



Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia

Michelle Nogueira Guedes

**Uso de neuro-fuzzy na avaliação da suscetibilidade de  
escorregamento de taludes**

Rio de Janeiro

2011

Michelle Nogueira Guedes

**Uso de neuro-fuzzy na avaliação da suscetibilidade de  
escorregamento de taludes**



Dissertação apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotecnia.

Orientadores: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Cristina Castro Fontenla Sieira  
Prof. Dr. Luiz Biondi Neto

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

G924 Guedes, Michelle Nogueira.  
    Uso de neuro-fuzzy na avaliação da suscetibilidade de  
    escorregamento de taludes / Michelle Nogueira Guedes. – 2011.  
    139f.

    Orientadores: Ana Cristina Castro Fontenla Sieira; Luiz Biondi  
    Neto.  
    Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de  
    Janeiro, Faculdade de Engenharia.

    1. Engenharia Civil. 2. Taludes – Dissertações. 3. Lógica  
    Fuzzy – Dissertações. I. Sieira, Ana Cristina Castro Fontenla. II.  
    Biondi Neto, Luiz. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
    IV. Título.

CDU 624.137

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Michelle Nogueira Guedes

**Uso de neuro-fuzzy na avaliação da suscetibilidade de  
escorregamento de taludes**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotecnia.

Aprovado em: 20 de dezembro de 2011.

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Cristina Castro Fontenla Sieira (Orientadora)  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Prof. Luiz Biondi Neto (Orientador)  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Rogério Luiz Feijó  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Acácio Magno Ribeiro  
Universidade Federal de Juíz de Fora - UFJF  
Faculdade de Engenharia

Rio de Janeiro

2011

## DEDICATÓRIA

Dedico a Deus que me deu força para concluir este trabalho, me sustentando em tudo na vida, e à minha amada mãe que dedicou a mim seus últimos vinte e sete anos de sua vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a:

- Deus por me sustentar em todos os momentos, o que possibilitou mais esta conquista de minha vida acadêmica.
- Meu pai por ser o grande Engenheiro Civil que me inspirou a seguir este caminho.
- Minha mãe que com todo seu incentivo me fez superar diversos obstáculos para não decepcioná-la.
- Minha amada Avó Iracema que sempre esteve ao meu lado. Com toda sua simplicidade e fé me ajudou a cada dia a buscar ser um ser humano melhor.
- Minha querida Tia Irma que dedicou seus últimos vinte e sete anos a mim.
- Meus queridos Professores Orientadores, Ana e Biondi que, com toda paciência, me incentivaram e inspiraram a conclusão desta etapa da minha vida acadêmica em um momento tão turbulento de minha vida.
- Professor Jose Guilherme e mais uma vez a Professora Ana que confiaram a mim esta oportunidade de conclusão deste trabalho.
- Professora Denise que, em 2001, me deu oportunidade de aprender, ainda na Iniciação Científica da graduação em Engenharia Civil, o mundo de Pesquisa.
- Gerentes e Geólogos, José Jorge de Moraes Junior e Jose Alberto Bucheb por todo apoio e incentivo que me dão na vida, o que permitiu o reinício para a conclusão deste trabalho.
- Gerentes Armando Hashimoto e Ricardo de Oliveira Loureiro que aceitaram a proposta deste trabalho permitindo a conciliação com minhas atividades profissionais e me apoiando nos momentos mais difíceis.
- A amiga Fatima Winter pelo incentivo que me fez prosseguir nesta jornada.
- Colegas de Trabalho por sempre colaborarem na conciliação deste trabalho com minhas atividades profissionais.
- Rafael de Castro por ter sido responsável pelo retorno ao mestrado.
- Marcos Silva por ter fornecido o material utilizado em sua dissertação.
- Professor Rogério Feijó que tanto incentivou e inspirou para a conclusão deste trabalho.

- Acompanhantes que cuidam de minha avó com toda dedicação e carinho, assim permitindo a realização deste trabalho. Em especial a Lucia que nestes últimos 3 anos tanto cuida de avó quanto de mim ao ficar ouvindo todas minhas “lamentações” e me aconselhando a sempre confiar em Deus.
- Geo Rio por disponibilizar um rico material na *web* para consulta.
- Querido amigo Maxwell que possibilitou o trabalho “georeferenciado” no AutoCad.
- Igreja Cristã Maranata, do Leme e da Tijuca, que tanto torcem por minhas conquistas. Em especial aos irmãos Miriam, Claude, Wilson, Pastor Julio Salazar.
- Minhas primas Dione, Ioly e Maria pelo apoio em minha primeira fase do mestrado, permitindo que eu estudasse por meio de seus altruísmos.

A sabedoria é suprema; portanto, adquira a sabedoria. Sim, com tudo o que possui adquira o entendimento.

*Provérbios (4:7)*

## RESUMO

GUEDES, Michelle Guedes. *Uso de neuro-fuzzy na avaliação da suscetibilidade de escorregamento de taludes*. 2011. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

