *et al.*, 2009).

Observa-se que movimentos de solos e rochas tem sido objeto de amplos estudos nas mais diversas latitudes, não apenas por sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo, mas também em função de suas implicações práticas e de sua importância do ponto de vista econômico (Guidicini & Nieble, 1976), sendo que os primeiros estudos sobre escorregamentos remontam há mais de 2.000 anos (Augusto Filho & Virgili, 1998).

No Brasil, os escorregamentos são mais frequentes nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, frequentemente associados ao crescimento da ocupação urbana indiscriminada, que de maneira desordenada, ocupa áreas com alta susceptibilidade a escorregamentos, fazendo destes, dentre os desastres naturais brasileiros, os fenômenos responsáveis pelos maiores números de vítimas fatais e importantes prejuízos materiais (Tominaga *et al.*, 2009).

No município de Guararema, localizado no extremo leste da Região Metropolitana da capital paulista, as mais graves e numerosas situações de risco geológico e geotécnico estão associadas à ocorrência de escorregamentos em encostas, podendo estes fenômenos, de maneira rápida destruir casas, interditar estradas e tirar vidas humanas, como ocorrido em janeiro de 2010, onde as principais vias de acesso ao município foram interditadas e ao menos 04 (quatro) pessoas morreram soterradas, após escorregamentos de encostas no bairro de Ipiranga e na região central do município (Cirne, 2010).

As figuras 1, 2 e 3 ilustram os deslizamentos ocorridos no município em Janeiro de 2010, na época atribuídos aos grandes volumes de chuva no mês de dezembro, com precipitações de até 85,6 mm/dia. (Dados da Prefeitura Municipal de Guararema).

Sendo assim, o trabalho proposto apresenta uma temática atual, não só de âmbito técnico, mas também social, pois possibilita a criação de medidas preventivas e de segurança, que beneficiarão os moradores das áreas de risco a escorregamentos, sobretudo na prevenção de danos econômicos ou até mesmo às vidas humanas.





**Figura 01** – Cicatriz de escorregamento na Rua João Ramos. Imagens de Janeiro de 2010. Fotos: Prefeitura do Municipal de Guararema.



**Figura 02** – Cicatriz de escorregamento na Rua José Ramires, onde 4 pessoas morreram. Imagens de Janeiro de 2010. Fotos: Prefeitura Municipal de Guararema.



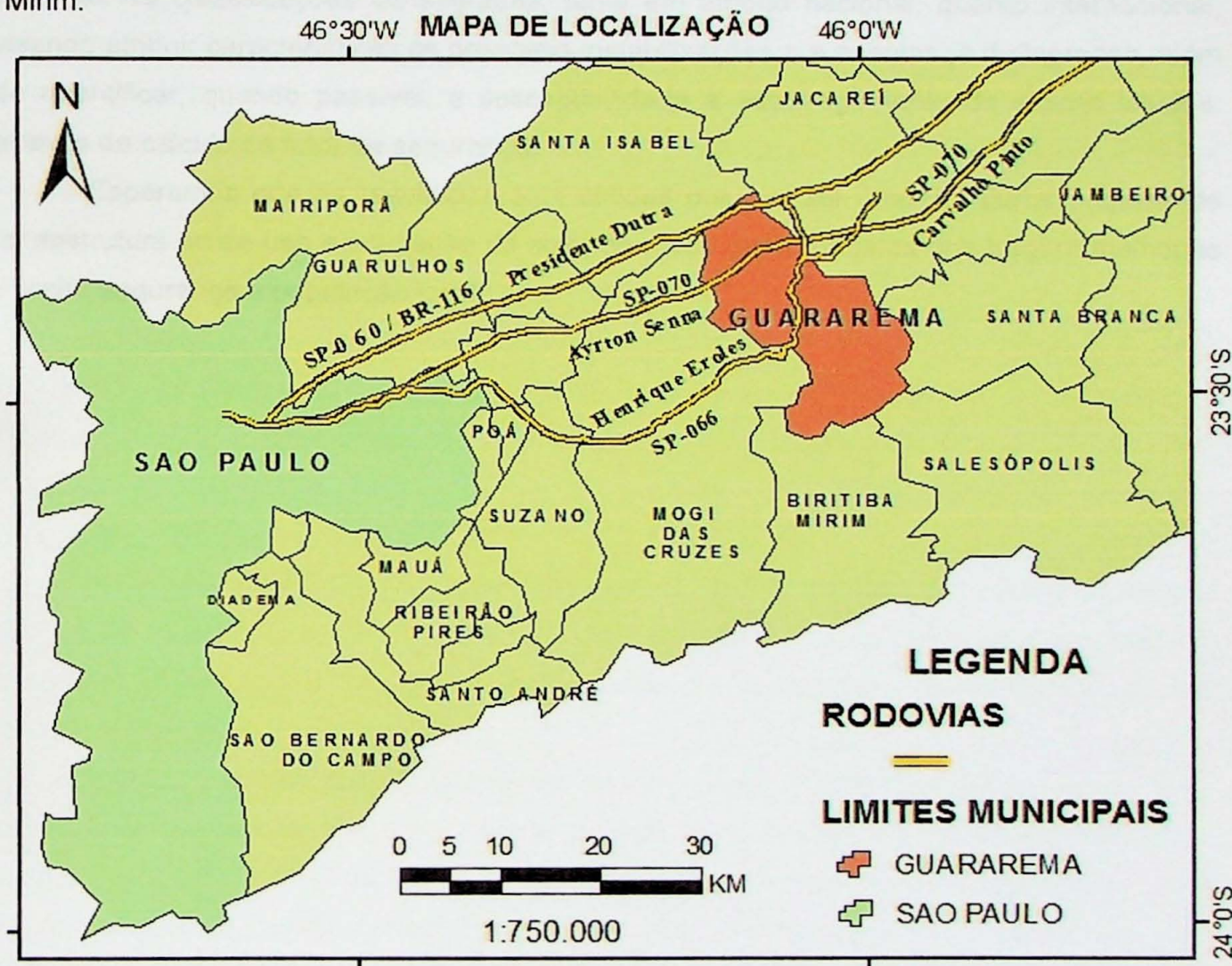
**Figura 03** – Cicatriz de escorregamento na Rua João Barbosa de Oliveira (Morro Branco). Imagens de Janeiro de 2010. Fotos: Prefeitura Municipal de Guararema.



## 1.1 Localização da área de estudo

A área de estudo corresponde a algumas encostas, inseridas no município de Guararema, o qual está localizado a aproximadamente 75 km da capital paulista, ainda fazendo parte da porção leste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Geograficamente, o município encontra-se no Vale do Paraíba, as margens do Rio Paraíba do Sul. Correspondendo a aproximadamente as coordenadas  $23^{\circ} 24' 39''\text{S} / 46^{\circ} 2' 26''\text{W}$  (Figura 04)

Guararema possui uma área de aproximadamente 271 km<sup>2</sup>, e faz fronteira com os municípios de Mogi das Cruzes, Santa Izabel, Jacareí, Santa Branca, Salesópolis e Biritiba-Mirim.



**Figura 04-** Mapa de localização e acesso ao Município de Guararema-SP.

O principal acesso ao município, a partir da capital paulista, se faz através da SP-070 (Rodovia Ayrton Senna da Silva, mudando de nome para "Governador Carvalho Pinto" a partir do km 61,3), seguindo-se nesta até a saída do km 69, onde se tem acesso a SP-066 (Rodovia Henrique Eroles), até a entrada de Guararema.



## **2. Metas e Objetivos**

A realização deste estudo, além de contribuir com o treinamento e aprendizado do aluno autor deste trabalho de formatura, procurou gerar dados a respeito dos tipos e padrões de escorregamentos ocorrentes na área urbana do município de Guararema.

Empregando conhecimentos geológico-geotécnicos no que se refere a estudos de estabilidade de taludes, pretendemos caracterizar os materiais constituintes de encostas, suas disposições nas mesmas, bem como determinar importantes parâmetros físicos, essenciais aos estudos de instabilizações.

Procurou-se também, classificar os tipos de movimento de massa através de sistemas de classificações consagradas, tanto em âmbito nacional, quanto internacional, visando atribuir características às possíveis instabilizações e a eventos já deflagrados, além de quantificar, quando possível, a susceptibilidade a escorregamento de alguns taludes, através de cálculo de fator de segurança.

Esperamos que os resultados aqui obtidos possam ser úteis a futuros projetos de infraestrutura ou de uso e ocupação do solo, de modo geral, projetos que tragam melhorias e maior segurança a população local.



### 3. Geologia

#### 3.1 Geologia Regional

Guararema se estabeleceu as margens do rio Paraíba do Sul, sobre a porção central da Província Mantiqueira, correspondente a Faixa Ribeira (FR), de evolução neoproterozóica (Almeida *et al.*, 1981), limitando-se a norte pela Faixa Araçuaí, de estruturação preferencialmente NNE, e a sul pelo Terreno Luiz Alves (pequena área cratônica), seguido da Faixa Dom Feliciano, que assim como a Faixa Ribeira, apresenta estruturação ENE (Alves, 2009).

Como pode ser visto no mapa geológico de Guararema (Figura 05), a porção central de seu território é cortada por uma faixa granítica (Granito Itapeti) de orientação ENE, enquanto na porção norte aflora a Formação São Paulo (Terciário/Quaternário) do Grupo Taubaté, ocorrendo logo abaixo desta, as rochas paragnáissicas e miloníticas do Complexo Embu, de idade neoproterozóica. Já na porção Sul, afloram ortognaisses e xistos psamíticos milonitizados, ainda do Complexo Embu, além de corpos graníticos neoproterozóicos, como Granito Santa Catarina e Granito Sabaúna, sendo o magmatismo granítico uma feição conspícua ao longo de toda a FR (Alves, 2009).

Segundo Alves (2009), os corpos graníticos da região, associados ao Complexo Embu afloram em um domínio geológico em forma de cunha, delimitado pelas falhas de Cubatão a sul e Taxaquara-Guararema a Norte, denominado pela autora como “Bloco Mogi das Cruzes”, todavia Fernandes 1991 apud Motidome 1992 admite rochas do Complexo Embu à sul da Falha de Cubatão.

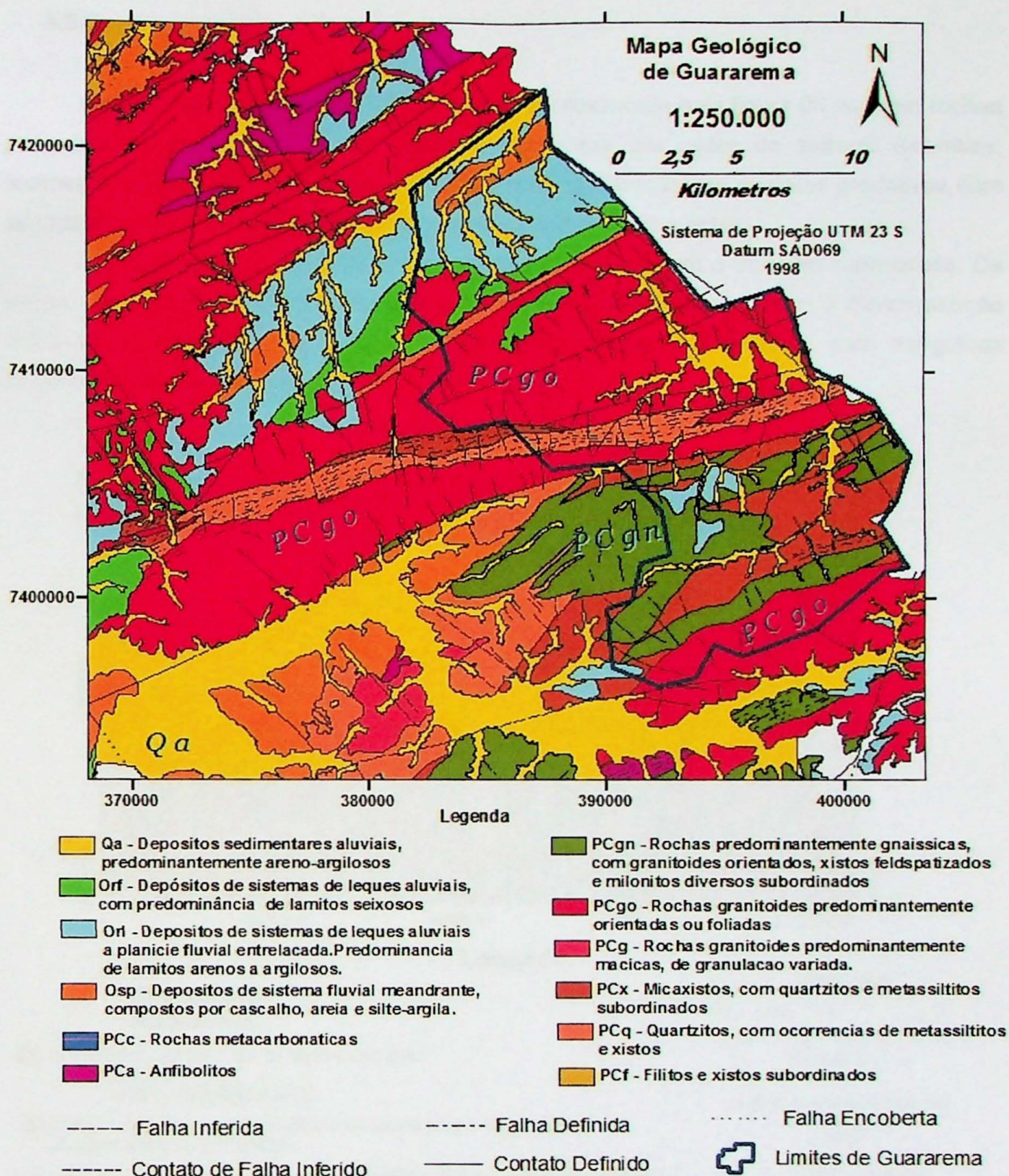
O Complexo Embu é a unidade mais expressiva de exposição, em extensão, da área em estudo, sendo formada, segundo Rodrigues (1998), por xistos, filitos, migmatitos, gnaisses migmatizados e corpos lenticulares de quartzitos, anfibolitos e rochas calciossilicatadas.

A área aqui estudada está inserida no que Alves (1975) chamou de Faixa Norte, compreendendo uma faixa que acompanha o curso do rio Paraíba do Sul, onde predominam gnaisses com ocorrências de xistos e migmatitos subordinados, correspondendo as rochas locais de mais alto grau metamórfico e apresenta características muito peculiares, com grandes lineamentos, ao longo dos quais são encontradas rochas blastomiloníticas que complicam a investigação das relações entre as diferentes rochas.

O autor ainda cita que tal dificuldade é agravada pela presença de dobramentos em escalas diversas, bem como pela falta de afloramentos e rochas frescas.

É importante citar que Rodrigues (1998) classifica o Complexo Embu como apresentando alta potencialidade a ocorrência de escorregamentos, principalmente nas exposições de litologias xistosas/ milonitizadas.





**Figura 05-** Mapa Geológico de Guararema-SP. Modificado de Coutinho (1980)

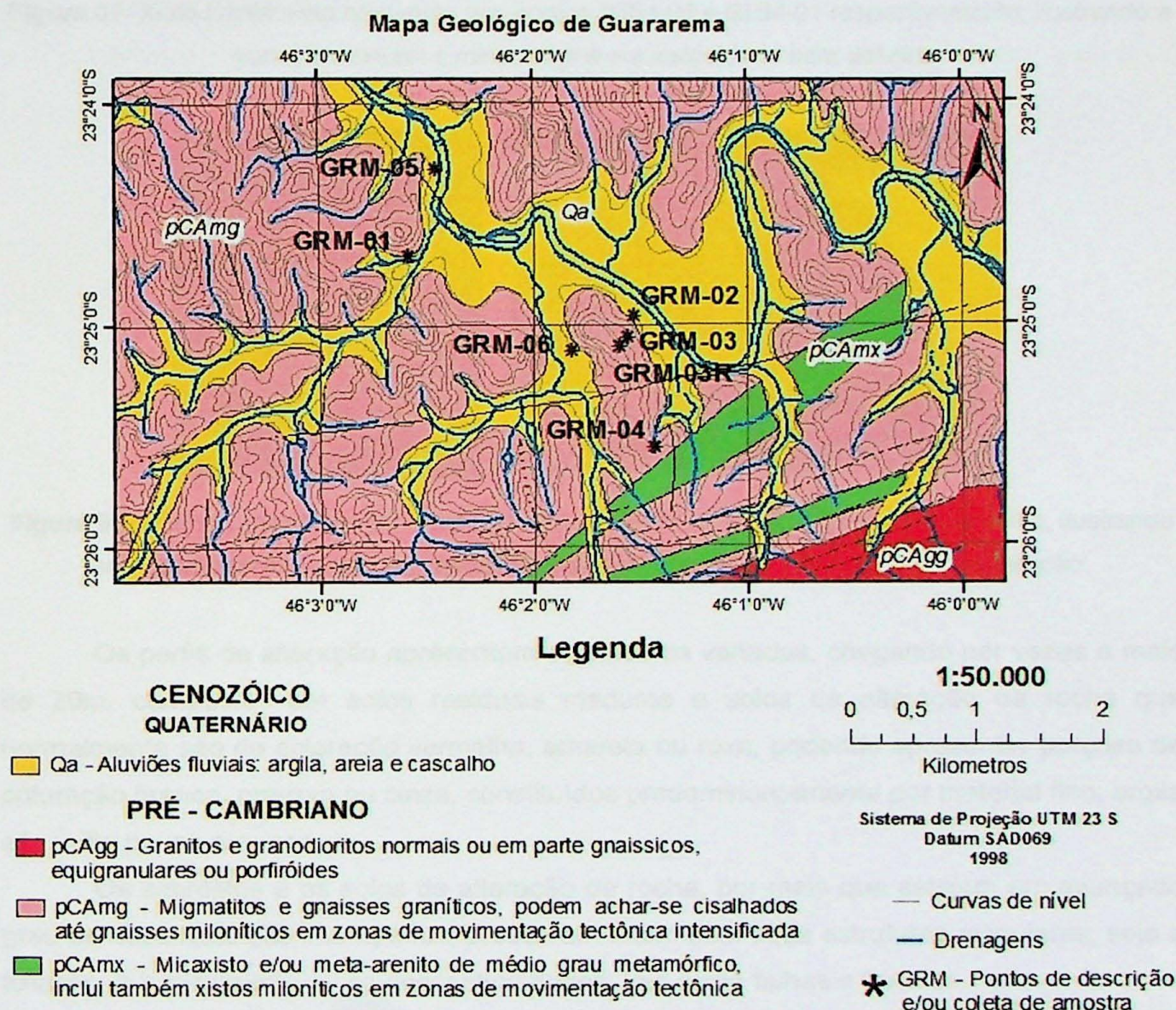
A área foco deste trabalho situa-se (em mapa) principalmente no domínio das rochas gnáissicas do Complexo Embu, onde está estabelecida a área urbana do município, e que apresenta encostas com declividades predominantemente superiores a 40% (EMPLASA, 1979), porém como já citado anteriormente, não deixa de apresentar variações litológicas.



### 3.2 Geologia Local

Como descrito por Alves (1975), na área representada pela figura 06 ocorrem rochas gnáissicas, com intercalações de xistos e migmatitos, por vezes de aspecto milonítico, finamente foliados, não sendo raras as vezes que os xistos fazem contatos gradativos com as outras rochas ou até mesmo predominam em certos afloramentos.

Não são apenas estas as observações condizentes com o trabalho supracitado. Os xistos, por exemplo, são bem foliados e apresentam cores variadas face à decomposição intempérica, tendo sua xistosidade variavelmente ondulada e dobrada, com mergulhos preferencialmente para Norte.



**Figura 06-** Mapa geológico em escala 1:50.000, com indicação dos pontos visitados durante os trabalhos de campo. Modificado de Emplasa, 1980.

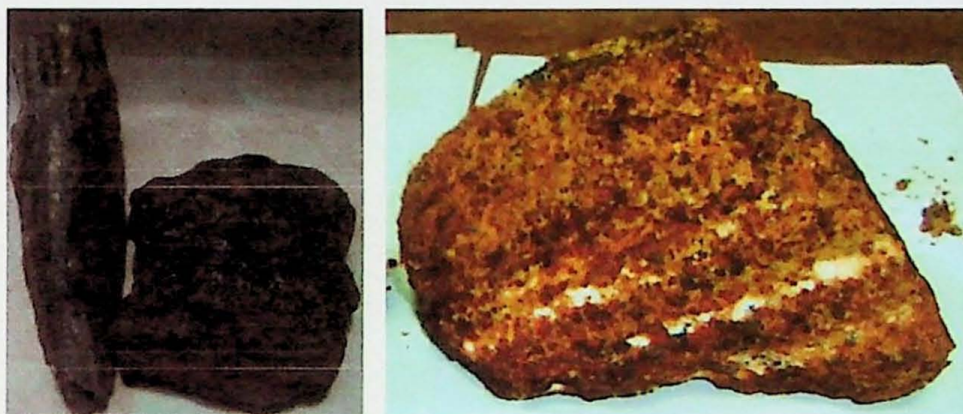
Os gnáisses reúnem características diversificadas, como seu bandamento e xistosidade. Seu aspecto ora é mais homogêneo, ora mostra alternância, não tendo mineralogia ou textura extensamente dominante. Em alguns afloramentos, a intercalação



com bandas de mica xistos fazem com que estes predominem, havendo também bandas pegmatóides, granitóides, quartzíticas e biotíticas.



**Figura 07-** Xisto / mica xisto aflorantes nos pontos GRM-05 e GRM-01 respectivamente, ilustrando a variação textural e mineralógica e a xistosidade bem definida.



**Figura 08-** Rochas gnáissicas aflorantes nos pontos GRM-02 e GRM-05 respectivamente, ilustrando seu bandamento e variação composicional, bem como diferença no grau de alteração.

Os perfis de alteração apresentam espessuras variadas, chegando por vezes a mais de 20m, compostos por solos residuais maduros e solos de alteração de rocha que normalmente são de coloração vermelha, amarela ou roxa, podendo apresentar porções de coloração branca, marrom ou cinza, constituídos predominantemente por material fino, argila e/ou silte pouco arenoso.

Os saprólitos e os solos de alteração de rocha, por mais que estejam em avançado grau de decomposição intempérica, preservam muito bem suas estruturas reliquias, seja a foliação, o bandamento ou as descontinuidades, tais como falhas e fraturas.

A figura 09 ilustra bem a presença de estruturas reliquias em blocos de solo de alteração de rocha, coletados no ponto GRM-03, sendo possível observar características como bandamento, foliação e sistema de juntas. No referido ponto, a presença destas estruturas e o avançado grau de alteração do material acentuam a susceptibilidade da encosta a deslizamentos.







## 4. Fundamentação Teórica

### 4.1 Conceitos Fundamentais

Os processos geológicos fazem parte da dinâmica natural do planeta, entretanto, com a intensificação das atividades humanas, dentre elas a ocupação de espaço para habitação, alguns processos geológicos passaram a ocorrer com maior frequência, expondo muitos aos então chamados riscos geológicos (Cerri & Amaral, 1998).

Cerri & Amaral (1998), definem o risco geológico como uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e a suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrências de processos geológicos, induzidos ou não. Assim, um fenômeno geológico pode ou não gerar perdas e danos.

Caso um fato já ocorrido registre consequências sociais e econômicas, ele é chamado de acidente, todavia, se não houver tais consequências, é denominado evento. Não tendo ocorrido nenhum fenômeno geológico em uma determinada área, esta pode ainda apresentar susceptibilidade, ou seja, a possibilidade da ocorrência de um evento (sem perdas e danos), ou apresentar risco, envolvendo assim a possibilidade de que o fenômeno seja acompanhado de perdas e danos. (Cerri & Amaral, 1998).

### 4.2 Tipos de Movimentos de Massa

Existem inúmeras classificações para os processos de movimento de massa, entre elas a proposta por Varnes (1978) (Figura 10), e a proposta por Augusto Filho (1992) (Figura 11), sendo a primeira mais utilizada internacionalmente, adotada inclusive pela IAEG (*International Association for Engineering Geology and the Environment*), enquanto a segunda é considerada a mais adequada para os casos brasileiros.

TIPO DE MOVIMENTO			TIPOS DE MATERIAL		
			ROCHA	SOLO (ENGENHARIA)	
				GROSSEIRO	FINO
QUEDAS			de rocha	de detritos	de terra
TOMBAMENTOS			de rocha	de detritos	de terra
ESCORREGAMENTOS	ROTACIONAL	Poucas unidades	abatimento de rocha	abatimento de detritos	abatimento de terra
			de blocos rochosos	de blocos de detritos	de blocos de terra
	TRANSLACIONAL	Muitas unidades	de rocha	de detritos	de terra
EXPANSÕES LATERAIS			de rocha	de detritos	de terra
CORRIDAS / ESCOAMENTOS			de rocha (rastejo profundo)	de detritos (rastejo de solo)	de terra
COMPLEXOS: Combinação de 2 ou mais dos principais tipos de movimento					

**Figura 10-** Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978). Modificado de <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/images/Fig3grouping-2LG.jpg>



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

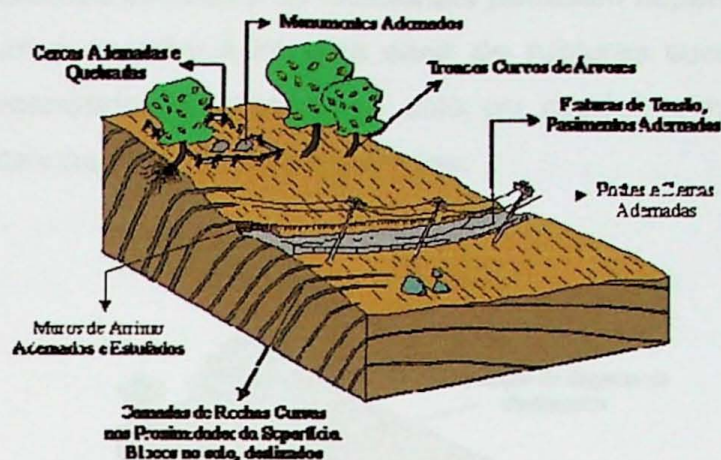
**Figura 11-** Características dos principais movimentos de encostas na dinâmica ambiental brasileira (Augusto Filho, 1992).

De modo geral as classificações baseiam-se na combinação de critérios básicos (velocidade, natureza do material instabilizado, geometria das massas movimentadas), possibilitando a associação de cada movimento com um conjunto de características, que ajudam a orientar proposições de medidas preventivas e corretivas (Augusto Filho & Virgili, 1998).

