



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA ACADÊMICA**  
**COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS**

**Antonio Cruz da Cunha Filho**

**MODELO EXPERIMENTAL BASEADO NA  
DECLIVIDADE DA ENCOSTA PARA AVALIAÇÃO DE  
RISCO DE DESLIZAMENTO**

**Recife**  
**2012**

**Antonio Cruz da Cunha Filho**

**MODELO EXPERIMENTAL BASEADO NA  
DECLIVIDADE DA ENCOSTA PARA AVALIAÇÃO DE  
RISCO DE DESLIZAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento em Processos Ambientais Universidade Católica de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em **Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais.

Linha de Pesquisa: Informática, Modelagem e Otimização de processos.

ORIENTADOR: Sergio Murilo Maciel Fernandes

CO-ORIENTADOR: Maria da Graça de Vasconcelos Xavier Ferreira

**Recife**

**2012**

Cunha Filho, A. C.

Modelo Experimental Baseado na Declividade da Encosta para Avaliação de Risco de Deslizamento.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2009.

1. Deslizamento. 2. Encosta. 3. Modelo. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais. Centro de Ciências e Tecnologia.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>SUMÁRIO</b> .....	ii
<b>LISTA DE FIGURAS E FOTOS</b> .....	iv
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1.1 Introdução</b> .....	14
<b>1.2 Objetivos</b> .....	17
1.2.1 Objetivo Geral .....	17
1.2.2 Objetivos Especificos .....	17
<b>1.3 Revisão da Literatura</b> .....	18
1.3.1 Introdução.....	18
1.3.2 Movimentos Gravitacional de Massa.....	18
1.3.2 Classificação dos Movimentos de Massa.....	20
1.3.4 Fatores que Contribuem para Deflagração dos Deslizamentos.....	22
1.3.4.1 Chuva.....	22
1.3.4.2 A Ação Antrópica.....	24
1.3.4.3 Influencia da Vegetação.....	26
<b>1.5 Risco – Conceito</b> .....	27
1.5.1 Risco Geológico.....	28

1.5.2 Risco Geológico em Recife.....	30
<b>1.6 Caracterização da Zona Norte da Cidade do Recife.....</b>	<b>31</b>
<b>1.7 Referencias.....</b>	<b>34</b>

## **CAPÍTULO II**

<b>2.1 Modelo Experimental Para Deslizamento em Recife.....</b>	<b>42</b>
2.1.1 Resumo.....	42
2.1.2 Introdução.....	43
2.1.3 Fundamentação.....	44
2.1.4 Material e Métodos.....	48
2.1.5 Resultados e Discussões.....	64
2.1.5 Conclusões.....	65
2.1.6 Referencias.....	67

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I – MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA

Figura I 1. Chuva Acumuladas mm <sup>2</sup> .....	24
Figura I 2. Mapa da Região Metropolitana do Recife.....	31
Figura I 3. Mapa do Bairro de Nova Descoberta – Recife.....	32

### CAPÍTULO II – MODELO EXPERIMENTAL PARA DESLIZAMENTO EM RECIFE

Figura II 1. Ensaio de Granulometria: Podzólico vermelho Amarelo e do Latossolo Vermelho Amarelo.....	50
Figura II 2. Retirada de Amostra Malsucedida.....	51
Figura II 3. Local da retirada das amostras bem sucedidas.....	52
Figura II 4. Ensaio da Granulometria: 01 e 02 podzólico Vermelho Amarelo .....	53
Figura II 5. Retirada da 1º Amostra de Solo Bem sucedida.....	54
Figura II 6. Equipamento Simulador de Chuva Artificial.....	55
Figura II 7. Equipamento de Medição da Umidade pelo Processo “Speed” .....	56
Figura II 8. Utilização das Amostras de Solos.....	56
Figura II 9. Avaliação das Amostra de Solos em Laboratório sob Chuva Artificial.....	57
Figura II 10. Diferentes Etapas do Deslizamento no Laboratório do IFPE.....	58
Figura II 11. Ensaio da Granulometria: 01 e 02 do Latossolo Amarelo.....	60
Figura II 12. Retirada da 2º Amostra de Solo Bem sucedida: Latossolo Amarelo. Córrego José Idalino na Guabiraba.....	61
Figura II 13. Empacotamento e Acondicionamento do latossolo Amarelo.....	62
Figura II 14. Final do Empacotamento e Encaixotamento do Primeiro Bloco de Solo.....	62
Figura II 15. Retira, Empacotamento e Acondicionamento do Segundo Bloco do Latossolo Amarelo com Inclinação de 55° .....	63

## LISTA DE FOTOS

### LISTA DE FOTOS

#### CAPÍTULO I - MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA

Foto I 1. Rua Guido Boné nº 81 Córrego do Idalino.....	25
Foto II 2 .Córrego da Guabiraba.....	29

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

### CAPÍTULO I – MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA

Tabela I 1. Acidentes Importantes de Escorregamento no Brasil.....	19
Tabela I 2. Comparação Entre Algumas Propostas Brasileira de Movimento de Massa.....	21

### CAPITULO II -- MODELO EXPERIMENTAL PARA DESLIZAMENTO EM RECIFE

Quadro II 1. Características dos Tipos de Movimentos.....	45
Quadro II 2. Categoria e Fatores de Risco.....	46
Quadro II 3. Resultados de Caracterização de Amostras Invalidas.....	49
Quadro II 4. Resultados de Caracterização de Amostras Validas.....	52
Quadro II 5. Resultado dos Ensaio da Caracterização das Amostras do Latossolo Amarelo.....	60
Tabela II 1. Classificação dos Movimentos de Massa.....	45



## RESUMO

Movimentos de massa são episódios de grande impacto, resultantes da ação de fatores geológicos, geomorfológicos e antrópicos e que têm causado enormes prejuízos materiais e de vidas humanas em diversas partes do mundo e, em especial, na cidade do Recife. Dentre os movimentos de massa existentes, serão abordados, nessa dissertação, os deslizamentos, que têm como características principais, os movimentos rápidos de solo ou sedimento ao longo de uma encosta, e que podem causar, em alguns casos, a perda de vida de habitantes que residem nesses ambientes. Esta realidade está presente no cotidiano de uma grande parcela da população recifense, devido ao rápido crescimento populacional sem uma infraestrutura adequada, cujo reflexo é um grande número de problemas ambientais, em especial aqueles associados a processos geológicos.

Esta dissertação pretende analisar a influência da declividade em laboratório, de dois tipos de solos diferentes, que compõem as encostas no bairro da Guabiraba, zona norte do Recife. Para que ocorram os deslizamentos que têm tem como principal agente deflagrador a chuva, como também, a declividade da encosta e outros fatores desencadeantes. No Instituto Federal de Pernambuco, no laboratório de solo, simularemos algumas condições naturais, como chuva e declividade, que permitirão analisar a ocorrência de deslizamento . Um outro ponto, que merece registro nessa dissertação diz respeito a permanente monitoração das áreas de encostas, cujo o seu grau de risco é alto..

Durante o período inverno a Defesa Civil do Recife deve mantêm-se em alerta constante, para ajudar a retirar os habitantes que residem nas encostas dos morros, independente do seu grau de risco. Algumas medidas simples como não plantar bananeiras, não promover cortes aleatórios nas encostas e não canalizar as águas servidas para as áreas de encostas são ações que contribuem para uma maior segurança da população.

Palavras-Chave: Deslizamento, Encosta, Modelo, Fatores geológicos e Mapas de risco

## ABSTRACT

Mass movements are episodes of great impact resulting from the action of geological, geomorphologic and man-made factors and which have caused enormous material damage and human life in different parts of the world and, in particular, in the city of Recife. Among the existing mass movements, will be covered in this dissertation, the landslides, which features, among others, the rapid movements of soil or sediment along a slope, and that can cause, in some cases, the loss of life of inhabitants residing in these environments. This reality is present in the daily life of a large portion of the population guest, due to rapid population growth without adequate infrastructure, whose reflection is a great number of environmental problems, in particular those associated with geological processes.

This thesis aims to analyze the influence of slope and soil types that make up the slopes in the generation of landslides that have greater trigger agent whose main, rain. Another point that deserves this record concerns dissertation permanent monitoring areas of the slopes. An action as important as creating risk maps is the ability of the civil defense agencies in keeping them constantly updated and monitored.

During the period of civil defense organs winter weather remain in constant alert to help withdraw the inhabitants who live on the slopes of the hills, regardless of your level of risk. Slopes with low risk, because human nature interventions tend to change your degree of risk without the civil defense agencies have taken prior knowledge of predisposing factors change that alter the models of risk maps. Simple measures such as not to plant banana trees, do not promote random cuts on the slopes and wastewater channel not to areas of the slopes are measures which contribute to greater security of the population.

Keywords: Landslide, Hillside, model, risk Maps and geological Factors

# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Banco Mundial os desastres naturais respondem por centenas de milhares de morte por anos em todo o mundo e perdas econômicas que ultrapassam dezenas de bilhões de dólares anuais (ALHEIROS,1998). Grandes desastres naturais ampliam suas dimensões e alcance, como na ocorrência de tsunami no Oceano Índico em 2004, como na temporada de furacões no Hemisfério Norte em 2005, nos terremotos do Haiti ou ainda nos deslizamentos de terra no Rio de Janeiro em 2010, por exemplo (AQUINO e CAMPOS, 2010). Os deslizamentos, assim como os processos de intemperismo e erosão, são fenômenos naturais da dinâmica externa, que modelam continuamente a paisagem da superfície terrestre. No entanto, os deslizamentos destacam-se pelos elevados danos provocados ao homem, com prejuízo à propriedade da ordem de dezenas de bilhões de dólares por ano.

Segundo Girão ( 2004), a ocupação de encostas, em áreas de expansão urbana no Brasil, resulta, em grande parte do processo migratório, rumo aos grandes centros urbanos que, por conseqüência, intensifica o direcionamento dos egressos para as áreas desvalorizadas nos centros das cidades ou periferias de expansão de crescimento horizontal das mesmas. A maior parte das cidades brasileiras observou um elevado crescimento urbano a partir da década de 1970, impulsionadas pelo oferecimento de maiores oportunidades de trabalho. Isto resultou numa forte emigração do campo para as cidades, com o conseqüente aumento da população e ocupação de áreas inadequadas para habitação, como por exemplo, as áreas de encostas, cujo relevo é propício a risco de deslizamentos.

Segundo Rosa Filho e Cortez (2010) os acidentes geológicos associados a deslizamentos no Brasil vêm aumentando e se caracterizando como sendo uns dos mais graves. Eles vêm ocorrendo em muitos municípios, destacadamente em áreas urbanas, provocando danos materiais e perdas, inclusive de vidas humanas, nas muitas famílias residentes. As populações que apresentam um menor poder aquisitivo ocupam preferencialmente as encostas de declividades altas, a partir dos fundos de vale. O adensamento desta ocupação é feito pela retirada da cobertura vegetal e pela execução de cortes impróprios e aterros em terrenos com risco a escorregamentos.

De acordo com Amaral (1996), as metrópoles brasileiras convivem com uma frequência de incidência de deslizamentos, principalmente nos períodos de chuva, induzidos por cortes irregulares para implantação de moradias e de estradas, pelos desmatamentos, pela disposição final do lixo e das águas servidas, além de outras atividades urbanas. Esta realidade se faz presente nas cidades em cuja formação geológica haja presença de colinas e morros.

A cidade do Recife, situada na região nordeste do Brasil teve sua formação fruto de dois processos geológicos: o primeiro processo geológico, correspondente a planície costeira, está relacionada às variações de nível do mar que ocorreram durante o Período Quaternário, em virtude de várias mudanças climáticas, em nível global; o segundo processo geológico, que corresponde aos morros, são sedimentos terciários da Formação Barreiras, com idade em torno de 2 milhões de anos ( período Terciário, idade do Plioceno). Constituem depósitos arenosos de origem fluvial, podendo estar recoberto por camadas alternadas de sedimentos arenosos e argilosos (ALHEIROS et al,1995).

No início da década de 80, a Zona Norte do Recife, formada por vários morros, foi atingida por uma sucessão de escorregamentos que causaram milhares de desabrigados e mais de 50 vítimas fatais (GUSMÃO FILHO, 1990), em decorrência da ocupação desordenada das suas encostas pela população de baixa renda, sob a forma de invasões. Nessas localidades, densamente povoadas, se verificam taxas de ocupação maiores do que 400 habitantes por hectare. Segundo Alheiros (1989) os fatores mais comumente utilizados na análise de estabilidade de encostas são as cargas externas, a pressão da água, o peso e a resistência do próprio solo. A água de chuva infiltrada no terreno aumenta o peso do solo e a pressão da água e reduz a resistência do solo, o que provoca a redução das forças de resistência, diminuindo o fator de segurança do talude.

Em razão da insegurança causada às populações que habitam essas áreas, fazem-se necessárias previsões da ocorrência de deslizamentos, conforme observado

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor um modelo experimental que tenha como base a declividade e o tipo de solo da encosta para avaliação de risco de deslizamento.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Propor uma metodologia em laboratório que possa compreender como ocorre os deslizamentos em Recife;
- Elaborar um referencial teórico à respeito dos Movimentos de massa, no Brasil e em Recife;
- Desenvolver experimento para avaliação de possível correlação entre declividades e intensidade pluviométrica aplicada a dois tipos de solos encontrados nas encostas do bairro da Guabiraba, zona norte do Recife.

## **1.3 REVISÃO DA LITERATURA**

### **1.3.1 INTRODUÇÃO**

Movimento de massa é uma expressão descritiva para movimento descendente de materiais que formam a encosta: rochas, solos encontros artificiais ou combinação desses materiais. Os movimentos de massa são popularmente conhecidos como deslizamento de terra (ARAUJO et al, 2005). Deslizamentos também podem ser entendidos, como processos de intemperismo e erosão, fenômenos naturais contínuos da dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície terrestre (FERNANDES e AMARAL, 2006).