A Presente dissertação apresenta uma aplicação de Inteligência Computacional na área de Geotecnia, com a utilização da Técnica de *Neuro-Fuzzy* para indicar a suscetibilidade de escorregamento de taludes no município do Rio de Janeiro, a partir de inspeção visual. Neste trabalho, a suscetibilidade corresponde à possibilidade de ocorrência de escorregamento sem considerar os danos relacionados ao evento. Adotou-se como variável de saída a Previsão de Escorregamento (PE) com três adjetivos que correspondem a Suscetibilidades Alta, Média e Baixa. A metodologia utilizada consistiu em, inicialmente, montar um banco de dados com informações preliminares de análise de estabilidade, com a indicação dos condicionantes de escorregamento relacionados à geomorfologia, pluviosidade, capacidade de drenagem, vegetação e ocupação com seus respectivos graus de suscetibilidades de escorregamento obtidos em um conjunto de Laudos de Vistoria da Geo Rio. O banco de dados foi aplicado em um algoritmo de *Neuro-Fuzzy*. Diversos testes foram realizados com as alterações dos parâmetros do modelo *Neuro-Fuzzy* para uma combinação de fatores condicionantes de escorregamento e refinamento do banco de dados. Os testes apresentaram diminuição do erro fornecido pelo programa com o aumento de tipos de condicionantes utilizados no treinamento, o que permite inferir que o escorregamento ocorre por uma complexa relação entre diversos fatores condicionantes. O banco de dados utilizado nos testes apresenta descontinuidades nas relações entre os diversos condicionantes, ou seja, para uma mesma faixa de valores de Altura do talude, não é possível obter uma relação para todas as faixas de outro condicionante e, até mesmo, para todas as faixas da Previsão de Escorregamento. As PEs obtidas na validação do modelo tiveram seus valores próximos aos desejados somente nos conjuntos de variáveis utilizadas para o treinamento. O modelo não foi capaz de apresentar valores de suscetibilidades dentro da faixa de valores utilizados no treinamento para combinação de variáveis com pequenos ruídos, o que indica a necessidade de ampliação do banco de dados tanto quantitativamente quanto qualitativamente de modo a cobrir as descontinuidades apresentadas nas relações entre as variáveis.

Palavras-chave: Suscetibilidade de escorregamento; Condicionantes de escorregamento

## ABSTRACT

This paper is an application of Computational Intelligence in the Geotechnical Engineering, with the use of Neuro-Fuzzy Technique to indicate the susceptibility of landslide slopes in the city of Rio de Janeiro, from visual inspection. In this work, the susceptibility corresponds to the possibility of slipping without considering the damage related to the event. Adopted as the output variable Forecast Slip (PE – Previsão de Escorregamento) with three adjectives that correspond to susceptibilities High, Medium and Low. The methodology used was to initially build a database with preliminary information for stability analysis, indicating the slip constraints related to geomorphology, rainfall, drainage capacity, vegetation, and occupation with their respective degrees of susceptibilities slip obtained on a set of the Reports of Condition Geo Rio. The database was implemented in a Neuro-Fuzzy algorithm. Several tests were conducted with the changes of model parameters Neuro-Fuzzy for a combination of conditioning factors of slipping and refinement of the database. The tests showed a decrease of the error provided by the program with increasing types of constraints used in the training, which allows us to infer that the slip occurs by a complex relationship between various conditioning factors. The database used in the tests discontinuities present in relations between the different conditions, ie, for the same range of height values of the slope, it is not possible to obtain a relationship for all the tracks of another condition, and even for all tracks from Forecast Slip. The PEs obtained in the validation of the model values were close to the desired only in sets of variables used for training. The model was not able to present values of susceptibilities in the range of values used in training for the combination of variables with small noise, which presents the need to expand the database so quantitatively and qualitatively in order to cover the discontinuities presented in relations between the variables.

Keywords: Susceptibility of slips; Neuro-fuzzy and constraints slip.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Morro da Carioca, Angra dos Reis (2010).....	17
Figura 2 - Pousada Sankay – Angra dos Reis (2010) .....	17
Figura 3 - Mapa de Suscetibilidade ao escorregamento do município do Rio de Janeiro .....	18
Figura 4 - Estrutura da dissertação .....	23
Figura 5 - Intensidade das chuvas.....	35
Figura 6 - Parâmetros geométricos para definição de talude ou obra de contenção definidos nos Laudos da Geo Rio .....	36
Figura 7 - Arquitetura Neuro-Fuzzy .....	43
Figura 8 - Característica Fuzzy de um SNF(adaptado de Biondi Neto, 2010) .....	44
Figura 9 - Característica de aprendizagem de um SNF (adaptado de Biondi Neto, 2010) .....	45
Figura 10 - Modelo Fuzzy Takagi-Sugeno.....	46
Figura 11 - Exemplos de membership function .....	46
Figura 12 - Particionamento do espaço E/S: Fuzzy Grid.....	46
Figura 13 - Fase de treinamento dos SFN (adaptado de Biondi Neto, 2010).....	50
Figura 14 - Representação esquemática de um SNF .....	51
Figura 15 - Representação gráfica das 5 MFs para cada uma das variáveis de entrada, antes e depois do treinamento.....	53
Figura 16 - Número de Laudos para cada valor de PE .....	66
Figura 17 - PE x Altura .....	68
Figura 18 - Número de Laudos para cada valor de Altura(m) .....	69
Figura 19 - Suscetibilidade x Inclinação .....	70
Figura 20 - Número de Laudos para cada valor de Inclinação (°) .....	70
Figura 21 - Mapa com localização da Rede de Telepluviômetros .....	72
Figura 22 - Suscetibilidade x Pluviosidade acumulada (96h) .....	73
Figura 23 - Número de Laudos para cada valor de dePluviosidade acumulada (96h).....	74
Figura 24 - Suscetibilidade x Drenagem.....	75
Figura 25 - Número de Laudos para cada valor de Drenagem .....	76
Figura 26 - Suscetibilidade x Ocupação .....	77