#### 4.2.1 Rastejo

Os rastejos são movimentos lentos e contínuos da massa de solo de um talude, com geometria não muito definida. Estes processos podem ser identificados através de indícios indiretos, como trincas no terreno natural, inclinação da vegetação ou “embarrigamento”, além do deslocamento de muros e outras estruturas (Infanti Jr & Fornasari Filho, 1998).





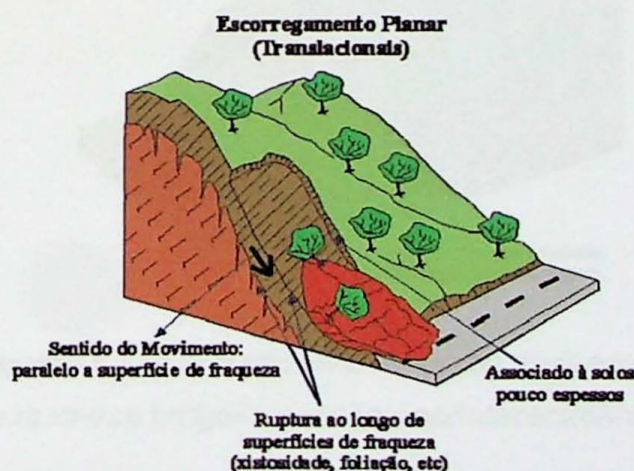
**Figura 12** - Processo de Rastejo e suas características. Retirado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09a.html>

#### 4.2.2 Escorregamentos

Os escorregamentos consistem no movimento rápido de massa de solo ou rocha, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Apresentam limites laterais e superficiais bem definidos, sendo identificados em função de sua geometria e natureza dos materiais instabilizados (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

De acordo com a geometria, os escorregamentos podem ser planares ou translacionais, circulares ou rotacionais e em cunha (Silva, 2010). A seguir são apresentados aspectos sobre os diferentes tipos de escorregamentos segundo Infanti Jr & Fornasari Filho, (1998).

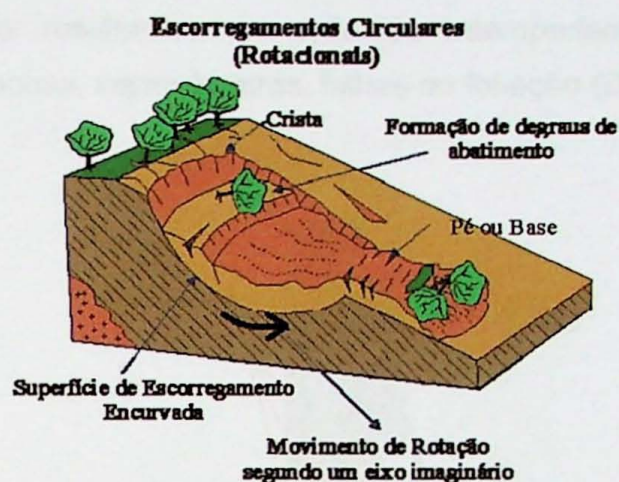
Os escorregamentos translacionais ou planares de solo envolvem solos superficiais, até o contato com a rocha subjacente, ou condicionado por estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, relacionados a feições geológicas, tais como foliação, xistosidade, fraturas ou falhas.



**Figura 13** – Escorregamento de solo do tipo planar ou translacional. Retirado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09b.html>



Os escorregamentos circulares ou rotacionais possuem superfícies de deslizamentos curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas sucessivas e combinadas. Geralmente estão associados a pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas.



**Figura 14** – Escorregamento de solo do tipo circular ou rotacional. Retirado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09c.html>

Os escorregamentos em cunha estão associados à saprolitos e maciços rochosos, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos, sendo mais comuns em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico.



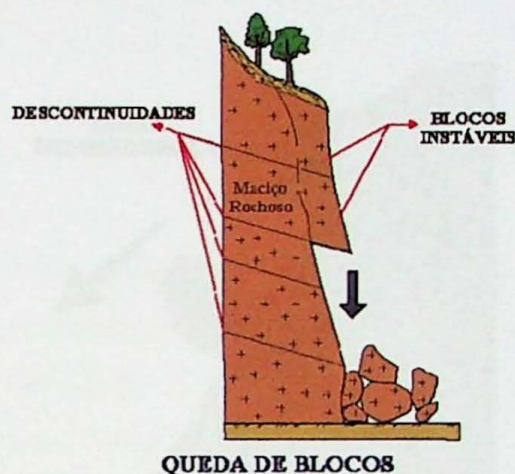
**Figura 15** – Escorregamento em cunha. Retirado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09d.html>



### 4.2.3 Queda de blocos

As quedas de blocos são movimentos rápidos envolvendo materiais rochosos de volume e litologias diversas, que se destacam de taludes ou encostas íngremes, em movimentos tipo queda livre (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

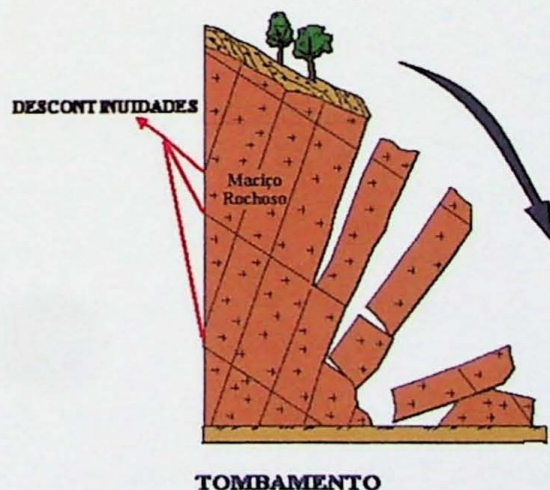
São movimentos resultantes da ação do intemperismo físico e químico nas descontinuidades das rochas, sejam fraturas, falhas ou foliação (Dias & Herrmann, 2002).



**Figura 16** – Quedas de blocos. Retirado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09e.html>

### 4.2.4 Tombamento de blocos

Os tombamentos são movimentos mais lentos que as quedas, ocorrendo em encostas íngremes de rocha com descontinuidades subverticais, geralmente em taludes de corte (Silva, 2010).

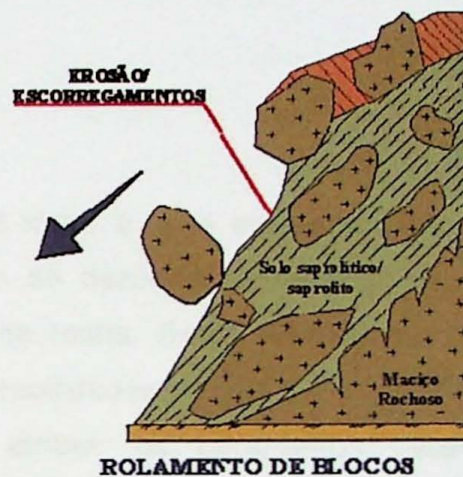


**Figura 17** – Tombamento de blocos. Retirado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09f.html>



#### 4.2.5 Rolamento de blocos

Outros processos que envolvem afloramentos rochosos são o rolamento de blocos e o deslocamento. O primeiro corresponde a movimentos de blocos rochosos ao longo de superfícies inclinadas, por consequência da perda de apoio por processos erosivos ou por escavação. O segundo consiste no desprendimento de lascas ou placas de rocha que se formam a partir de estruturas (xistosidade ou acamamento por exemplo), devido variações térmicas ou por alívio de tensão (Infanti Jr & Fornasari Filho, 1998).



**Figura 18** – Tombamento de blocos. Retirado de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09f.html>



## **5. Fatores Condicionantes**

A instabilização de taludes e encostas é controlada por uma série de fatores, alguns agindo de maneira mais direta e imediata que outros. Na literatura, encontram-se dentre os fatores mais determinantes as características climáticas, características do uso e ocupação do solo, características geomorfológicas (inclinação, amplitude, forma do perfil da encosta) e material constituinte do talude.

Dentre os fatores citados pode-se observar, em Guararema, a atuação de diversos deles, sendo os mais importantes descritos a seguir:

### **5.1 Material Constituinte**

#### **5.1.1 Maciços terrosos**

Como dito na geologia local, a área em estudo apresenta horizontes pedológicos bastante espessos, da ordem de dezenas de metros, se considerarmos o solo resíduo coluvionar e o de alteração de rocha. Estas grandes porções de solo geram zonas de diferentes resistências e permeabilidades (Augusto Filho & Virgili, 1998).

Aos solos podemos atribuir os parâmetros determinantes da resistência ao cisalhamento (ângulo de atrito e a coesão), variáveis com o grau de saturação do solo, além de uma série de parâmetros e propriedades que influenciam, direta ou indiretamente, na susceptibilidade a movimentos de massa e ao tipo de mecanismo da instabilização.

Nos solos de alteração de rocha, podemos observar as estruturas reliquias, como ilustrado na figura 09, responsáveis por grande parte da formação dos planos de ruptura, ou apenas superfícies que facilitam a percolação de água e o avanço do intemperismo físico e/ou químico.

#### **5.1.2 Maciços rochosos**

De modo geral, os maciços rochosos são mais estáveis do que os terrosos, suportando geometrias mais acentuadas, porém quando tratamos de taludes de escavação (caso dos pontos GRM-06 e GRM-05), o alívio de pressão sofrido pelo maciço, bem como a sua exposição direta aos processos intempéricos, acabam por criar condições que podem agravar a estabilidade do maciço.

Dentre as características de um maciço rochoso, podemos dizer que as estruturas ou descontinuidades geológicas constituem as principais condicionantes dos mecanismos e geometrias das instabilizações, pois assim como as estruturas reliquias nos solos de alteração de rocha, as falhas, fraturas e foliações de um maciço, geram zonas de maior percolação de água e zonas de alteração preferenciais (Augusto Filho & Virgili, 1998).



## **5.2 Características Climáticas**

As características climáticas se relacionam diretamente ao tipo e intensidade do intemperismo e erosão que atua em uma região, sendo os agentes mais notáveis a temperatura e principalmente a pluviosidade (quantidade de chuva).

Segundo Augusto Filho & Virgili (1998), as chuvas atuam como o principal agente não-antrópico na deflagração de escorregamentos no Brasil, não sendo rara a correlação destes eventos com épocas chuvosas, como ocorrido em Guararema em Janeiro de 2010, uma vez que o período chuvoso do município se estende de Dezembro a Fevereiro.

A chuva interfere de diversas maneiras em relação ao solo, pois durante chuvas intensas, a água satura o solo levando a uma diminuição ou desaparecimento da pressão de sucção ou coesão aparente, além de exercer sobrecarga e criar um nível de água entre um meio mais permeável sobre um meio menos permeável, como por exemplo, na interface do solo com a rocha fresca (Silva, 2010).

## **5.3 Uso e ocupação do solo**

Pode-se dizer, neste item, que a interação do homem como agente transformador da paisagem, o torna um dos responsáveis por instabilizações de maciços, seja qual for o motivo de sua intervenção.

A busca por espaço, principalmente em grandes cidades, levam muitas famílias, a maioria em condições sociais precárias, a ocuparem encostas que apresentam uma grande susceptibilidade a escorregamentos. Deste modo há a construção de moradias que geram sobrepeso no terreno, além de ser comum a deposição de detritos de origens diversas, e o lançamento de águas servidas diretamente sobre a superfície da encosta, ou em fossas, prejudicando assim as características geomecânicas dos maciços.

A situação descrita acima foi observada no ponto GRM-03, onde há dezenas de moradias sem sistema de esgoto apropriado.

O desmatamento de taludes e encostas é outro problema na questão de instabilizações.

Se por um lado a retirada da vegetação contribui para a aceleração de processos erosivos, rápida saturação do solo e consequente diminuição de sua resistência ao cisalhamento, a presença de vegetação pode trazer também efeitos desfavoráveis, tais como efeito alavanca (quando a copa da árvore é atingida por fortes ventos), efeito cunha (pressão lateral causada pelas raízes ao penetrar em fendas e fissuras) e sobrecarga vertical devido ao peso das árvores.



## 6. Desenvolvimento do Trabalho

A elaboração do presente trabalho seguiu diversas etapas, sendo algumas delas descritas sucintamente a seguir.

O quadro abaixo apresenta o cronograma de atividades realizadas na elaboração do trabalho:

Atividades	Cronograma de Atividades									
	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
Revisão Bibliográfica										
Projeto Inicial (PI)										
Elaboração de material auxiliar as visitas de campo										
Coleta de amostras de solo										
Coleta de dados auxiliares										
Trabalhos de Campo										
Ensaio de granulometria										
Limites de Atterberg										
Ensaio de Cisalhamento										
Tratamento dos Dados										
Relatório de Progresso (RP)										
Interpretação dos Resultados										
Monografia Final (MG)										

Figura 19- Cronograma de Atividades Realizadas.

### 6.1 Trabalhos de campo

Para coleta de dados e reconhecimento da área, foram realizadas 03 viagens ao município de Guararema, as quais compreenderam os dias 17 e 20 de Junho e o dia 09 de Julho.

Na primeira visita de campo, houve o reconhecimento da área, definição das áreas a serem estudadas, observações de condicionantes à instabilizações, evidências de movimento de massa e prováveis riscos aos quais as áreas estão sujeitas.

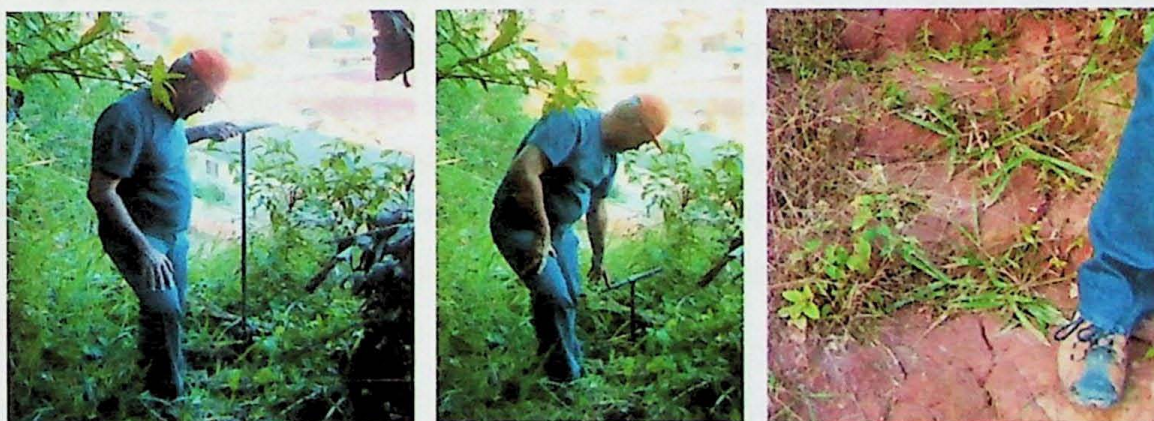


Figura 20- Observação de evidências de movimentos de massa, como degrau de abatimento no ponto GRM-03 e Rachaduras no topo do talude do ponto GRM-04.



A segunda visita teve como foco a coleta e descrição dos solos e litotipos constituintes de cada ponto de estudo, assim como a medição de estruturas e descontinuidades, quando possível efetuá-las. Neste dia, as coletas foram de amostras deformadas, 07 ao todo, havendo uma tentativa, mal sucedida, de coleta de bloco indeformado, necessário ao ensaio de cisalhamento direto.

Por fim, a última campanha realizada, teve por objetivo a coleta de blocos de amostras indeformadas, sendo possível a coleta de duas. Uma representativa do solo eluvial (residual maduro), coletado no talude da Rua João Ramos (ponto GRM-01), outro representativo de solo de alteração de rocha (SAR), esta de estrutura bandada/foliada, coletada em escavação no ponto denominado GRM-03R, localizado na Rua Judith Walton, bem como uma amostra deformada do entorno de cada bloco, a fim de caracterização do material a ser ensaiado.

É importante ressaltar que os taludes estudados foram definidos devido a características peculiares, tais como dimensões, tipo de movimentação apresentada e presença de elementos de risco, sejam importantes vias de acesso ou residências.

O ponto GRM-04, pretendia ilustrar um corte subvertival em maciço terroso, com rachaduras no topo do talude, porém o acesso à face do talude e a coleta de amostras necessitavam de autorização do proprietário do terreno, que não a concedeu.

## **6.2 Trabalhos de Laboratório**

Após a coleta de dados e amostras, iniciaram-se as análises e ensaio das mesmas junto ao laboratório de solos do departamento de engenharia civil da Escola Politécnica da USP.

Os trabalhos foram realizados ao longo do mês de julho até o início do mês de agosto, período no qual foi possível a realização de 09 ensaios de cisalhamento direto, 09 análises granulométricas por peneiramento e sedimentação, incluindo a determinação da umidade higroscópica e densidade dos grãos, além da determinação dos índices de consistência, ou Limites de Atterberg, de 07 amostras de solo.

Nos ensaios de cisalhamento direto foram utilizadas três cargas normais 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa, em cada amostra, necessárias a determinação da envoltória de Coulomb.

Devido à foliação bem marcante na amostra GRM-03R, foram realizados ensaios nos quais o cisalhamento se dava paralelamente a foliação e ensaios com cisalhamento perpendicular a foliação.



## 7. Materiais e Métodos

Este capítulo ilustra e descreve os procedimentos e métodos adotados, além dos materiais e equipamentos utilizados nas diversas etapas deste estudo.

### 7.1 Coletas de Amostras e dados de campo

Durante os trabalhos de campo foram coletadas amostras deformadas, amostras indeformadas e medidas estruturais em cada ponto descrito.

Os pontos descritos foram enumerados em ordem crescente seguindo-se o a notação GRM-(n° do ponto), assim como as amostras coletadas neles, podendo receber o acréscimo de alguma letra, exemplo A, B, quando detalhado ou amostrado mais de uma vez em uma mesma encosta ou talude.

A localização de cada ponto de descrição foi tomada por meio de um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) modelo Etrex da marca GARMIN, e as coordenadas anotadas seguiram o sistema UTM (Sistema Universal Transverso de Mercator).

As amostras deformadas foram coletadas com o auxílio de trado tipo holândes, em profundidades de até 1,5m, e armazenadas em sacos plásticos.

Para a coleta das amostras indeformadas, seguiu-se um roteiro de trabalho elaborado pelo professor Dr. Fernando A. M. Marinho, baseado nas instruções dispostas na norma NBR 9604 (1986), ilustrando e descrevendo as seguintes etapas:

- Escavação da área ao redor do bloco a ser retirado;
- Talhagem cuidadosa do bloco, para que fique nas dimensões desejadas (25cm x 25cm x 25cm), lembrando de deixar um espaço de 25mm entre o bloco e a caixa de madeira que o envolverá;
- Revestimento do bloco e do interior da caixa de madeira com papel alumínio para se evitar perda de umidade e colagem do bloco com as paredes da caixa;
- Revestimento do bloco com tela ou pano, aumentando a resistência mecânica das futuras paredes de parafina;
- Colocação de parafina derretida, após envolver o bloco com a caixa de madeira;
- Aguardar o endurecimento da parafina;
- Talhar a base do bloco e revesti-la com papel alumínio, tela e parafina, para que sejam parafusadas a base e o topo da caixa;
- Coleta de material deformado, representativo do bloco, para ensaios de caracterização.



Para a coleta de dados estruturais, foi utilizada uma bússola tipo brunton, com a qual mediu-se, quando possível, as atitudes de foliações e descontinuidades estruturais nos maciços.



**Figura 21** – Bloco indeformado durante talhagem em campo (A), Blocos indeformados revestidos por parafina (B). Foto B: Laboratório de solos da EPUSP

## **7.2 Trabalhos de Laboratório**

Após a coleta das amostras em campo, estas foram encaminhadas ao laboratório de solos da Escola Politécnica da USP, onde com a orientação dos técnicos responsáveis, foram executados os ensaios de granulometria, o de cisalhamento direto e a determinação dos índices de consistência, ou limites de Atterberg, como também são chamados.

### **7.2.1 Ensaios de granulometria**

O ensaio de granulometria é um método utilizado para se determinar a distribuição granulométrica de determinado solo, ou seja, a percentagem em peso que cada faixa especificada de diâmetro de grão representa na porção total do solo ensaiado.

Os resultados deste ensaio podem ser apresentados em forma de tabelas, ou graficamente, comumente através de curva de granulometria (apresentadas no Anexo I).

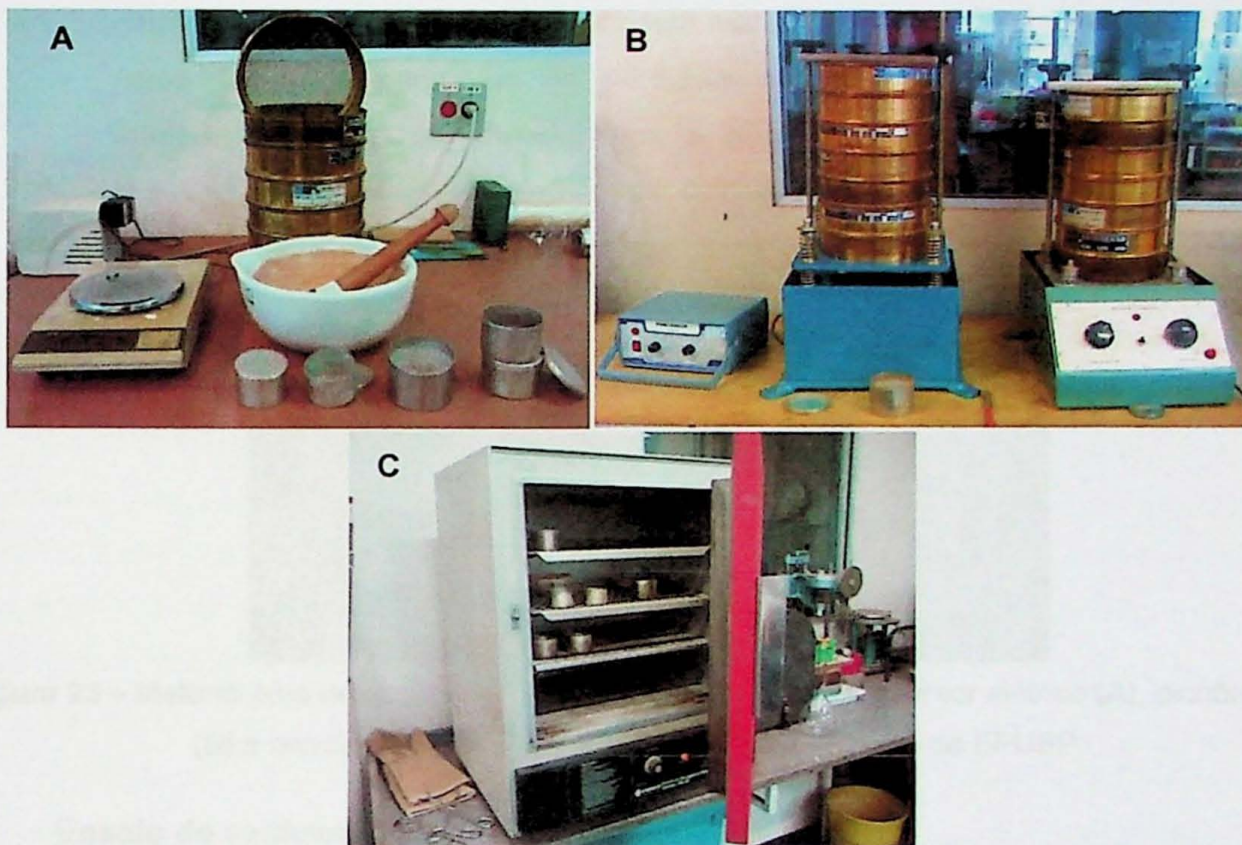
Para o bom andamento e garantia da veracidade dos dados obtidos, os ensaios aqui apresentados seguiram as os procedimentos e orientações de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cito NBR 6457, na preparação das amostras de solo para ensaio, NBR 7181, na análise granulométrica e NBR 6508 na determinação da densidade dos grãos.

De maneira resumida, os ensaios seguem as seguintes etapas: preparação das amostras, peneiramento dos grossos, determinação da umidade do solo, determinação da densidade dos grãos e sedimentação, descritos a seguir.



### Preparação das amostras e peneiramento grosso

- Seca-se determinada quantidade de solo ao ar, desmancham-se os torrões com o auxílio de um almofariz e de uma mão de gral recoberta por borracha, homogeneiza-se o material, e pesa-o;
- Peneira-se todo material na peneira #10 (2,00mm), coletando em cápsula de alumínio, a fração retida para peneiramento grosso;
- O material grosso é lavado, secado em estufa, pesado novamente, peneirado em um conjunto de peneiras com aberturas de ( $\varnothing$  mm): 50, 38, 25, 19, 9,5 4,5 e 2, pesando-se ao final, a fração retida em cada peneira.



**Figura 22** – Material para preparação das amostras e peneiramento: **A)** Peneiras, almofariz, mão de gral, cápsulas de alumínio e balança de precisão; **B)** Agitadores de balança; **C)** Estufa.

Fotos: Laboratório de solos da EPUSP

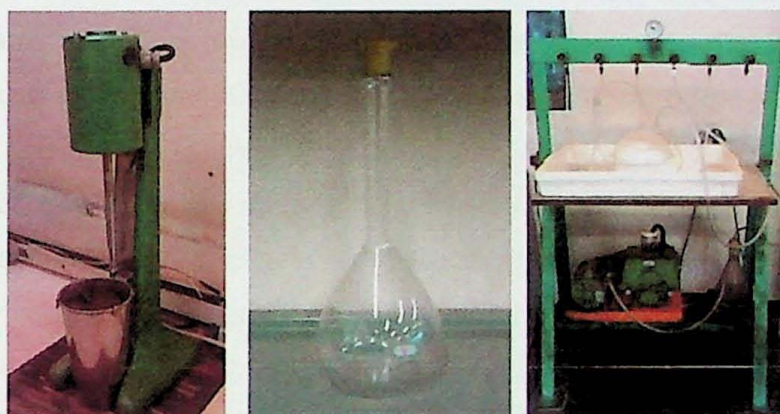
### Determinação da umidade do solo

- Do material que passou na peneira #10, retira-se uma cápsula para o ensaio de sedimentação, duas cápsulas para determinação do teor de umidade do solo, e duas cápsula para a determinação da densidade dos grãos, pesando cada porção de material,
- Após serem pesadas, as cápsulas para determinação da umidade são armazenadas na estufa por no mínimo 12 horas, sendo em seguida pesadas novamente, obtendo-se o peso seco. Tira-se então a média aritmética da diferença de peso, obtendo-se assim a umidade higroscópica do solo.