Neste capítulo, traremos de uma revisão conceitual de risco, desde os tempos remotos até os dias atuais. Em especial, discutiremos o risco geológico, que está associado a situações de perigo, perdas ou danos. O destaque maior será dado ao risco causado por escorregamentos, ocorridos nas últimas décadas. Com ênfase nos principais desastres que vem ocorrendo em todo o planeta, devido, principalmente, aos diversos tipos de deslizamentos. Será feito um histórico sobre os escorregamentos ocorridos no Brasil, com principalmente na cidade do Recife, onde uma grande parcela da população mora nas áreas de risco sujeita ao fenômeno de deslizamento.

### **1.3.2 MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA**

Não existe uniformidade de conceitos no que se refere à terminologia empregada na classificação dos movimentos de massa. Os deslizamentos constituem movimentos rápidos de uma massa rochosa, solo ou sedimento ao longo de uma encosta, nos quais o centro de gravidade do material em deslocamento avança para baixo e para fora (TERZAGHI 1950). Deslizamentos também podem ser, segundo Guerra (2006), deslocamentos de massas de solo sobre um embasamento saturado de água.

TABELA I 1. Acidentes Importantes Associados a Escorregamentos no Brasil.

LOCAL	ANO	MORTES/DESTRUIÇÃO
Santos	1928	60 Santa Casa de Santos
Vale do Paraíba	1948	250/centenas de casas
Santos	1956	43/100 casas
Rio de Janeiro	1966	100/não informados
Serra das Araras	1967	1200/casas, rodovias e usinas hidrelétricas
Caraguatatuba	1967	120/400 casas
Salvador	1971	104/não informadas
Campos do Jordão	1972	>10/60 casas
Maranguape	1974	12/dezenas de casas
<b>RMR- Recife</b>	1984	12/não informado
Larvrinhas	1986	11/casas e pontes
Cubatão	1988	10/ não informado
Petrópolis	1988	171/1100 casa
Rio de Janeiro	1988	>30/dezenas de casas
Salvador	1989	>100/dezenas de casas
São Paulo	1989	14/não informada
<b>Recife</b>	1990	39/não informado
Blumenau	1990	>10/casa,pontes e vias
São Paulo	1990	>10/não informado
Belo Horizonte	1992	>10/não informado
Contagem	1992	36/dezenas de casas
Salvador	1992	11/não informado
Salvador	1995	>40/dezenas de casas
Salvador	1996	>30/não informado
<b>Recife</b>	1996	42/dezenas de casas

\*Com mais de 10 vítimas fatais

Fonte: adaptado de Augusto Filho, 1994



Neste sentido os deslizamentos dependem, na essência, de vários fatores: inclinação das vertentes, quantidade e frequência das precipitações, presença ou não da vegetação, consolidação do material. Segundo Lira e Silva (2008), os deslizamentos são movimentos rápidos, de duração relativamente curta, de massas de terreno em geral bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude (natural, de corte ou aterro), ao longo de uma superfície de deslizamento. De acordo com Pfaltzgraff (2007), deslizamentos ou escorregamentos são definidos como eventos geológicos originados a partir de fluxos ou movimentos gravitacionais de materiais (solos, sedimentos e rochas), desencadeados por agentes naturais (chuvas, terremotos etc.) ou, antrópicos (explosões, alteração da geometria dos taludes, tráfego de veículos, etc.). Eles contribuem na evolução das formas do relevo e, são também, causadores de grandes danos sócios econômicos, Carvalho e Riedel (2005). A magnitude desses movimentos de massa é bastante variável, tanto no que se refere à velocidade, volume, dimensões ou tipo de material deslocado.

De acordo com documento elaborado pelo CONDEPE/FIDEM, os deslizamentos são movimentos gravitacionais de massa, mobilizando sedimentos, solos e/ou rochas, que ocorrem de modo brusco em decorrência de rupturas nesses materiais, deixando uma cicatriz de geometria plana ou ligeiramente côncava. Os deslizamentos resultam da ruptura das condições de equilíbrio, definidas por fatores geológicos, geomecânicos e climáticos, tendo as chuvas papel fundamental na deflagração desses processos. Esse fenômeno apresenta um caráter brusco da parte da ruptura de parte da encosta.

### 1.3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

A primeira classificação de movimento de massa a nível internacional surgiu no final do século XIX, tendo sido elaborado por Dana em 1862. No Brasil, Pfaltzgraff (2007) cita as classificações de Vargas (1966), Nunes (1969), Freire (1965), a de Guidicini e Nieble (1984), como referências, as quais são modificações das classificações de Magalhães Freire e de Carvalho (in Dias, 2002).

Silva (2007), destaca a importância da classificação de Lerouiel et al(2001), o qual propõe uma classificação geotécnica de movimentos de massa onde tanto os

aspectos geomorfológicos, como o comportamento mecânico de solos e rochas, são abordados. A classificação proposta por Leroueil et al. (1996) e adotada pela Associação Internacional de Geologia e Engenharia, é representada numa matriz tridimensional, onde os eixos representam os tipos de materiais, os tipos de movimentos e os estágios dos movimentos, associados a um conjunto de informações pertinentes. Para tentar homogeneizar o conceito de deslizamento, pesquisadores de todo o mundo reunidos através do Grupo Internacional do Inventário Mundial, consideram os seguintes tipos de movimentos: queda, escorregamentos, corridas, tombamentos e espraíamentos. No caso do Brasil, os trabalhos de Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984) e IPT (1991), estão entre os mais aceitos, sendo referenciados através da Tabela 1.

TABELA 1 2. COMPARAÇÃO ENTRE ALGUMAS PROPOSTAS BRASILEIRAS DE CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA

Freire (1965)	Guidicine e Nieble (1984)	IPT (1991)
<b>ESCOAMENTOS:</b> Rastejo e Corridas	<b>Escoamentos:</b> Rastejo e Corridas	<b>Rastejos</b> <b>Corridas de Massa</b>
<b>Escorregamento:</b> Rotacionais e Translacionais	<b>Escorregamentos:</b> Rotacionais, translacionais, Quedas de Blocos e Queda de Detritos.	<b>Escorregamentos</b>
<b>Subsidência e Desabamentos</b>	<b>Subsidências:</b> Subsidência, Recalques e Desabamentos	<b>Quedas/ Tombamentos.</b>
	<b>Formas de Transição</b> <b>Movimentos Complexos</b>	

Fonte: (Geomorfologia e Meio Ambiente, org: GUERRA E CUNHA)

Além dessas, deve ser citada a classificação de Augusto Filho (1992), uma simplificação da classificação de Magalhães Freire (1965), adotada pelo Ministério das Cidades (2004), no curso de Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco. Segundo Augusto Filho (1994) parece existir uma tendência a adotar uma classificação regional, que é mais coerente as condições locais, onde os estudos de análise são mais reais. Para esse autor, as classificações são baseadas na combinação dos seguintes critérios: cinemática do movimento, tipo de material e geometria.

### **1.3.4 FATORES QUE CONTRIBUEM PARA DEFLAGRAÇÃO DO DESLIZAMENTO**

Vários são os fatores que contribuem para a deflagração dos deslizamentos. Em especial pode-se citar a chuva, ação antrópicas e a cobertura vegetal das encostas.

#### **1.3.4.1 Chuva**

Segundo Lima (2002), as chuvas atuam como principal agente físico na deflagração de escorregamentos no Brasil. Os grandes acidentes relacionados a esses processos ocorreram durante períodos chuvosos, que variam de região para região. A água da chuva infiltrada no terreno aumenta os valores do peso próprio e da pressão da água, e reduz a resistência do solo. Em decorrência dessa redução das forças de resistência, há uma diminuição do fator de segurança do talude. A autora ainda afirma, que os índices pluviométricos críticos para a deflagração dos escorregamentos variam com o regime de infiltração no terreno, com a dinâmica das águas subterrâneas no maciço e com o tipo de instabilização, diminuindo a resistência do solo ou aumentando as tensões nele atuantes.

As chuvas relacionam-se diretamente com a dinâmica das águas de subsuperfície, atuando, de um modo geral, como o principal agente na deflagração dos movimentos de massa. A maioria dos deslizamentos registrados no Brasil está associada a episódios de elevada pluviosidade, de duração compreendida entre algumas horas até alguns dias (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). Segundo Silva os

escorregamentos em rocha tendem a ser mais suscetíveis a chuvas concentradas, enquanto os processos em solo, dependem também dos índices pluviométricos acumulados nos dias anteriores. A associação entre a deflagração de deslizamentos e o índice pluviométrico tem levado alguns pesquisadores a tentarem estabelecer correlações empíricas, probabilísticas ou físico-matemáticas entre a pluviosidade e os movimentos de massa. Tatizana et al. (1987), foram os primeiros a desenvolver uma correlação entre os deslizamentos e os índices pluviométricos para a Serra do Mar (São Paulo).

Para a cidade do Recife, os estudos realizados nos morros de Olinda-PE por Gusmão Filho (1997), tiveram uma significativa contribuição nas correlações entre pluviosidade e deslizamentos. Gusmão Filho monitorou durante três anos a variação do nível piezométrico das encostas de Olinda e concluiu que a instabilidade das encostas resulta da ação combinada entre a intensidade de chuva acumulada ( $P_{ac}$ ), de janeiro até aquela data, com a ocorrência de uma chuva diária de intensidade mínima ( $I$ ) naquela data.

Definiu-se o parâmetro  $R$  como sendo o produto da chuva de 24 horas pela chuva acumulada até o dia do evento ( $R = P_{ac} \times I$ ). Na pesquisa encontrou-se o valor de  $R = 60.000\text{mm}^2$  como representativo de movimento iminente. Então, se a chuva acumulada é de  $600\text{mm}^2$ , basta uma chuva de  $100\text{mm}^2$  para desestabilizar o maciço. A Figura 01 apresenta a correlação entre a intensidade de chuva e a chuva para as encostas da formação barreiras da cidade do Recife.

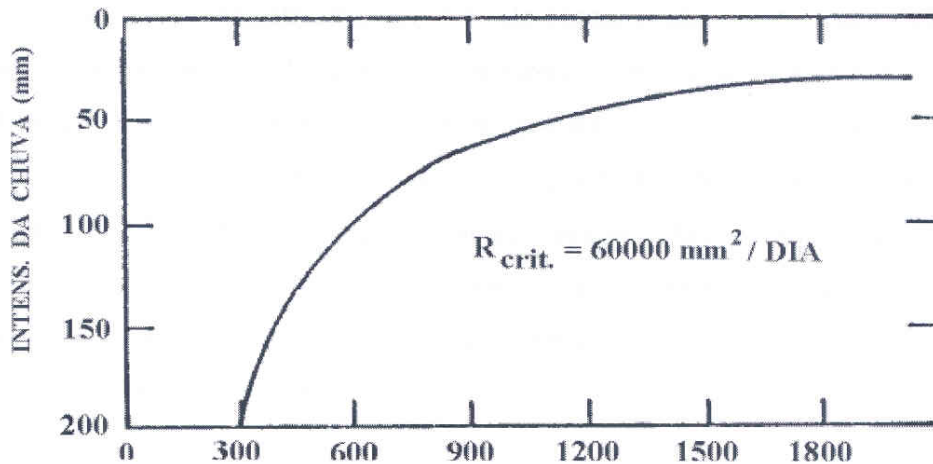


Figura 01- CHUVA ACUMULADA (mm<sup>2</sup>) Correlação entre a Intensidade da Chuva e a Chuva Acumulada para as Encostas da Formação Barreiras da Cidade do Recife-PE

Lima (2002) destaca como a principal aplicação destas correlações é tentar se antecipar à deflagração dos movimentos de massa, a partir do acompanhamento dos índices pluviométricos de uma região, sendo possível alertar, antecipadamente a população da possibilidade de deslizamentos. É mais fácil e barato monitorar o parâmetro chuva do que o nível d'água e o grau de saturação dos taludes e encostas, principalmente em grandes áreas.

#### 1.4.3.2 A ação antrópica

A ocupação antrópica em encostas, no Brasil, vem sendo um dos grandes problemas de escorregamentos e constitui o mais importante agente modificador. As principais interferências antrópicas indutoras de escorregamentos são a remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas servidas, vazamentos na rede de abastecimento, esgoto e presença de fossas, lançamento de entulho e lixo nas encostas e vibrações produzidas por tráfego pesado, dentre outras (LIMA, 2002). A autora referencia outros autores que vem discutindo essa temática: Nunes et al.(1990) e Nakazawa e Cerris (1990) os quais afirmam que mais de 90 % dos escorregamento em Petrópolis, RJ, em 1988, foram induzidos pela ocupação desordenada nas encostas. Em outras cidades do Brasil, em áreas urbanas, registram-se os mesmo problemas de ocupação desordenada

Nesse sentido, Gusmão Filho et al. (1997) apresentam um estudo na encosta noroeste situada em Recife, PE, no Alto do Reservatório, zona norte do Recife, onde ocorreu um escorregamento que levou a morte de mais de trinta pessoas. Silva (2007) faz referência a outro problema, discutido por Assunção (2005), a qual afirma que, em geral, não são apenas as chuvas que são frequentemente associadas a movimentos de massa. Em áreas de encostas ocupadas, desprovidas de infra-estrutura, as águas servidas (precipitação antrópica) podem, em conjunto com as precipitações pluviométricas, agravar ou deflagrar, ou pelo menos, predispor o ambiente a processos erosivos e de instabilizações.



Foto I 1. Rua Guido Boné, nº 81 - Córrego. José Idalino

Fonte: CODECIR.

De um modo geral, a maioria da população de baixa renda ao ocupar as encostas, o fazem de forma desordenada, desconhecendo critérios técnicos de construção. A população carente ao projetar loteamentos na maioria das vezes em relevos íngremes, associado à realização de cortes, aterros e construção de fossas nas bordas do talude, propiciam a ocorrência de movimentos de massa nestas áreas (SILVA, 2007). Outro agravante diz respeito à ausência de serviços de esgotamento sanitário e drenagem, o que leva a população assentada nestas áreas a seguirem práticas rudimentares e inadequadas para destino dos seus efluentes domésticos. É comum aos que moram nessas localidades lançarem as águas servidas diretamente sobre o solo, contribuindo com a poluição do lençol freático e com o agravamento das condições de estabilidade da área.