Figura 27	- Número de Laudos para cada valor atribuído a Ocupação .....	78
Figura 28	- Suscetibilidade x Vegetação (Fitotipo) .....	80
Figura 29	- Número de Laudos para cada valor atribuído a Vegetação (Fitotipo) ..	80
Figura 30	- Representação esquemática de um SNF de 2 variáveis com 5 MF .....	85
Figura 31	- Erro x Época (Altura e Inclinação).....	85
Figura 32	- Representação esquemática de um SNF de 3 variáveis com 5 MF .....	86
Figura 33	- Erro x Época (Altura, Inclinação e Pluviosidade acumulada em 96h) ..	87
Figura 34	- Representação esquemática de um SNF de 4 variáveis com 3 MF .....	87
Figura 35	- Erro x Época (Altura, Inclinação e Pluviosidade acumulada em 96 h) .	88
Figura 36	- Representação esquemática de um SNF de 5 variáveis com 3 MF .....	89
Figura 37	- Erro x Época (Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96h e Ocupação).....	89
Figura 38	- Erro x Época (Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96h e Vegetação (Fitotipo)).....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Fatores de Vulnerabilidade a Deslizamentos .....	27
Tabela 2	- Correlação de ações antrópicas com possíveis conseqüências .....	30
Tabela 3	- Condição das chuvas na Cidade.....	34
Tabela 4	- Intervalos de classificação de declividade, considerando características do relevo .....	37
Tabela 5	- Correlação entre Técnica Computacional com as inspirações na natureza .....	40
Tabela 6	- Exemplo de Laudo de Vistoria da Geo Rio .....	59
Tabela 7	- Comparação entre as validações dos treinamentos com os dois métodos de complemento: Distância e Associação dos dados.....	63
Tabela 8	- Classificação da Suscetibilidade .....	65
Tabela 9	- Suscetibilidade utilizada no treinamento .....	65
Tabela 10	- Suscetibilidade utilizada no treinamento .....	66
Tabela 11	- Correlação de relevo e inclinação .....	69
Tabela 12	- Coordenadas Geográficas da Rede de Telepluviômetros Geo Rio <a href="http://www2.rio.rj.gov.br/Geo%20Rio/site/alerta/estacao_local.htm">http://www2.rio.rj.gov.br/Geo Rio/site/alerta/estacao_local.htm</a> .....	72
Tabela 13	- Média das chuvas acumuladas para as horas antecedentes tendo como referencia a maior chuva em mm/h .....	73
Tabela 14	- Faixa de valores de drenagem (adaptado de Silva, 2008) .....	74
Tabela 15	- Drenagem qualitativa e quantitativa .....	75
Tabela 16	- Faixa de valores da variável ocupação(adaptado de Silva, 2008) .....	76
Tabela 17	- Ocupação qualitativa e quantitativa.....	78
Tabela 18	- Vegetação qualitativa e quantitativa.....	81
Tabela 19	- Treinamento e Variáveis .....	92
Tabela 20	- nMF e $\epsilon$ de cada Treinamento.....	92
Tabela 21	- Validação do Teste 5 com dados do treinamento com ruído .....	94
Tabela 22	- Características obtidas no Mapa Geológico.....	109
Tabela 23	- Características obtidas no mapa de solos.....	111
Tabela 24	- Características obtidas no mapa geomorfológico .....	112
Tabela 25	- Características obtidas no mapa geoambiental .....	113

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Geo Rio	Função Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JTC-1	Comitê Técnico de escorregamentos e encostas artificiais (Joint Technical Committee on landslides and engineerd slopes)
LF	Lógica Fuzzy ou Lógica Nebulosa
MF ou (FP)	Membership Function ou Função de Pertinência
ONU	Organização das Nações Unidas
PE	Previsão de Escorregamento
PEd	Previsão de Escorregamento Desejado
PET	Previsão de Escorregamento do Treinamento
RNA	Rede Neural Artificial
SNF	Sistema Neuro-Fuzzy
UNDRO	United Nations Disasters Rilief Co-Ordinator

## LISTA DE SÍMBOLOS

$L_{ij}$	Distância entre endereços descritos no Laudo i e no Laudo j
$Lat_i$	Latitude do Laudo i
$Lat_j$	Latitude do Laudo j
$Long_i$	Longitudes do Laudo i
$Long_j$	Longitudes do Laudo j
$n$	Número de regras fuzzy
$n_{MF}$	Número de MF
$N_v$	Número de variáveis
$Var_{z_i}$	Variável z do Laudo i
$Var_{z_j}$	Variável z do Laudo j
$Z_i$	Valor da singleton i;
$\Delta_{ij}$	Somatório da diferença dos valores de cada variável (diferente de zero) dos Laudos i e j
$\mu_i$	Nível de disparo da regra
$\eta$	Taxa de aprendizado
$\varepsilon^2$	Erro médio quadrático
$E\%$	Erro Percentual

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
1	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	24
1.1	<b>Movimentos de Massa</b> .....	24
1.1.1	<u>Suscetibilidade e Risco</u> .....	25
1.2	<b>Condicionantes de Movimentos de Massa</b> .....	25
1.2.1	<u>Ação Antrópica</u> .....	29
1.2.2	<u>Vegetação</u> .....	31
1.2.3	<u>Pluviosidade</u> .....	33
1.2.4	<u>Drenagem</u> .....	35
1.2.5	<u>Geomorfologia</u> .....	36
1.2.6	<u>Os Solos das Encostas Naturais</u> .....	38
1.3	<b>Técnicas de Inteligência Computacional</b> .....	39
1.3.1	<u>Inteligência Computacional</u> .....	39
1.3.2	<u>Neuro-Fuzzy</u> .....	42
2	<b>METODOLOGIA</b> .....	54
2.1	<b>Introdução</b> .....	54
2.2	<b>Banco de Dados</b> .....	54
2.2.1	<u>Laudos da Geo Rio</u> .....	55
2.2.2	<u>Informações complementares</u> .....	60
2.2.2.1	Latitude e Longitude .....	60
2.2.2.2	Mapas.....	61
2.2.3	<u>Métodos de Complementação</u> .....	61
2.2.3.1	Distância.....	62
2.2.3.2	Associação de dados.....	62
2.2.4	<u>Banco de dados resultante</u> .....	64
2.2.4.1	Suscetibilidade .....	64
2.2.4.2	Altura .....	68
2.2.4.3	Inclinação .....	69
2.2.4.4	Pluviosidade .....	71
2.2.4.5	Drenagem.....	74
2.2.4.6	Ocupação .....	76