### Determinação da densidade dos grãos

- Enchem-se com água, as duas cápsulas para determinação da densidade dos grãos, e após 12 horas passa-se este material para um dispersor elétrico que agita a mistura solo e água por 15 minutos,
- Com a ajuda de um funil, transfere-se o material dispersado para um picnômetro adicionando mais uma quantidade de água destilada,
- Em uma bomba de vácuo, retira-se o ar do picnômetro por aproximadamente 20 minutos, adiciona mais água e retira-se o ar novamente,
- Completa-se então o picnômetro com água até a marca de calibração do mesmo, limpando e secando o que passar desta marca,
- Após 12 horas pesam-se os picnômetros, medem-se as temperaturas dos líquidos em cada um e calcula-se a densidade dos grãos, sendo que os resultados não devem diferir mais que 0,02 g/cm<sup>3</sup> um do outro.



**Figura 23** – Material para determinação da densidade dos grãos: Dispersor elétrico (A), picnômetro (B) e bomba de vácuo (C). Fotos: Laboratório de solos da EPUSP

### Ensaio de sedimentação

- O material separado para sedimentação fica mergulhado em solução defloculante (solução de hexametáfosfato de sódio) de 12 a 24 horas,



**Figura 24** – Materiais utilizados no ensaio de sedimentação: (A) provetas graduadas, termômetro e (B) densímetro. Fotos: Laboratório de solos da EPUSP



- É agitado no dispersor elétrico por 15 minutos e em seguida é transferido para uma proveta graduada, completando com água destilada até a graduação de 1000ml,
- Agita-se, manualmente, a mistura solo e água na proveta por 1 minuto, efetuando-se então leituras com densímetro e termômetro em intervalos de 30 segundos, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos, 1 hora, 2, 4, 8 e 24 horas.

### 7.2.2 Limites de Atterberg

Para complementar a caracterização do comportamento dos solos, além da distribuição granulométrica, foram determinados seus índices de consistência, em outras palavras seus limites de liquidez e plasticidade e os índices de plasticidade.

Como dito por Pinto (2002), os limites se baseiam na constatação de que solos argilosos apresentam aspectos distintos conforme a variação do teor de umidade, apresentando comportamento viscoso quando muito úmido, tornando-se plástico ao perder parte da umidade, e quebradiço quando mais seco.

O limite de liquidez refere-se ao teor de umidade no qual são necessários 25 golpes no aparelho de Casagrande para fechar uma ranhura, aberta do cinzel padrão na superfície da amostra, enquanto o limite de plasticidade relaciona-se ao menor teor de umidade em que o solo apresenta comportamento plástico, em prática, a porcentagem de umidade para a qual o solo começa a se fraturar ao se tentar moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro, com cerca de 10 cm de comprimento. (Fiori & Carmignani, 2009).

O índice de plasticidade define um intervalo de umidade no qual o solo apresenta comportamento plástico, sendo calculado pela diferença entre o limite de liquidez e o de plasticidade.

Assim como os ensaios de granulometria, a determinação dos limites de Atterberg seguiram as orientações dispostas nas normas da ABNT, neste caso NBR 7180 para determinação dos limites de plasticidade e, NBR 6459 para determinação dos limites de liquidez.

Os trabalhos iniciaram-se com o peneiramento das amostras na peneira #40 (0,42mm), coletando o material passado, adicionado água a este e homogeneizando-o com o auxílio de uma espátula. Molda-se uma parte da amostra na concha do aparelho de Casagrande e faz-se um sulco longitudinal neste material, com o auxílio de um cinzel.

Gira-se a manivela do aparelho, fazendo com que a concha erga-se a uma altura de 1 cm e caia, batendo sobre a base do aparelho. Repete-se o movimento, ao passo que conta-se o número de golpes necessários ao fechamento do sulco aberto na amostra.



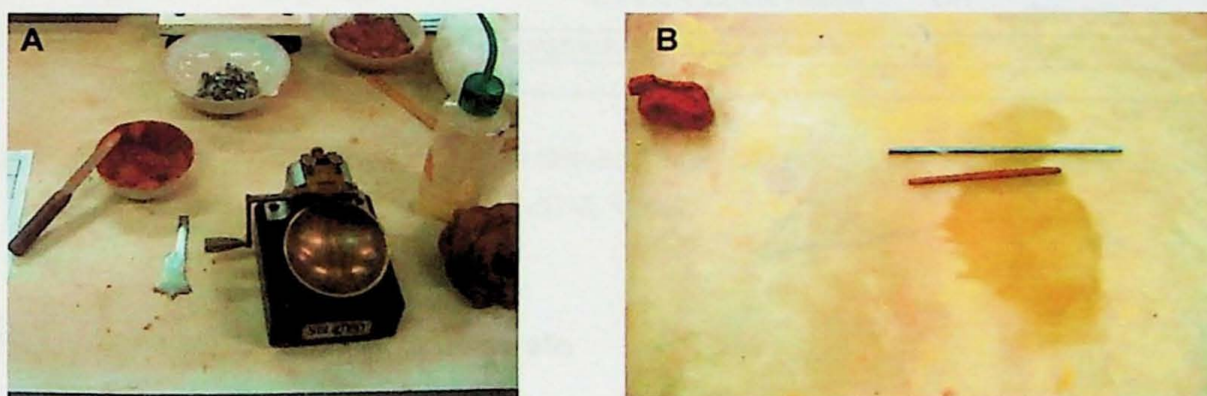
Coleta-se o material ensaiado e determina-se sua umidade. Ao final do procedimento plota-se os dados obtidos em um gráfico nº de golpes x umidade.

Ao material restante adiciona-se mais água e repetem-se os procedimentos descritos, tendo como produto final um gráfico com no mínimo 5 pontos plotados. Traça-se uma reta ajustada aos pontos, graficamente determinando-se a umidade na qual são necessários 25 golpes para fechar o sulco feito pelo cinzel (LL).

Do solo umedecido utilizado no primeiro ponto do LL, retira-se cerca de 20g para determinação do limite de plasticidade.

Sobre uma placa de vidro esmerilhada, rola-se com a palma da mão uma pequena quantidade de material, até se obter um cilindro que se rompa com o diâmetro de 3mm, coleta-se as partes rompidas em recipientes de vidro, pesa-os, seca-os em estufa e determina-se a umidade.

O procedimento foi realizado aproximadamente 5 vezes para cada amostra, obtendo-se por fim um valor médio da umidade na qual o solo ainda apresenta comportamento plástico.



**Figura 25** – Materiais utilizados para determinação dos limites de Atterberg: (A) espátula, cinzel e aparelho de casa grande. (b) placa de vidro e cilindro de 3 mm de diâmetro para comparação.

Fotos: Laboratório de solos da EPUSP

### 7.2.3 Classificação dos solos segundo SUCS

Após obtenção dos resultados dos ensaios de plasticidade e das análises granulométricas, pode-se classificar os diferentes materiais constituintes dos taludes, segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), seguindo-se as orientações constantes na figura 26.



CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DOS SUBGRUPOS E NOMES DOS GRUPOS				CLASSIFICAÇÃO DOS SOLO		
ENSAIOS DE LABORATÓRIO				SÍMBOLO GRUPO	NOME DOS GRUPOS	
Solos Grossos	Pedregulhos. Mais que 50% da fração grossa retida na peneira 4,8mm	Pedregulhos limpos; % passada na peneira 0,074mm < 5%	$Cu > 4 / 1 < Cc < 3$ $Cu < 4 \text{ e/ou } 1 > Cc > 3$	GW	Pedregulho bem graduado	
				GP	Pedregulho mal graduado	
		Pedregulhos com finos; % passada na peneira 0,074mm > 12%	Finos classificados como	ML MH CL CH	GM GC	Pedregulho siltoso Pedregulho argiloso
	% retida na peneira 0,074mm maior que 50%					
	Diâmetro menor que 75mm	Areias. Mais que 50% da fração passa na peneira 4,8 mm	Areias limpas: % passada na peneira 0,074 MM > 5%	$Cu > 6, 1 < Cc < 3$ $Cu < 6 \text{ e/ou } Cc > 3$	SW SP	Areia bem graduada Areia mal graduada
			Areias limpas % passada na peneira 0,074mm > 12%	Finos classificados como	ML MH CL CH	SM SC
Solos Finos	Siltes e argilas	Inorgânicos	$IP > 7$ , pontos sobre ou acima de linha A. $IP < 4$ , pontos abaixo da linha A.	CL ML	Argila pouco plástica Silte	
	LL < 50 %	Orgânicos	LL seco < 0,75 LL natural	OL	Argila Orgânica Silte Orgânico	
	% passada na peneira 0,074mm maior que 50%	Siltes e argilas	Pontos sobre ou acima da linha A. Pontos abaixo da linha A.	CH MH	Argila muito plástica Silte elástico	
	LL > 50 %	Orgânicos	LL seco < 0,75 LL natural	OH	Argila Orgânica Silte Orgânico	
	Solos altamente orgânicos		Principalmente matéria orgânica, cor escura e cheiro	PT	Turfa	
	Obs.: Cu = D60/D10		Cc = (D30)2/(D10xD60)			

**Figura 26** – Critérios de para classificação segundo Sistema Unificado de Classificação de Solos (ASTM, 1983).

#### 7.2.4 Ensaios de cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento direto é um procedimento realizado para a determinação da resistência de um material ao cisalhamento, baseando-se diretamente no critério de ruptura de Coulomb, que pode ser expresso como: “*não há ruptura se a tensão de cisalhamento não ultrapassar um valor dado pela expressão  $c + f \cdot \sigma$ , sendo  $c$  e  $f$  constantes do material, denominados, respectivamente, coesão e coeficiente de atrito interno, e  $\sigma$  a tensão normal existente no plano de cisalhamento*”. (Pinto, 2002).

Para o ensaio, talha-se um corpo de prova (cp) a partir de um bloco de solo indeformado, empurrando um molde metálico, de seção quadrada, contra o bloco, até se preencher todo volume do molde, recolhendo parte do material que sobra da talhagem para determinação da umidade.

Pesa-se o corpo de prova com o molde metálico, transferindo em seguida, o corpo de prova para a caixa de cisalhamento.

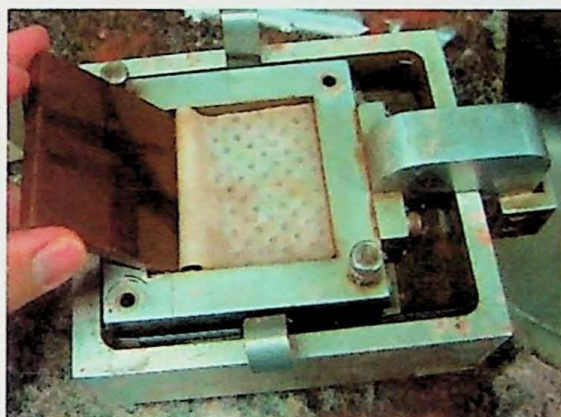




**Figura 27** – Anel metálico durante talhagem de corpo de prova, em bloco de amostra indeformada.

Fotos: Laboratório de solos da EPUSP

A caixa de cisalhamento é composta por caixa metálica bipartida, tendo em seu interior uma pequena base metálica, responsável pela correta altura do corpo de prova dentro do conjunto, placas metálicas dentadas e perfuradas, pedras porosas e papel filtro.



**Figura 28** – Caixa de cisalhamento, com destaque a pedra porosa e papel filtro, sobre placa dentada perfurada. Fotos: Laboratório de solos da EPUSP

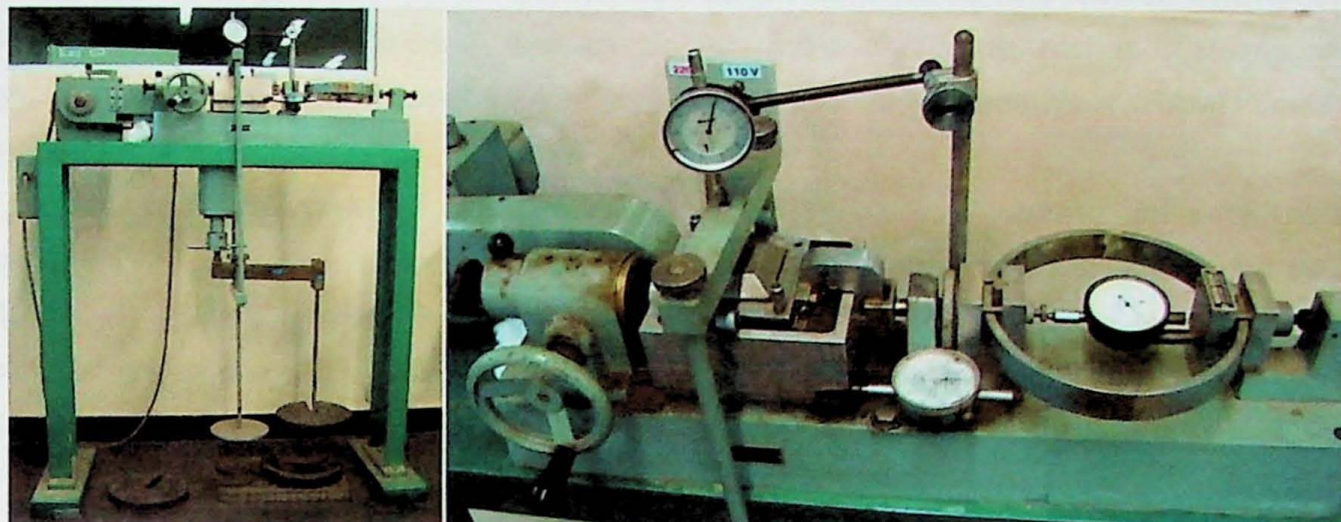
Após a montagem do corpo de prova dentro da caixa de cisalhamento, coloca-se, sobre o conjunto, o quepe para transmissão de carga, e instala a caixa de cisalhamento em uma prensa provida de extensômetro vertical e horizontal e de anel de carga.

Primeiramente aplica-se o carregamento, através de pesos, previamente definidos, e inicia-se leituras do extensômetro vertical em intervalos de 7, 15, 30, 60 segundos, 2, 4, 8, 15, 30 e 60 minutos, 2 horas, 4 horas... até as deformações do corpo de prova se estabilizarem (fase de adensamento).

Ajustando-se o extensômetro horizontal e o anel de carga, inicia-se o cisalhamento. Um motor elétrico é responsável por deslocar a porção inferior da caixa de cisalhamento, enquanto a porção superior está fixada ao anel de carga. O deslocamento ocorre a uma velocidade constante, definida previamente (8 mm em duas horas, ou seja,  $1,111 \times 10^{-6}$  m/s, neste trabalho). Faz-se leituras da força cisalhante, dadas pelo anel de cisalhamento, e da



deformação vertical, a cada 0,1mm de deslocamento horizontal até o deslocamento de 1mm, a cada 0,2mm entre 1mm e 3mm, a cada 0,5mm entre 3mm e 5mm, e a cada 1mm entre 5mm e 8mm de deslocamento.



**Figura 29** – Aparelho utilizado nos ensaios de cisalhamento direto, com destaque à prensa na parte inferior (lado esquerdo), e aos extensômetros e anel de carga (lado direito).

Fotos: Laboratório de solos da EPUSP

Os ensaios realizados ocorreram sob condições saturadas, sendo que a “inundação” da caixa de cisalhamento se dava após 1 minuto de adensamento. Esta condição foi estabelecida pela relação entre os escorregamentos ocorridos na região e os períodos chuvosos, implicando, ao menos teoricamente, que os solos estejam nestas condições ao sofrerem escorregamento.



## 8. Resultados Obtidos

Utilizando-se a classificação genética de solos proposta por Vaz (1996), pode-se definir que as áreas em estudo compartmentam-se em camadas de solo resíduo-coluvionar, sobrepostas, preferencialmente, a solos de alteração (SAR) de rochas xistosas ou gnáissicas milonitizadas, quando não, a horizontes de rocha alterada mole (RAM), destes mesmos litotipos.

A partir das análises granulométricas e dos limites de Atterberg, foi possível a caracterização dos tipos de solos e suas variações segundo parâmetros estabelecidos pelo SUCS. O quadro abaixo (figura 30) ilustra resumidamente os resultados obtidos na caracterização dos tipos de solos presentes nos pontos amostrados, havendo em alguns destes uma variação composicional.

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	SUCS
GRM -01A	54,23	32,38	21,85	MH (silte de alta compressibilidade)
GRM -01D	-	-	-	SM (areia siltosa)
GRM -01R	55,83	23,86	31,97	CH (argila de alta compressibilidade)
GRM -02C	35,08	21,25	13,83	SC (areia argilosa)
GRM -03	55,22	24,90	30,32	CH (argila de alta compressibilidade)
GRM -03B	36,5	17,54	18,96	CL (argila de baixa compressibilidade)
GRM -03C	40,51	24,95	15,56	SC (areia argilosa)
GRM -03R	30,54	24,66	5,88	ML (silte de baixa compressibilidade)

**Figura 30** – Classificação das amostras de solo, segundo parâmetro SUCS, com indicação dos valores obtidos nos ensaios dos Limites de Atterberg.

Dos ensaios de cisalhamento direto obtiveram-se as propriedades mais significativas dos materiais nas discussões de problemas de estabilidade, o ângulo de atrito e a coesão dos solos (Guidicini & Nieble, 1976). Nestes ensaios, também se determinou a massa específica natural, a umidade natural das amostras ensaiadas e os valores de coesão e ângulo de atrito a partir da resistência residual (valores obtidos após 8mm de deslocamento), sendo estas e demais propriedades apresentadas no quadro da figura 31.

Assim como observado por Pinto *et al.* (1993) e Peloggia (1997), o solo de alteração de rocha, ou saprolítico, apresentou grande variação de resultados, com ângulos de atrito variando de 22° 59' a 51° 46' e a coesão de 0 a 16,5 kPa, sendo a discrepância entre os resultados possivelmente decorrentes das heterogeneidades da rocha original.

Para os ensaios realizados no solo resíduo coluvionar, os resultados obtidos para a coesão ficaram entre 5,5 e 11,5 kPa, enquanto o ângulo de atrito não apresentou grande variação, ficando em 29° 41' segundo a máxima resistência e 28° 11' segundo a resistência residual.



Amostra	$\gamma_n$ (g/cm <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\Phi'$ (graus)	$h$ (%)	$w$ (%)	$\delta$ (g/cm <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)
GRM-01R	1,583	5,50	29° 41'	27,18	3,42	2,700	55,83	23,86
		11,44	28° 11'					
GRM-03R	1,896	0,00	51° 46'	13,08	0,88	2,678	30,54	24,66
		16,50	33° 28'					
GRM-03R(//)	1,825	11,50	27° 09'	13,38	0,88	2,678	30,54	24,66
		16,50	22° 59'					

(//) amostra cisalhada paralelamente a foliação

\_\_\_\_\_ resultados a partir de valores residuais

Onde:

$\gamma_n$  = massa específica natural (média das amostras ensaiadas)

$c'$  = coesão efetiva

$\Phi'$  = ângulo de atrito

$h$  = teor de umidade natural

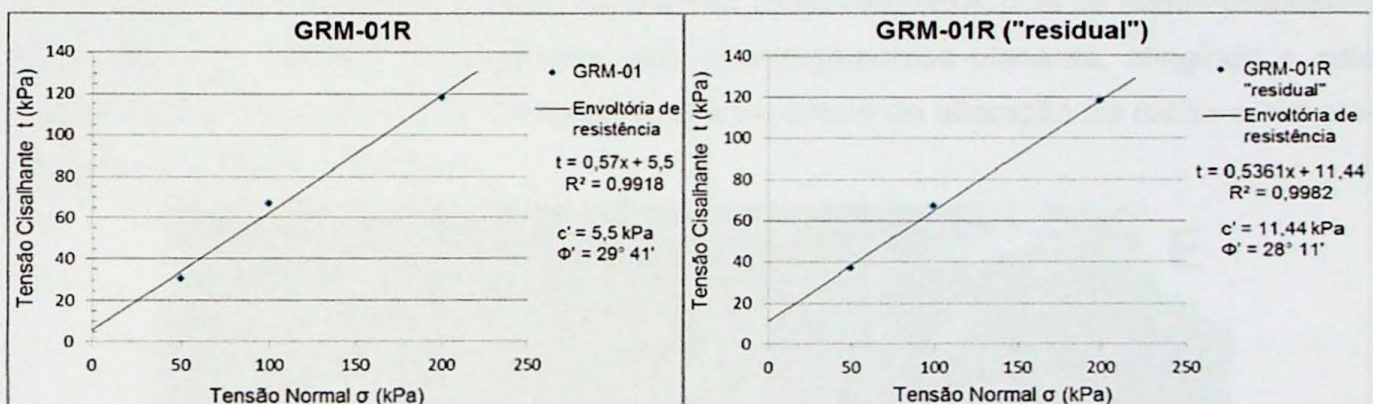
$w$  = teor de umidade higroscópica

$\delta$  = densidade específica dos grãos

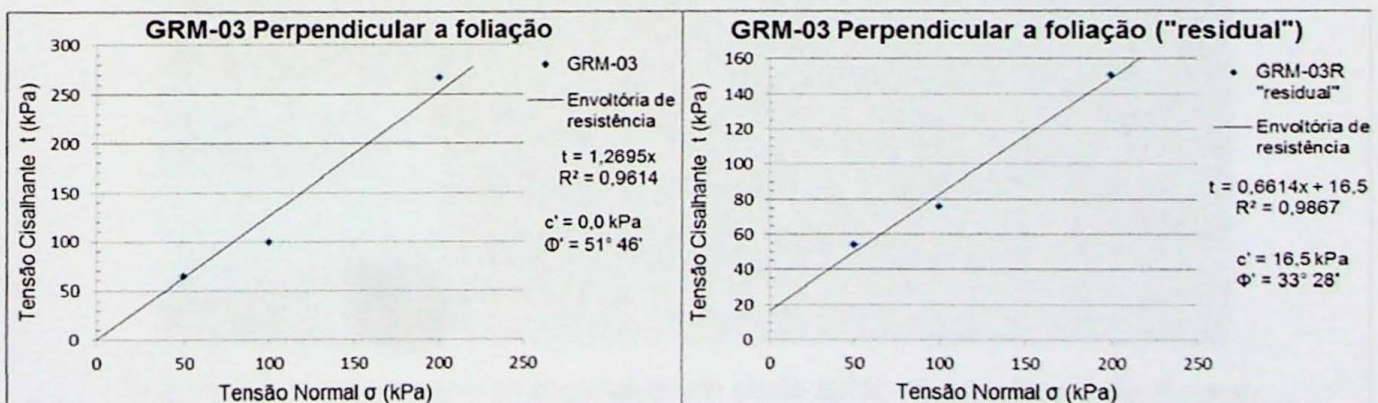
LL = limite de liquidez;

LP = limite de plasticidade

**Figura 31** – Quadro de resultados obtidos dos ensaios de cisalhamento direto e outras propriedades .

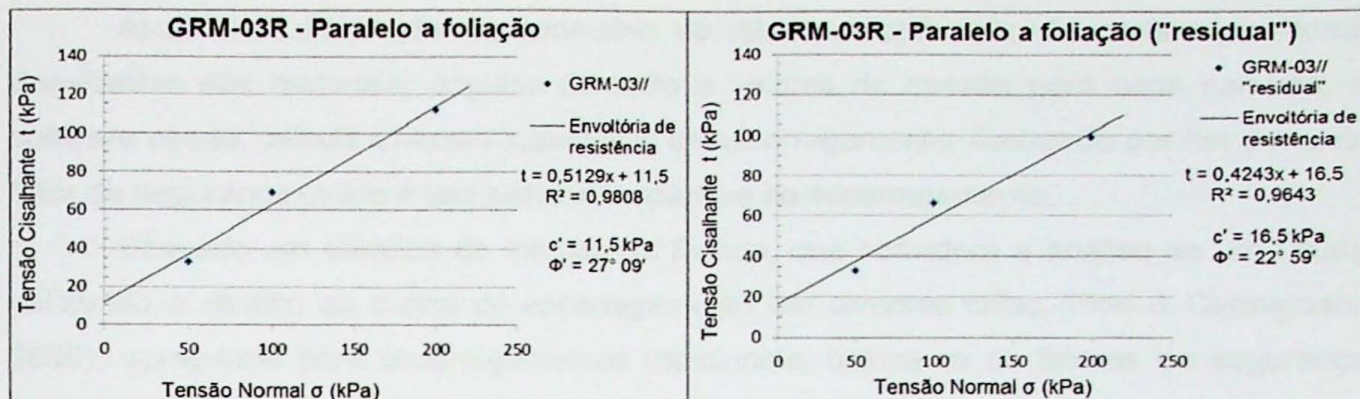


**Figura 32** – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto da amostra de material resíduo coluvionar (GRM-01R) a partir dos valores máximos de resistência e dos valores residuais.



**Figura 33** – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto, perpendiculares à foliação da amostra de solo de alteração (GRM-03R), a partir dos valores máximos de resistência e dos valores residuais.





**Figura 34** – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto, paralelos à foliação da amostra de solo de alteração (GRM-03R), a partir dos valores máximos de resistência e dos valores residuais.

Seguindo-se a caracterização dos taludes estudados, no ponto GRM-01 (Rua João Ramos. (Figura 35)), não é raro encontrar depósitos de material coluvionar ou de tálus, onde há blocos de dimensões até métricas.

A partir da classificação proposta por Varnes (1978), pode-se dizer que a instabilização ocorrida neste talude é classificada como complexa, pois se notam processos de rastejo que evoluem primeiramente para escorregamentos planares, atingindo o solo eluvial superficial, porém, posteriormente alcançam o solo de alteração de rocha e tornam-se escorregamentos circulares.



**Figura 35** – Vista de parte do afloramento do ponto GRM – 01, na Rua João Ramos.

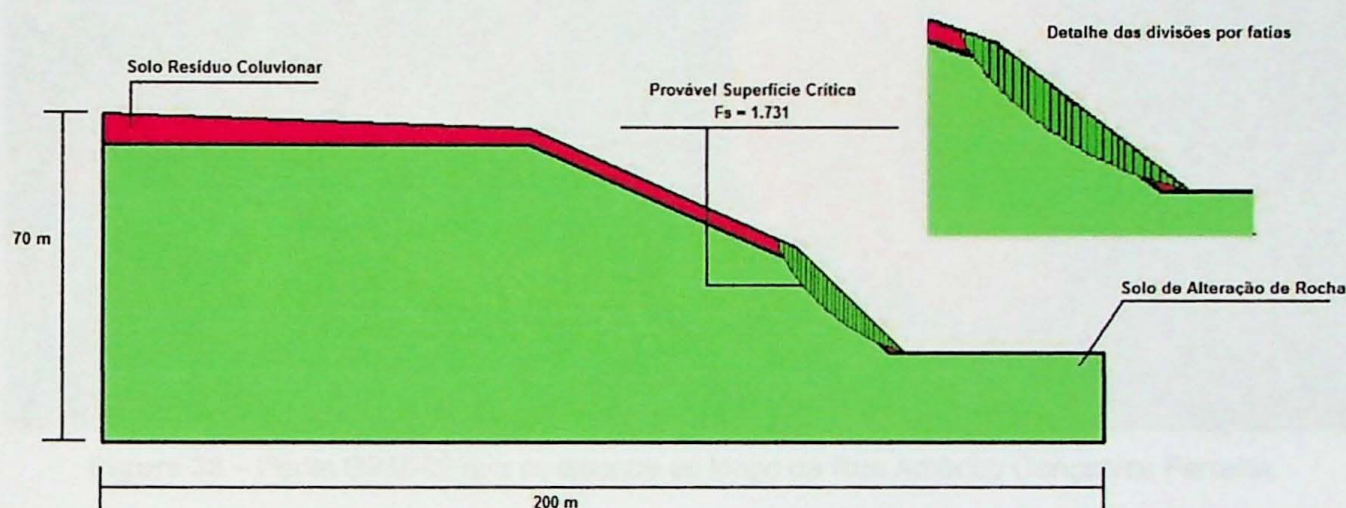
Para o cálculo do fator de segurança deste talude foi utilizado o software *GeoStudio2007* com o aplicativo *Slope*.