### 1.4.3.3 Influência da Cobertura Vegetal

Segundo Bandeira (2003), destaca a importância da cobertura vegetal é os seus efeitos favoráveis e desfavoráveis em relação a estabilidade das encostas. Para Araujo (2005), a vegetação afeta diretamente a estabilidade das encostas de diversas maneiras. Os benefícios protetores ou estabilizadores da vegetação dependem do tipo de vegetação e do tipo do processo de degradação da encosta. A perda ou a retirada da vegetação da encosta resulta como consequência na taxa de erosão. Em alguns casos, a vegetação tem uma influência benéfica na contenção das encostas, enquanto em outros pode afetar a estabilidade.

Araujo et al (2005) afirmam que a vegetação é extremamente importante no controle pluvial. Neste caso, as perdas de solo podem ser diminuídas até mil vezes. As vegetações herbáceas e as gramíneas têm efeitos benéficos, na preservação da erosão pluvial. No caso da erosão superficial, as vegetações herbáceas e as gramíneas são mais eficientes do que a vegetação arbórea, porque fornece uma cobertura densa.

Verifica-se que os processos de instabilização de encostas e taludes tendem a se acelerar algum tempo após o desmatamento. Logo em seguida à retirada das

árvores, ocorre um acréscimo na estabilidade, devido à eliminação dos efeitos negativos como sobrecarga, efeito alavanca, etc. Contudo, este acréscimo de estabilidade tende a diminuir com o tempo, com o apodrecimento das raízes e a eliminação do efeito de redistribuição de água de chuva (SILVA, 2007).

## 1.5. Risco – Conceitos

Para Aquino e Campo (2010), a origem do termo risco é incerta. Segundo Diez e outros linguistas, o termo se relaciona com o castelhano antigo *reseque* (ressecar, cortar), cuja acepção foi bastante usada na idade média como sinônimo de luta, contradição e divisão. Por outro lado, há alguns questionamentos acerca da gênese do termo risco, indicando que o mesmo pode ser oriundo do latim *ressecare* (discordia, lugar quebrado e fragoso), ou ainda do grego *rhizikon* ou árabe *risk* (CASTRO, 2000).

Antes da conceituação do que seja risco geológico é necessário que se defina inicialmente o que seja risco. Define-se risco como a possibilidade de eventos perigosos produzirem conseqüências indesejáveis. É o perigo pressentido, mais avaliado, isto é, uma perda potencial avaliada, (ROSA FILHO e CORTEZ, 2010).

Veyret (2003), define risco como a percepção do perigo, da catástrofe possível. Para a autora, a sociedade o “percebe”, o “sente” e convive com ele por meio de suas práticas sobre o espaço. Já o termo perigo é empregado para definir as conseqüências objetivas de um acontecimento possível sobre um indivíduo, um grupo de indivíduos, sobre a organização do território ou sobre o meio ambiente.

Figueiredo (1994) define áreas de risco como aquelas sujeitas às ocorrências de fenômenos de natureza geológico-geotécnica e hidráulica, que impliquem na possibilidade de perda de vidas e/ou danos materiais. Esses locais são, predominantemente, ocupações de fundo de vales sujeitos a inundações e solapamento, ou encostas passíveis de escorregamentos e desmoronamentos devido às altas declividades.



Para Torres (2000), a idéia de risco implica, por exemplo, a existência de um agente ameaçador e de um agente receptor da ameaça. Nesse sentido, riscos ambientais são muitas vezes espacialmente distribuídos: determinadas áreas próximas a fábricas são mais poluídas que outras mais distantes; enchentes ocorrem normalmente em várzeas e em áreas onde a drenagem é insuficiente.

### 1.5.1. Risco Geológico

Segundo Cerris (1993), o conceito de risco geológico considerado mais adequado é expresso como: situação de perigo, perda ou dano, ao homem e as suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzido ou não. Os riscos geológicos podem ser divididos em riscos endógenos (correspondentes à dinâmica geológica interna do planeta) e riscos exógenos (correspondentes à dinâmica geológica externa).

Nas últimas décadas, a freqüência dos acidentes geológicos associados a escorregamentos no Brasil ganhou os noticiários dos órgãos de imprensa, devido às suas conseqüências sociais e às dimensões dos prejuízos econômicos que acarretaram. O risco geológico de deslizamentos pode ser atual, quando instalado em áreas já ocupadas, ou potencial, quando envolve a susceptibilidade de ocorrência em áreas ainda desocupadas (IPT, 2011). O risco pode ser descrito matematicamente como o resultado da combinação entre a probabilidade de ocorrência do deslizamento e as conseqüências sociais e econômicas potenciais (FERNANDES e AMARAL, 2006).

Nem sempre há unanimidade conceitual na bibliografia internacional sobre risco geológico; os termos *hazard* (perigo ou ameaça) e *risk* (risco), são por vezes utilizados como sinônimos e comumente, se fala em risco geotécnico ou risco geomorfológico, como sinônimos de risco geológico. Alguns autores distinguem acidentes, desastres e catástrofes com base nas proporções dos processos (ALHEIROS, 1995).



Foto | 2. Córrego da Guabiraba

Fonte: CODECIR

Em se tratando de eventos naturais, os riscos são vistos principalmente ligados à Geomorfologia (riscos de deslizamentos, de assoreamento, de erosão), à Climatologia (riscos de geada, de seca, de furacão, de tornado, de granizo, de neve), à Hidrologia (risco de contaminação das águas subterrâneas) e à Geologia (riscos de terremotos, de erupções vulcânicas) (MARANDOLA JR, e HOGAN, 2004).

A subestimação do risco é uma alternativa para negar a sua convivência ou excluir a incerteza (VIEIRA e FURTADO, 2004). Para Burton et al. (1978), as pessoas têm uma capacidade de aprender a viver com eventos de perigo e, contanto que o impacto não seja grande, elas podem preferir viver com isto, em vez de agir em relação ao problema.

A absorção do perigo é definida pela capacidade que cada comunidade tem de permanecer inalterada no acontecimento de um desastre, sendo capaz de absorver o impacto. Através do limiar do conhecimento, ou seja, quando os indivíduos passam a ter conhecimento do risco, entra-se na aceitação, que se dá quando a sociedade se organiza e as perdas resultantes dos desastres são recebidas e toleradas (VIEIRA e FURTADO, 2004). Continuando, as autoras afirmam: quando as pessoas deixam de aceitar o risco e procuram reduzir os prejuízos causados por desastres, ultrapassa-se o limiar da ação, em que as ações mais efetivas para a redução das perdas consistem na alteração de suas causas, minimizando o quanto possível sua vulnerabilidade e redistribuindo a perda.

Como o grau de risco está diretamente relacionado à forma como as populações se estruturam (ALEXANDER, 1990; DOMBROWSKY, 1990), os estudos sobre risco devem considerar a organização social, analisando-se o cotidiano das comunidades, como os indivíduos interpretam as paisagens e os lugares, bem como as estratégias utilizadas para enfrentar tais eventos. Para Rowe, (1987), a avaliação do risco significa estimar o risco e a gestão do risco significa a redução ou controle do risco para um nível 'aceitável', se é que este nível pode ser explicitamente determinado.

### **1.5.2. Risco Geológico em Recife**

A Cidade do Recife tem vários riscos geológicos que esses apresentam hoje, ou em futuro próximo, em nível ameaçador à qualidade de vida de seus habitantes. (Gusmão Filho, 1990). Os riscos trazem sérios prejuízos financeiros, ambientais, e até a vida, face aos erros historicamente acumulados no crescimento da cidade. O autor, ainda afirma que: a cidade sacrificou alguns elementos da paisagem natural, da vegetação ao equilíbrio hidráulicos dos rios e riachos, com aterramentos dos mangues e cortes indiscriminados dos morros ignorando os condicionantes do meio físico. Algumas das conseqüências daí decorrentes estão entre problemas atuais da cidade, que se caracterizam como situações de riscos geológicos (observe a figura).

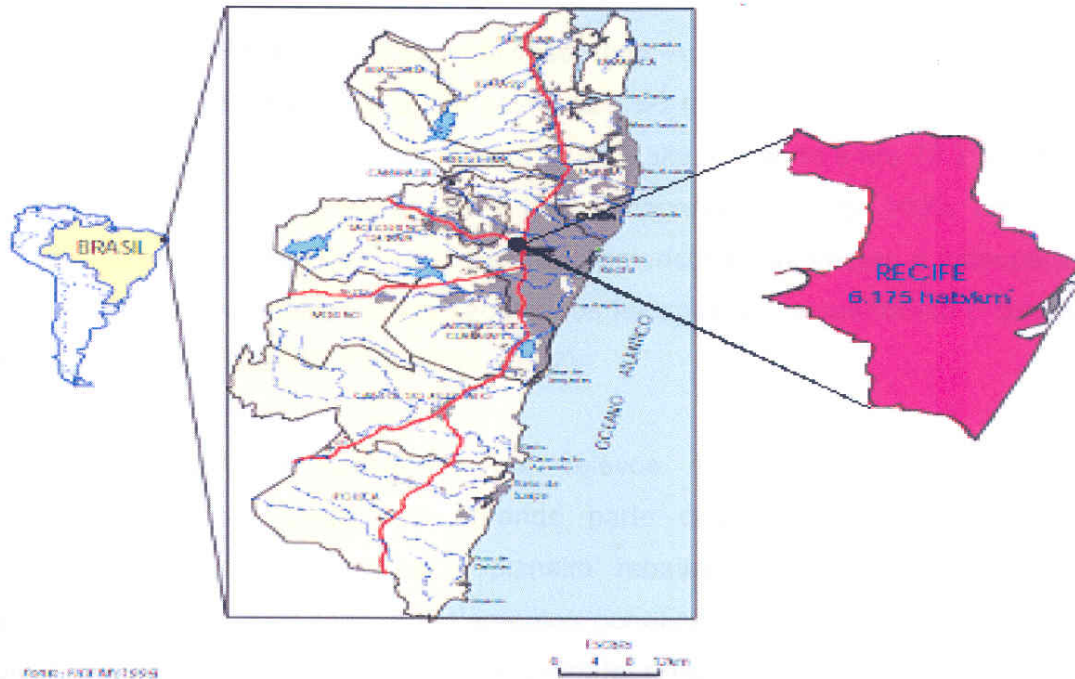


Figura I 2. Mapa da Região Metropolitana do Recife (Mapa nº1)

Fonte: Alheiros, 1998.

## 1.6. Caracterização da zona norte da Cidade do Recife

O trecho a ser estudado é a zona norte do Recife, que teve o seu povoamento originário da década de 40 do século próximo passado. Essa ocupação foi realizada sem planejamento e sem devida infra-estrutura o que provocou diversos acidentes aos seus moradores, seu relevo tipo morro com características do solo argilo arenoso; e com uma drenagem entre os rios da bacia Beberibe; o clima é do tipo litorâneo pela proximidade com a maritimidade e grande sua população é constituída de pessoas de baixa renda. Os morros desse bairro são de sedimentos Terciário da Formação Barreira, com idade em torno de 2 milhões de anos (período Terciário, idade do Plioceno). Constituem depósitos arenosos de origem fluvial, podendo estar recobertos por camadas alternadas de sedimento arenosos e argiloso, mais comum na zona norte da cidade. Em virtude da sua variabilidade litológica e topográfica, os desenvolvidos sobre este sedimentos são associações de Latossolos, Podzólicos e Podzóis (Convênio Carta Geotécnica da Cidade FINEP/LSI-DEC-UFPE).

O clima do Recife é tropical chuvoso (tipo As' a Ams' na classificação de Köppen), com precipitação total anual acima de 750 mm e temperatura média do ar sempre superior a 18°C. A umidade relativa do ar é alta, variando entre 79,2% e 90,7% nos meses mais chuvosos, entre abril e julho, chegando a atingir 100% em alguns municípios, como é o caso do Recife. Essas características favorecem o intemperismo químico das rochas graníticas e dos sedimentos feldspáticos, aumentando o conteúdo de argilas nos solos (CONDEPE/FIDEM, 2002).

A zona norte é constituída por relevos movimentados, genericamente denominados morros. Essa área abrange parte dos domínios geomorfológicos denominados tabuleiros costeiros e planalto rebaixado litorâneo. Esses relevos movimentados, apesar de reunirem elementos geneticamente diferentes (ao norte, os tabuleiros costeiros e, ao sul, as chãs do planalto rebaixado litorâneo), apresentaram respostas geomorfológica similar, evoluindo para uma seqüência de morros e colinas com encostas relativamente estáveis nos dias atuais, salvo quando afetadas por processos antrópicos.

Segundo a Wikipédia enciclopédia (2011), a zona norte do Recife, Pernambuco. Está situado no noroeste da cidade, compondo a terceira Região Político-Administrativa (RPA3). Faz parte com os bairros de Córrego do Jenipapo, Macaxeira, Vasco da Gama, Nova Descoberta, Dois Unidos, Guabiraba e Brejo do Beberibe. O mapa abaixo, destaca ao bairro de Nova Descoberta uma das área de estudo do meu trabalho de dissertação (Figura 03).

Quando uma superfície com o relevo em equilíbrio é submetida a cortes, esse equilíbrio é bruscamente rompido. As águas que escoavam suavemente sobre a encosta passam por um grande aumento de sua energia potencial e, conseqüentemente, pelo aumento de velocidade devido à verticalização do perfil.



localização do bairro Nova Descoberta no Recife

Figura I 3. Localização do Bairro de Nova Descoberta (Mapa nº 2)

Fonte: Wikipédia Enciclopédia, 2011.

Associado a isso, o patamar e o talude de corte ficam desprovidos da proteção oferecida pelo solo e pela vegetação, passando a absorver muito mais água para o subsolo, acelerando o processo de saturação da encosta, facilitando a ocorrência de rupturas e erosões..

## 1.7 REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M.M. (1998). Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana do Recife. [Doutorado] Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia. 130 p.

ALHEIROS, M.M.; FERREIRA, M.G.V.X.; LIMA FILHO, M.F. (1995). Mapa geológico de Recife. Escala 1:25.000 com sinopse geológica. Convênio Carta Geotécnica da Cidade do Recife. FINEP-FNDCT/LSI-UFPE.

ALEXANDER, D. E. (1990). Landslides as polycasual phenomena. In: Prediction and Perception of Natural Hazards. Proceedings... Italy: Perugia, p. 93-99.