2.2.4.7	Vegetação .....	79
2.3	<b>Ferramenta Computacional (MATLAB)</b> .....	81
2.4	<b>Análises realizadas</b> .....	82
2.4.1	<u>Erro médio quadrático</u> .....	84
2.4.2	<u>Altura e Inclinação</u> .....	84
2.4.3	Altura, inclinação e pluviosidade acumulada em 96 h .....	85
2.4.4	Altura, inclinação, pluviosidade (96h) e drenagem .....	87
2.4.5	Altura, inclinação, pluviosidade, drenagem e ocupação .....	88
2.4.6	Altura, inclinação, pluviosidade, drenagem e vegetação .....	89
2.4.7	Validação do Modelo .....	90
3	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	92
3.1	<b>Análises realizadas</b> .....	92
3.2	<b>Validações</b> .....	93
4	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	96
4.1	<b>Introdução</b> .....	96
4.2	<b>Conclusões</b> .....	96
4.3	<b>Trabalhos futuros</b> .....	97
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	99
	<b>ANEXO 1</b> – Trecho do Decreto-Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979.....	106
	<b>ANEXO 2</b> – Programa MATLAB.....	107
	<b>ANEXO 3</b> – Descrições das características dos mapas geológicos, de solos, geomorfológicos e geoambientais do estado do rio de janeiro. (Silva, 2001) .....	109
	<b>ANEXO 4</b> – Banco de dados .....	121
	<b>ANEXO 5</b> – Laudo 545/2001 .....	129
	<b>ANEXO 6</b> – Resultado da validação do modelo .....	132

## INTRODUÇÃO

Escorregamentos de taludes resultam em perdas de vidas e grandes prejuízos econômicos, diretos (e.g., destruição de construções) e indiretos (e.g., obstrução de estradas que impedem o escoamento de produtos através da malha rodoviária, interrupção de abastecimento de água, entre outros), conforme observado nos últimos anos no Brasil.

Com a expansão da urbanização, e conseqüente ocupação em áreas com condições geológicas e climáticas desfavoráveis à estabilidade de taludes, ocorre a potencialização das causas e as conseqüências de escorregamentos. O fator antrópico acelera a suscetibilidade de movimentação de massa, expondo vidas a risco de morte.

A suscetibilidade de escorregamento, objeto do presente trabalho, corresponde à possibilidade de ocorrência diretamente relacionada a fatores condicionantes de escorregamento, sem considerar as conseqüências e a frequência do evento.

“Os deslizamentos de taludes no Brasil têm se constituído em problemas de engenharia de grande importância devido à circunstância de que várias das maiores cidades brasileiras se situam nas encostas da Serra do Mar, em condições propícias para tais fenômenos (CNPq, 1967 apud Guidicini e Nieble, 1983)” (PINTO, 2002).

No Brasil, em razão das ocorrências de deslizamentos nos últimos dias de 2009 e primeiros dias de 2010, principalmente no Estado do Rio de Janeiro, devido às intensas chuvas, os especialistas voltaram a destacar a necessidade de maiores recursos para prevenção desse tipo de tragédia como as ocorridas em Angra dos Reis (Figura 1 e Figura 2). De acordo com a reportagem publicada no portal da internet G1, em 08/01/2010, os recursos estavam sendo utilizados para obras emergenciais, não sendo suficientes para prevenção.



**Figura 1 - Morro da Carioca, Angra dos Reis (2010)**

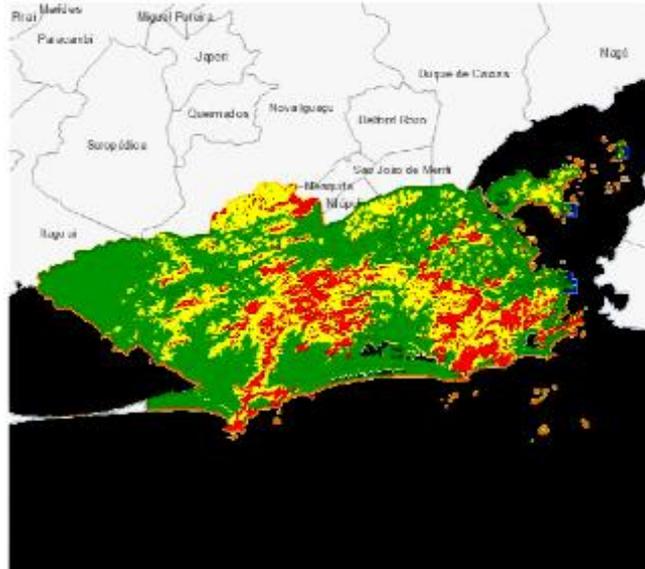
Fonte: Bressani, 2010



**Figura 2 - - Pousada Sankay – Angra dos Reis (2010)**

Fonte: Bressani, 2010

Em abril de 2010, a Cidade do Rio de Janeiro sofreu com escorregamentos de encostas em razão de intensas chuvas, o que levou, mais uma vez, no mesmo ano, a mídia a publicar diversas reportagens a respeito da necessidade de prevenção a esse tipo de tragédia. A Figura 3Figura 3 apresenta um estudo feito pela Geo Rio, iniciado após os desastres relacionados ao evento de chuvoso intenso de abril de 2010, sobre as áreas mais suscetíveis a escorregamentos no Rio de Janeiro, que resultou no mapa disponível no portal da Geo Rio (Portalgeo). O Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos do Rio de Janeiro classifica em três classes toda a cidade: baixa, média e alta suscetibilidade.



**Figura 3 – Mapa de Suscetibilidade ao escorregamento do município do Rio de Janeiro**

Fonte: [http://portalgeo.rio.rj.gov.br/mapa\\_risco/](http://portalgeo.rio.rj.gov.br/mapa_risco/)

Em janeiro de 2011, a maior catástrofe natural do Brasil ocorreu na Serra Fluminense, com escorregamentos de massas de solos que causaram a morte de mais de 800 pessoas. Esta catástrofe, no entanto, não será o escopo deste trabalho, pois, além de não ter ocorrido na capital Fluminense, local analisado neste trabalho, o evento foi resultado de enxurradas e deslizamentos que ultrapassaram os índices médios que afetam a estabilidade de um talude.

Conforme destacado por Silva (2008), “os fenômenos de instabilização de encostas são condicionados por muitos fatores, como o clima, a litologia e as estruturas das rochas, a morfologia, a ação antrópica e outros”. Guerra e Cunha apud Faria (2010) destacam que a chuva é um dos fatores mais significativos, pois quase todos os registros estão associados a episódios de chuvas de forte intensidade ou de períodos prolongados, geralmente concentrados em alguns meses, muito comuns nas regiões tropicais.