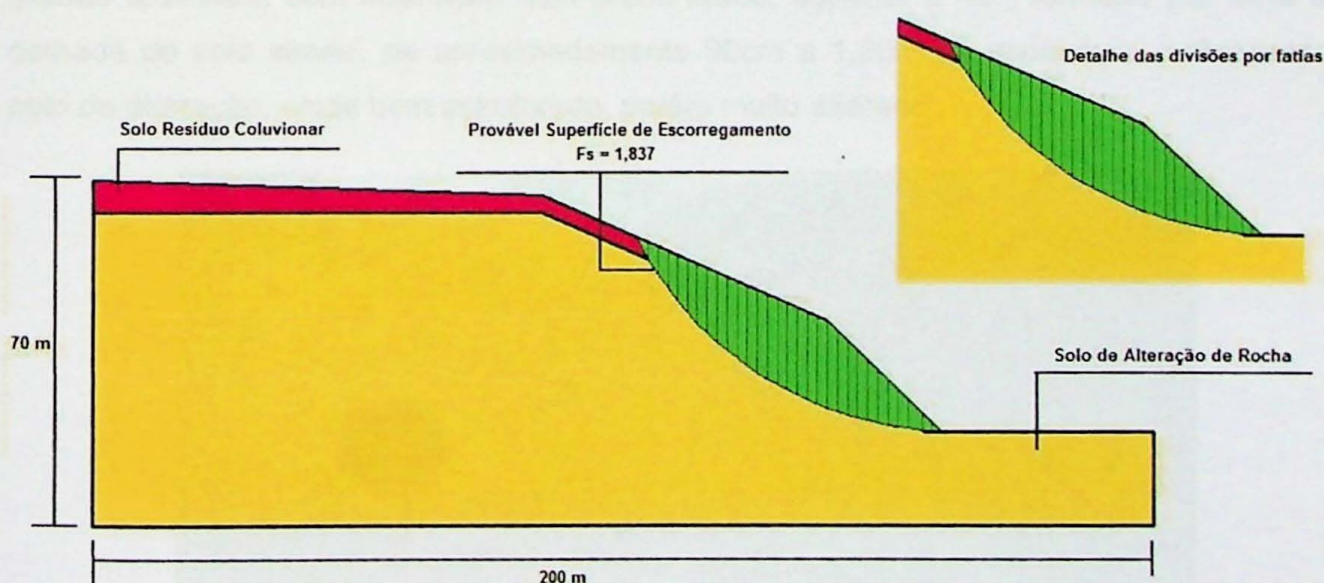
Através da ilustração da geometria do talude, e atribuição de parâmetros como densidades dos materiais, ângulos de atrito e valores de coesão para cada camada, o software citado, calcula diversas superfícies de escorregamento, ilustrando por fim o menor fator de segurança obtido e sua provável superfície de escorregamento.

Baseado em cálculos do método de Bishop, que considera a análise de um talude utilizando a divisão da cunha de escorregamento em diversas fatias (Fiori & Carmignani, 2009), apropriado para escorregamentos rotacionais, obteve-se os fatores de segurança 1,731 e 1,837.

As figuras abaixo ilustram as superfícies de escorregamento e os fatores de segurança calculados para a condição de rompimento perpendicular a foliação (figura 36) e paralela à foliação (figura 37).



**Figura 36** – Superfície de escorregamento do talude GRM-01, utilizando os valores obtidos nos ensaios de cisalhamento direto perpendiculares à foliação.



**Figura 37** – Superfície de escorregamento do talude GRM-01, utilizando os valores obtidos nos ensaios de cisalhamento direto paralelos à foliação.



O ponto GRM-02 (Rua Américo Gonçalves Ferreira), atualmente apresenta movimentos do tipo rastejo, porém não foi analisado separadamente pelo fato de tratar-se do sopé do talude do ponto GRM-03. Neste ponto é interessante observar as marcas deixadas por um escorregamento planar que havia ocorrido no início de 2011, após um período de chuva prolongado.

A figura 38 ilustra as marcas de solo na porção superior de um poste de iluminação, e em um muro residencial no lado oposto da rua, indicando um grande volume de material mobilizado no evento ocorrido em 2011.



**Figura 38** – Ponto GRM-02 que se estende ao longo da Rua Américo Gonçalves Ferreira.

Estendendo-se desde a Rua Américo Gonçalves Ferreira, passando pela Rua Edward Albert Skerrat até a Rua Judith Walton, o talude do ponto GRM-03 apresenta uma grande extensão, com inclinação bem pronunciada, superior a  $40^\circ$ , formado por uma fina camada de solo eluvial, de aproximadamente 90cm a 1,20m de espessura, sobreposta a solo de alteração, ainda bem estruturado, porém muito alterado.



**Figura 39** – Vista do Ponto GRM-03, em trecho de inclinação média, entre a Rua Edward Albert Skerrat e a Rua Judith Walton.



Os processos atuantes neste talude são rastejos, com tendência a evoluírem para escorregamentos translacionais (planares).

Para o cálculo do fator de segurança neste talude, foi utilizado o método de cálculo para “talude infinito” com substrato permeável apresentado por Carvalho (1991) através da fórmula:

$$F = \frac{c' + (\gamma_n \cdot z \cdot \cos^2 \alpha) \cdot \operatorname{tg} \Phi}{\gamma_n \cdot z \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{sen} \alpha}$$

onde:

F = fator de segurança

c' = coesão do solo “instável”

$\gamma_n$  = massa específica natural do solo “instável”

z = espessura do solo “instável”

$\Phi$  = ângulo de atrito do solo “instável”

$\alpha$  = inclinação média do talude

O método é apropriado, segundo Wolle & Carvalho (1989), para representar deslizamentos translacionais, vez que ocorrem com espessuras praticamente constantes, ao longo de superfície aproximadamente plana e muito extensa, de modo que as curvaturas de início e término são perfeitamente negligenciáveis.

Admitindo nos cálculos uma inclinação média de 50°, uma espessura média de 1m de solo eluvial e desprezando as sobrecargas atuantes no terreno, devido à vegetação e residências, obtemos um fator de segurança  $F = 1,18$ . Resultado muito condizente, se considerarmos que os parâmetros admitiam condição saturada do solo.

O ponto GRM-05 refere-se ao talude subvertical da Rua João Barbosa de Oliveira, conhecido na região como Morro Branco.

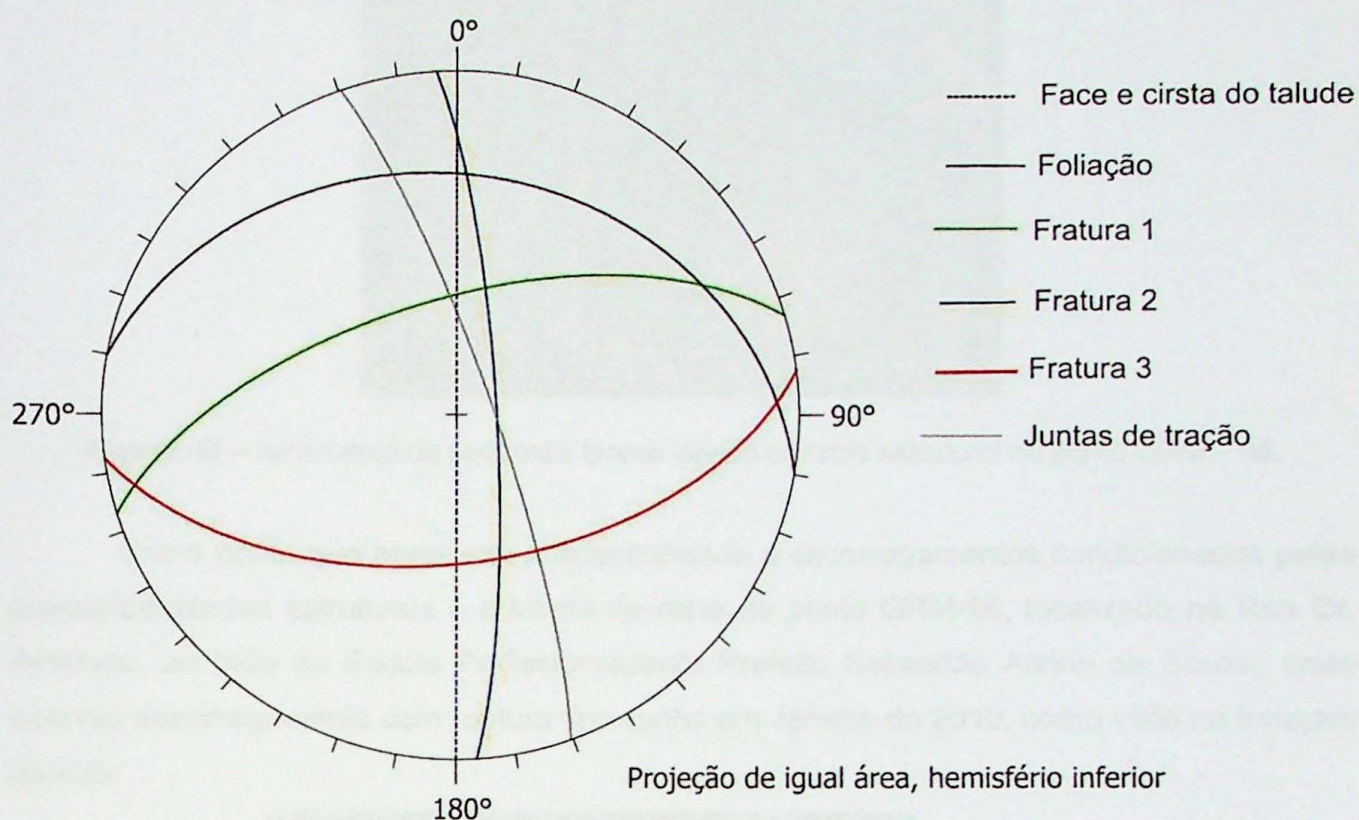
Este ponto é caracterizado por um talude de corte de inclinação verticalizada, por vezes negativa, em horizontes que variam de solo de alteração de rocha, rocha alterada mole até a rocha propriamente dita, sendo esta um gnaisse foliado com porções xistosas, apresentando dobras decimétricas a métricas, além de muitas direções de fraturas.

Neste ponto foram obtidas medidas das orientações de conjuntos de fraturas, foliação da rocha e de juntas de alívio de pressão, sendo estas medidas plotadas em estereograma de igual área (figura 40), possibilitando a visualização da intersecção dos planos formados pelas discontinuidades mencionadas.

Sabe-se que as várias famílias de discontinuidades podem conduzir a mais de um tipo ou geometria de instabilização simultaneamente, porém a possibilidade de ocorrência



de quedas de blocos no ponto em questão é visivelmente predominante quando se observa o talude em campo (figura 41).



**Figura 40** – Projeção dos grandes círculos das diversas discontinuidades do maciço rochoso do ponto GRM-05, em estereograma de igual área, hemisfério inferior.



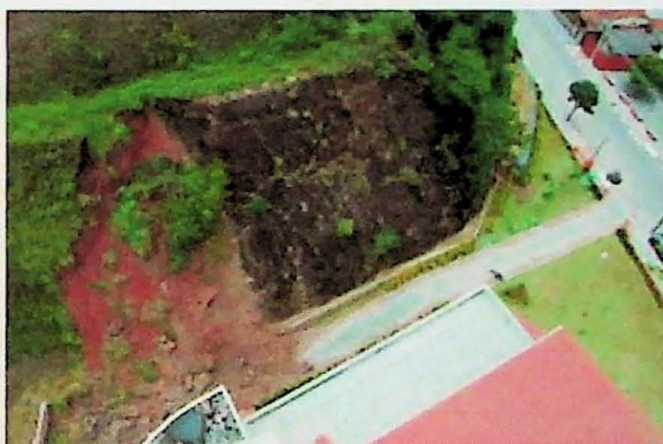
**Figura 41** – Vista de parte do afloramento do ponto GRM – 05, na Rua João Barbosa de Oliveira.





**Figura 42** – Isolamento de pequenos blocos devido controle estrutural no ponto GRM – 05.

Outro ponto que apresenta susceptibilidade a escorregamentos condicionados pelas descontinuidades estruturais é o talude de corte do ponto GRM-06, localizado na Rua Dr. Armindo, ao lado da Escola Profissionalizante Prefeito Sebastião Alvino de Souza, onde ocorreu escorregamento com ruptura tipo cunha em Janeiro de 2010, como visto na imagem abaixo:



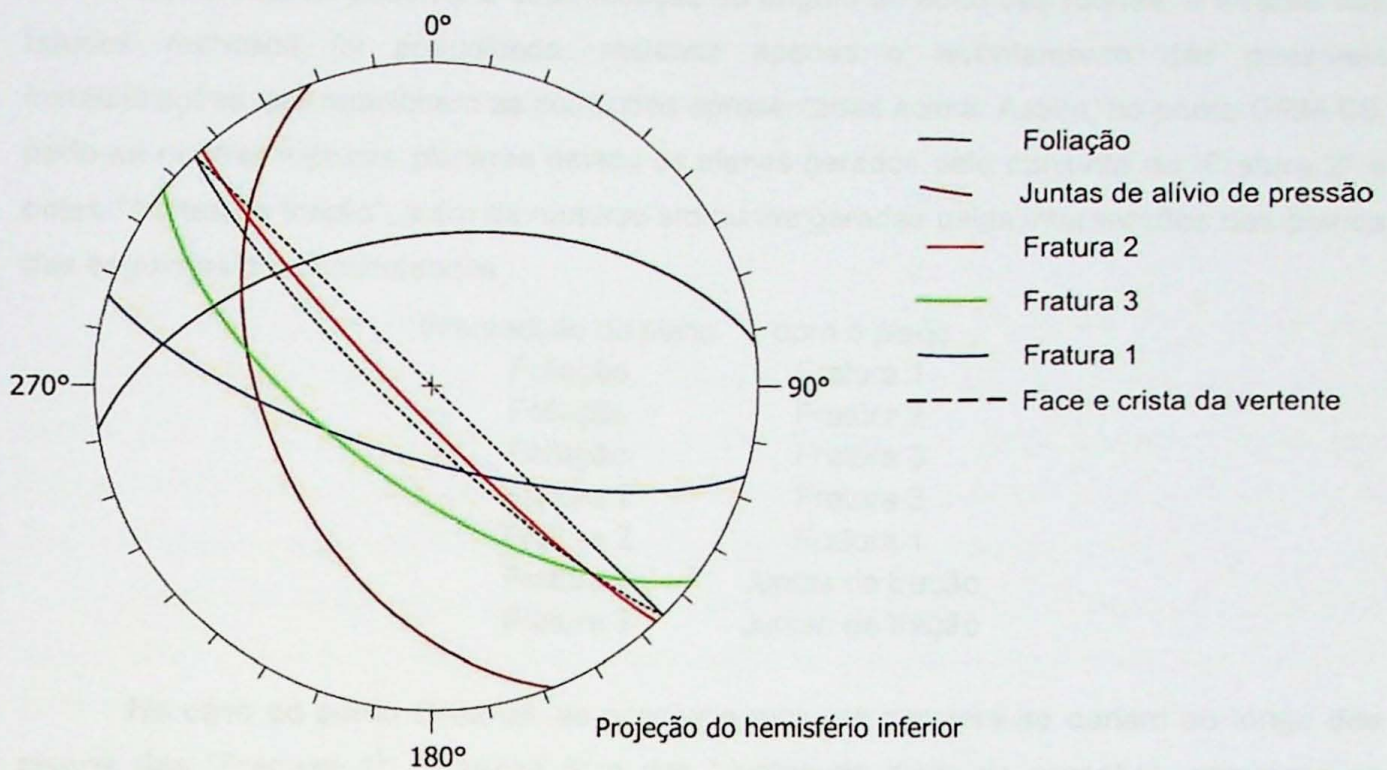
**Figura 43-** Escorregamento em cunha, atrás do colégio técnico municipal (ponto GRM-06). Imagem de Janeiro de 2010. Fotos: Prefeitura do Municipal de Guararema.

Assim como no ponto anterior, também foram obtidas medidas estruturais neste local, as quais foram plotadas em estereograma de igual área em hemisfério inferior (figura 44), a fim de representar as relações entre tais estruturas. Nota-se no estereograma que há clara tendência a formação de cunhas instáveis, uma vez que as descontinuidades tendem a mergulhar na direção da face do talude.

Devido a grande variação nas direções dos planos das descontinuidades, torna-se de certo modo, desnecessário a determinação da forma dos blocos gerados pela intersecção destes planos, já que foi observada a tendência de se ocorrer escorregamentos em cunha que mobilizam diversos blocos de dimensões pequenas.



A figura 44 apresenta os grandes círculos traçados a partir dos polos dos planos das discontinuidades observadas em campo.



**Figura 44-** Projeção dos grandes círculos das diversas discontinuidades do maciço rochoso do ponto GRM-06, em estereograma de igual área, hemisfério inferior.



**Figura 45 –** Vista de parte do talude do ponto GRM-06, na Rua Dr. Armindo.

Augusto Filho e Virgili (1998) analisando os estereogramas de maneira simples, explicam que para ocorrer uma ruptura planar, é necessário que o mergulho da discontinuidade seja inferior a do talude. Por sua vez, nas rupturas em cunha, a linha de



intersecção dos planos da cunha deve ter mergulho inferior à inclinação do talude, e superior ao ângulo de atrito das superfícies rochosas.

Como não foi possível a determinação do ângulo de atrito das rochas, a análise dos taludes rochosos foi prejudicada, restando apenas o levantamento das possíveis instabilizações que relacionem as condições apresentadas acima. Assim, no ponto GRM-05, pode-se ocorrer rupturas planares devido os planos gerados pelo conjunto de "Fratura 2" e pelas "Juntas de tração", além de rupturas em cunha geradas pelas intersecções dos planos das seguintes descontinuidades:

Intersecção do plano	com o plano
Foliação	Fratura 1
Foliação	Fratura 2
Foliação	Fratura 3
Fratura 2	Fratura 3
Fratura 2	Fratura 1
Fratura 2	Juntas de tração
Fratura 3	Juntas de tração

No caso do ponto GRM-06, as possíveis rupturas planares se dariam ao longo dos planos das "Fraturas 1", "Fraturas 3" e das "Juntas de alívio de pressão", enquanto as possíveis rupturas em cunha podem ocorrer na intersecção dos seguintes planos:

Intersecção do plano	com o plano
Fratura 1	Juntas de alívio de pressão
Fratura 1	Foliação
Fratura 1	Fratura 3
Fratura 3	Foliação
Fratura 3	Juntas de alívio de pressão
Foliação	Juntas de alívio de pressão



## 9. Considerações finais

Os trabalhos realizados demonstraram que os maciços terrosos são constituídos predominantemente por três horizontes sobrepostos, sendo o primeiro horizonte formado por solos resíduo coluvionares pouco espessos, geralmente da ordem de 1,20m de espessura, de material argiloso de alta compressibilidade, gradando para materiais pouco mais arenosos e apresentando maior tendência a movimentos do tipo rastejo e escorregamentos planares.

O segundo horizonte apresenta maior espessura, da ordem de 10 a 15 metros. Descrito como solo de alteração de rocha, preserva as estruturas de suas rochas de origem, dentre elas o bandamento composicional, a xistosidade e os conjuntos de fraturas, em material mais silto arenoso a areno siltoso, com tendência a gerar, provavelmente por conta das marcantes estruturas reliquiares, escorregamentos do tipo rotacional.

Sotoposto aos horizontes descritos, encontra-se um horizonte transicional de solo para rocha, podendo ser descrito como rocha alterada, que por vezes encontra-se aflorante, geralmente por motivo de escavação. Os taludes formados por este material estão mais susceptíveis a escorregamentos ligados as estruturas e descontinuidades presentes nas rochas, podendo ocasionar escorregamento de blocos de rocha com ruptura em cunha, ou até mesmo queda de blocos, em caso de taludes de inclinações demasiadamente elevadas.

A respeito dos fatores de segurança calculados, nota-se que no caso do ponto GRM-03, mesmo não levando em consideração a presença de vegetação e de moradias precárias sem sistema de coleta de esgoto, o valor obtido ( $F_s = 1,18$ ) apresenta-se muito próximo da situação limite ( $F_s = 1$ ), e considerando-se os sinais de rastejo e pequenos escorregamentos nesta encosta, não seria exagero providenciar medidas que poupem de possíveis acidentes, as famílias residentes nestas encostas.

Uma observação semelhante a do ponto acima pode ser feita ao talude do ponto GRM-01, embora os valores obtidos para o fator de segurança sejam elevados para as duas condições analisadas (1,731 e 1,837), deve-se considerar que o aumento de carga ocasionado pela saturação do solo após chuvas acumuladas e pela vegetação de grande porte neste ponto, são fatores consideráveis para se assumir uma superestimativa no resultado obtido. Outro fator a considerar neste caso é a dificuldade na obtenção dos parâmetros geomecânicos para o solo saprolítico, pois este tipo de solo apresenta alta heterogeneidade, com parâmetros de resistência muito variáveis. De fato esta característica foi relatada por diversos autores, como Pellogia (1997), que apresenta resultados divergentes para os solos saprolíticos do município de São Paulo, e Pinto *et al.* (1993) para resultados de solos do interior do estado de São Paulo.



Vale lembrar que em sua obra Guidicini & Nieble (1976) citam autores que sugerem uma precaução quanto ao fator de segurança, visto que diversos fatores não podem ser representados somente por cálculos. Deste modo, para o solo saprolítico e rocha alterada é mais confiável a análise das estruturas presentes e sua relação espacial.

Outra possibilidade representa a utilização de retroanálise do escorregamento em detrimento da utilização de valores geomecânicos fixos, conforme observado por Guidicini & Nieble (1976), porém a reconstrução das características dos taludes nas condições dos escorregamentos deveria ter sido feita momentos após os eventos, e não após meses ou medidas de estabilização.

Para as instabilizações em taludes rochosos, sugere-se a realização de ensaios a fim de se obter valores de coesão e atrito interno para as rochas, possibilitando a continuação das análises e a determinação do fator de segurança destes maciços. De qualquer modo, o afloramento do ponto GRM-05, apresenta uma inclinação muito elevada, que somada ao número de descontinuidades o torna um dos principais locais sujeitos a acidentes devido queda de blocos.

Por fim, é importante lembrar que a deflagração dos acidentes ocorridos em 2010 esteve intrinsicamente relacionado às chuvas prolongadas, que saturam os solos e as descontinuidades das rochas, exercendo diferentes funções na instabilização destas massas, sendo, portanto, de muita valia estudos que caracterizem melhor o comportamento da água nos materiais constituintes dos taludes, principalmente durante o período chuvoso, entre os meses de Dezembro e Fevereiro.



## 10. Referências Bibliográficas

Almeida, F.F.M, Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *In*: Mantesso-Neto V., Bartorelli A, Carneiro C. D. R., Brito-Neves B. B. de (Org.). Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio de Almeida. Beca, São Paulo, CD-ROOM.

Alves A. 2009. Petrogênese de plútons graníticos do leste paulista: geocronologia, geoquímica elemental e isotópica. Tese de Doutorado, Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, 122 p.

Alves, F. R., 1975. Contribuição à geologia da região de Salesópolis – Guararema, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 136 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 6457 (1986): Amostras de Solo – Preparação Para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 6459 (1984): Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 6508 (1984): Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 7180 (1984): Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 7181 (1984): Análise Granulométrica. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 9604 (1986): Abertura de Poço e Trincheira de Inspeção em Solo, com Retirada de Amostras Deformadas e Indeformadas. Rio de Janeiro.

ASTM, 1983 – ASTM D2487 (1983): *Standard test method for classification of soils for engineering purposes.*

Augusto Filho O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. *In*: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1. Anais...Rio de Janeiro, ABMS / ABGE / PCRJ. v.2. p: 721-733.

Augusto Filho O., Virgili J.C., 1998. Estabilidade de taludes. *In*: Oliveira A.M.S. & Brito S. N. A. de (eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE, FAPESP, CNPq. p: 243 - 270.



Carvalho, C. S., 1991. Cálculo de estabilidade de taludes / Noções de empuxos de terra. *In*: Carvalho, C. S., Wolle, C. M., Gama Junior, G. F. C., Carvalho, P. A. S. de (eds.). Estabilidade de taludes e obras de contenção. São Paulo, IPT. p: 32-61.

Cerri, L. E. S., Amaral, C. P. do., 1998. Riscos Geológicos. *In*: Oliveira A.M.S. & Brito S. N. A. de (eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE, FAPESP, CNPq. p: 301 - 310.

Cirne R. 2010. Bombeiros encontram 4 corpos soterrados em Guararema. Jornal Estadão, São Paulo, 02 jan. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/cidades, bombeiros-encontram-3-corpos-soterrados-em-guararema,489699,0.htm>. Acessado em: 12 mar 2011.

Coutinho, J. M. V. 1980. Carta geológica da região metropolitana da grande São Paulo, 1:100.000, São Paulo, Emplasa, 2 folhas.

Dias, F. P., Herrmann, M. L. P., 2002. SUSCEPTIBILIDADE A DESLIZAMENTOS: ESTUDO DE CASO NO BAIRRO SACO GRANDE, FLORIANÓPOLIS – SC. Caminhos de Geografia. EDUFU, Uberlândia, Vol. 3, nº 6, p

EMPLASA – Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S/A 1979. Carta de classes de declividade da Região Metropolitana de São Paulo. Escala 1:100.000.

Fiori, A. P., Carmignani, L., 2009. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes. Editora UFPR, Curitiba, 604p.