AMARAL, C. P. (1996) Escorregamento em Encosta no Rio de Janeiro: Inventário, condicionantes Geológicos e Programa Para Redução dos Acidentes a Associados. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC – RJ, 230p.

ANDERSON, M. G. e BURT, T. P. (1978) The Role of Topography in Controlling Throughflow Generation. Earth Surface Processes, Vol.3, 331 – 344 pp.

AQUINO, M. R.A; CAMPOS, D. J. S. L; SILVA, L. A. A. (2010). Vulnerabilidade Socioambiental nas Cidades: os riscos e perigos de deslizamento de terra nas áreas pobres Lagoa Encantada e Monte Verde, Recife PE. Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre.

ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. (2005). Gestão ambiental de áreas degradadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 320 p.

ASSUNÇÃO, D. M .S. (2005). "Padrão quali-quantitativo do descarte de águas residuárias em áreas carentes: um estudo no Alto do Bom Viver em Salvador". Dissertação de mestrado, Salvador/Ba - UFBA.

BANDEIRA, A. P. N.(2003). Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento das Encostas com Ocupação Desordenadas no Município de Camaragibe – PE. Dissertação (Mestrado). UFPE. Recife-PE.

BRASIL. Ministério das Cidades. Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco. Disponível em: [www.cidades.gov.br](http://www.cidades.gov.br) > Acesso em: 20 jan. 2012.

BURTON, I. KATES, R. W. e WHITE, G. F. (1978). The environmental as hazard. New York: Oxford University, 240p.

CASTRO, S. D. Riesgos e Peligros: uma visión desde lá geografia. Scripta Nova: Revista Eletrônica de Geografia y Ciências Sociales. Barcelona, n.60, 15 de mar. 2000. Em: <<http://www.ub.es/geocrit/Sn-60.htm>> Acessado 14 07 11.

CERRIS, L. E. S. (1993). Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos: Uma Proposta para a Prevenção de Acidentes. Tese (Doutorado). UNESP. Rio Claro-SP.

COELHO NETTO, A. L. (1985) y Surface Hydrology and Soil Erosion in Tropical Mountainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Katholieke University Leuven, 198 pp.

CONDEPE/FIDEM - Fundação de Desenvolvimento Municipal. Manual de ocupação dos morros. Recife, 2002. 335p.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (2009). Degradação ambiental. In: \_\_\_\_\_. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 337-374.

DOMBROWSKY, W. R. (1990). The social dimensions of warning and the transition from folk wisdom to laymanship. In: Prediction and Perception of Natural Hazards. Proceedings... Italy: Perugia, p. 23-28.

FERNANDES, N. F., COELHO NETTO, A. L. e LACERDA, W. A. (1994) Subsurface Hydrology of Layered Colluvium Mantles in Unchannelled Valleys – Southeastern Brazil. Earth Surface Processes and Landforms, 19, 609-626pp.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. do. Movimentos de massa: Uma abordagem geológica-geomorfológica. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (1996). Degradação ambiental. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 123-194.



FERNANDES, N. F. e AMARAL.C. P.(2006). Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Geomorfologia e Meio Ambiente/Antonio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha. 6ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.123-194p.

FIGUEIREDO, R. B. (1994). Engenharia Social: Soluções para áreas de risco. São Paulo. Makron Books.

FREIRE, E. S. M., (1965). “Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e sua Moderna Sistemática”, *Construção*, Rio de Janeiro, (95): pp. 10 -18.

GALDINO, D.( ). Desenvolvimento do Bairro de Nova Descoberta trecho entre a Avenida Norte e a Bifurcação da Avenida Vereador Otacílio de Azevedo. Acesso em 09 de 06 de 2011, disponível em HTTP: [WWW.werbartigos.com](http://WWW.werbartigos.com)

GUERRA, A. J. T. (1994). Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 149-209.

GUERRA, A. J. T. (2007) Processos Erosivos nas Encostas. *In*: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos/Antonio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha. 7ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 149-209p.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G.M. (1998). Erosão dos solos. In: Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 181-227.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A.C. de B. (2004). A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. *Revista de Geografia*. Recife: jul/dez, v. 21, n. 2. p. 36-58.

GUIDICINI, G. & NIEBLE,C.M. (1976). Estabilidade de taludes naturais e de escavação.Ed. Blucher, São Paulo, 170 p

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. (1984), Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher.

GUSMÃO FILHO, J. A. (1990), Ação Integrada Contra Riscos Geológicos em Morros Urbanos. In I Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano. ABGE, Anais, pp 421-435. São Paulo. SP.

GUSMÃO FILHO, J. A. (1997), Chuva e Deslizamentos nas Encostas Ocupadas. In Workshop "A Meteorologia e os recursos Hídricos Aplicados à Defesa Civil" - Recife.

HARP, E. L., WELL II, W. G. e SARMIENTO, J. G. (1990) Pore Pressure Response During Failure in Soils. Geological Society of America Bulletin, Vol. 102 428-438pp.

IPT (2011). [www.ipt.br](http://www.ipt.br)

LEROUEIL, S. (2001). "Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms". Geotechnique, Vol. 51, nº 3, pp. 197-243.

LEROUEIL, S.; LOCAT, J.; SÈVE, G.; PICARELLI, L. & FAURE, R.M. (2001). "Slopes and mass movements". Geotechnical and geoenvironmental engineering handbook. Parte III. Slope, embankment and wall stability and soil improvement". Edited by R. Kerry and Rowe. Klerwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, USA, pp. 397-428.

LIMA, A. F. (2002). Comportamento Geomecânico e Análise de Estabilidade de uma Encosta da Formação Barreiras na Área Urbana da Cidade do Recife . Dissertação de Mestrado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife -PE.

LIRA e SILVA, A. (2008). Deslizamento nos Morros dos Brejo da Guabiraba, Recife/PE: Uma Visão Para Desenvolvimento Local Sustentável. .Dissertação de Mestrado. UPE. FCA. Recife -PE.

MAPA DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE – Wikipédia, enciclopédia livre; Disponível em: [pt.wikipedia.org/wiki/Regiao\\_Metrpolitana\\_do\\_Recife](http://pt.wikipedia.org/wiki/Regiao_Metrpolitana_do_Recife). Acesso em: 4 de mar. 2011.

MARANDOLA JR, E.; HOGAN, D.J.(2004). Natural Hazards: O Estudo Geográfico dos Riscos e Perigos Ambiente e Sociedade, São Paulo (Annablume/ANNPAS/UNICAMP/NEPAM/CNPq), v. VII, n. 2, jul./dez. p. 95-109.

MONTGOMERY, D. R. e DIERICH, W. E. (1994) Hydrologic Processes in Aa Low-Gradient Source Area. Water Resources Research, Vol. 31, 1-10pp.

NAKAZAWA, V. A. e CERRI, L. E. S. (1990), Os Escorregamentos Ocorridos em Petrópolis, RJ, em Fevereiro de 1988. Ações Emergenciais. In Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, Vol.1. São Paulo. ABGE, pp. 325-333.

NUNES, A. J. C. (1969). Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING, 7ª, México. Anais, México, SOCIEDADE MEXICANA DE MACÂNICA DE SUELOS, 1969. Vol. 2, 5ª sessão, p 547-554, II.

NUNES, A. J. C.; FERNANDES, C. E. M.; ILIESCO, M.; CID, M. R. V. K.; ALVES, R. I. e SILVA, L. J. R. D. B. (1990). "Contribuição ao Conhecimento do Risco Geológico da Cidade de Petrópolis, RJ. In: Simpósio Latino-Americano sobre Risco Geológico Urbano, 1, São Paulo. Anais São Paulo: ABGE. Pp.102-114.

PFALTZGRAFF, P. A. S. (1985). Mapa de suscetibilidade a deslizamentos da região metropolitana de Recife / PE. Tese de Doutorado - UFPE, Recife - 2007.

RECIFE (PE). Prefeitura da Cidade do Recife.(2004). Codecir. .Recife, 2004.

ROSA FILHO, A. e CORTEZ, A. T. C. (2010) A Problemática Socioambiental da Ocupação Urbana em Área de Risco de Deslizamento da " Suíça Brasileira". Revista Brasileira de Geografia Física 03. UFPE, p 33-40.

ROWE, W. E D. A.(1987). Alternative risk evaluation paradigms. In: HAIMES, Yacov Y. & STAKHIV, Eugene Z. Risk analysis and management of natural and man-made hazards. New York: American Society of Civil Engineers, p.1-21.

SILVA, M. M. (2007). Estudo geológico-geotécnico de uma encosta com problemas de instabilidade no Município de Camaragibe – PE. Tese de Doutorado UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife -PE, 2007.

SILVA, M. A.; BIONDI NETO, L.; SIEIRA, A. C. C. F.(2009). Aplicação de Lógica Nebulosa Para Previsão do Risco de Escorregamento de Taludes. In: Congresso Ibero Latino Americano de Métodos Computacionais em Engenharia.

TATIZANIA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S., ROCHA, M. C. M. (1987). “Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos” In: V CBGE, São Paulo, Vol. 2, pp.225-236.

TERZAGUI, K. (1950). “Mecanismo de escorregamento de terra”. Departamento de Livros e Publicações do Grêmio Politécnico, São Paulo, 1967, 41 p., il.

TORRES, H. G. (2000). A Demografia do Risco Ambiental. Pág. 53-73 in H. Torres, H. Costa (orgs), População e Meio Ambiente: debates e desafios. São Paulo, Editora Senac.

VARGAS, M. (1966). “Discussão sobre o tema: Estabilidade de taludes”. COBRAMSEF, 3, Belo Horizonte. Anais, Vol 3., pp. 191-223.

VARNES, D. J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Paris: UNESCO, 63p.

VEYRET, I. (Org.).(2003) Les Risques. Sedes, Paris.

VIEIRA, R.; FURTADO, S.M. de A.; SOUZA, C.E. de. (2004). Aplicação do geoprocessamento na prevenção de riscos naturais - os deslizamentos no Município de Blumenau/SC. In: GIS BRASIL - SHOW INTERNACIONAL DE GEOTECNOLOGIAS. Anais... Brasil: São Paulo.

ZUQUETTE, L. V. (1987). Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras. São Carlos, 673p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Geotécnica. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

## CAPÍTULO II

## CAPÍTULO II

## MODELO EXPERIMENTAL PARA DESLIZAMENTO EM RECIFE.

### RESUMO

Os deslizamentos de terra que ocorrem ao longo das encostas, especialmente após chuvas intensas, são fenômenos naturais a que podem estar submetidas uma grande parte das metrópoles brasileiras, e cujos reflexos podem ser apresentados na forma de prejuízos financeiros, como destruição de casas, pontes, gasodutos, rodovias, dentre outros, além de perdas de preciosas vidas humanas. Diversos condicionantes contribuem de forma direta para essa ocorrência, como a morfologia dos relevos, a dinâmica dos solos e as ações antrópicas, constantes nestas localidades. Neste caso, as áreas de morros, compostas por diversas encostas, são as que mais sofrem com esse fenômeno. Neste sentido, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para tentar prever ou minimizar tais ações.

Este trabalho tem como objetivo a proposição de uma modelagem experimental, desenvolvida em laboratório, que conduza a validação de modelos utilizados que justificam a ocorrência de deslizamento baseado na inclinação das encostas. A área objeto de estudo escolhida, por ser uma das mais suscetíveis a deslizamentos, foi a região norte da cidade do Recife, mais especificamente o bairro da Guabiraba. Para realização do experimento, dois diferentes blocos de solos de dois diferentes tipos foram retirados de encostas, coletados e preparados de acordo com as normas técnicas. Em seguida, estes blocos, aos pares, por tipo, foram submetidos a um simulador de chuva artificial, desenvolvido em laboratório. Os blocos de solos com inclinação de  $45^\circ$  e superior a  $45^\circ$  (próximo a  $60^\circ$ ), permanentemente monitorados por câmaras de vídeo, foram usados para verificar a relação existente entre deslizamento da encosta versus inclinação, conforme modelos propostos por diversos pesquisadores do IFPE e UNICAP. Fenômenos relacionados a diferentes tipos de erosões, causados pela chuva, também foram verificados. A experiência foi realizada no laboratório, de construção civil do Instituto Federal de Pernambuco - IFPE.

Palavras chaves: deslizamento, experimento, modelo, modelagem de solo.

## INTRODUÇÃO

A vida nos centros urbanos vem se degradando a cada dia, em virtude das dificuldades impostas à população em geral e, em especial, às populações de baixa renda, especialmente aquelas que residem em áreas de risco, sujeitas a situações de perigo devido aos deslizamentos de terra. Segundo Fernandes, et al (1996), nos grandes centros os deslizamentos assumem frequentemente proporções catastróficas, uma vez que os inúmeros cortes, aterros, depósitos de lixo, desmatamentos, modificações na drenagem, entre outras agressões, geram novas relações com os fatores condicionantes naturais associados à geomorfologia e à geologia.

Deslizamentos de encostas são processos que diferentemente da erosão laminar, ravinas e voçorocas, caracterizam-se pelo movimento gravitacional, descendente e para fora da encosta, de material, sempre com a ajuda de água corrente, a qual atua como agente de transporte (CROZIER, 1986). Segundo Guerra (2009), os problemas de erosão dos solos estão relacionados a uma determinada superfície, onde existem contrastes entre a alta, média e baixa encosta.

A ação da água, como agente erosivo, deve ser compreendida, levando-se em conta a complexidade dos fatores. O processo que envolve a ação da água sobre o solo se inicia da seguinte maneira: caso caia mais água sobre um determinado tipo de solo do que este é capaz de absorver por meio de infiltração, começa a ocorrer o escoamento superficial, o qual pode vir a provocar a chamada erosão laminar; a medida que a velocidade aumenta, a água provoca maior incisão sobre o solo, e começam a se formar as ravinas, que são canais contínuos, estreitos e de pouca profundidade; o alargamento das ravinas, causado pelo escoamento superficial e sub-superficial, dá origem as voçorocas. Neste estágio, os canais, são mais largos e mais profundos do que as ravinas e, em geral, se constituem características permanentes nas encostas (GUERRA. 2009).