A intenção deste trabalho é apresentar a aplicação de um Sistema *Neuro-Fuzzy* (SNF) para indicação preliminar da suscetibilidade de escorregamento de taludes no município do Rio de Janeiro, a partir de análise visual, tendo como saída a variável de Previsão de Escorregamento (PE). Para tanto, são utilizadas as informações constantes dos Laudos de Vistoria da Geo Rio, obtidas entre os anos

de 1996 e 2007. O programa fornece a PE por meio dos seguintes fatores obtidos por inspeção visual:

- i. Altura do talude;
- ii. Inclinação do talude;
- iii. Pluviosidade;
- iv. Condições de drenagem;
- v. Vegetação;

Por restrições técnicas do computador utilizado para gerar o modelo *Neuro-Fuzzy* e do banco de dados, em razão do aumento do número de regras com aumento de variáveis, foi possível utilizar o máximo de 5 variáveis em cada teste realizado. A utilização da técnica *Neuro-Fuzzy* é justificável em razão do grau de incerteza vinculado à classificação quantitativa tanto dos condicionantes referentes à drenagem, vegetação e ocupação quanto na Previsão de escorregamento, pois os mesmos apresentam classificação qualitativa, devendo ser atribuída faixa de valores a cada “adjetivo” das variáveis. No presente trabalho, adotou-se a atribuição de valores às variáveis qualitativas por método empírico, conforme descrito no item 2.2.4 (Banco de dados resultantes).

Cabe ser ressaltado que os resultados aqui obtidos não substituem os métodos de análise de estabilidade, por análise de tensões ou equilíbrio limite, para avaliar a possibilidade de ocorrência de escorregamento de massa de solo presente em talude natural ou construído. A saída do programa fornece uma proposta de uniformização da conclusão de uma inspeção visual, com a indicação da suscetibilidade de escorregamento de um determinado talude.

O município do Rio de Janeiro é localizado, segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na latitude extremo Norte- 22°45'05" e ao Sul- 23°04'10", tendo longitude extremo leste- 43°06'30" e oeste 43°47'40". A área do Município do Rio de Janeiro é de 1.264,2km<sup>2</sup>, incluindo as ilhas e as águas continentais. Mede de leste a oeste 70km e de norte a sul 44km. O Município está dividido em 32 Regiões Administrativas com 159 bairros. Conforme descrito no Manual de encostas da Geo Rio (1998), os três maciços montanhosos encontrados no Município do Rio de Janeiro – Tijuca, Pedra Branca e Gericinó-Mendanha – são constituídos por rochas gnáissicas, graníticas e alcalinas. O conjunto gnáissico tem suas melhores exposições no Maciço da Tijuca e em áreas a ele periféricas da Planície Litorânea e colinas relacionadas, com grande densidade populacional.

Apresenta litologias diversificadas, de composição mineralógica variável e com diferentes tipos de deformação geológica. Os materiais de alteração e de coberturas relacionadas também apresentam expressiva variabilidade, decorrente da estruturação geológica, do relevo e do clima.

Conforme descrito no Manual de encostas da Geo Rio (1998), o substrato rochoso das encostas do Rio de Janeiro é formado fundamentalmente por rochas metamórficas de alto grau, gnaisses e migmatitos, e ígneas intrusivas graníticas, que normalmente cortam as anteriores. Este contexto geológico apresenta grande complexidade estrutural e de difícil relacionamento estratigráfico.

A própria estrutura morfológica do município é suscetível a movimentos de massa, sendo potencializada quando considerada em conjunto com a ocupação desordenada das encostas associada a precipitações elevadas, comuns no período de dezembro a março.

Com o cenário do município do Rio de Janeiro para escorregamento de encostas, pode ser destacada a observação do professor Willy Alvarenga Lacerda citado por Homero (2010): catástrofes naturais nada mais são do que a continuação da evolução do planeta. Entretanto, o autor destaca que o homem deve se preparar para enfrentá-las com prevenção e planejamento.

### **Motivação**

Conforme destacado por Silva e Pimentel apud Pinto (2002), o Estado do Rio de Janeiro apresenta um histórico crítico de acidentes provocados por escorregamentos e processos correlatos. Esta situação tem se agravado ao longo do tempo em virtude do crescimento populacional e da expansão desordenada da urbanização sobre áreas suscetíveis a movimentos de massa. Essa observação vai ao encontro dos acidentes citados anteriormente.

Segundo Massad apud Silva (2008), as causas dos escorregamentos nas encostas são, antes de tudo “naturais”, pois há uma tendência da natureza à peneplanização: os solos das encostas tendem a descer para atingir um nível de base. Assim, pode-se dizer que os coeficientes de segurança das encostas naturais estão, em geral, próximos de 1,0, bastando uma chuva atípica, ou uma pequena intervenção do homem para deflagrar o fenômeno de escorregamento.

Apesar da instabilidade de taludes ser um dos fenômenos naturais mais analisados, há grande dificuldade em determinar as complexas interações entre os

diversos fatores condicionantes e as suscetibilidades de escorregamento. Em diversas publicações, essa correlação é obtida com razoável sucesso, com a utilização de Técnicas de Inteligência Computacional.

## **Objetivos**

A intenção deste trabalho é desenvolver um modelo , utilizando Inteligência Computacional, especificamente *Neuro-Fuzzy*, que indique a suscetibilidade de escorregamento de taludes no município do Rio de Janeiro a partir de condicionantes obtidos por meio de inspeção visual.

Para o desenvolvimento do programa, foi montado um banco de dados com as informações contidas em um conjunto de Laudos de Vistoria da Geo Rio, a partir de um histórico de ocorrências entre os anos de 1996 e 2007.

O objetivo do programa é indicar a suscetibilidade de escorregamentos de taludes através dos seguintes fatores obtidos por meio de análise preliminar:

- i. Altura do talude;
- ii. Inclinação do talude;
- iii. Pluviosidade;
- iv. Condições de drenagem; e
- v. Vegetação.