Infanti Jr, N., Fornasari Filho, N., 1998. Processos da Dinâmica Superficial. *In*: Oliveira A.M.S. & Brito S. N. A. de (eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE, FAPESP, CNPq. p: 131 - 152.

Guidicini G., Nieble C.M. 1976. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Edgard Blucher, São Paulo, 167p.

Motidome, M. J. 1992. Geologia do Complexo Embu na região entre Santa Isabel e Biritiba-Mirim, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 173 p.

Peloggia, A. V. 1997. Parâmetros geomecânicos de solos saprolíticos do município de São Paulo (SP). Solos e Rochas, São Paulo, 20 (3), p: 209-213.

Pinto, C. S.; Gabara, W.; Peres, J. E. E.; Nader, J. J. 1993. Propriedades dos solos residuais. *In*: Cintra, J. C. A., Albiero, J. H. (eds.). Solos do interior de São Paulo. ABMS / USP, São Carlos, cap.5, p: 95-142.

Pinto, C. S. 2002. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas. Oficina de Textos, São Paulo, 355 p.



Rodrigues S.K. 1998. Geologia Urbana da Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 171 p.

Silva, O. C. A. 2010. Análise da suscetibilidade a escorregamentos e da evolução do uso e cobertura do solo no município de Paraty – RJ. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 151 p.

Tominaga L. K. 2009. Escorregamentos. *In*: Tominaga L. K., Santoro J., Amaral, R. do (eds.). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. Instituto Geológico, São Paulo, p.: 25-38.

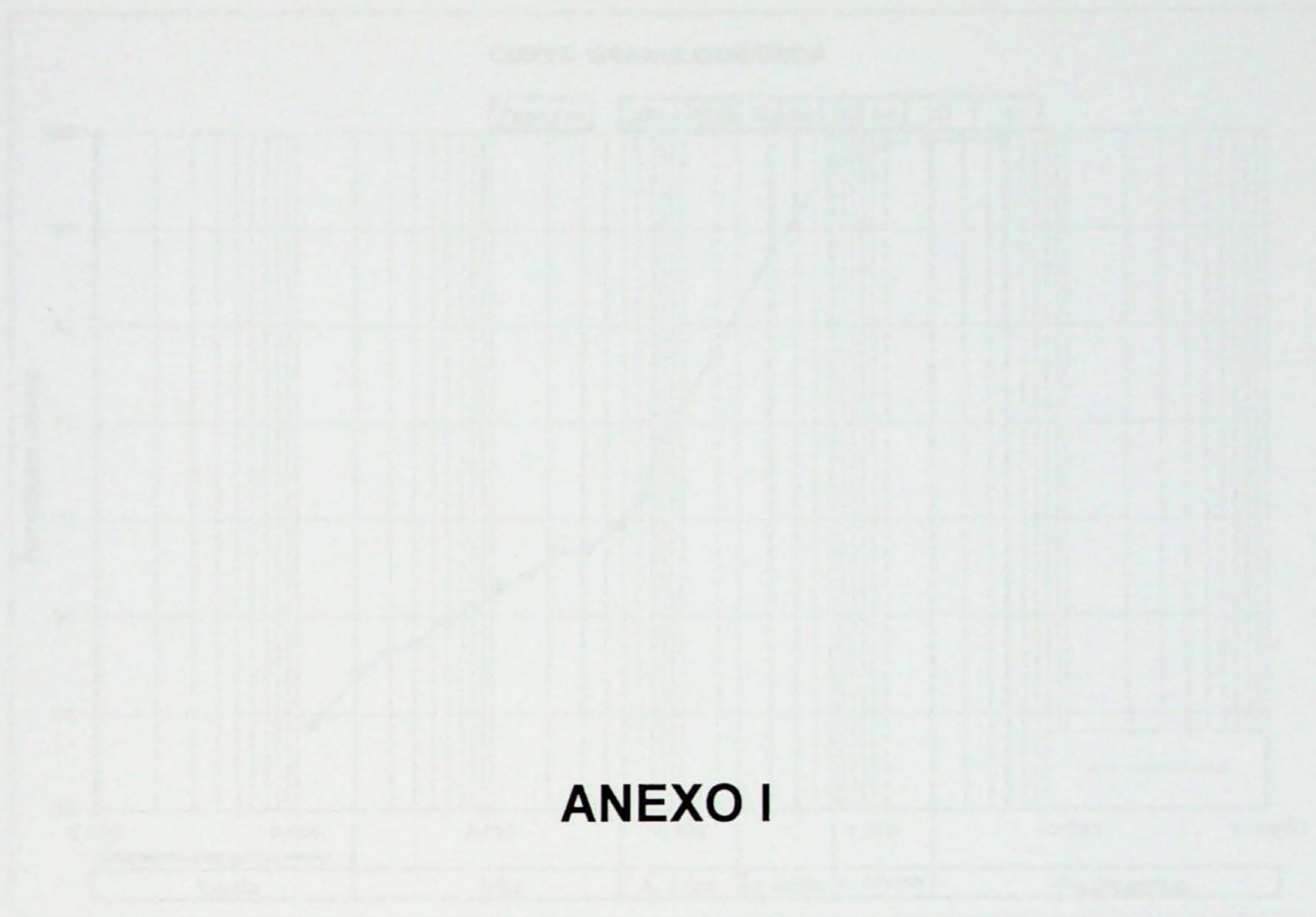
Vaz, L. F. 1996. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. *Solos e Rochas*, São Paulo, 19 (2), p.:117-136.

Wolle, C. M.; Carvalho, C. S. 1989. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar – Brasil. *Solos e Rochas*, São Paulo, 12, p: 27-36.