O escorregamento na opinião de Augusto Filho (1992), é um dos processos de movimento de massa mais importantes a serem estudados, devido a sua interferência com as atividades antrópicas, a complexidade de causas e mecanismos, a variabilidade dos materiais envolvidos e a variância de sua escala. Os deslizamentos ou escorregamentos, definidos como eventos geológicos, são originados a partir de fluxos ou movimentos gravitacionais de materiais (solos, sedimentos e rochas), desencadeados por agentes naturais (chuvas, terremotos etc.) ou antrópicos (explosões, alteração da geometria dos taludes, tráfego de veículos, etc.). Eles contribuem para a evolução das formas do relevo e, são também, causadores de grandes danos sócios econômicos. A magnitude desses movimentos de massa é bastante variável, tanto no que se refere à velocidade, quanto ao volume, dimensões ou tipo de material deslocado.

## FUNDAMENTAÇÃO

Segundo Coelho Netto (2009), os solos são constituídos por milhões de partículas de diferentes composições mineralógicas e diversos tamanhos, entre cascalho, areias, siltes ou argilas, parte dos quais podem estar com grãos simples ou agregados por matéria orgânica ou argila. Os espaços vazios entre as partículas de solos, os quais são denominados de poros, podem estar parcialmente ou totalmente preenchidos de água.

A área objeto da dissertação, a Zona Norte do Recife, segundo Palmieri e Laracch (2009), está relacionada a unidade do relevo coberto por sedimentos inconsolidados atribuídos a cobertura plio-plestocênica do Grupo Barreira. Neste ambiente é comum a associação de dois solos bastante desenvolvidos fruto da ação climática, os latossolos e podzólicos.

Em sua dissertação Bandeira (2003), destaca a classificação dos movimentos de massa proposta por CRUDEN e VARNE (1996), conforme mostrado na Tabela II 1. Esta classificação está baseada no tipo de movimento e no tipo de material

transportado. Os tipos de materiais transportados nessa classificação são: rocha , solos e detritos. Por outro lado os tipos de movimento de massa considerados, são: quedas , tombamentos , escorregamentos, espalhamentos e corridas/escoamentos. No caso específico dessa dissertação será dado destaque aos escorregamentos, fenômeno bastante presente na cidade do Recife.

Tabela II 1. Classificação dos Movimentos de Massa  
(Varnes, 1978, a partir de CRUDEN e VARNES, 1996)

TIPO DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	SOLO (ENGENHARIA)	
		PREDOMINANTEMENTE GROSSO	PREDOMINANTEMENTE FINO
QUEDA ( <i>FALL</i> )	Queda de rocha	Queda de detritos (debris)	Queda de solo
TOMBAMENTO ( <i>TOPPLE</i> )	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos (debris)	Tombamento de solo
<b>ESCORREGAMENTO</b> ( <i>SLIDE</i> )	Escorregamento em rocha	Escorregamento em detritos (debris)	<b>Escorregamento em solo</b>
ESPALHAMENTO ( <i>SPREAD</i> )	Espalhamento de rocha	Espalhamento de detritos (debris)	Espalhamento de solo
CORRIDA/ESCOAMENTO ( <i>FLOW</i> )	Corrida de rocha	Corrida de detritos (debris)	Corrida de lama

Guerra (2009), afirma que a erosão causada nas encostas, provenientes das águas, não é um problema apenas a nível local (Recife), mas um problema observado em escala mundial. Outros fatores destacados pelo autor que podem afetar a erodibilidade dos solos de diferentes maneiras, são a declividade, o comprimento e a forma da encosta.

## Quadro II 1. Características dos Tipos de Movimento

(VARNES, 1978, a partir de CRUDEN e VARNES, 1996)

TIPOS DE MOVIMENTO	CARACTERÍSTICAS DOS MOVIMENTOS
QUEDAS (FALLS)	Os materiais, rocha ou solo, se desprendem das encostas pela ação da gravidade. O movimento é do tipo queda livre ou de rolamento, com velocidade muito rápida (m/s) que pode atingir grande distância. Nas encostas íngremes o movimento geralmente é em queda livre e nas encostas com declividade 1:1 o movimento é de rolamento de matacões.
TOMBAMENTOS (TOPPLES)	O movimento se dá a partir da rotação de um bloco da encosta em torno de um eixo. Este movimento está condicionado a existência de planos de fraqueza.
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	<b>É o movimento que ocorre geralmente através de uma superfície de ruptura. Os primeiros sinais podem ser observados através de fissuras na superfície do solo. Eles são divididos em rotacionais e translacionais.</b>
ESPALHAMENTO (SPREAD)	Ocorre em materiais mais rígidos sobrejacentes a camadas menos resistentes, formando fissuras e fraturas transversais à direção do movimento. O movimento é repentino e se dá pela perda de resistência da camada subjacente, devido a ação da água, como o efeito da liquefação das areias; e pode também ocorrer devido o escoamento plástico como nas argilas sensitivas. O material sobrejacente pode sofrer movimentos de subsidência, translação, rotação, desintegração ou escoamento.
CORRIDAS/ESCOAMENTOS (FLOWS)	São formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, provocado pela perda de resistência do material devido o excesso de água. A massa se desloca semelhante a um líquido viscoso.

Esse tipo de movimento ganha destaque na zona norte da cidade do Recife, em virtude da litologia da área. Durante o período de chuvas na cidade, entre outono-

inverno, o risco de eminência de escorregamento é muito presente (LIMA, 2002). Esse tipo de movimento comum é denominado, localmente, de deslizamento.

Os solos desenvolvidos na Formação Barreira também contribuem para os deslizamentos, principalmente nas áreas bastante íngremes, onde a declividade ultrapassa os 45°, e devido as ações antrópicas, outro agravante. O movimento de deslizamento ocorre por meio de uma superfície de ruptura através da observação de fissuras na superfície do solo, conforme mostrado na Tabela II 2. Estes movimentos podem ser dos tipos rotacionais ou translacionais. A superfície de deslocamento nos movimentos translacionais é plana, enquanto nos movimentos rotacionais é encurvada.

Quadro II 2. Categorias e Fatores de Risco

Alheiros, 1989.

CATEGORIAS	ATRIBUTOS OU FATORES DE RISCO
<b>RELEVO</b>	<b>Declividade</b> Altura da encosta Extensão da encosta Perfil da encosta Morfologia do perfil
<b>GEOLOGIA</b>	<b>Litologias</b> Estruturas <b>Texturas</b> Evidências de escorregamento
<b>AMBIENTE</b>	Cobertura vegetal Drenagem Densidade populacional Tipos de cortes Tratamento existente

O processo de erosão dos solos é uma ação que ocorre em duas fases: numa primeira fase ocorre a remoção de partículas, e numa fase subsequente este material removido é transportado por agentes erosivos. Quando a energia não é suficiente para

continuar o transporte do material removido ocorre uma terceira fase, a qual é caracterizada pela deposição desse material transportado (GUERRA, 2009). Continuando, o autor afirma que os processos básicos são de importância fundamental para que se compreenda a ocorrência da erosão e suas consequências. O ciclo da água, ponto de partida desse processo, durante um evento chuvoso, despeja parte dessa água diretamente no solo enquanto uma outra parte chega ao solo, por gotejamento das folhas, ou escoamento dos troncos. A água que chega ao solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltra, aumentando a umidade do solo, ou abastecendo o lençol freático.

Para Lima (2002), os principais fatores e agentes que contribuem diretamente nos movimentos de massas são: características climáticas, as características e distribuição dos materiais que compõem o substrato das encostas e taludes, tipos de solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas, as características geomorfológicas com destaque para a inclinação da encosta, o regime pluviométrico das águas de superfície e subsuperfície e as características do uso e ocupação, presença da cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica das encostas, como cortes, aterros, concentração de águas servidas, pluviais etc.

## **MATERIAL E METODOS**

Os princípios básicos de formação de uma encosta são de origens físicas ou naturais. Verificar como ocorre um deslizamento é resultante de diversos fatores conectados. Nesta dissertação pretende simular a ocorrência de deslizamento de uma encosta por meio de experimentos de laboratório. Para que isso seja validado é necessário que os resultados experimentais corroborem os resultados obtidos com modelos teóricos, conforme apresentado por (GUSMÃO FILHO,1990). A ação integrada contra risco geológico é uma das propostas mais viável, para áreas que sujeita a ocorrência de deslizamento, como também, para área degradada. Para Alheiros (1998), declividades superiores a 40° já apresenta risco de ocorrência de deslizar .No caso de Recife, que está grande parte sob a Formação Barreira já é susceptível a ocorrência desse fenômeno. Essa situação se agrava mais ainda, com o

aumento da declividade do terreno. Por isso é importante desenvolver modelos que possam prever tal fenômeno. Segundo Chorley (1967) e Woldenberg (1985), o modelo escolhido deverá ser análogo àquele da natureza que se pretende representar. Tem como finalidade, esclarecer determinada categoria de fenômeno.

No modelo experimental foram utilizadas formas de madeiras (largura 44cm x altura 34cm x comprimento 47cm) onde foram colocados os blocos de solos. A área escolhida para retirada desse material foi o bairro da Guabiraba, na cidade do Recife, próximo da BR 101 norte, as duas primeiras amostras.

Primeiramente foram retiradas duas amostras de solos diferentes, com objetivo de identificar suas características físicas. Essa etapa foi realizada no LABGEO/UNICAP. Os ensaios de caracterização foram realizados de acordo com as metodologias da ABNT indicadas abaixo:

NBR – 6457/86 – Preparação de amostras : Esta norma prescreve o método para a preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização (análise granulométrica, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos que passam na peneira de 4,8 mm e massa específica, massa específica aparente e absorção de água dos grãos retidos na peneira 4,8 mm).

NBR - 7181 - Análise granulométrica : Esta norma prescreve o método para a análise granulométrica dos solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento.

NBR - 6508 - Massa específica dos grãos dos solos: Esta norma prescreve o método de determinação da massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm (de acordo com a ABNTNBR 5734), por meio de picnômetro, através da realização de pelo menos dois ensaios.

NBR - 6459 - Limite de liquidez: Esta Norma prescreve o método para determinação do limite de liquidez dos solos.

NBR - 7180 - Limite de plasticidade: Esta Norma prescreve o método para a determinação do limite de plasticidade e para cálculo do índice de plasticidade dos solos.

Quadro II 3. Resultados dos Ensaios de Caracterização das amostras inválidas

Amostra No	Pedr. (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	DENSIDADE REAL DOS GRÃOS
1 PODZOLICO VERMELHA AMARELO	2	20	14	64	52	28	24	2,65
2 LATOSSOLO VERMELHA AMARELO	1	64	6	28	38	17	21	2,63

As características dos dois solos que foram submetidos à análise apresentaram os seguintes resultados: o primeiro tipo de solo, denominado podzólico, é um solo mais argiloso, isto é, apresenta um menor percentual de areia e um maior percentual de silte, e portanto oferece uma maior quantidade de microporos e uma maior quantidade de água retida no seu interior; o segundo tipo de solo, denominado latossolo, é mais arenoso, apresentando uma quantidade inferior de argila quando comparado com o primeiro e uma maior quantidade de macroporos, o que ocasiona uma menor retenção de água no seu interior. Apesar de ambos os solos serem típicos de zonas tropicais úmidas, bastante desenvolvidos e profundos, com horizontes bem individualizados, suas características são distintas. Quando são comparadas as densidades reais dos grãos, elas apresentaram valores bem próximos.

Os ensaios de granulometria das amostras são caracterizados pelos gráficos da Figura 1.

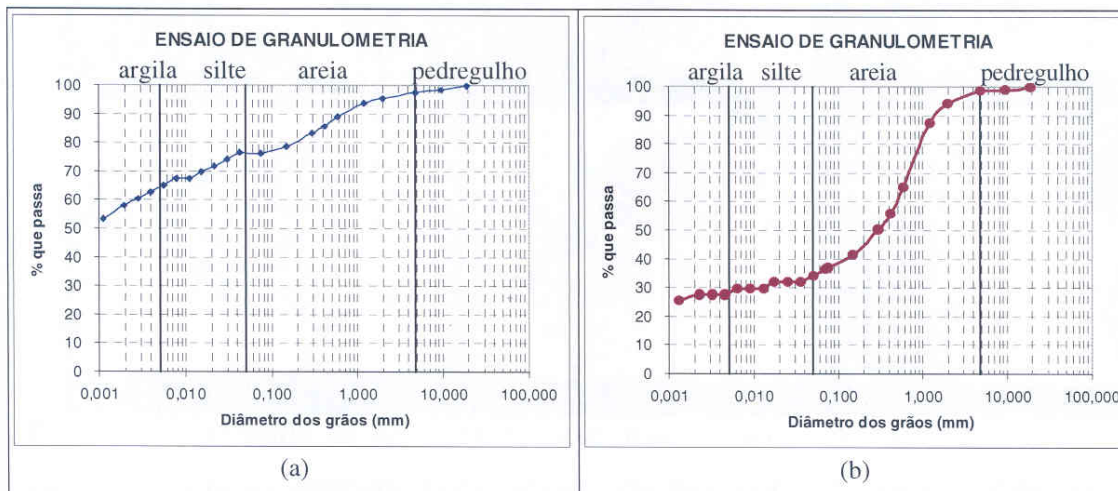


Figura II 1. Ensaio de Granulometria: (a) LATOSSOLO VERMELHO AMARELO e (b) PODZÓLICO VERMELHO AMARELO

Uma outra etapa essencial no processo de simulação foi a coleta dos blocos de solos. O local escolhido para coleta das amostras foi o bairro do Brejo da Guabiraba. Num primeiro momento avaliou-se a possibilidade de retirada de dois blocos de tipos de solos distintos, com inclinações de  $45^\circ$  e superior a  $45^\circ$ . As amostras de solos foram colocadas em formas de madeira, especialmente projetadas para o experimento, com o objetivo de avaliar o comportamento de ambas as amostras.

A retirada do bloco de solo requereu não apenas uma técnica especial, definida pela engenharia civil, como também, um profissional especializado na realização de tal trabalho. Numa primeira tentativa não foi possível a retirada do bloco, como pode ser visto na Figura 2. Apesar de ter sido usada uma metodologia padrão e de todos os cuidados observados, o bloco de solo não resistiu, fragmentando-se em vários pedaços, conforme a sequência de fotos mostradas na Figura 2. Portanto o material não foi coletado nessa primeira tentativa. A explicação dada por um técnico do Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, que acompanhou na retirada dos blocos para o experimento que resultou na fragmentação da amostra, está baseada na composição do solo, como também, a área era de difícil acesso e com pouco espaço para movimentar.