A utilização do banco de dados com informações de vistorias realizadas pela GeoRio baseia-se no pressuposto de que futuros escorregamentos ocorram sob as mesmas condições que ocasionaram eventos no passado.

Adotou-se como variável de saída a Previsão de Escorregamento (PE) adjetivada em Suscetibilidades Alta, Média e Baixa, seguindo a classificação do Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos do Rio de Janeiro, a partir da situação característica do evento (descrita nos Laudos da GeoRio), definida, respectivamente, como Ocorrido, Com possibilidade de Ocorrência e Sem possibilidade de Ocorrência. Para cada classificação da PE, foram atribuídas faixas de valores para representarem as classificações no treinamento:

- i. Alta de 75 a 100;
- ii. Média de 45 a 87,5;
- iii. Baixa de 0 a 50.

## Estrutura da dissertação

A estrutura da dissertação é resumidamente representada na Figura 4 e descrita a seguir.

Nesta Introdução descreve-se um breve histórico de ocorrências de escorregamentos de taludes, a partir do qual é obtida a motivação para obter soluções que indiquem a suscetibilidade desse tipo de ocorrência. Define-se a suscetibilidade de escorregamento como a possibilidade de escorregamento, sem considerar as consequências e a frequência do evento. Também são apresentados os objetivos deste trabalho.

O Capítulo 1 apresenta a fundamentação teórica sobre:

- i. Movimento de massa e seus condicionantes;
- ii. Inteligência Computacional, com ênfase em *Neuro-Fuzzy*;
- iii. Aplicação de Inteligência Computacional em Geotecnia.

O Capítulo 2 apresenta a Metodologia de análise, onde descreve-se:

- i. A elaboração do banco de dados a partir de um histórico de ocorrências, utilizado para treinamento do programa, formado por um conjunto de dados de condicionantes de escorregamento vinculados à suscetibilidade de escorregamento;
- ii. O procedimento para atribuições de valores para as variáveis qualitativas utilizadas no treinamento;
- iii. A Ferramenta Computacional utilizada para implementação do Sistema *Neuro-Fuzzy*;
- iv. As análises realizadas a partir das diversas combinações entre os condicionantes de escorregamentos disponíveis no banco de dados e os ajustes no programa.

A Modelagem de Treinamento (capítulo 3) apresenta e discute os resultados das análises descritas no capítulo anterior.

Finalmente, no capítulo 4, são descritas as conclusões obtidas com os resultados das análises e são indicadas sugestões para trabalhos futuros.

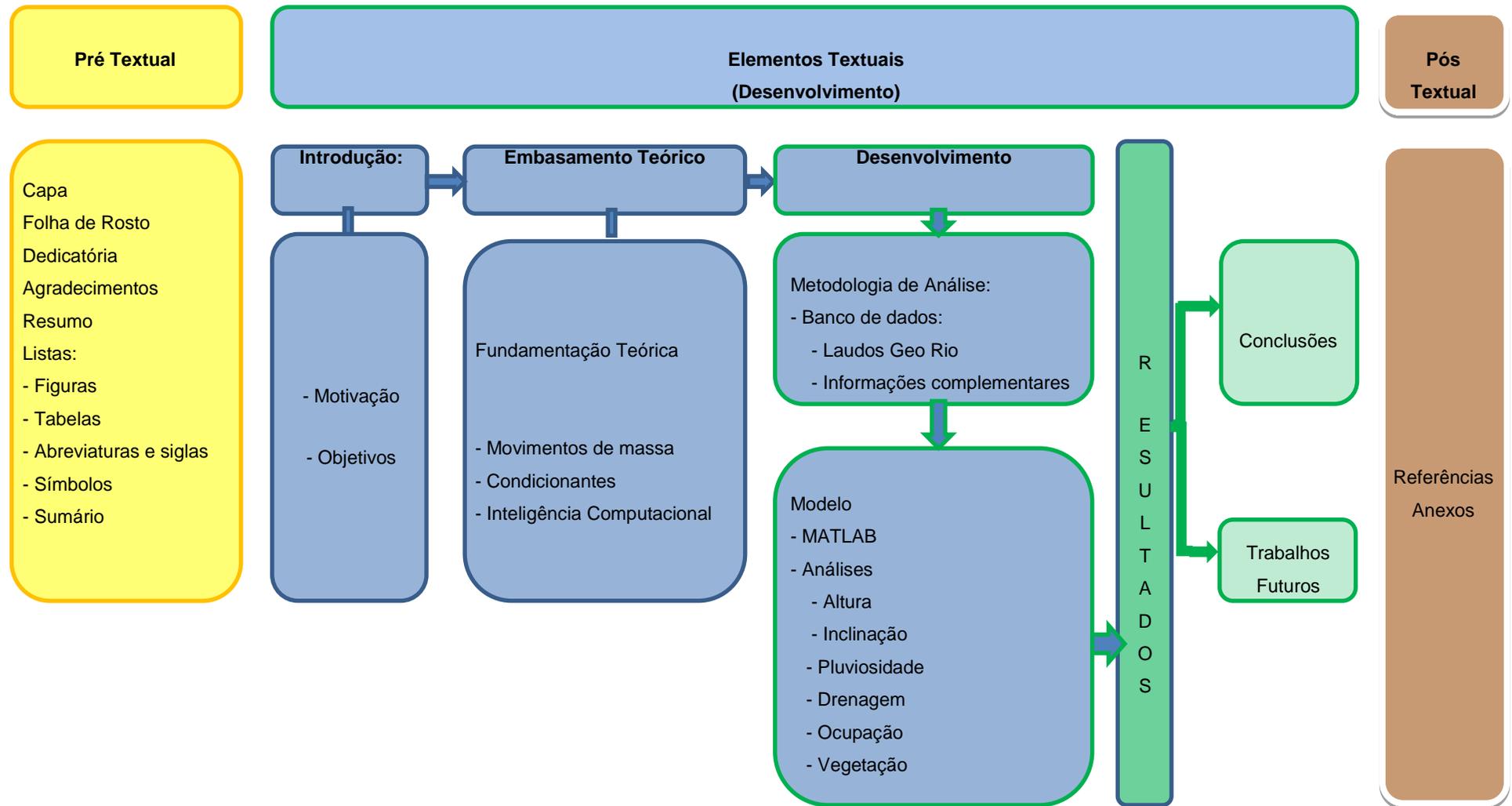


Figura 4 – Estrutura da dissertação

## 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os itens subseqüentes apresentam a classificação dos vários tipos de movimentos de massa e seus principais condicionantes.