## ANEXO I

### CURVAS GRANULOMÉTRICAS

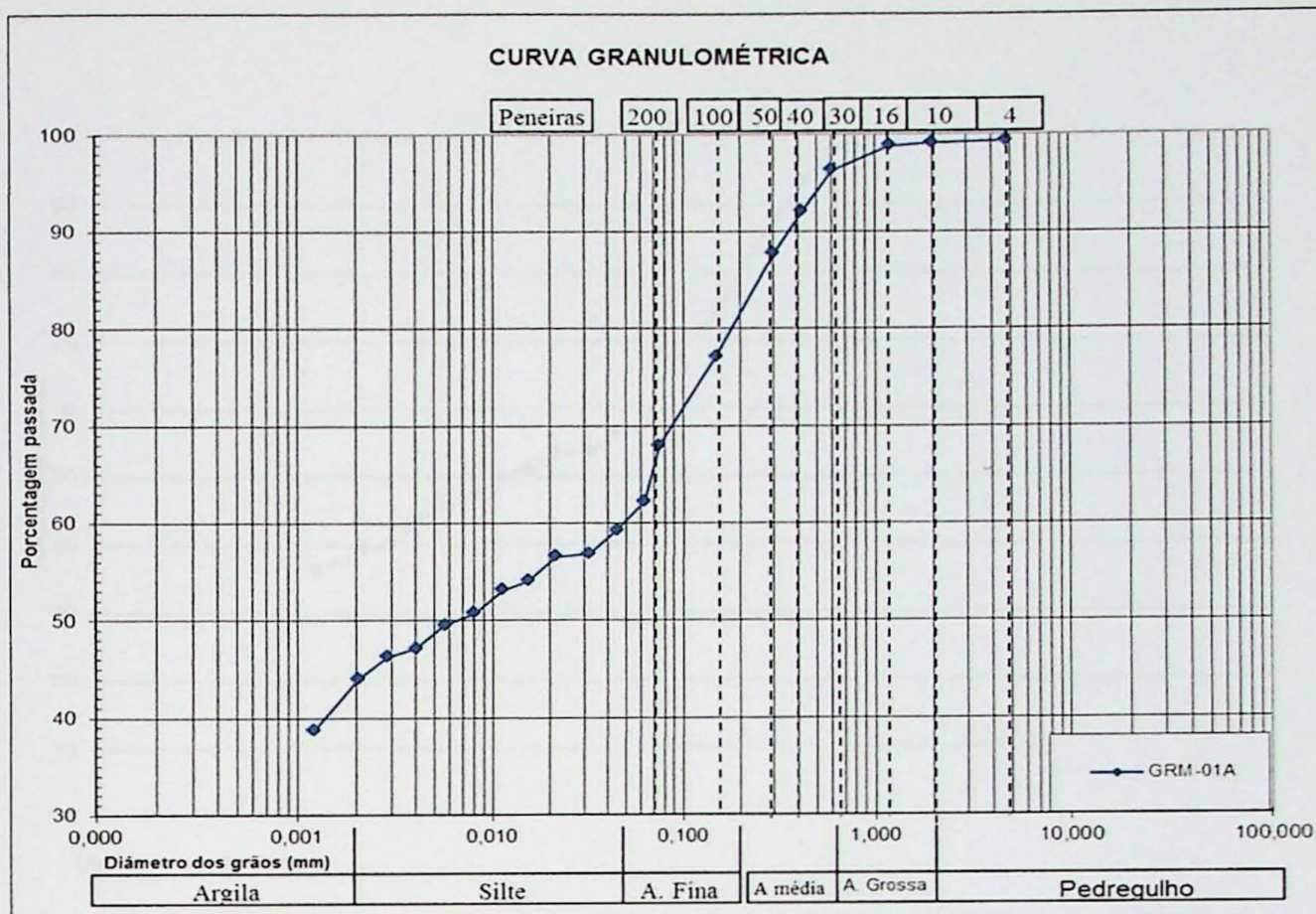




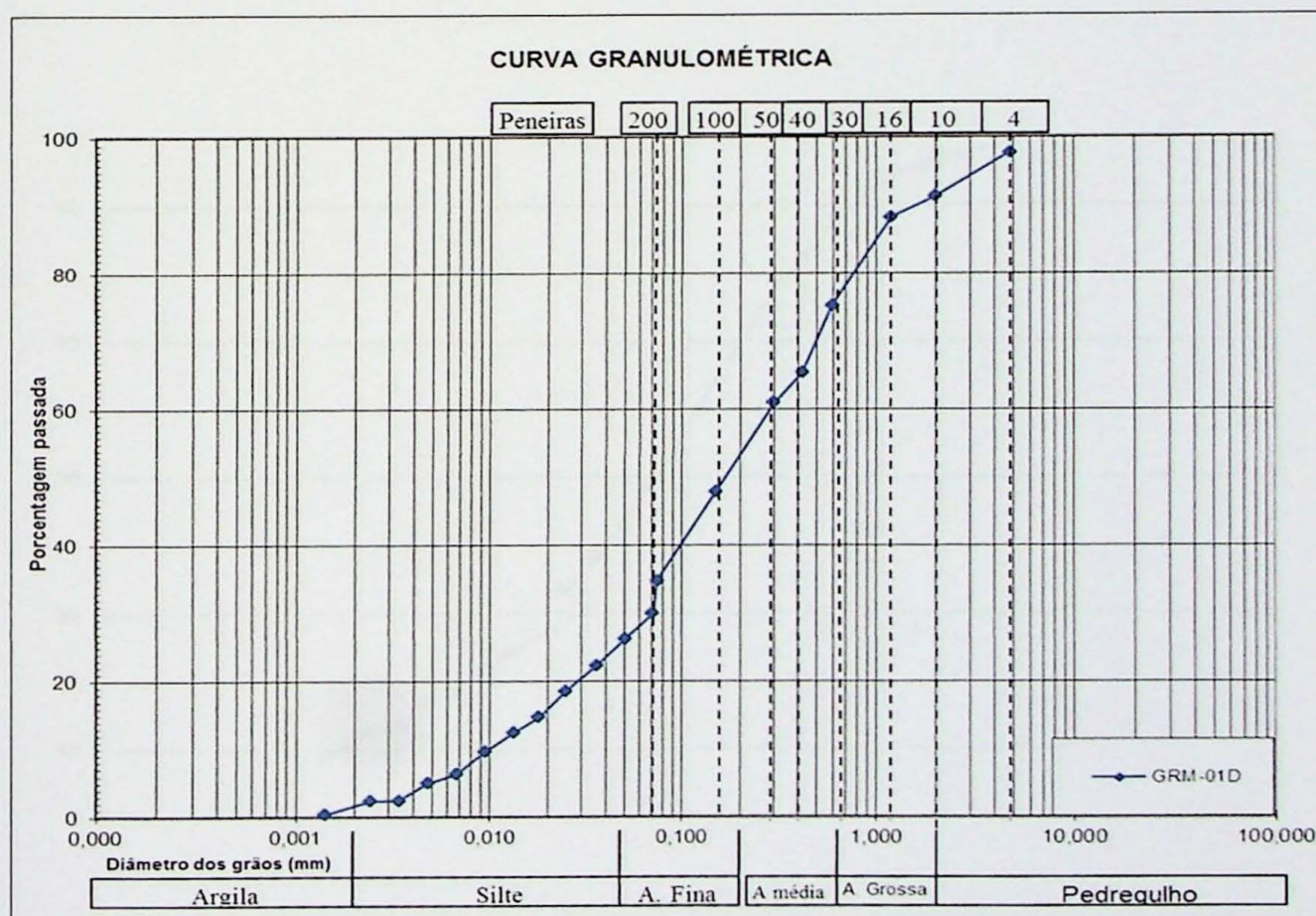
## ANEXO I





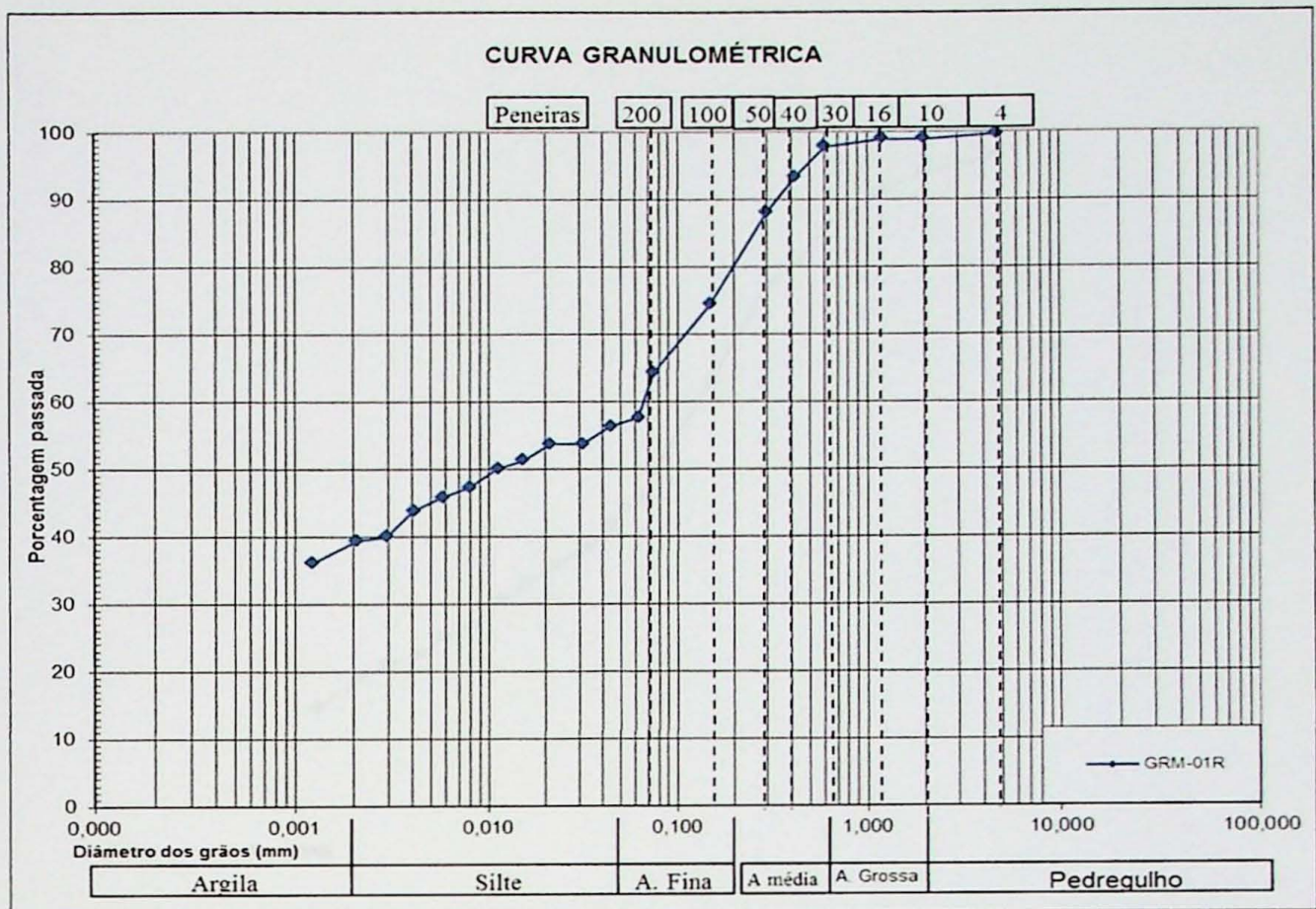


**Gráfico 01** – Curva granulométrica da amostra GRM – 01A..

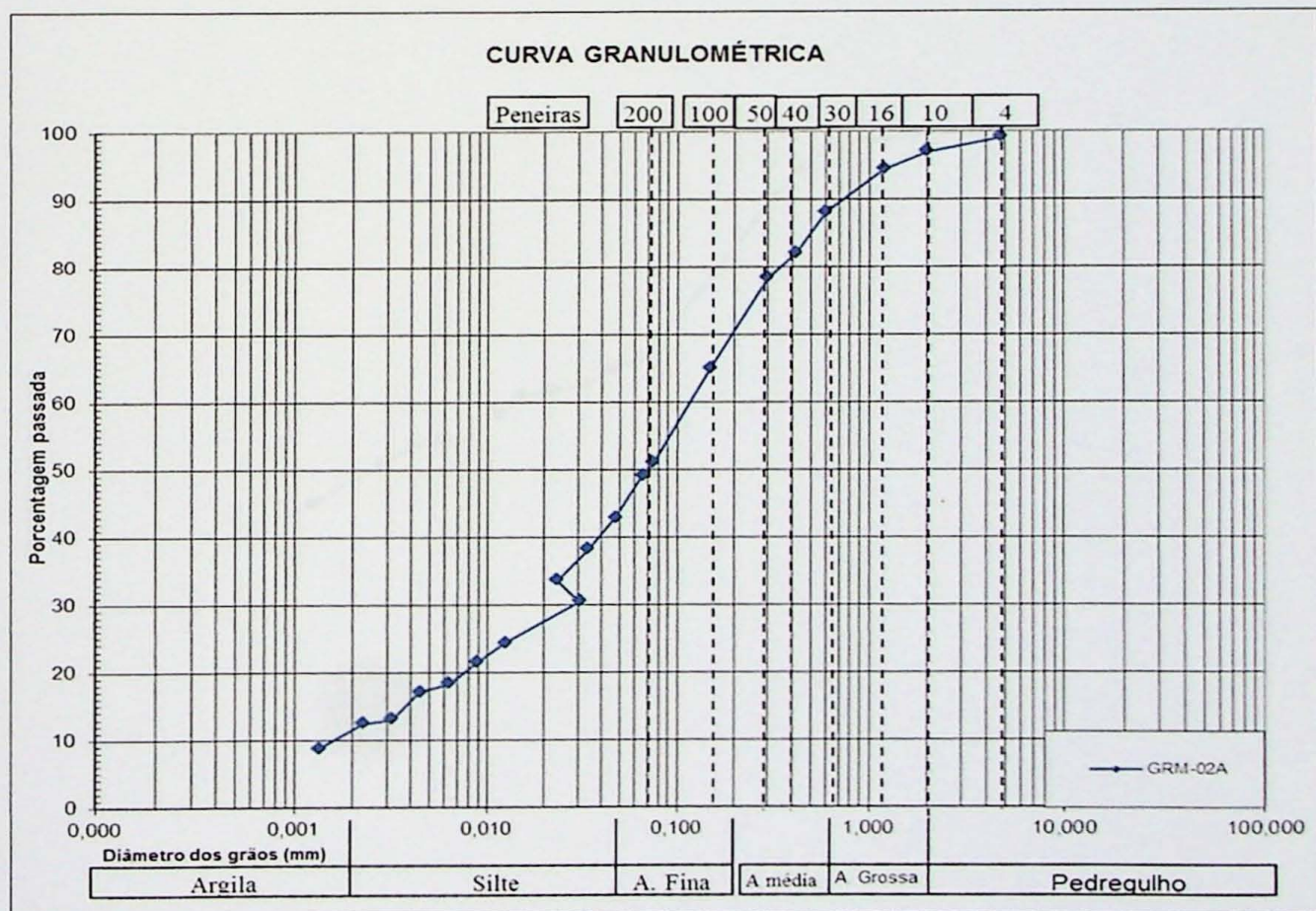


**Gráfico 02** – Curva granulométrica da amostra GRM – 01D..



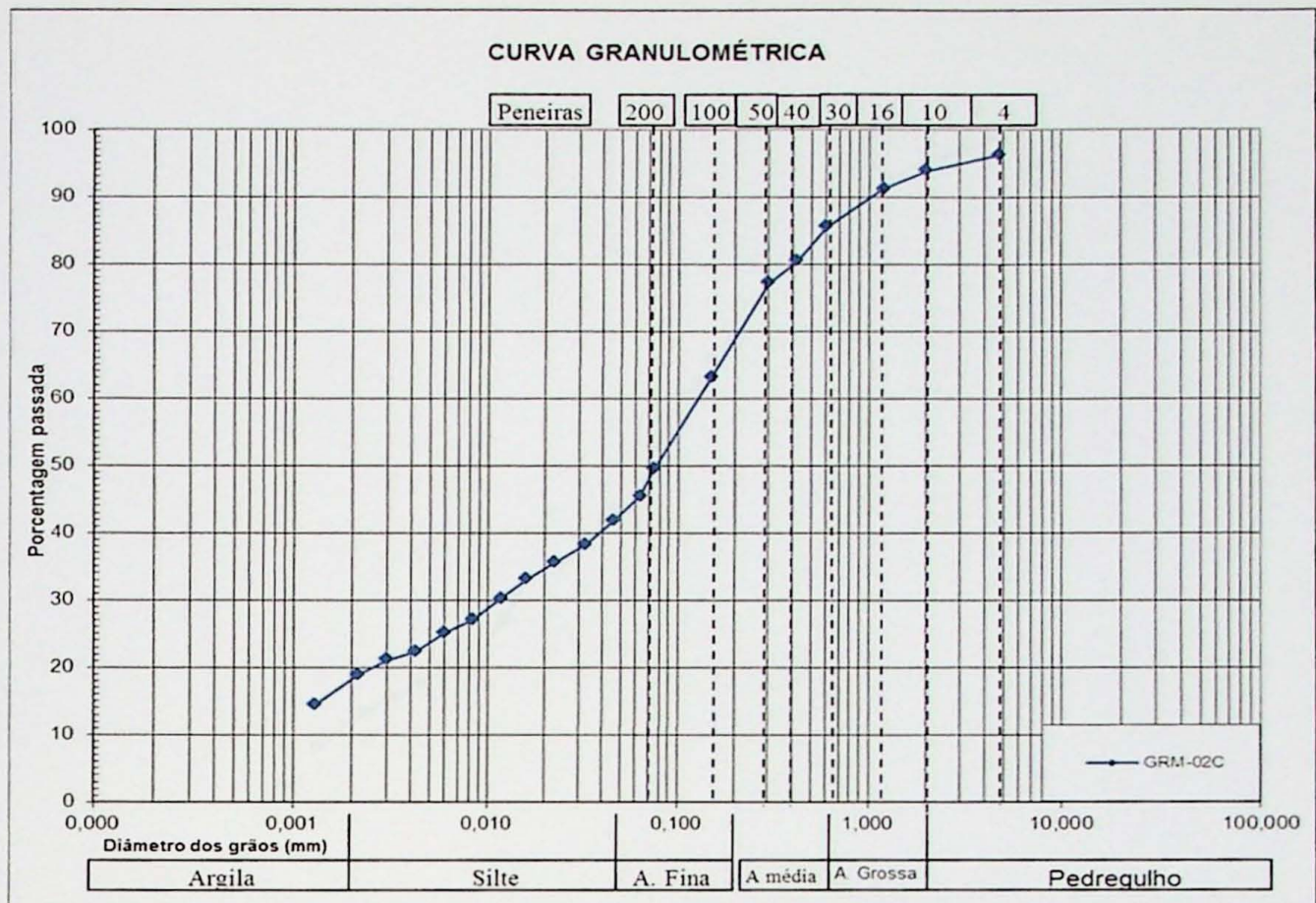


**Gráfico 03** – Curva granulométrica da amostra GRM – 01R.

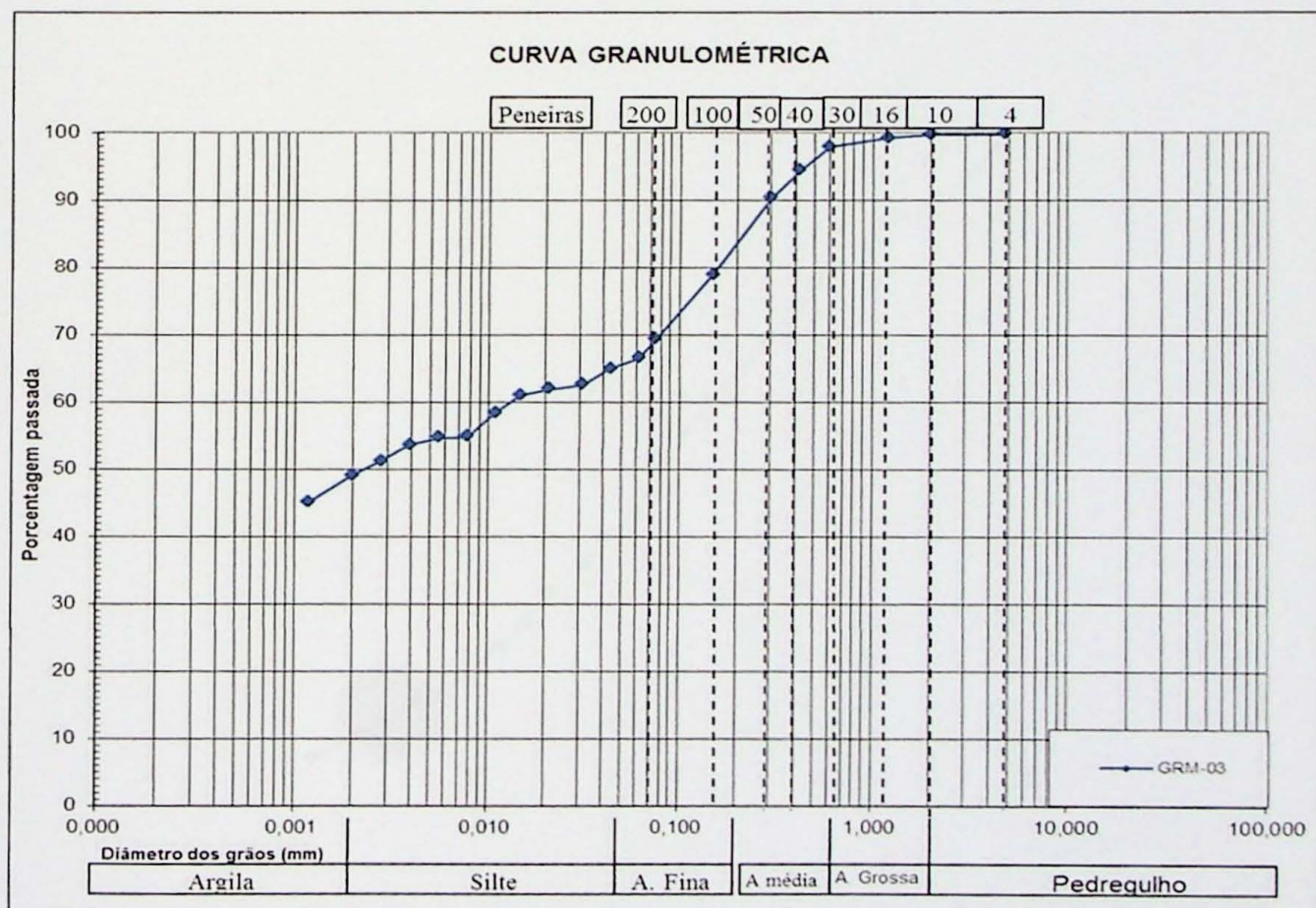


**Gráfico 04** – Curva granulométrica da amostra GRM – 02A.



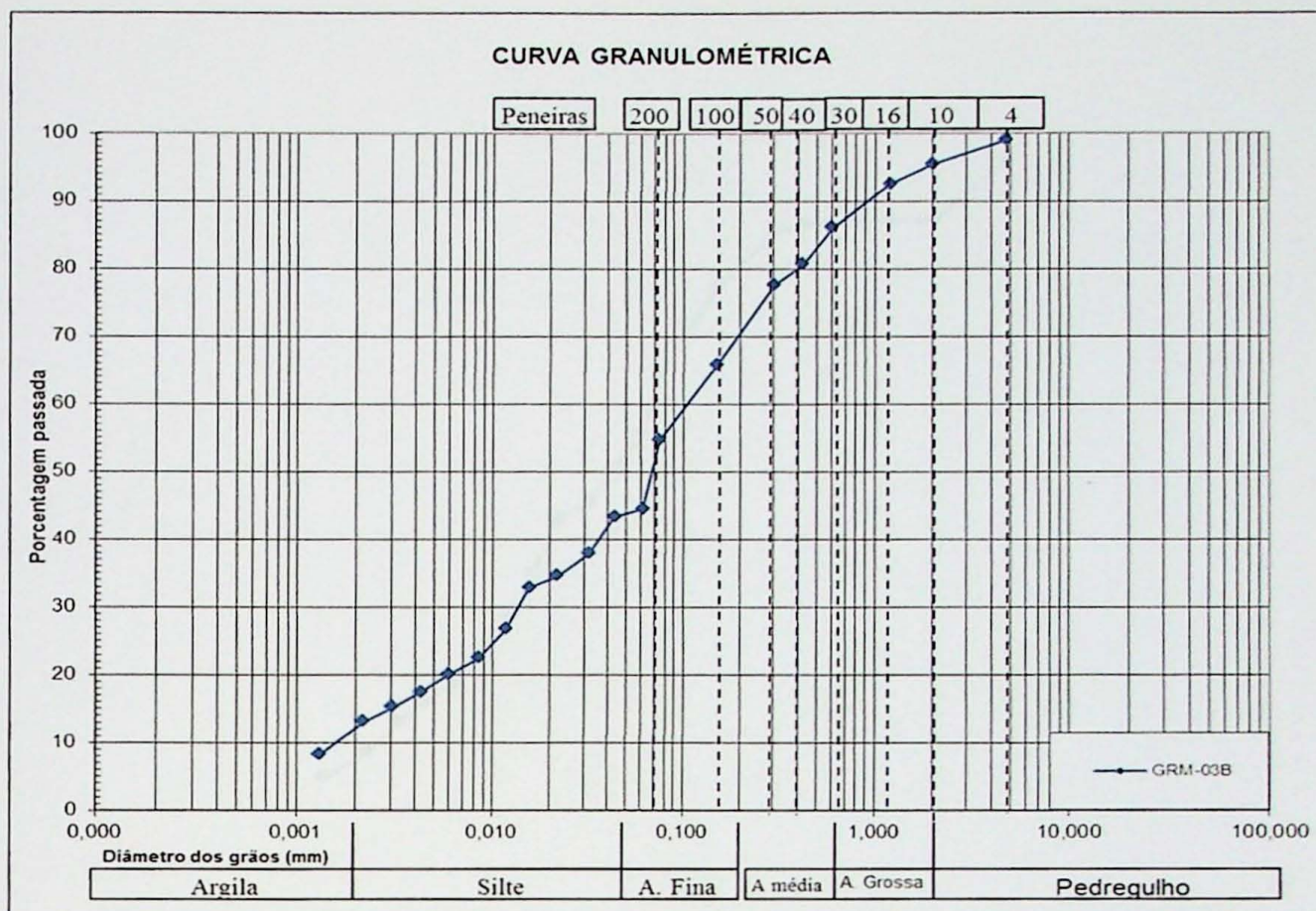


**Gráfico 05** – Curva granulométrica da amostra GRM – 02C.

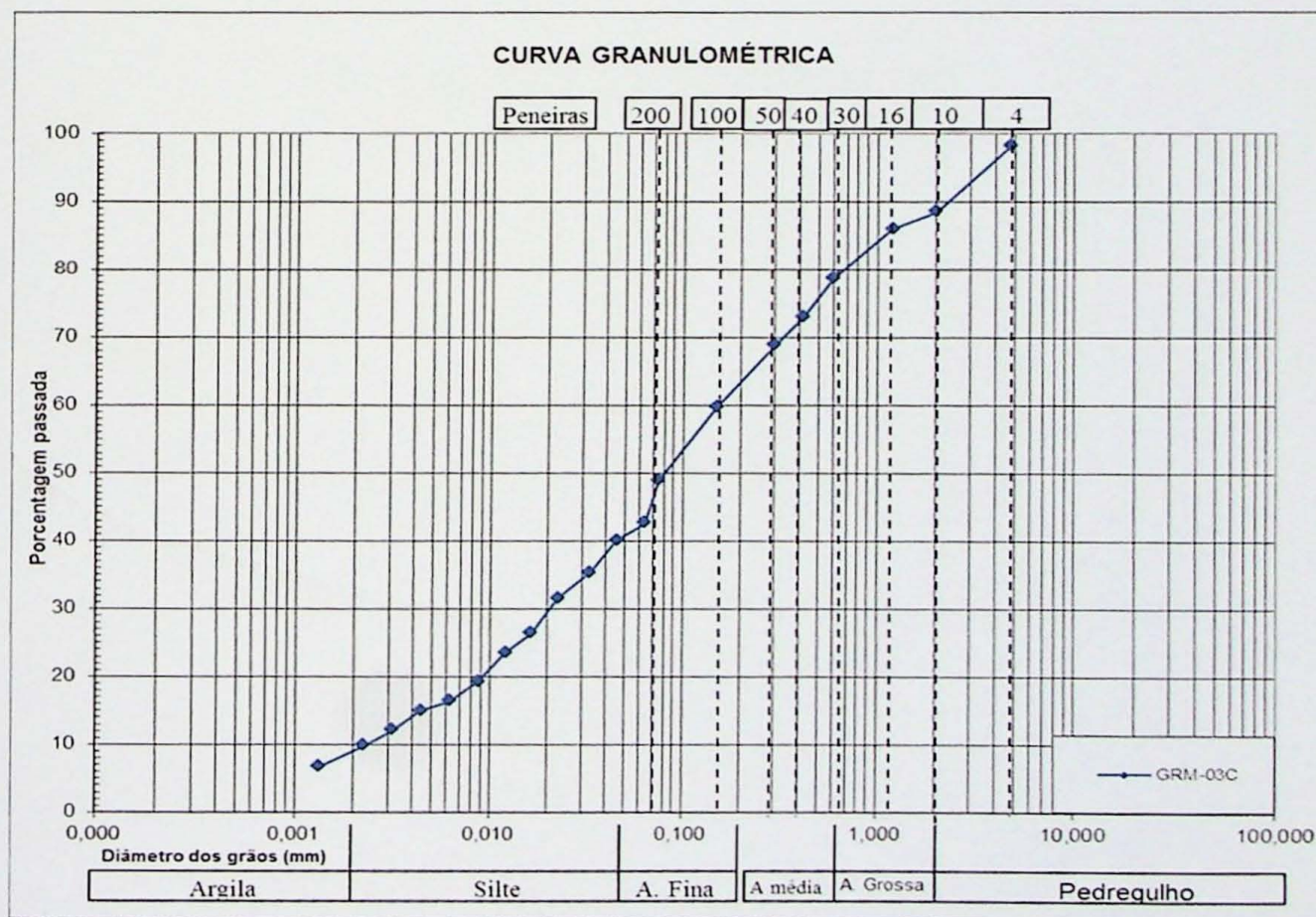


**Gráfico 06** – Curva granulométrica da amostra GRM – 03.



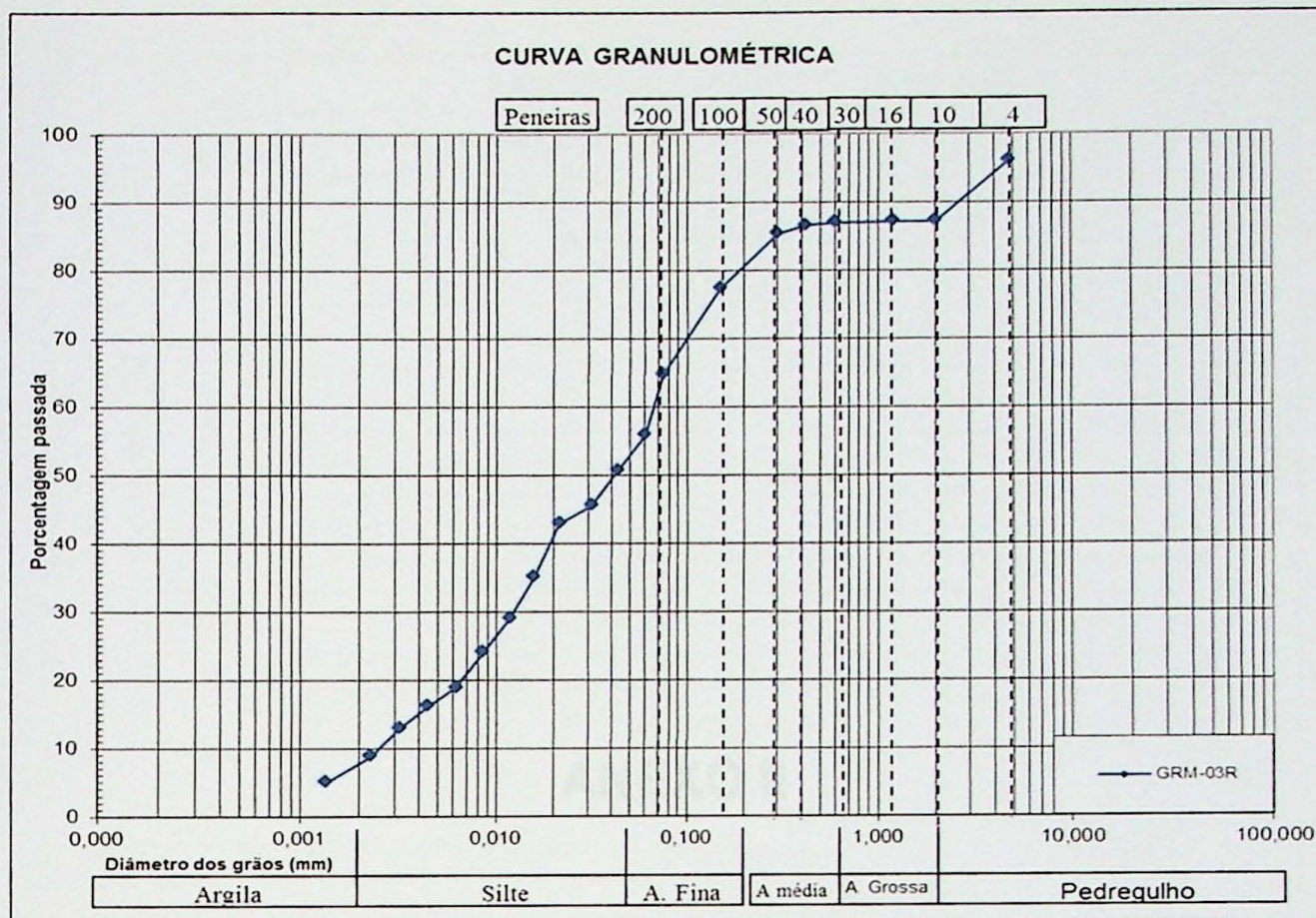


**Gráfico 07** – Curva granulométrica da amostra GRM – 03B.



**Gráfico 08** – Curva granulométrica da amostra GRM – 03C.

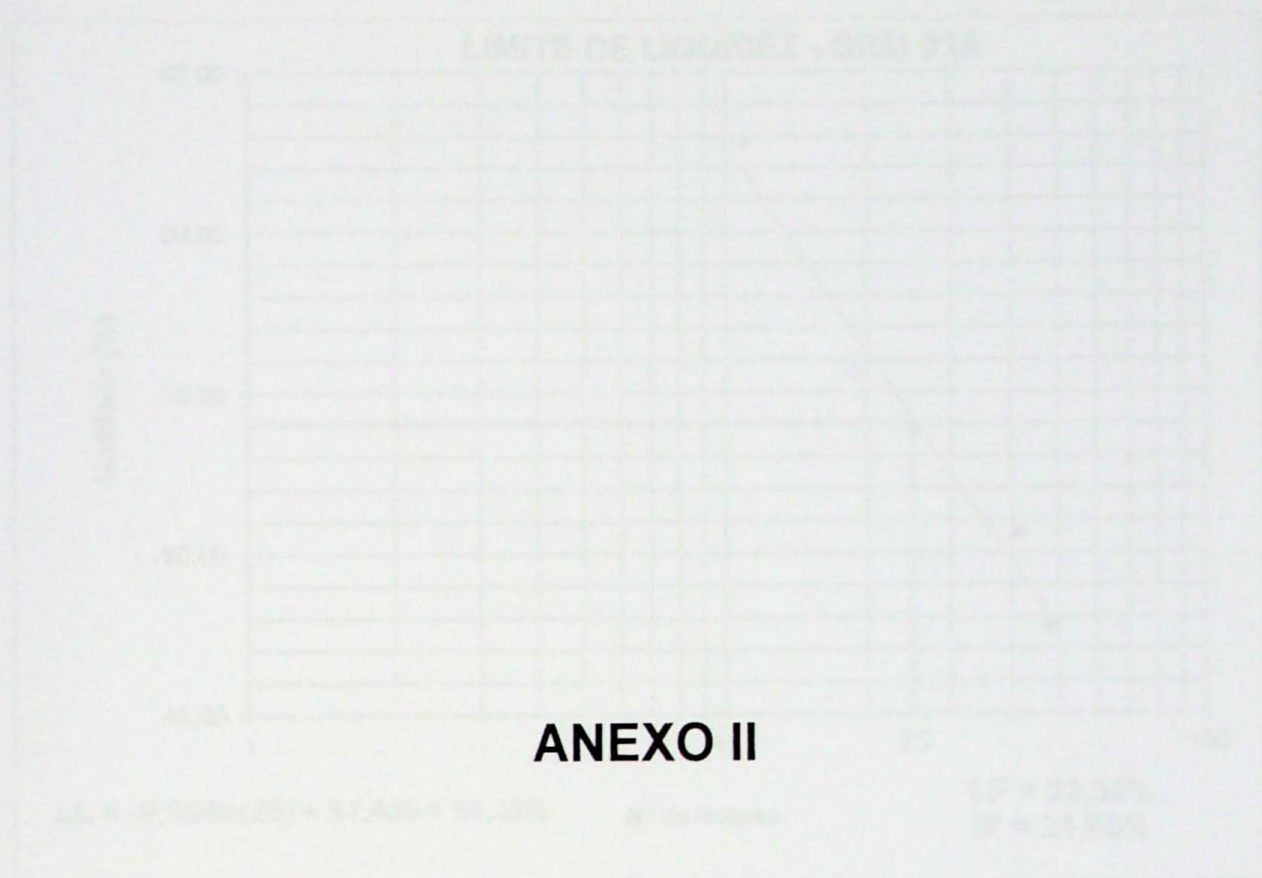




**Gráfico 09** – Curva granulométrica da amostra GRM – 03R.

LIMITES DE ATTERBERG





## ANEXO II

Gráfico 10 - Gráfico de limites de liquidez de acordo com a NBR 6456 - 2014

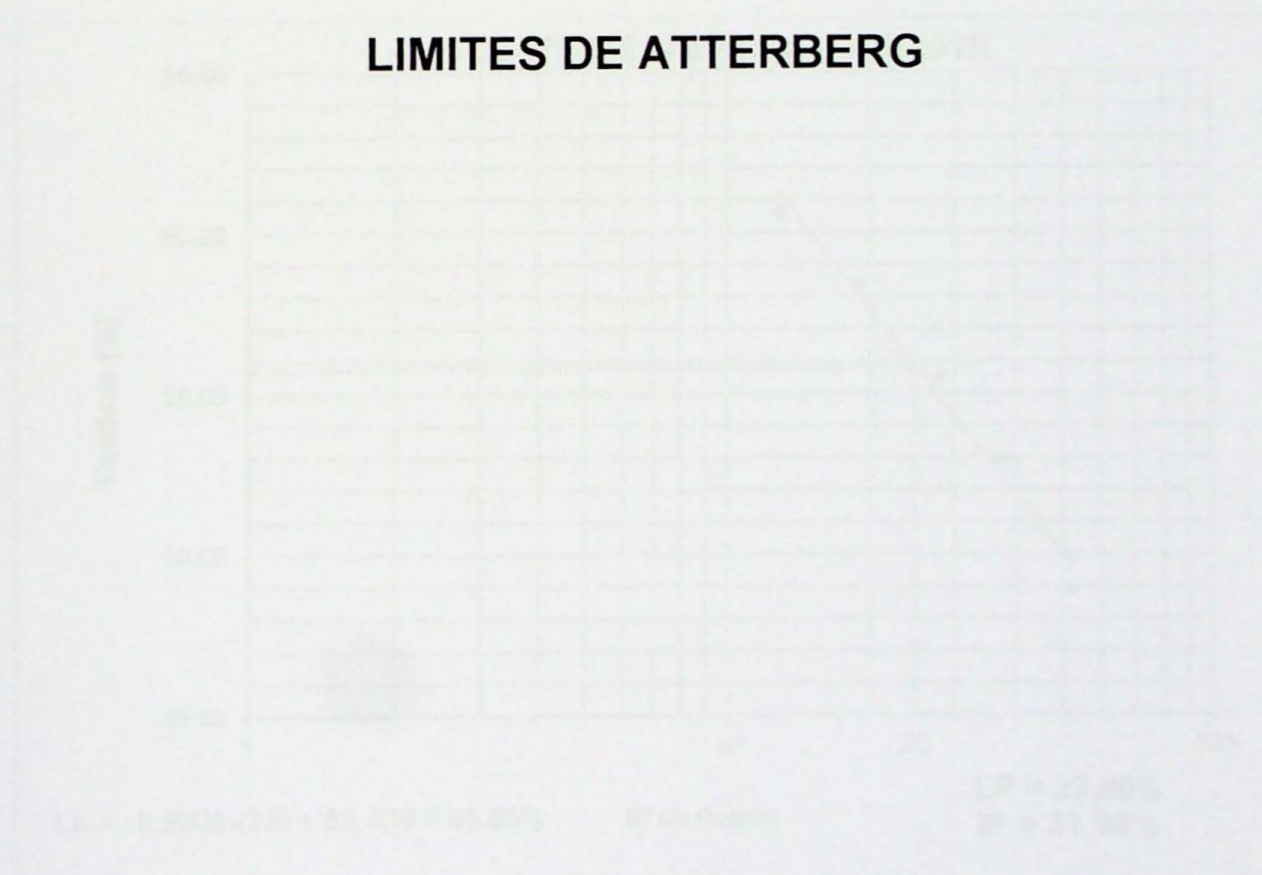
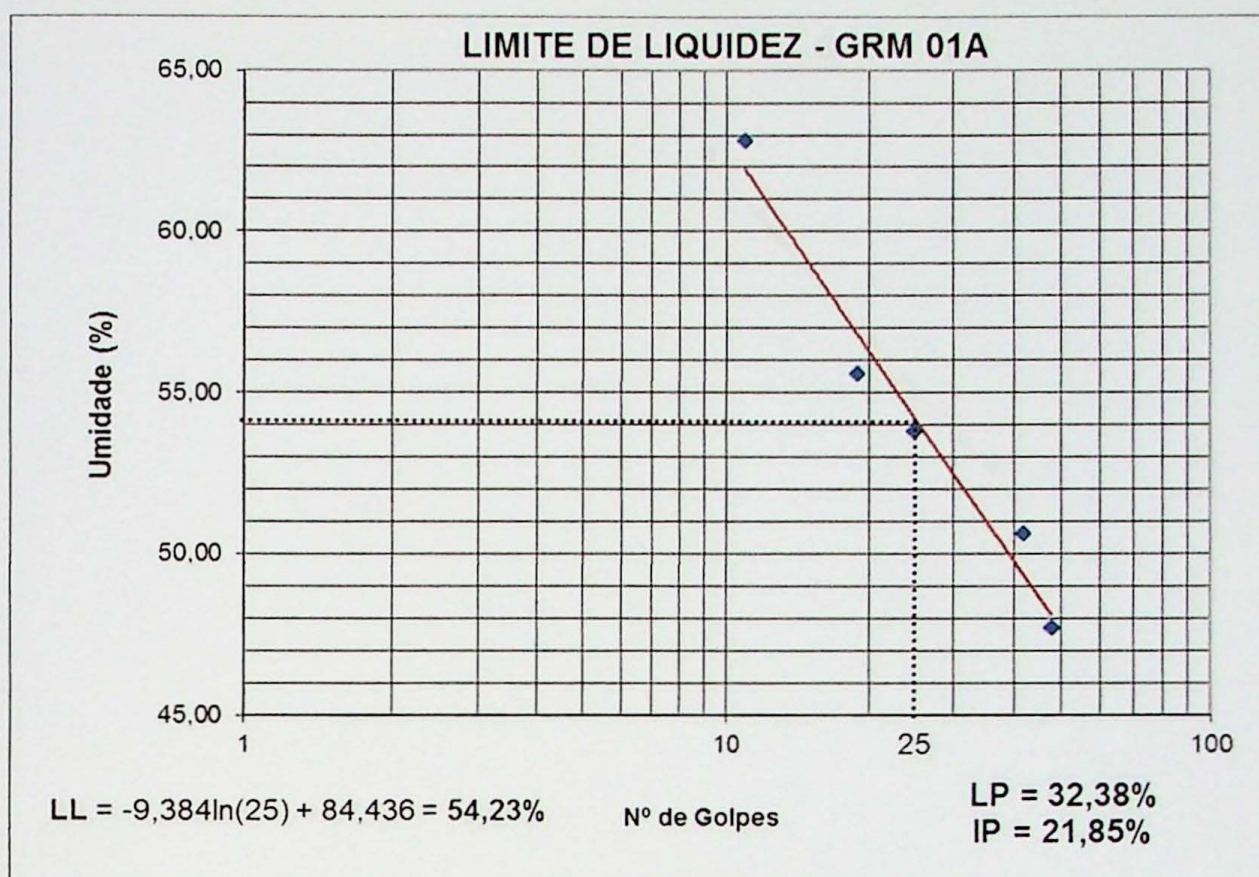
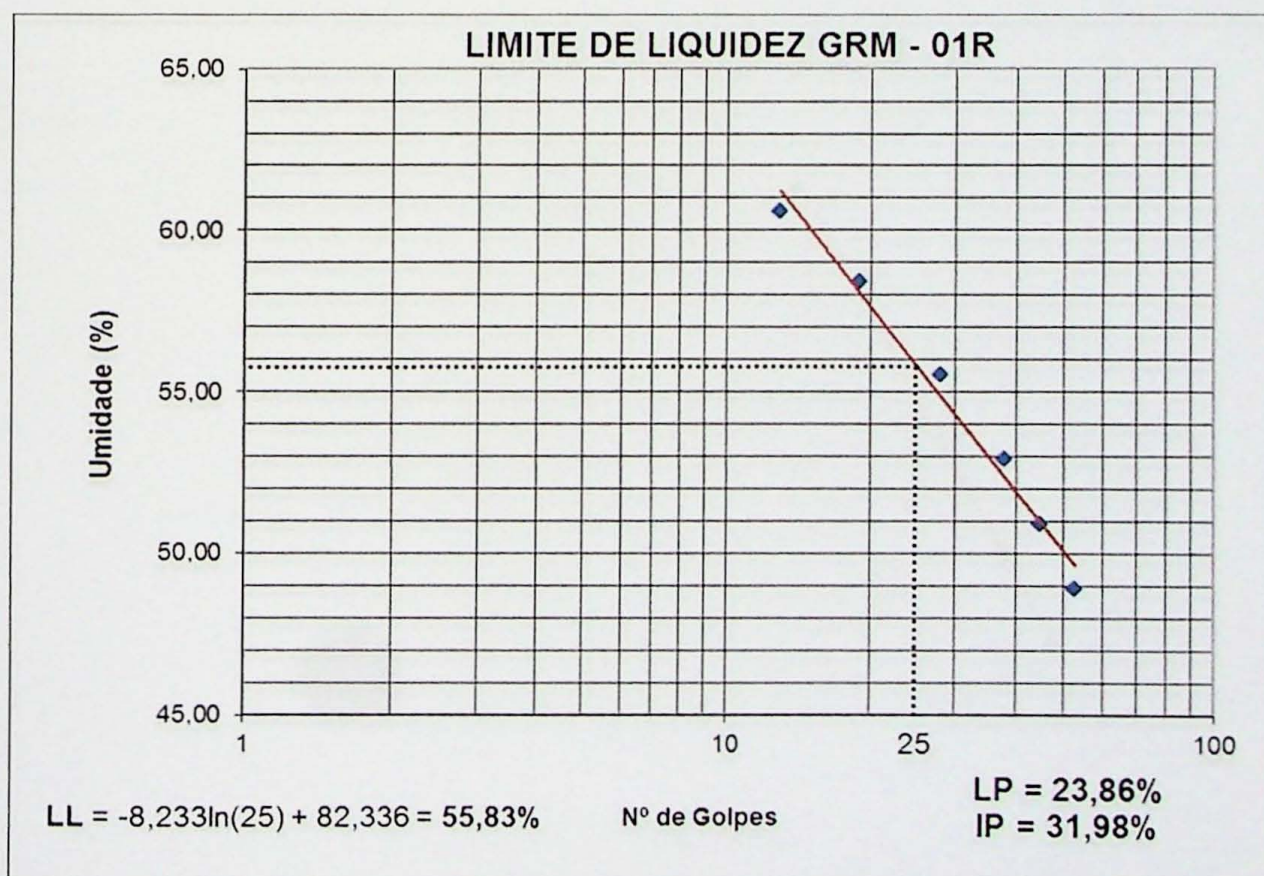