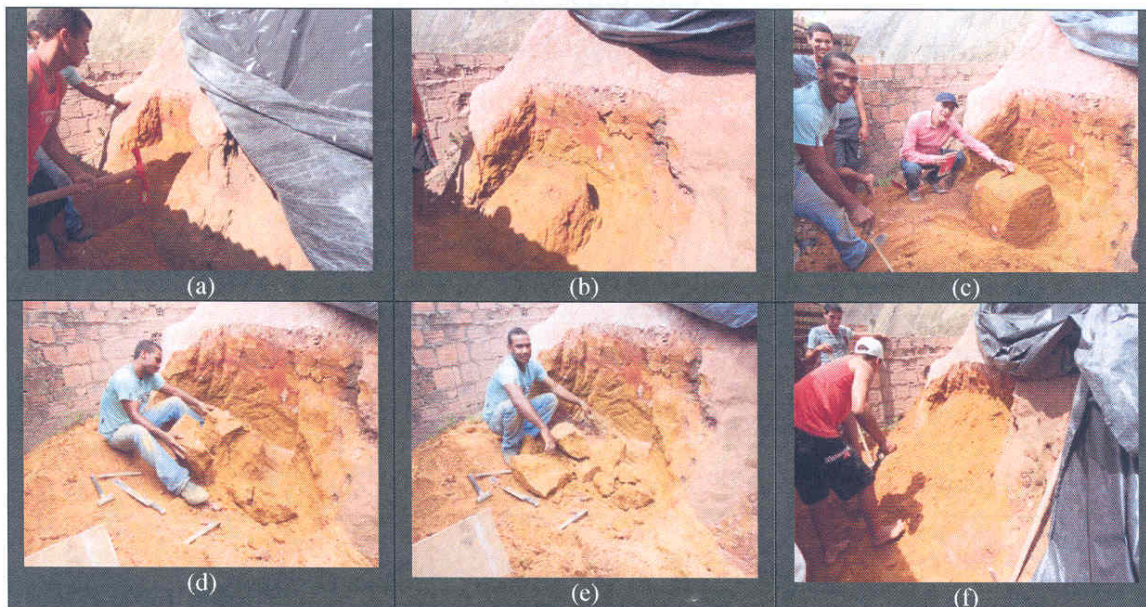


Figura 2. Retirada de Amostra de Solo malsucedida – As fases de (a) a (f) mostram desde o corte da encosta, para retirada da amostra, até sua decomposição, após a fragmentação do bloco.



Após o experimento malsucedido da retirada da amostra, uma outra área foi escolhida, nas proximidades do ponto inicial de coleta, para coletas dos blocos. O local escolhido situava-se próximo a BR 101, ainda na Guabiraba, conforme Figura II 3. Nessa localidade foi possível, com sucesso, a retirada de duas amostras de solos num corte vertical da Formação Barreira.



Figura II 3. Local da retirada das amostras, com sucesso, para o experimento de validação da inclinação das encostas versus deslizamentos

No corte da BR 101 norte, na Guabiraba, foram coletadas duas amostras individualizadas, com o objetivo de se analisar a caracterização física do solo, pelo LABGEO/UNICAP. As amostras foram separadas e referenciadas como as amostras 01 e 02 do mesmo solo. Após a realização de novos ensaios de Caracterização, realizados de acordo com as normas da ABNT já descritas anteriormente, os resultados encontrados são apresentados conforme o Quadro 2.

Quadro II 4. Resultados dos Ensaios de Caracterização das amostras válidas

Amostra No	Pedr. (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	DENSIDADE REAL DOS GRÃOS
<b>1 Podzólico VERMELHO AMARELO</b>	0	71	5	24	35	19	16	2,635
<b>2 Podzólico VERMELHO AMARELO</b>	0	70	5	25	38	17	21	2,624

As duas amostras coletadas apresentaram um comportamento bastante semelhante, quando analisadas em laboratório. Neste caso, foi de suma importância

fazer os ensaios de granulometria para verificar possíveis variações das amostras, mesmo sendo do mesmo tipo de solo. Os ensaios de granulometria das Figuras (a) e (b), ratificam a semelhança na composição dos solos analisados. Os quais apresentam características bastante semelhantes entre si e com amostra de solo anteriormente colhida, conforme Figura 1(b), e que foi descartada, como uma amostra inválida, pela inviabilidade da retirada do bloco de solo do local escolhido devido ao difícil acesso.

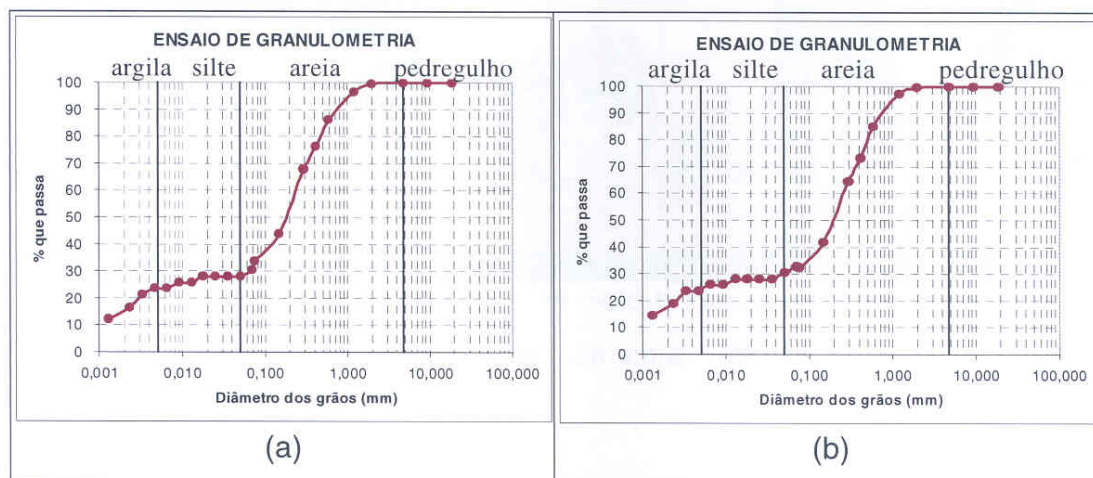


Figura II 4: Ensaio de Granulometria: (a) Amostra 01 – Podzólico Vermelho Amarelo e (b) Amostra 02 - Podzólico Vermelho Amarelo

Os blocos depois de serem cortados e individualizados, com auxílio de materiais especializados, tiveram que ser transportados para as formas idealizadas para esse experimento. Foram rapidamente recobertos com papel alumínio, para em seguida serem recobertos, mais uma vez, por um tecido fino de algodão que recebeu uma camada de parafina líquida para dar uma maior consistência ao processo de empacotamento. Por último foi passada a fita crepe em toda estrutura. Todos esses cuidados tiveram como finalidade não apenas evitar a perda de umidade contida nas amostras, como também, a quebra desse material, conforme pode ser observado na sequência mostrada na Figura II 5.

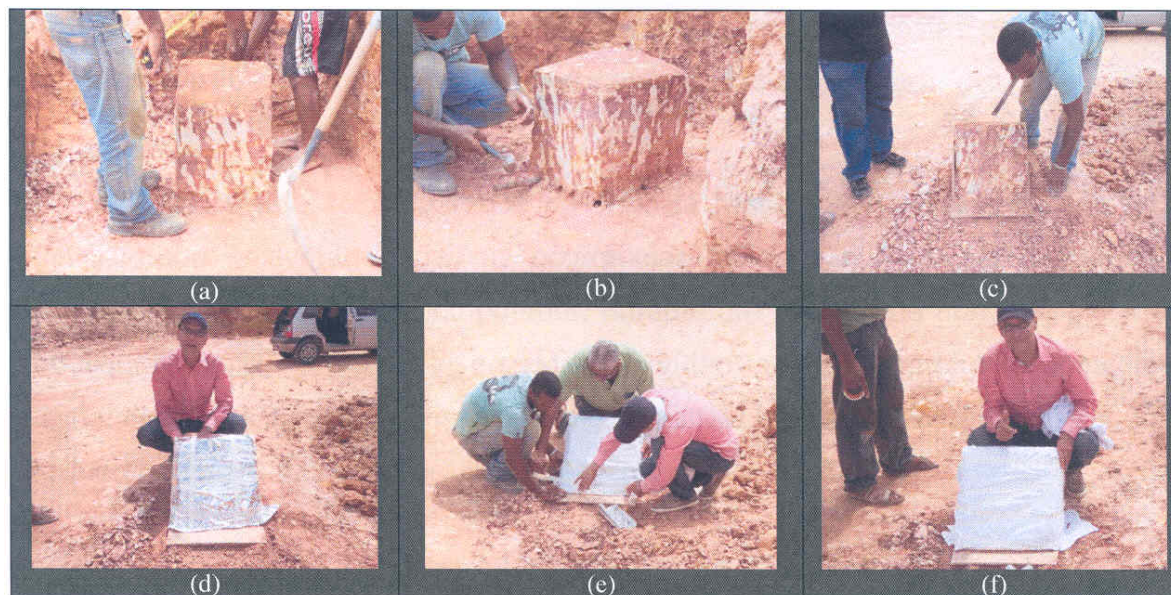


Figura II 5. Retirada da 1ª Amostra de Solo bem-sucedida – As fases de (a) a (f) mostram desde a obtenção da amostra do bloco até o seu adequado acondicionamento.

As amostras, após serem coletadas, foram levadas para o laboratório de solos do Instituto Federal de Pernambuco e colocadas em uma câmara de umidade até o dia de serem submetidas à experimentação com um simulador de chuva artificial. O gerador de chuva artificial, mostrado na Figura II 6, é um equipamento que está sendo desenvolvido pelo mestrando Gilmar Brito do mestrado de Processos Ambientais. Este equipamento é constituído por diversos tipos de aspersores, cada qual com diferente abertura, que liberam diferentes vazões d'água, correspondentes aos diferentes níveis de chuva, em milímetros. Por exemplo, caso a chuva seja de baixa intensidade, uma determinada vazão d'água será liberada por um determinado tempo, a qual corresponderá a um dado volume d'água em  $\text{mm}^3$  liberado por  $\text{mm}^2$  de área; caso a chuva seja intensa, os aspersores de baixa vazão serão fechados e os aspersores de alta vazão serão ativados, de modo que a exata quantidade de chuva em  $\text{mm}^3$  seja liberada por  $\text{mm}^2$  de área por um determinado tempo. Esse equipamento controla a vazão da água por meio de um hidrômetro equipado com sensor Hall, com características específicas, cuja finalidade é a eficiência e o controle da intensidade da chuva no tempo. Para Horner & Jens (1941), um equipamento com capacidade de simular chuva deve ser caracterizado por três fases distintas: avançada, intermediária e

atrasada. O equipamento desenvolvido atende as fases propostas pois a geração de chuva artificial utiliza um microcontrolador para controle de vazão.

Os blocos de solos retirados da encosta foram submetidos a chuvas geradas artificialmente e tiveram todas as ocorrências de seus eventos de deslizamento e erosão registrados em um computador, durante um período de 80 horas, por meio de um equipamento de gravação de vídeo. O vídeo gravado apresenta como recurso adicional a visualização de um relógio digital na tela, que estabelece uma relação entre período de chuva (mm) x eventos de deslizamento e erosão.

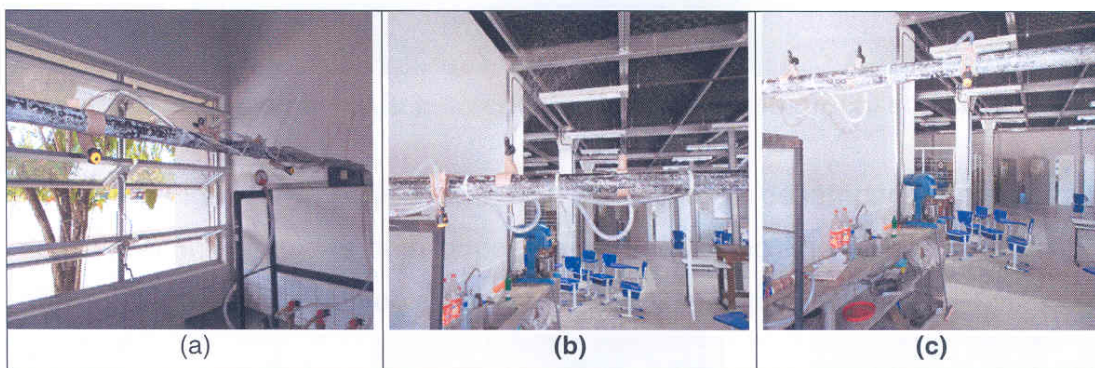


Figura II 6. Equipamento simulador de chuva artificial. Nas Figuras (a), (b) e (c) são vistos aspersores que, uma vez ativados, geram chuvas de diferentes mm por tempo determinado.

Os blocos, inicialmente empacotados, foram desempacotados e preparados para serem submetidos ao simulador de chuva. Antes do início da experimentação foi retirada uma pequena amostra do solo para identificar a umidade, pelo processo *Speed*, conforme Figura II 7, a seguir. Uma das amostras apresentou um percentual de 18,5% de umidade. Outras amostras retiradas e levadas à estufa, apresentaram 16,5% de umidade. Pode-se concluir que a umidade do solo não variou muito, independente do processo utilizado.