Em razão do presente trabalho propor a obtenção da suscetibilidade de escorregamentos utilizando um programa em *Neuro-Fuzzy*, serão apresentadas as técnicas de inteligência computacional e suas aplicações em Geotecnia.

São apresentados também, a seguir, resumos de trabalhos realizados ao longo dos anos sobre o assunto em estudo, ilustrando o desenvolvimento e a realização de temas para projetos baseados em aplicação de *Neuro-Fuzzy* e Estabilidade de Taludes.

### 1.1. Movimentos de Massa

Conforme a terminologia recomendada por Fell et al (2008) no Manual para o zoneamento de susceptibilidade de perigo e risco de escorregamento para o planejamento de uso do solo, o escorregamento é definido como o movimento de massa de rochas, cascalhos ou terra (solo) que desliza em uma encosta. Nesse manual, o uso da palavra “escorregamento” se refere tanto a escorregamentos existentes (ou escorregamentos conhecidos) quanto a escorregamentos em potencial, os quais um profissional do ramo pode prever baseado na geologia e geometria relevantes e o processo de formação de encostas. A probabilidade de ocorrência de tais escorregamentos em potencial pode variar.

Os principais tipos de escorregamentos de terra (geometria) são: Rotacionais; Translacionais e Complexos. Entretanto, a discriminação dos diferentes tipos de movimento de massa não fará parte do escopo do trabalho.

Conforme destacado no Manual elaborado por Fell et al (2008), os fatores condicionantes são específicos para cada mecanismo de escorregamento e que por causa disso, frequentemente será necessário analisar separadamente a suscetibilidade, o perigo e o risco para os diferentes tipos de escorregamento afetando a área (por exemplo quedas de rochas, escorregamentos pequenos e superficiais ou grandes e profundos).

A seguir, apresenta-se uma breve consideração a respeito de Susceptibilidade e Risco.

### 1.1.1. Suscetibilidade e Risco

Confome destacado por Cerri (1992), com base no conceito de risco geológico formulado por Augusto Filho et al (1990), pode-se considerar que risco geológico associado a escorregamentos corresponde a uma situação de perigo, perda ou dano, social e econômico, devido à possibilidade de ocorrência de escorregamentos, induzidos ou não. Desta forma, só se caracteriza uma situação de risco a escorregamentos, se for observada a possibilidade de registro de consequências às pessoas e/ou bens materiais, advindas da ocorrência destes processos geológicos.

Ressalte-se que a terminologia aqui definida segue a recomendação de Fell et al (2008):

Susceptibilidade de escorregamento: Uma análise quantitativa ou qualitativa da classificação, volume (ou área) e distribuição espacial de escorregamentos que existem ou podem ocorrer em uma área. Embora seja esperado que escorregamentos ocorrerão com mais frequência em áreas mais suscetíveis, na análise de suscetibilidade, o período de tempo não é levado em conta.

Risco: uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedade ou meio ambiente. O risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade de um fenômeno de uma dada magnitude multiplicado por suas consequências. No entanto, uma interpretação mais geral de risco envolve uma comparação da probabilidade e consequências de forma que não calcule o produto. Para uma Análise Quantitativa de Risco, o uso da intensidade do escorregamento é recomendado.

Em razão de não serem analisadas as consequências de danos causados com o escorregamento e nem a frequência (probabilidade anual) da ocorrência de escorregamentos, o presente trabalho objetiva, a partir das informações constantes de um Banco de Dados de Laudos de Vistoria da Geo Rio, obter a suscetibilidade de escorregamento.

## 1.2. Condicionantes de Movimentos de Massa

Os escorregamentos de solo são causados por uma complexa relação entre fatores que causam a instabilidade. Os principais fatores apontados na literatura são:

características de geomorfologia, clima e ação antrópica. Em diversas literaturas, a chuva é destacada como o fator mais significativo, visto que a maioria dos registros de escorregamentos está associada a episódios de chuvas intensas e/ou por períodos prolongados.

A Tabela 1 reproduz a relação feita por Guerra et al (2009) entre fatores que influenciam os escorregamentos com os respectivos níveis de vulnerabilidade, individualmente. O Nível 1 representa baixa vulnerabilidade e o Nível 5 alta vulnerabilidade.

Em razão da dificuldade de se padronizar a combinação entre os diversos condicionantes, são encontradas, na literatura pesquisada, divergências entre as diversas propostas de correlações entre cada condicionante e o grau de suscetibilidade de escorregamento. Tomando como exemplo a associação entre a vulnerabilidade que fica mais alta com o aumento da declividade conforme indica a Tabela 1 de Guerra et al (2009), o mesmo autor observa, com base em levantamentos realizados no município de Petrópolis, que “as declividades que concentram maior número de ocorrências correspondem às classes de 11° a 20° (30,28% do total de eventos de deslizamentos) e de 21° a 30° (27,29%). Nas classes de maiores declividades há uma diminuição gradativa do número de deslizamentos. Mesmo na classe de 0 a 10° ocorreram 28,57% dos deslizamentos, um número bastante significativo. A maior concentração dos eventos de deslizamentos nas menores faixas de declividade (até 30°) em relação as de maior declividade pode estar relacionado a dois aspectos: a maior ocupação humana e a presença de maiores depósitos de colúvio. A elevada ocorrência de deslizamentos em terrenos de declividades muito baixas ressalta o alto poder nocivo das ações antrópicas para a estabilidade das encostas”.