Gráfico 11 - Gráfico de limites de Atterberg de acordo com a NBR 6456 - 2014



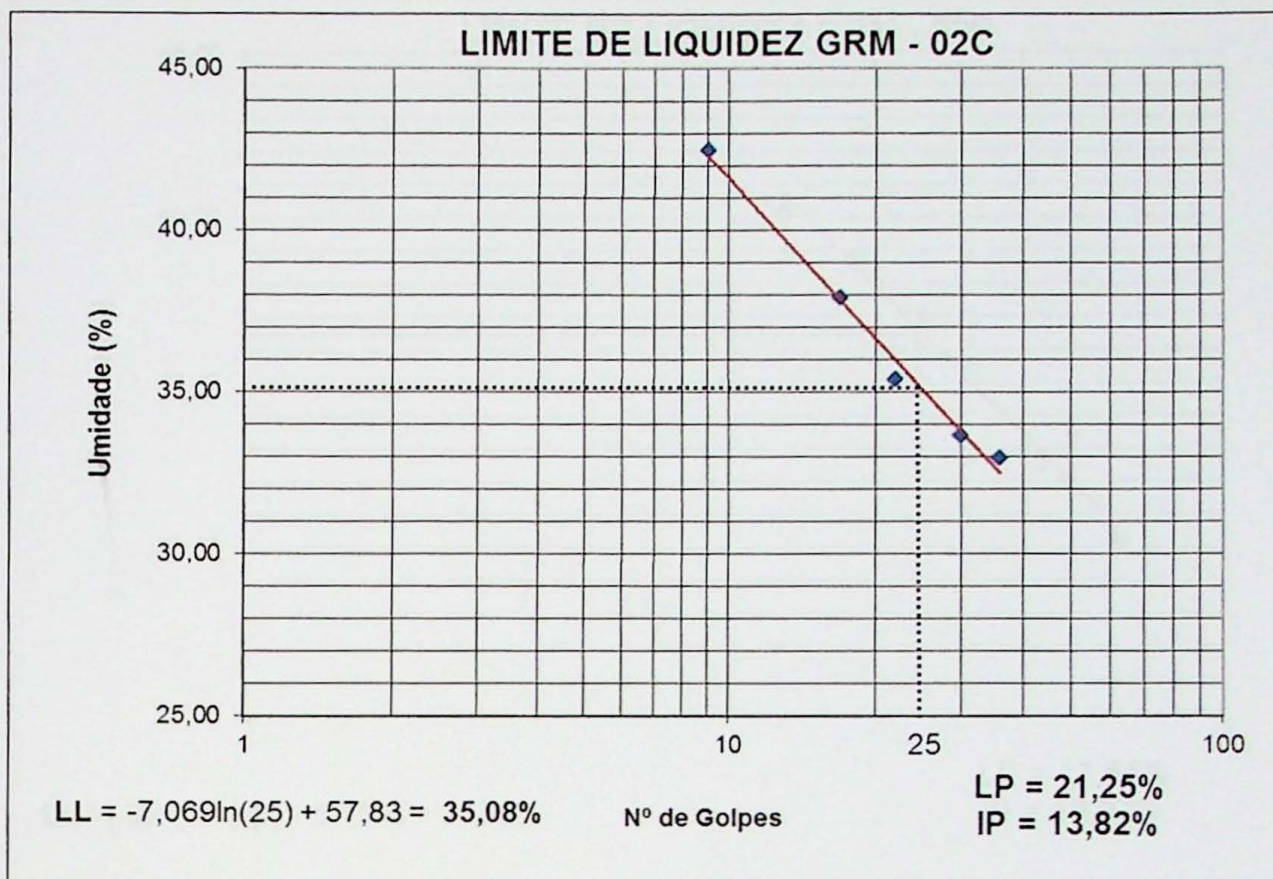


**Gráfico 10** – Gráfico de limite de liquidez da amostra GRM – 01A.

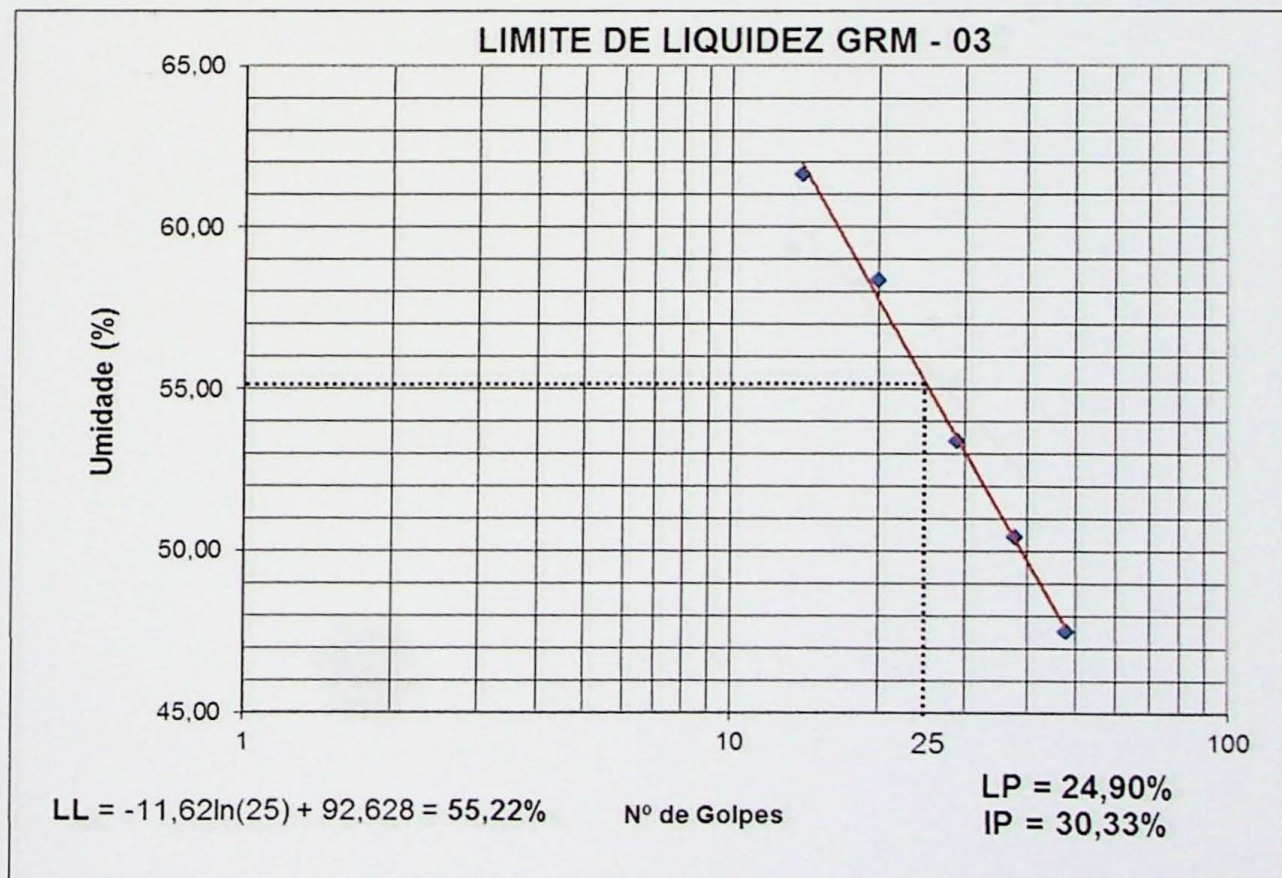


**Gráfico 11** – Gráfico de limite de liquidez da amostra GRM – 01R.



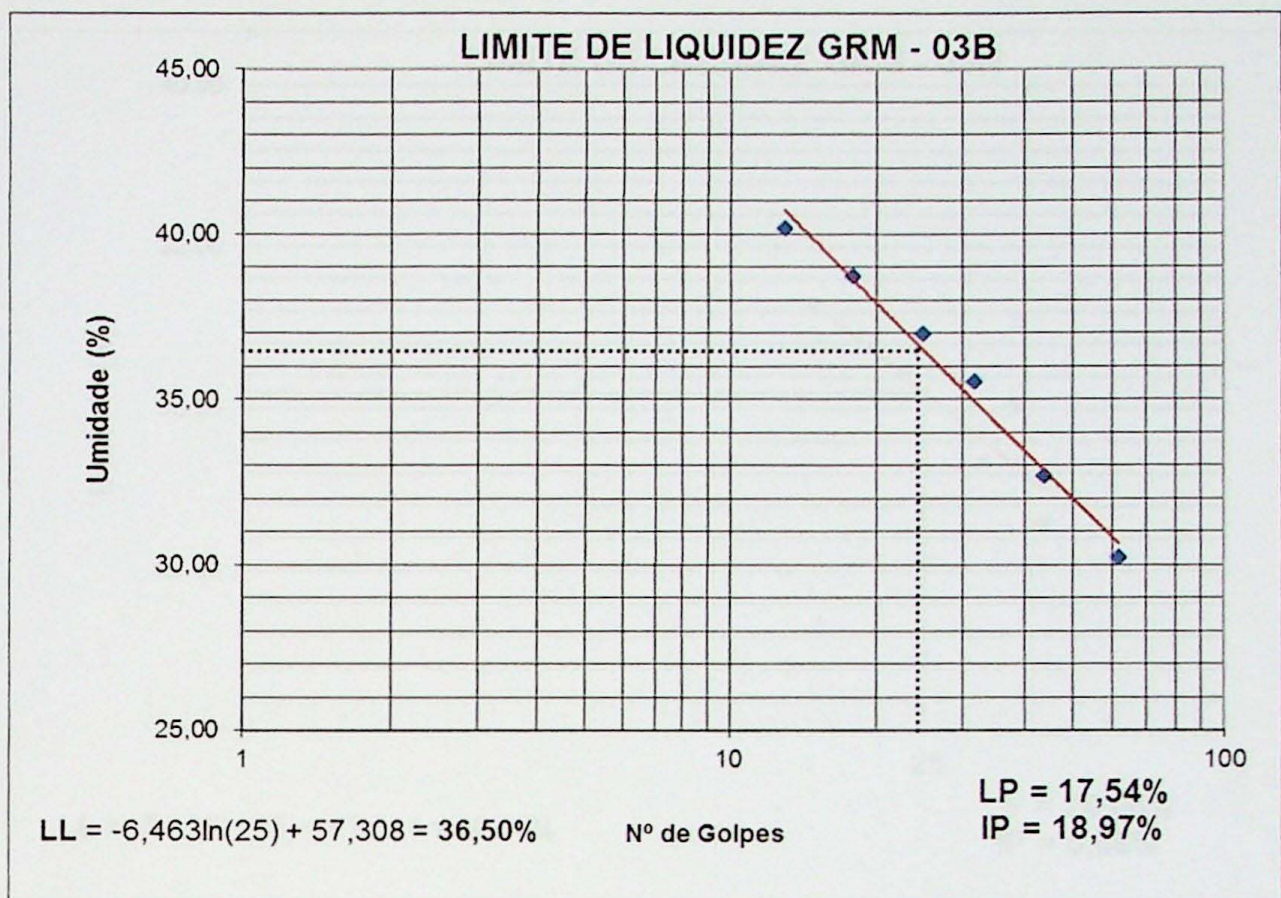


**Gráfico 12** – Gráfico de limite de liquidez da amostra GRM – 02C.

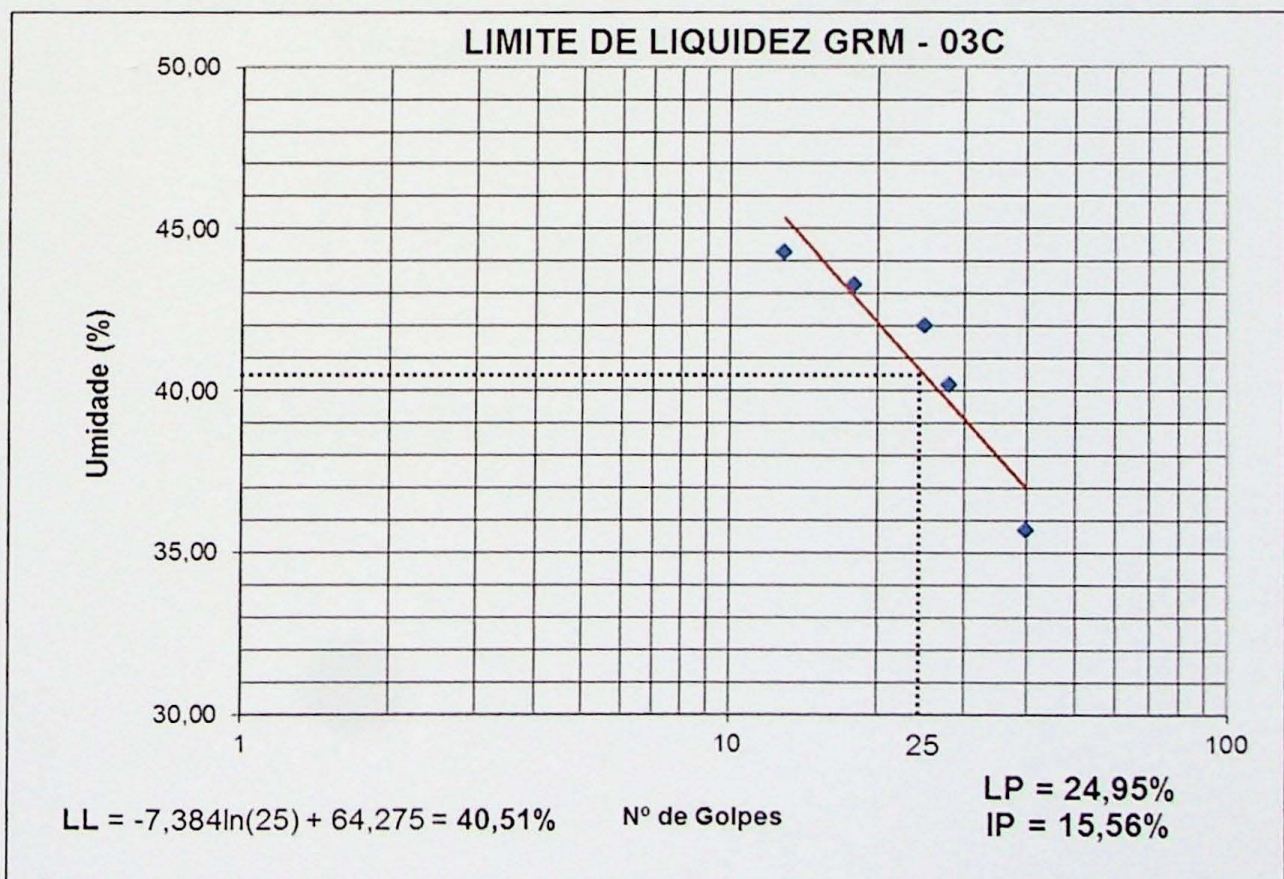


**Gráfico 13** – Gráfico de limite de liquidez da amostra GRM – 03.



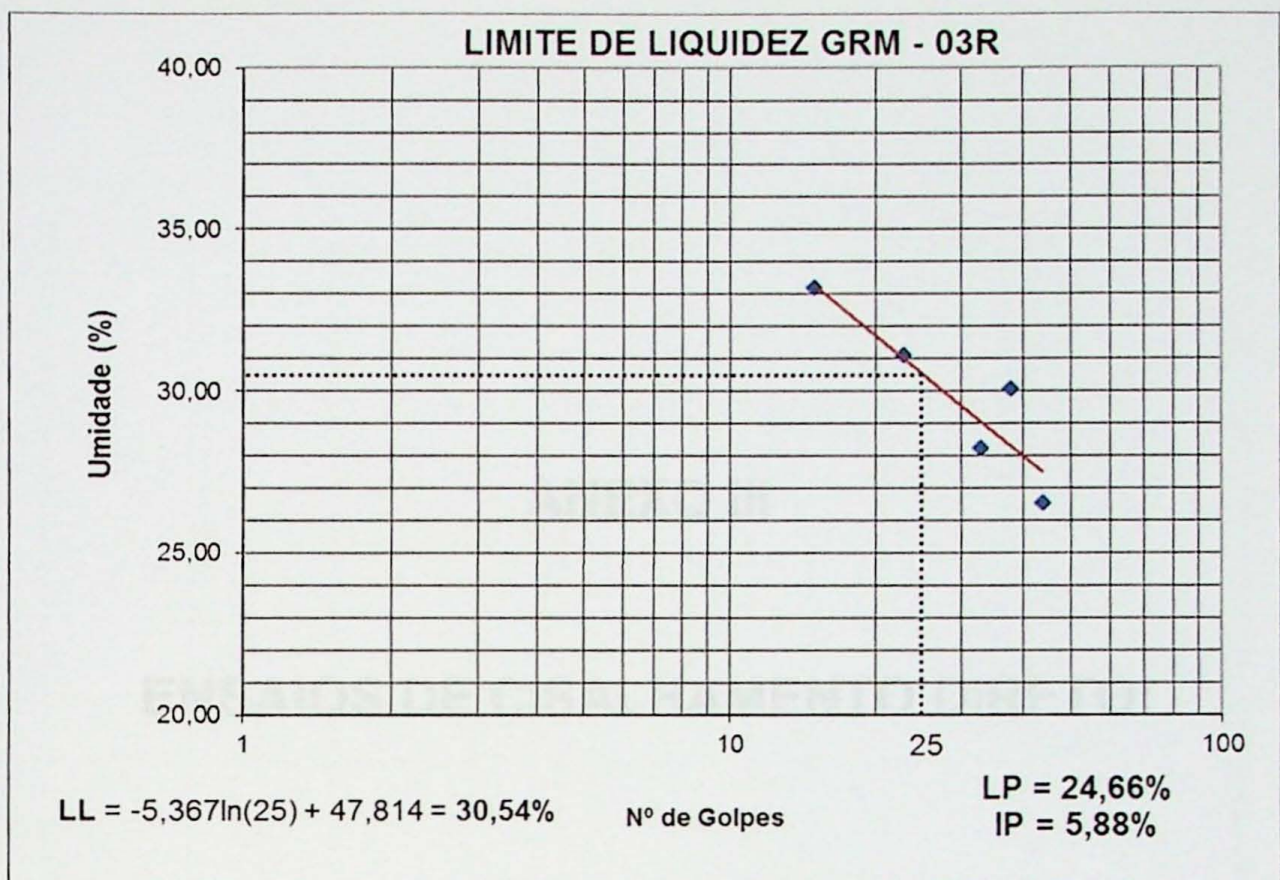


**Gráfico 14** – Gráfico de limite de liquidez da amostra GRM – 03B.



**Gráfico 15** – Gráfico de limite de liquidez da amostra GRM – 03C.





**Gráfico 16** – Gráfico de limite de liquidez da amostra GRM – 03C.

CURVAS DE DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS DE  
CISALHAMENTO DIRETO

E

GRÁFICOS DE VARIAÇÃO DE VOLUME



## **ANEXO III**

### **ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO:**

#### **CURVAS DE DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO**

**E**

#### **GRÁFICOS DE VARIAÇÃO DE VOLUME**



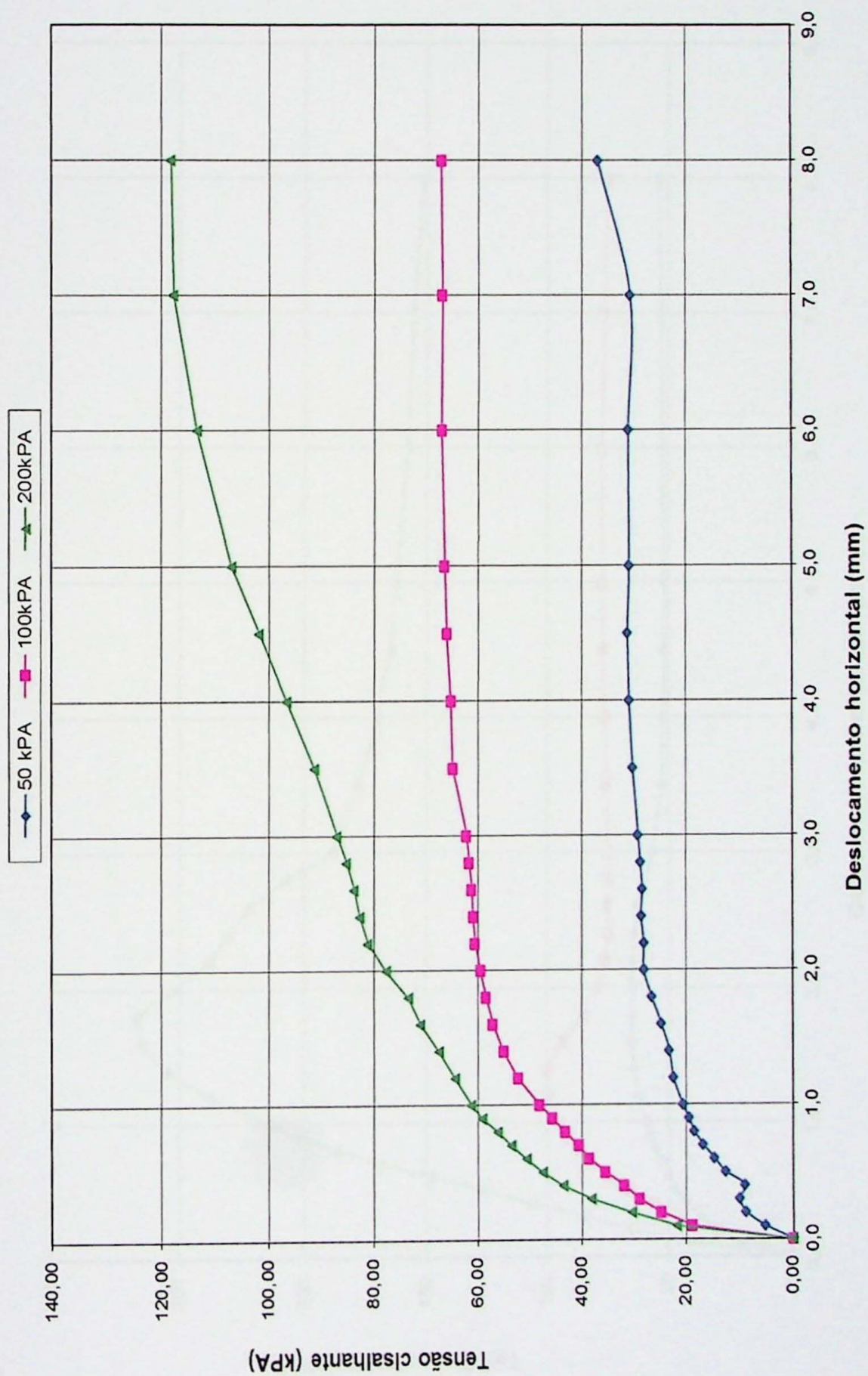


Gráfico 17 – Curva de desenvolvimento do ensaio de cisalhamento direto. Amostra GRM – 01R.



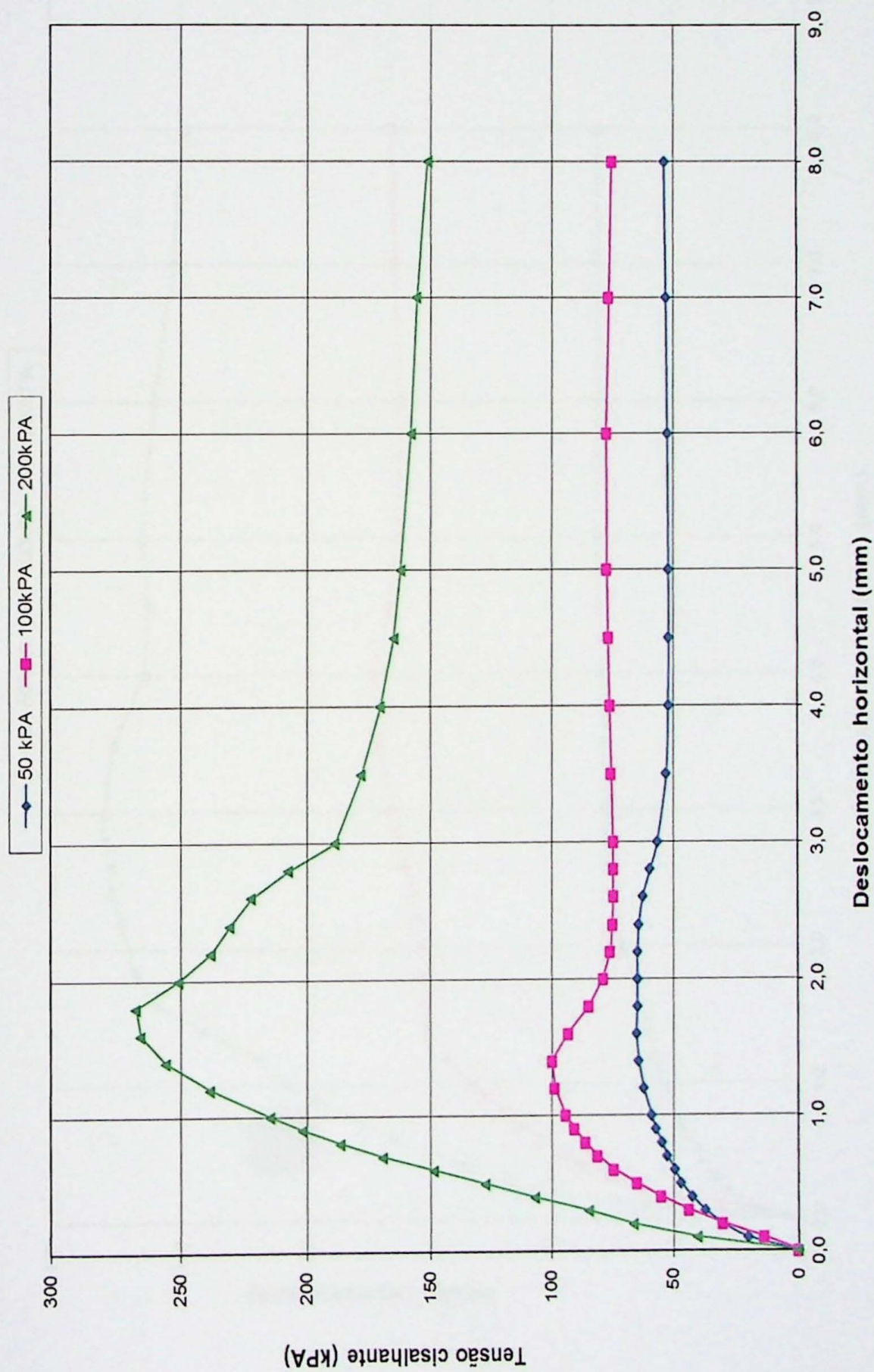


Gráfico 18 – Curva de desenvolvimento do ensaio de cisalhamento direto perpendicular à foliação. Amostra GRM – 03R.