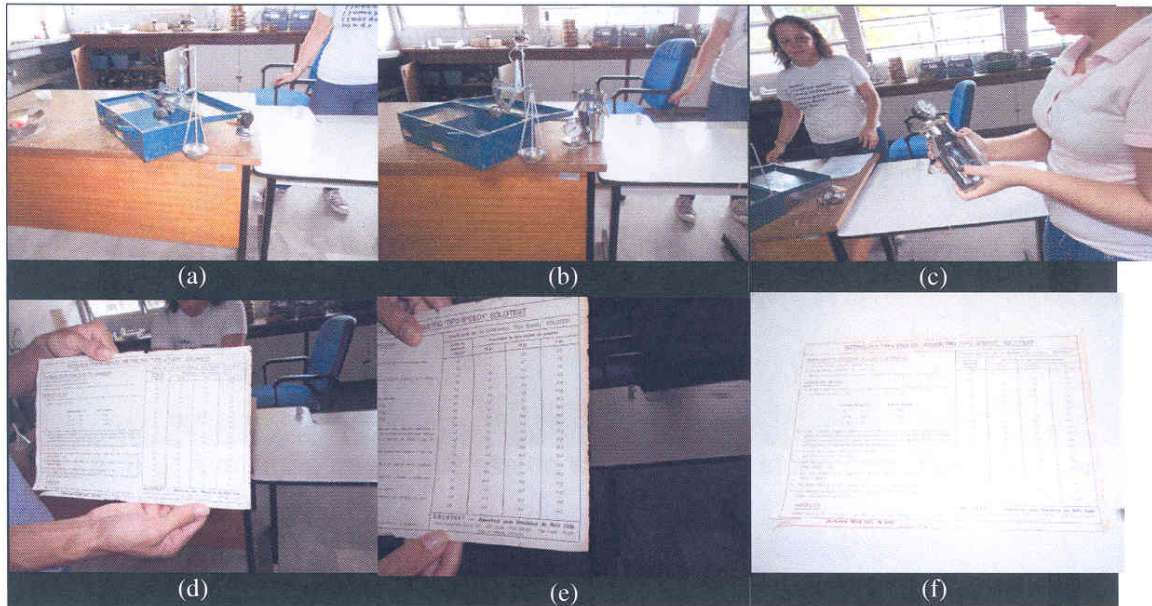


Figura II 7. Equipamento de medição de Umidade, pelo processo "Speed"

Na Figura II 8. pode observar o processo de desempacotamento das amostras de solo acondicionadas com papel alumínio e tecido fino recoberto por parafina para manutenção da umidade do solo e preservação das propriedades.

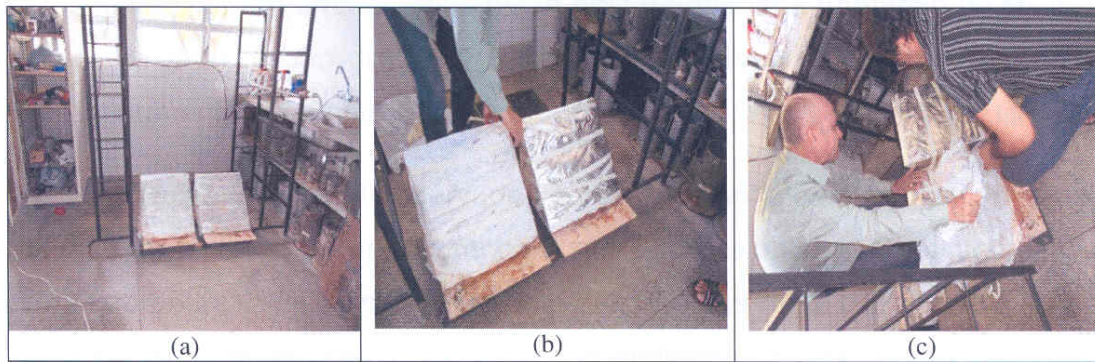


Figura II 8. Utilização das amostras de solo, acondicionadas para manutenção de umidade, para avaliação da simulação de deslizamento sob chuva artificial.

Em seguida os dois blocos com inclinações diferentes foram submetidos ao simulador de chuva artificial, conforme mostrado na Figura II 9. Uma das amostras foi colocada numa inclinação de  $45^\circ$ , o bloco mais a direita, e uma outra amostra foi colocada numa inclinação de  $45^\circ$ , e a outra de  $55^\circ$ .

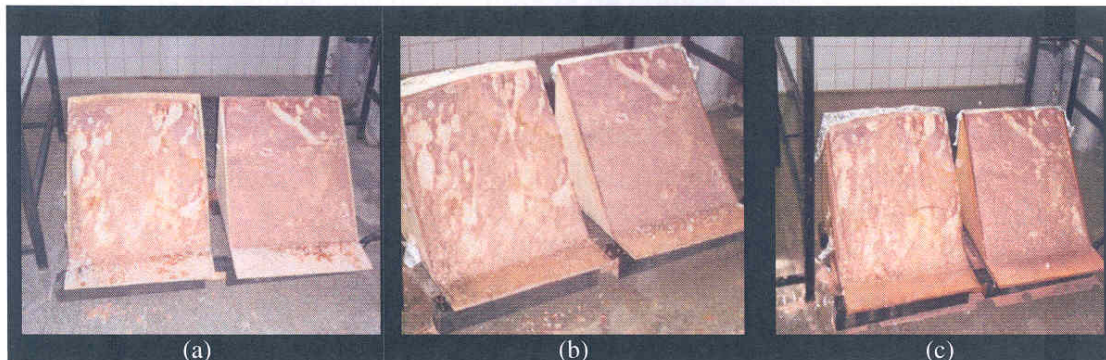


Figura II 9. Avaliação das amostras de solo em laboratório sob chuva artificial, conforme (a), (b) e (c).

Na primeira hora de chuva verificou-se que a amostra 01 (esquerda) apresentava uma fissura horizontal no meio do bloco, devido a erosão causada pela precipitação de 22 mm de chuva. Por sua vez, a mostra 02 (direita) após três horas de precipitação acumulada, equivalente a 66mm de chuva, apresentava um corte transversal. Depois de um determinado tempo de chuva foram observados o início da erosão laminar em ambas amostras, e posteriormente a formação de sulcos. Após dez horas de precipitação ou 220mm de chuva, houve uma acentuação na erosividade com o aumento desse processo.

O experimento foi observado sobre vários ângulos e sob uma mesma condição, o que permite uma maior segurança dos resultados obtidos. Observou-se que as áreas de maiores inclinações provavelmente são aquelas mais susceptíveis a ocorrência de deslizamento, quando os solos são areno-argilosos, como foi o caso do experimento.

Resultados experimentais da ocorrência de chuvas sobre solos argilosos de diferentes inclinações.



(a)

Apresentação dos modelos de encostas com diferentes inclinações ( $45^\circ$  e  $>45^\circ$ ) antes da deflagração das chuvas. Formação geológica tipo: barreira. Solo argiloso propenso a escorregamentos.



(b)

Apresentação do modelo de encosta com inclinação superior a  $45^\circ$  após a deflagração das chuvas. Formação geológica tipo: barreira. Solo argiloso propenso a escorregamentos.



(c)

Apresentação do modelo de encosta com inclinação de  $45^\circ$  após a deflagração das chuvas. Formação geológica tipo: barreira. Solo argiloso propenso a escorregamentos.

Figura II 10. Diferentes etapas do deslizamento, no laboratório do IFPE

A Figura II 10 permite visualizar várias etapas que ocorreram com os blocos de experimentos. O material coletado foi retirado da Formação Barreira que recobre grande parte da cidade do Recife. Na Figura (a), o início do experimento onde os dois blocos foram submetidos a chuva artificial, cada bloco com inclinações diferentes. Em seguida a Figura (b), como inclinação superior a  $55^\circ$  a erosão foi mais acentuada comparando com outro de  $45^\circ$  de inclinação. O processo de erosão neste caso, ficou

bem presente: vários sucros e pequenas voçorocas , e uma maior quantidade de material deslocado que acumulou no sopé de cada bloco. .A última figura (c), ocorreu os mesmos fenômeno da figura (b) ,porém uma maior quantidade de sedimentos que foram transportados para a base do bloco, uma outra parte foram sendo dissolvida durante todo o processo.

Duas novas amostra foram retirada de solos para serem levada para o laboratório de solo, como objetivo de identificar algumas características do Latossolo amarelo diferente do primeiro experimento. A metodologia e os resultados dos ensaios de caracterização, em 2 amostras deformadas, coletadas pelo interessado e entregues no dia 23 de agosto de 2012 no LABGEO/UNICAP.

Os ensaios de caracterização, foram realizados de acordo com as metodologias da ABNT indicadas abaixo:

NBR – 6457/86 – Preparação de amostras : Esta norma prescreve o método para a preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização (análise granulométrica, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos que passam na peneira de 4,8 mm e massa específica, massa específica aparente e absorção de água dos grãos retidos na peneira 4,8 mm).

NBR - 7181 - Análise granulométrica : Esta norma prescreve o método para a análise granulométrica dos solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento.

NBR - 6508 - Massa específica dos grãos dos solos: Esta norma prescreve o método de determinação da massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm (de acordo com a ABNTNBR 5734), por meio de picnômetro, através da realização de pelo menos dois ensaios.

NBR - 6459 - Limite de liquidez: Esta Norma prescreve o método para determinação do limite de liquidez dos solos.

NBR - 7180 - Limite de plasticidade: Esta Norma prescreve o método para a determinação do limite de plasticidade e para cálculo do índice de plasticidade dos solos.



Após a realização dos ensaios de Caracterização, realizados de acordo com as normas da ABNT acima descritas, os resultados encontrados são apresentados no Quadro .

Quadro II 5.Resultados dos Ensaios de Caracterização das amostras do Latossolo Amarelo

Amostra No	Pedr. (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	DENSIDADE REAL DOS GRÃOS
1 – LATOSSOLO AMARELO	2	73	5	20	20	14	6	2,642
2 – LATOSSOLO AMARELO	1	73	6	20	20	15	5	2,649

A análise granulométrica das amostras de Latossolo Amarelo, mostrou sequencias de similaridade entre as duas amostras de solos. O mesmo fato aconteceu com as amostras da granulometria do Podzólico Vermelho Amarelo (Figura II 4). Comparando a granulometria do Podzólico com o Latossolo verifica-se que existe uma maior quantidade de silte e areia na amostra de solo podzólico, enquanto a argila é um pouco superior na amostra de solo Latossolo. A análise de granulometria entre dois solos diferentes na construção do Modelo é importante para o resultado final, como também, para a credibilidade e validação do experimento.

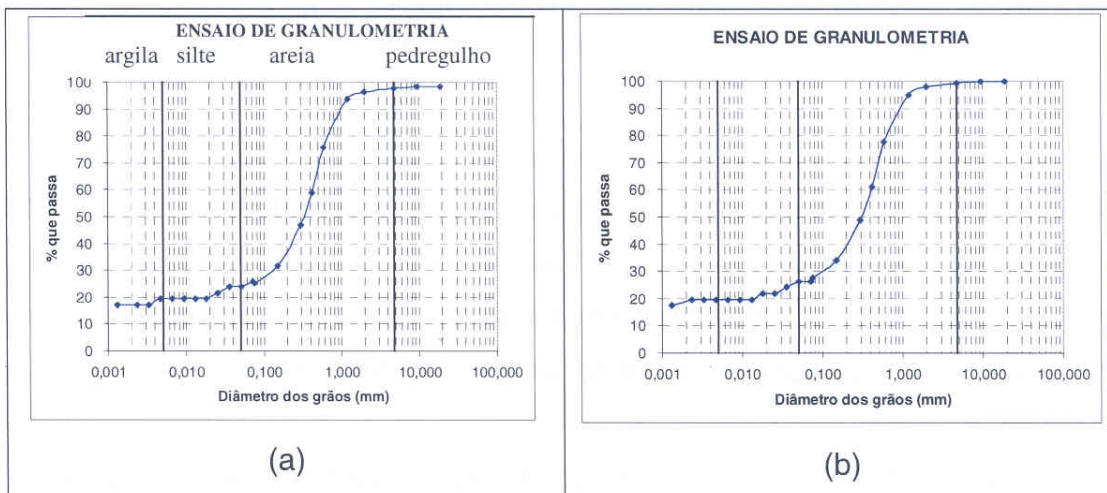


Figura II 11: Ensaio de Granulometria: (a) 01 - Latossolo Amarelo e (b) Amostra – 02 Latossolo Amarelo .

Dois novos blocos de solos foram retirados no Córrego José Idalino, no bairro da Guabiraba com objetivo de validar não apenas o experimento anterior, como também, comparar os resultados com o teste anterior. A amostra escolhida foi de Latossolo Amarelo, um dos solos presentes na Formação Barreira. A escolha por outro tipo de solo, teve como objetivo a comparação dos resultados obtidos com o primeiro experimento quando da utilização do Podzólico Vermelho Amarelo. As duas amostras foram coletadas com 45° e 55°, conforme Figura II 12, retiradas de acordo com as normas técnicas. Após serem retiradas, foram envolvidas em papel alumínio, em seguida num pano fino onde recebeu um camada de parafina e por último passadas em uma fita crepe. Depois foram transportadas para o IFPE (Instituto Federal de Pernambuco), para serem guardadas na câmara úmida, de modo a não sofrer perda de umidade.

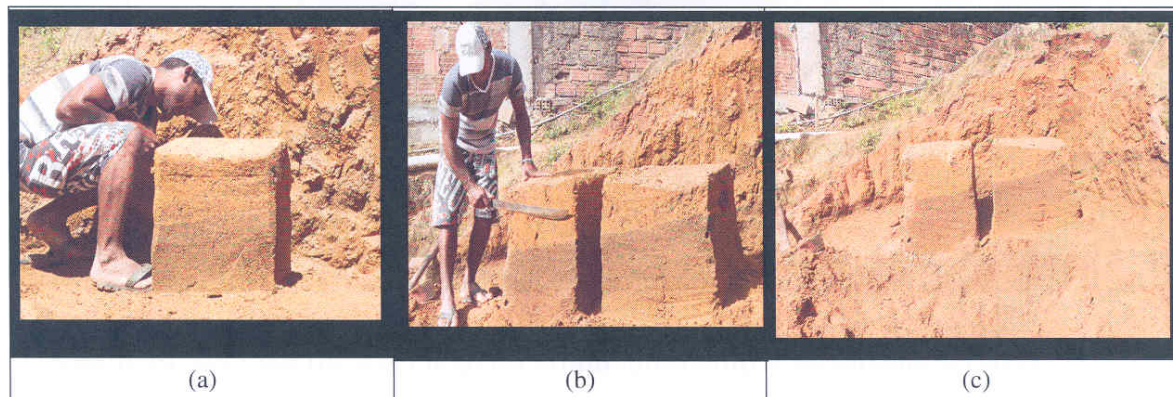


Figura II 12. Retirada da 2ª Amostra de solo bem-sucedida – As fases de (a) a (c) corte dos blocos de solos : Latossolo Amarelo. Córrego José Idalino na Guabiraba.