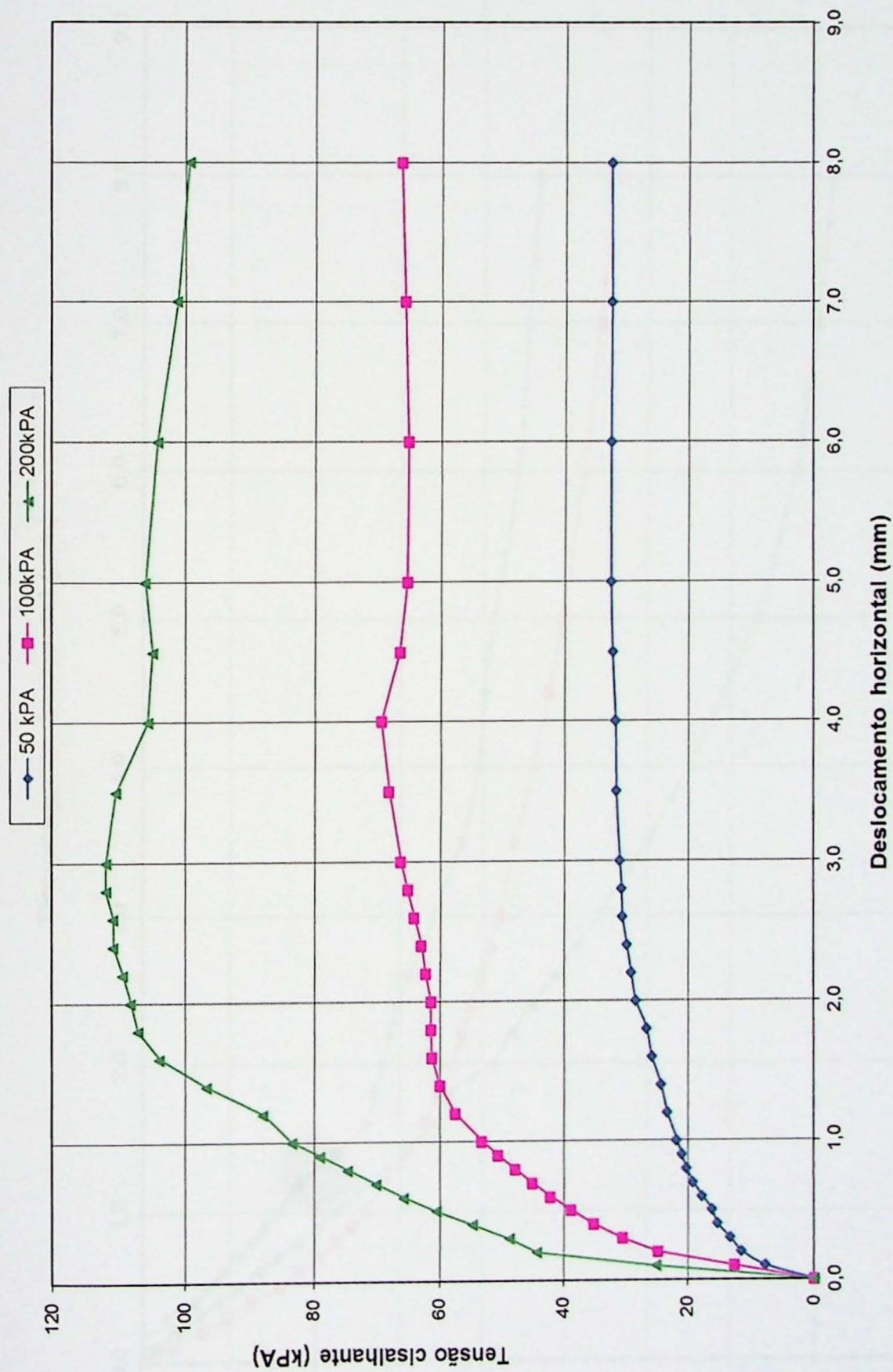


Gráfico 19 – Curva de desenvolvimento do ensaio de cisalhamento direto paralelo à foliação. Amostra GRM – 03R.



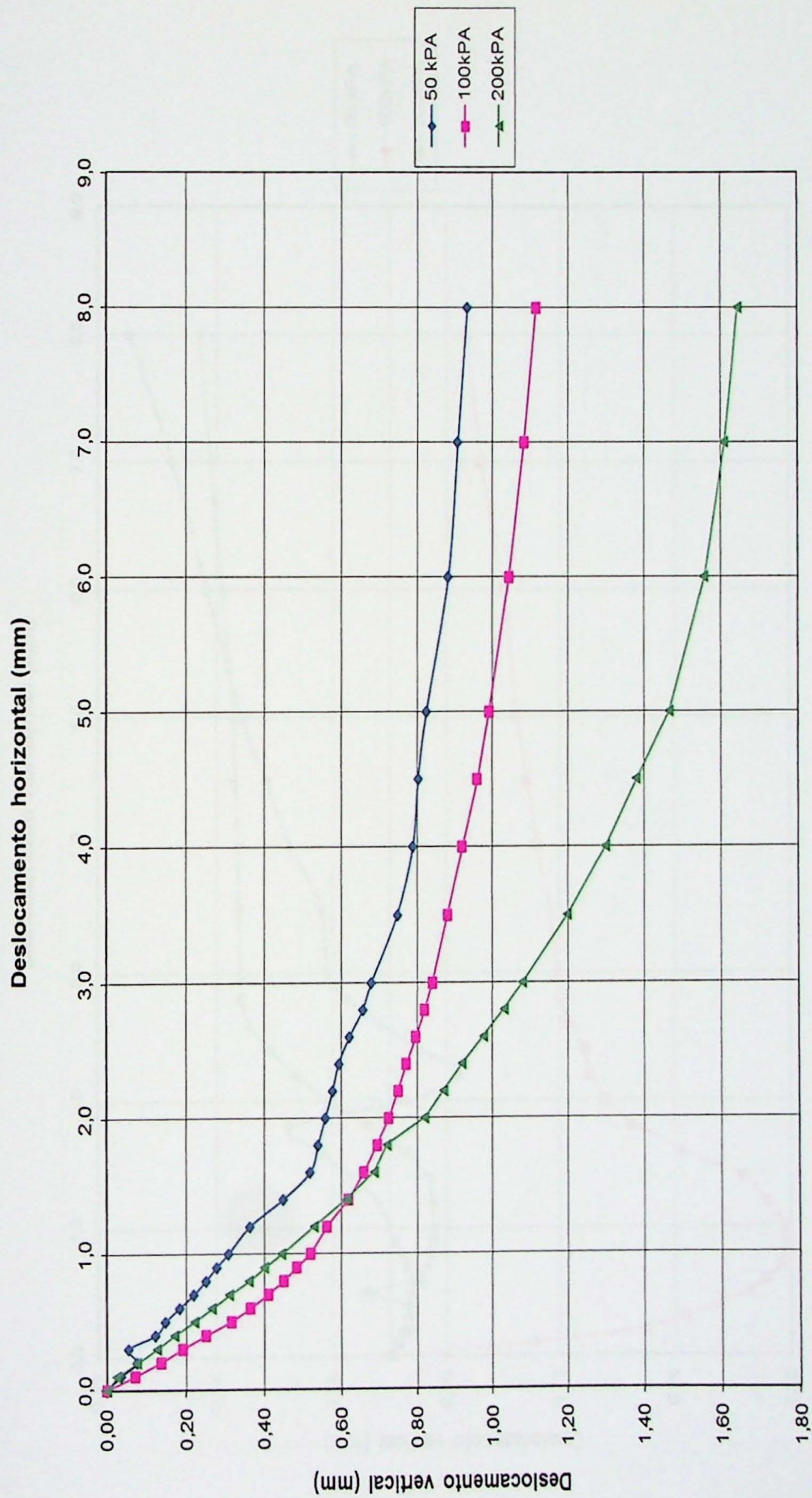


Gráfico 20 – Gráfico de variação de volume durante ensaio de cisalhamento direto. Amostra GRM – 01R.



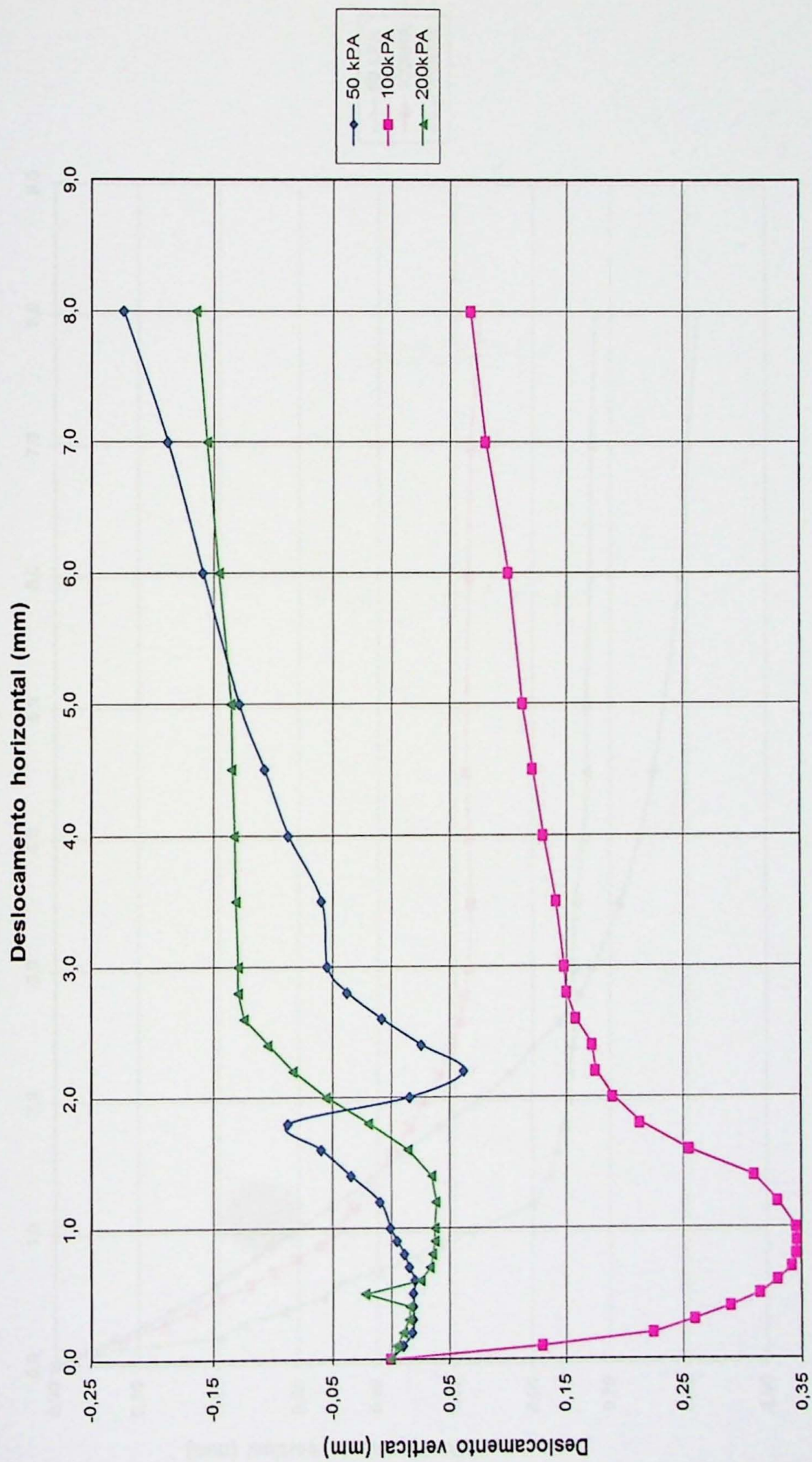


Gráfico 21 – Gráfico de variação de volume durante ensaio de cisalhamento direto perpendicular à foliação. Amostra GRM – 03R.



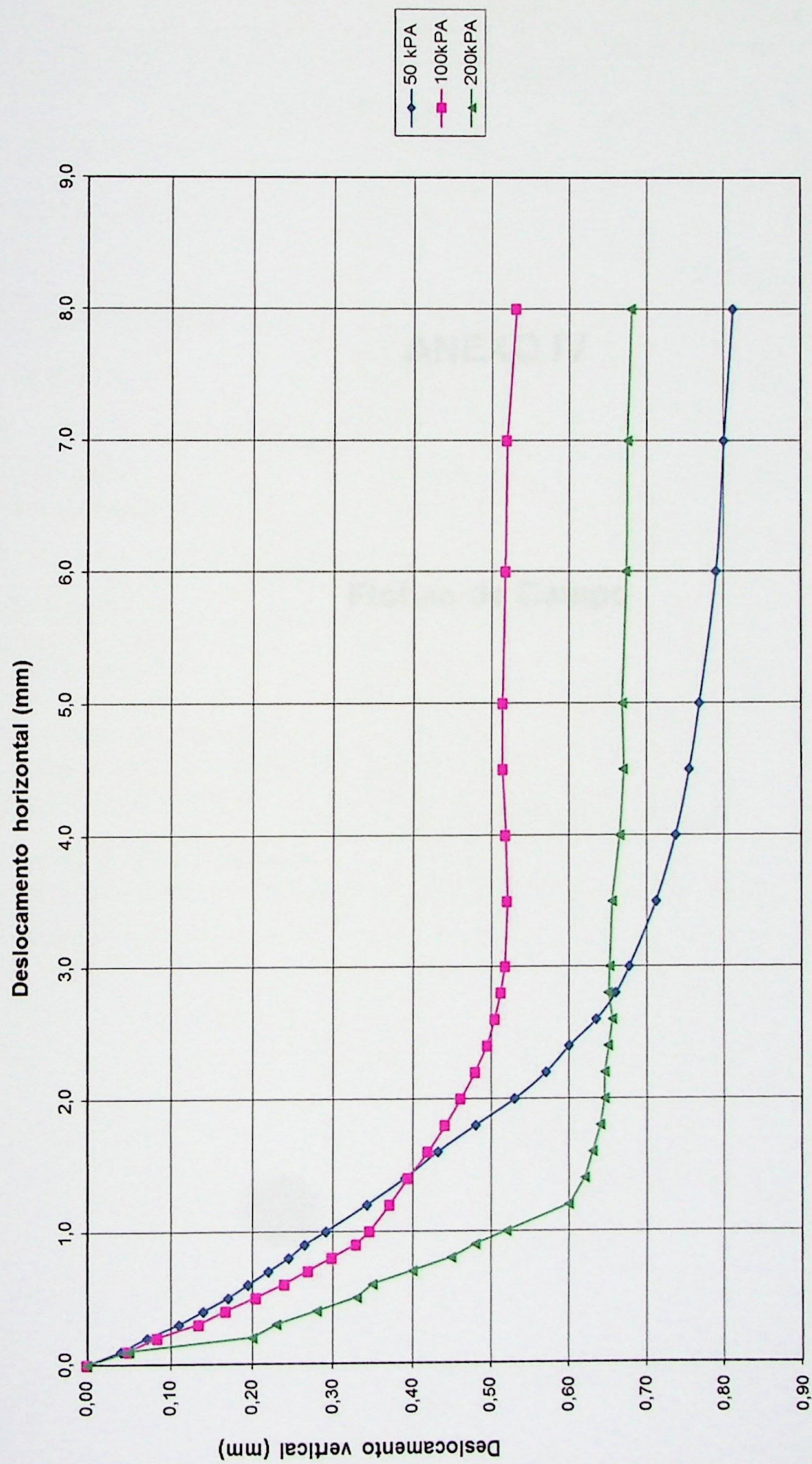


Gráfico 21 – Gráfico de variação de volume durante ensaio de cisalhamento direto paralelo à foliação. Amostra GRM – 03R.







<b>FICHA DE VISTORIA GRM-01</b>			
UTM 23K		393420 / 7410541	
<b>LOCAL:</b> Guararema - SP		<b>Espessura média aproximada do perfil de solo (m):</b> 15 m	
<b>DATA DA VISTORIA:</b> 17/06/2011			
<b>ASPECTOS REGIONAIS</b>		<b>Drenagem:</b>	<b>Condição:</b>
<b>Tipo de ocupação</b>	<b>Densidade</b>	Natural	Satisfatória
VEGETAÇÃO	Alta		Danificada
	Média		Obstruída
	Baixa	Insuficiente	
		<b>Geometria do talude</b>	
<b>Cobertura Vegetal:</b>	<b>Densidade:</b>	altura (m) <u>15</u>	
ARBÓREA	Alta	extensão (m) <u>25</u>	
	Média	largura (m) <u>50</u>	
	Esparsa	inclinação <u>70°</u>	
<b>Relevo:</b>			
Escarpado ( )		Ondulado ( )	
Montanhoso ( X )		Suave ( )	
<b>CARACTERÍSTICAS LOCAIS</b>		<b>Risco/Consequências:</b>	
<b>Tipo de talude:</b>	<b>Natureza do material</b>	CASAS, RUA, EEE	
Encosta natural	Solo		
Talude de corte	Rocha		
Talude de aterro	Solo e rocha		
Com obra de contenção	Lixo/entulho		
Tipo(s) de obra(s): MURO DE GRAVIDADE, GABIÃO	Matacões in situ Tálus		
<b>CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA</b>			
<b>Tipo(s) de Movimento(s):</b> RASTEJO, ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAL E ROTACIONAL			



<b>FICHA DE VISTORIA GRM-02</b>			
UTM 23K		395227 / 7410043	
<b>LOCAL:</b> Guararema - SP		<b>Espessura média aproximada do perfil de solo (m):</b> > 15m	
<b>DATA DA VISTORIA:</b> 17/06/2011			
<b>ASPECTOS REGIONAIS</b>		<b>Drenagem:</b>	<b>Condição:</b>
<b>Tipo de ocupação</b>	<b>Densidade</b>	Natural	Satisfatória
VEGETAÇÃO / TRECHO DESOCULPADO	Alta		Danificada
	Média		Obstruída
	Baixa		Insuficiente
		<b>Geometria do talude</b>	
<b>Cobertura Vegetal:</b>	<b>Densidade:</b>	altura (m) <u>25</u>	
ARBUSTIVA	Alta	extensão (m) <u>&gt; 100</u>	
	Média	largura (m) <u>&gt; 100m</u>	
	Esparsa	inclinação <u>70° - 80°</u>	
<b>Relevo:</b>			
Escarpado ( )		<b>Risco/Consequências:</b>	
Ondulado ( )			
Montanhoso ( X )		CASAS, RUA, ESCOLA	
<b>CARACTERÍSTICAS LOCAIS</b>			
<b>Tipo de talude:</b>	<b>Natureza do material</b>		
Encosta natural	Solo		
Talude de corte	Rocha		
Talude de aterro	Solo e rocha		
Com obra de contenção	Lixo/entulho		
Tipo(s) de obra(s): _____	Matações in situ		
	Tálus		
<b>CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA</b>			
<b>Tipo(s) de Movimento(s):</b>			
ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL E RASTEJO			



<b>FICHA DE VISTORIA GRM-03</b>			
UTM 23K		395173 / 7409861	
<b>LOCAL:</b> Guararema - SP		<b>Espessura média aproximada do perfil de solo (m):</b> 3 m	
<b>DATA DA VISTORIA:</b>			
		17/06/2011	
<b>ASPECTOS REGIONAIS</b>		<b>Drenagem:</b>	<b>Condição:</b>
<b>Tipo de ocupação</b>	<b>Densidade</b>	ESCADA HIDRÁULICA	Satisfatória
LOTEAMENTO IRREGULAR	Alta		Danificada
	Média		Obstruída
	Baixa		Insuficiente
		<b>Geometria do talude</b>	
<b>Cobertura Vegetal:</b>	<b>Densidade:</b>	altura (m) <u>      </u> > 40	
RASTEIRA	Alta	extensão (m) <u>      </u> > 100	
	Média	largura (m) <u>      </u> > 100	
	Esparsa	inclinação <u>      </u> 40° A 75°	
<b>Relevo:</b>			
Escarpado ( )	Ondulado ( )	<b>Risco/Consequências:</b>	
Montanhoso ( X )	Suave ( )		
<b>CARACTERÍSTICAS LOCAIS</b>		CASAS	
<b>Tipo de talude:</b>	<b>Natureza do material</b>	(SISTEMA DE ESGOTO PRECÁRIO)	
Encosta natural	Solo		
Talude de corte	Rocha		
Talude de aterro	Solo e rocha		
Com obra de contenção	Lixo/entulho		
Tipo(s) de obra(s): <u>                    </u>	Matações in situ		
	Tálus		
<b>CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA</b>			
<b>Tipo(s) de Movimento(s):</b>			
RASTEJO E ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL			



<b>FICHA DE VISTORIA GRM-04</b>			
UTM 23K		395393 / 7408950	
<b>LOCAL:</b> Guararema - SP		<b>Espessura média aproximada do perfil de solo (m):</b> 15m	
<b>DATA DA VISTORIA:</b> 17/06/2011			
<b>ASPECTOS REGIONAIS</b>		<b>Drenagem:</b>	<b>Condição:</b>
<b>Tipo de ocupação</b>	<b>Densidade</b>	Natural	Satisfatória
ÁREA URBANA ESTRUTURADA	Alta		Danificada
	Média		Obstruída
	Baixa		Insuficiente
		<b>Geometria do talude</b>	
<b>Cobertura Vegetal:</b>	<b>Densidade:</b>	altura (m) <u>15</u>	
RASTEIRA	Alta	extensão (m) <u>15</u>	
	Média	largura (m) <u>60</u>	
	Esparsa	inclinação <u>80° A 90°</u>	
<b>Relevo:</b>		<b>Risco/Consequências:</b>	
Escarpado ( X )      Ondulado (   ) Montanhoso (   )      Suave (   )			
<b>CARACTERÍSTICAS LOCAIS</b>		CASAS, RUAS	
<b>Tipo de talude:</b>	<b>Natureza do material</b>		
Encosta natural	Solo		
Talude de corte	Rocha		
Talude de aterro	Solo e rocha		
Com obra de contenção	Lixo/entulho		
Tipo(s) de obra(s): _____	Matacões in situ		
	Tálus		
<b>CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA</b>			
<b>Tipo(s) de Movimento(s):</b> RASTEJO, ESCORREGAMENTOS, QUEDA DE BLOCAS DE SOLO			



<b>FICHA DE VISTORIA GRM-05</b>			
UTM 23K		393642 / 7411255	
<b>LOCAL:</b> Guararema - SP		<b>Espessura média aproximada do perfil de solo (m):</b> < 1m	
<b>DATA DA VISTORIA:</b> 20/06/2011			
<b>ASPECTOS REGIONAIS</b>		<b>Drenagem:</b>	<b>Condição:</b>
<b>Tipo de ocupação</b>	<b>Densidade</b>	Natural	Satisfatória
VEGETAÇÃO	Alta		Danificada
	Média		Obstruída
	Baixa		Insuficiente
		<b>Geometria do talude</b>	
<b>Cobertura Vegetal:</b>	<b>Densidade:</b>	altura (m) <u>25m</u>	
RASTEIRA	Alta	extensão (m) <u>25m</u>	
	Média	largura (m) <u>50m</u>	
	Esparsa	inclinação <u>90°</u>	
<b>Relevo:</b>		<b>Risco/Consequências:</b>	
Escarpado ( X )	Ondulado ( )		
Montanhoso ( )	Suave ( )	CASAS, VIAS DE ACESSO	
<b>CARACTERÍSTICAS LOCAIS</b>			
<b>Tipo de talude:</b>	<b>Natureza do material</b>		
Encosta natural	Solo		
Talude de corte	Rocha		
Talude de aterro	Solo e rocha		
Com obra de contenção	Lixo/entulho		
Tipo(s) de obra(s):	Matacões in situ		
	Tálus		
<b>CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA</b>			
<b>Tipo(s) de Movimento(s):</b>			
QUEDA DE BLOCOS, TOMBAMENTO,			
ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL DE BLOCOS DE ROCHA			



<b>FICHA DE VISTORIA GRM-06</b>			
UTM 23K		394728 / 7409754	
<b>LOCAL:</b> Guararema - SP		<b>Espessura média aproximada do perfil de solo (m):</b> < 1m	
<b>DATA DA VISTORIA:</b>			
		20/06/2011	
<b>ASPECTOS REGIONAIS</b>		<b>Drenagem:</b>	<b>Condição:</b>
<b>Tipo de ocupação</b>	<b>Densidade</b>	Natural	Satisfatória
VEGETAÇÃO	Alta		Danificada
ÁREA URBANA ESTRUTURADA	Média		Obstruída
	Baixa	Insuficiente	
		<b>Geometria do talude</b>	
<b>Cobertura Vegetal:</b>	<b>Densidade:</b>	altura (m) <u>7m</u>	
ARBÓREA	Alta	extensão (m) <u>7m</u>	
	Média	largura (m) <u>20m</u>	
	Esparsa	inclinação <u>80°</u>	
<b>Relevo:</b>			
Escarpado ( X )	Ondulado ( )	<b>Risco/Consequências:</b>	
Montanhoso ( )	Suave ( )		
<b>CARACTERÍSTICAS LOCAIS</b>		CASAS, COMÉRCIO, RUAS, COLÉGIO TÉCNICO	
<b>Tipo de talude:</b>	<b>Natureza do material</b>		
Encosta natural	Solo		
Talude de corte	Rocha		
Talude de aterro	Solo e rocha		
Com obra de contenção	Lixo/entulho		
Tipo(s) de obra(s):	Matacões in situ		
	Tálus		
<b>CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA</b>			
<b>Tipo(s) de Movimento(s):</b>			
ESCORREGAMENTO EM CUNHA, ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL			