Os blocos de solos foram primeiramente cortados e transformados nas duas amostras do mesmo solo “ Latossolo Amarelo”. Em seguida foram individualizadas com o auxílio de ferramentas apropriadas como mostrado na Figura II 12. Em seguida, foram empacotados com papel alumínio e um tecido fino, o qual recebeu uma camada da parafina líquida para dar maior segurança no seu transporte, como também evitar a perda da umidade.

Depois as amostras foram colocadas em caixas de madeira, que foram confeccionadas para possibilitar o transporte das amostras de solo até a câmara umidade do Instituto Federal de Pernambuco, de acordo com as Figuras II 13 e 14.

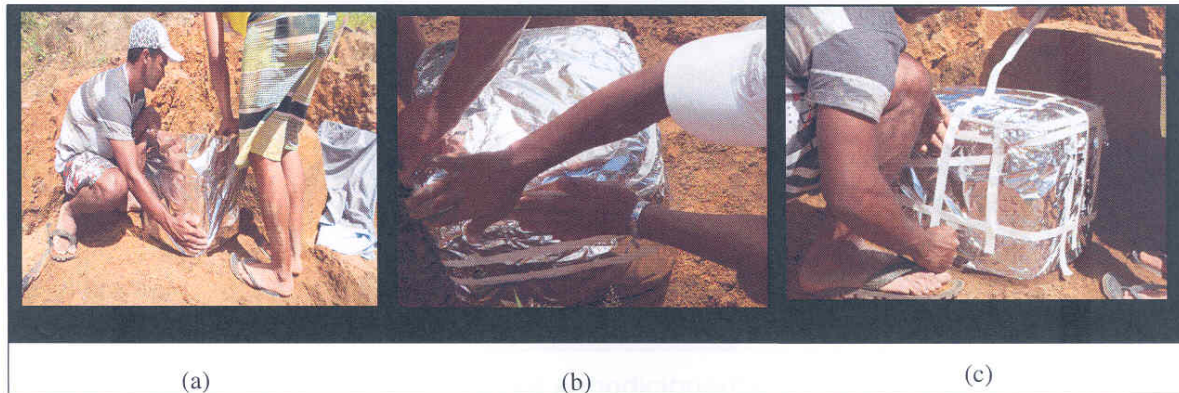


Figura II 13. Empacotamento e acondicionamento do Latossolo Amarelo – fases (a) a (c) de acordo com as Normas Técnicas.

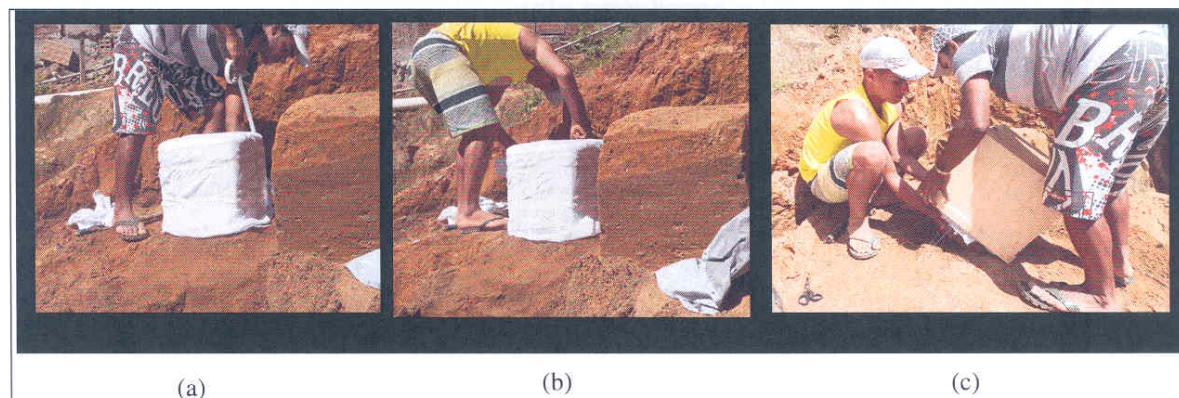


Figura II 14. As fase (a) a (c) final do empacotamento e encaixotamento do primeiro bloco de solo.

O último, segundo bloco da mostra Latossolo Amarelo, passou pelo mesmo processo anterior, isto é, corte, individualização, empacotamento, encaixotamento e transporte. Neste caso, a amostra foi retirada com  $55^\circ$  de inclinação, já que a anterior representava uma amostra com  $45^\circ$ . Essas normas metodológicas objetivaram a repetição do mesmo procedimento utilizado com a amostra de solo Podzólico Vermelho Amarelo, no laboratório do IFPE, para verificação da ocorrência de deslizamento.

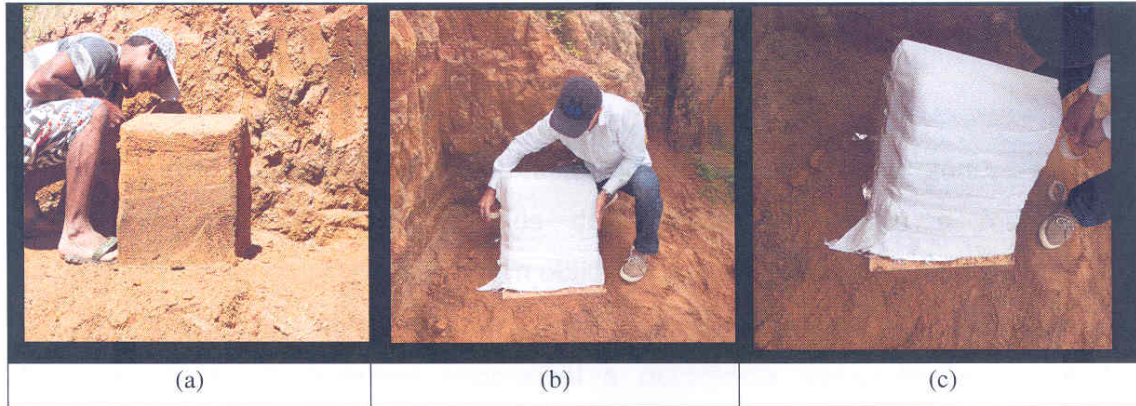


Figura II 15. Retida, empacotamento e acondicionamento da segunda amostra do Latossolo Amarelo, com inclinação de  $55^\circ$ . Fases (a) a (c).

Esse momento é a etapa final da retirada do segundo bloco de solo. Esse bloco foi retirado com características bastante peculiares e visíveis com relação a passagem do horizonte A para B. Esta situação é bastante difícil de ser observada, em geral, devido a profundidade desses solos nas regiões tropicais, conforme mostrado na Figura II 15.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises dos resultados obtidas no campo e em laboratório, são bastante expressivas para área de estudos de deslizamento. Após a realização dos experimentos, vários resultados foram obtidos conforme descrição a seguir.

A chuva é um fator primordial para que ocorra movimento de massa nas regiões tropicais. Sem ela é quase impossível a ocorrência desse fenômeno. Após um determinado tempo de chuva começam a aparecer os indícios de acúmulo de material no sopé de encosta, devido ao processo de infiltração no solo. A partir daí o solo vai perdendo a sua resistência devido ao aumento de peso, que culmina com a ocorrência do deslizamento. Um outro fator agravante, que contribui para o desencadeamento, é a inclinação do talude. Encostas com inclinações acima de  $40^\circ$  e desprovida de vegetação, são áreas de risco alto, estando mais susceptível a ocorrência de deslizamentos, em período chuvoso prolongados. Solos mais argilosos são mais propícios a deslizamento mais lento; já em áreas onde eles são arenosos é mais frequente a erosão regressiva que é mais rápida, segundo a literatura utilizada.

O modelo, apesar de desenvolvido em laboratório, procurou reproduzir as características da natureza. Inicialmente, a chuva produzida artificialmente foi se infiltrando e provocando a erosão laminar, que evoluiu para os sucros ou ravinas e por último, o aparecimento de voçorocas. Parte do material erodido foi se acumulando no sopé dos blocos, e a outra parte foi se misturando com a água produzida pela chuva. No caso específico de Recife, os deslizamentos estão relacionados com o material de origem da Formação Barreira (areno-argiloso), os índices pluviométricos e a inclinação das encostas, que colaboram para ocorrências desse fenômeno.

A inclinação da encosta foi também um importante fator observado. A literatura afirma que áreas sem vegetação e/ou com ocupação irregular é um fator agravante para acontecimento de deslizamento nos meses chuvosos dessa cidade. Encostas nestas situações devem ser monitoradas constantemente, para que não haja um aumento no seu grau de risco, com o cosequente desmoronamento.

## CONCLUSÕES

A proposta dessa dissertação está baseada na modelagem de processos de escorregamento devido a deslizamentos de solos, onde o fator preponderante está relacionado com a declividade (inclinação) das encostas e a composição do material de origem. Através de experimentos de laboratório validaram-se as afirmações de pesquisadores da área com relação aos fatores propostos. Amostras de solos foram colhidas de encostas situadas na região norte da cidade do Recife, no bairro da Guabiraba, em virtude dos riscos elevados que esta localidade apresenta, durante o período de chuva. Observou-se nos experimentos que a encosta com inclinação de  $55^\circ$  apresentou uma maior probabilidade de deslizamento, em diferentes amostras de solos, quando comparada com a encosta com declividade de  $45^\circ$ .

Durante o experimento, realizado em laboratório, procurou-se reproduzir, em escala reduzida, algumas das condições encontradas na natureza. A chuva, fator preponderante na deflagração dos movimentos de deslizamento de encostas, foi reproduzida através de aspersores de diversos tipos e tamanhos com o intuito de simular chuvas de alta, média e baixa intensidades. A composição do material de origem do solo foi verificada por meio de ensaios de granulometria para solos com diferentes composições de areia, silte, argila e pedregulho tanto para o Podzólico como para Latossolo. A verificação da umidade nas amostras de solos foram realizadas pelo processo speed. Os ensaios de laboratório apresentaram, além dos aspectos de deslizamento relativos a declividade, um processo acentuado de erosão. Observou-se que nos solos mais arenosos o processo de erosão é mais rápido devido a sua constituição litológica. Neste caso é mais comum a erosão regressiva, do que o deslizamento propriamente dito.

Todos os eventos ocorridos durante um período de 80h de realização do primeiro experimento foi documentado por meio de filmagem, ininterrupta para o primeiro tipo de solo o Podzólico Vermelho Amarelo. Um dos eventos mais notáveis de deslizamento, ocorreu com 60h de chuva e com um índice pluviométrico em torno de 630 mm, onde houve o deslizamento do bloco de maior inclinação  $55^\circ$ . No caso do

Latossolo Amarelo o início do deslizamento ocorreu a partir de 50 mm de chuva. O período de 72 h de realização do experimento foi documentado e filmado. As filmagens utilizadas poderão ser transformadas em materiais educativos em escolas, ONGs e órgãos públicos, em especial, aqueles ligados a Defesa Civil. Trabalhos futuros deverão ser desenvolvidos para comprovar a eficácia da utilização de lonas plásticas e de vegetação, por meio de gramíneas, na cobertura das encostas.

## REFERÊNCIAS

AUGUSTO FILHO, O. (1992), Caracterização Geológica-geotécnica voltada à Estabilização de Encostas: Uma proposta Metodológica. In Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, Vol. 2, pp.721-733.

ALHEIROS, M. M. (1998), Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar, UFBA, Salvador-BA, 129pz

BANDEIRA, A. P. N. (2003). Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento das Encostas com Ocupação Desordenadas no Município de Camaragibe – PE. Dissertação (Mestrado). UFPE. Recife-PE.

CHRISTOFOLETI, A. (1999). Modelagem de sistemas ambientais. Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 236p.

CHORLEY, R J. & HAGGET, P. (1975). Modelos físicos e de informação em geografia. Ed. Universidade de São Paulo, São Paulo,270p.

COELHO NETTO, A. L. (2009). Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p.93-148.

CROZIER, M. J. (1986). Landslides; causes, consequences, and environment. Croom Helm, London, 252p.

CRUDEN, D. M. e VARNES, D. (1996), Landslide Types and Processes. In Landslides Investigation and Mitigation. Special Report 247.

FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. (1996) Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. IN: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Eds.) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro, pp. 123-194.



FERNANDES, N. F., (1996) Modelagem matemática em geomorfologia: potencialidades e limitações. Revista Sociedade e Natureza, 8(15), pp. 222-227.

GUERRA, A. J. T. (1994). Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 149-209.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (2009),(Orgs.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 149-209.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. (1984), Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher.

GUSMÃO FILHO, J. A. (1990), Ação Integrada Contra Riscos Geológicos em Morros Urbanos. In I Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano. ABGE, Anais, pp 421-435. São Paulo. SP.

GUSMÃO FILHO, J. A. (1997), Chuva e Deslizamentos nas Encostas Ocupadas. In Workshop "A Meteorologia e os recursos Hídricos Aplicados à Defesa Civil" - Recife.

HORNER, W.W. & JENS, S.W. (1941). Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. Trans .Am. Soc. Agron. Eng, 107:1039-1117.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. (2009). Pedologia e Geomorfologia. In GUERRA , A. J. T.; CUNHA, S. B. (2009). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 59-122.

LIMA, A. F. (2002). Comportamento Geomecânico e Análise de Estabilidade de uma Encosta da Formação Barreiras na Área Urbana da Cidade do Recife . Dissertação de Mestrado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife-PE.

PFALTZGRAFF, P. A. S. (1985). Mapa de suscetibilidade a deslizamentos da região metropolitana de Recife / PE. Tese de Doutorado - UFPE, Recife - 2007.

WOLDENBERG, M. J. Modelos in Geomorphology. Londres. George Allen e Unwin.

SILVA, M. M. (2007). Estudo geológico-geotécnico de uma encosta com problemas de instabilidade no Município de Camaragibe – PE. Tese de Doutorado. UFPE.CTG.Engenharia Civil, Recife-PE, 2007.

VARGAS, M. (1978). "Introdução à Mecânica dos Solos". McGRAW-HILL do Brasil. São Paulo. Vol.1, p.509.