**Tabela 1 - Fatores de Vulnerabilidade a Deslizamentos (Continua na próxima página)**

Fonte: Guerra et al (2009)

Fatores de Vulnerabilidade para Deslizamentos de Terra	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<b>Declividade (medida em graus)</b>	1° - 10°	11° - 20°	21° a 30°	31° a 41°	Acima de 41°
<b>Drenagem natural (quantidade de canais)</b>	Local que não recebe nenhuma contribuição de canais de drenagem	Local que recebe pouca contribuição de canais de drenagem	Local que recebe contribuição de canais de drenagem maior e com surgência de água	Local situado nos flancos dos canais de drenagem	Local situado dentro de um canal de drenagem (canal de 1ª ordem)
<b>Rede de esgoto Sanitário</b>	Rede de esgoto de boa qualidade e bem distribuídas espacialmente	Rede de esgoto com problemas de vazamento	Presença de fossa e rede de esgoto com vazamento	80% fossa e/ou sumidouro	Presença de valas a céu aberto
<b>Rede de águas Pluviais</b>	Rede de águas pluviais com um grande número de bueiros/canaletas e com boa distribuição espacial e limpos	Rede de águas pluviais com quantidade razoável de bueiros/canaletas e com distribuição espacial regular	Presença de bueiros/canaletas mal distribuídos, que não são suficientes para a vazão do escoamento da água	Presença de bueiros mal distribuídos e frequentemente entupidos e/ou canaletas quebradas	Ausência de bueiros/canaletas, canaletas quebradas e/ou canaletas com destino final na própria encosta
<b>Abastecimento de Água</b>	Ótima qualidade das tubulações e ausência de vazamentos	Baixo nível de vazamentos e em poucos lugares	Médio nível de vazamentos e bem distribuídos pela região	Alto nível de vazamentos das tubulações e distribuídas por toda a área	Ausência total de abastecimento de água oficial
<b>Lançamento de detritos (lixo/entulho)</b>	Ausência de lançamento de detritos	Presença de pequena quantidade de detritos (espessura de até 0,50m) localizada em poucos lugares	Presença de razoável quantidade de detritos (espessura acima de 0,50m) distribuídas ao redor da ocorrência	Presença de grande quantidade de detritos (espessura acima de 1,0m) jogados a intervalos regulares e nos mesmos locais	Presença de grandes quantidades de detritos (espessura acima de 1,0m) despejadas frequentemente ao redor da ocorrência e também nos mesmos locais
<b>Existência de cortes e/ou aterros</b>	Ausência de cortes e/ou aterros	Cortes e/ou aterros pequenos (até 1,50m) em pouca quantidade e com contenções	Cortes e/ou aterros maiores que o anterior em tamanho (acima de 1,5m) e em quantidade e com contenções	Cortes e/ou aterros (até 1,50m) sem contenções	Cortes e/ou aterros maiores que o anterior (acima de 1,50m) e sem contenções
<b>Existência de obras de estabilização</b>	Presença de obras de estabilização de boa qualidade e em bom estado, sem rachaduras, deformações ou infiltrações	Obras de estabilização com pequenas rachaduras, em poucos locais, com baixa deficiência da obra, com altura até 1,50m	Obras de estabilização, com pequenas rachaduras e infiltrações localizadas ao longo da obra, com média deficiência e altura acima de 1,50m	Obras de estabilização com muitas rachaduras e infiltrações localizadas ao longo de toda a obra e com alta deficiência da obra	Ausência de obras de estabilização de encostas em áreas com necessidade de obras de contenção
<b>Cobertura vegetal</b>	Floresta densa e estabilizada	Árvores de médio porte e bem concentradas	Árvores de pequeno porte e bem espaçadas	Gramíneas, capim e/ou arbustos	Solo exposto

**Tabela 1 (Continuação) - Fatores de Vulnerabilidade a Deslizamentos**

Fonte: Guerra et al (2009)

Fatores de Vulnerabilidade para Deslizamentos de Terra	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<b>Aspectos litoestruturais</b>	Rocha sã, sem aspectos de fraturas ou rupturas	Rocha com poucas fraturas localizadas, sem risco aparente de queda de blocos	Rocha com presença de fraturas localizadas e com aparência de risco moderado de queda de blocos	Rocha moderadamente fraturada com grande risco de queda de lascas/blocos	Rocha extremamente fraturada com alto risco de queda de lascas/blocos
<b>Qualidade estrutural das moradias</b>	Casas revestidas com bom aspecto e utilização de materiais de construção de boa qualidade, fundação em material estável, longe da crista e base de taludes.	Casas de alvenaria com ou sem revestimento, com fundação em material estável e estrutura deficiente	Casas de alvenaria com fundação e estrutura deficiente, sem calha, localizadas próximas a crista e/ou base de talude.	Casas de alvenaria sem fundação, sem calha, estrutura deficiente, com presença de rachaduras.	Casas de alvenaria sem fundação e sem estrutura ou de madeira, com rachaduras e presença de afundamento do solo em alguns locais próximos a casa
<b>Impermeabilização da encosta (% de ocupação de casas e vias públicas)</b>	0 a 10%	11 a 25%	26 a 35%	36 a 45%	Acima 45%
<b>Existência de acesso de pedestres e viários sem pavimentação (% de ruas não calçadas)</b>	0 a 10%	11 a 25%	26 a 40%	41 a 50%	Acima 50%
<b>Aspectos geotécnicos</b>	Solo residual sem indícios de processo erosivo ou cicatrizes de deslizamentos	Colúvio sem sinais de rastejo e/ou solo residual com início de processo erosivo sem cicatrizes de deslizamentos	Colúvio com pequenos sinais de rastejo ou solo residual com sulcos e/ou algumas cicatrizes de deslizamentos	Colúvio com sinais de rastejo ou solo residual com ravinas e/ou quantidade média de cicatrizes de deslizamentos; presença de trincas no solo	Colúvio com sinais de rastejo com muitas trincas; contato abrupto solo rocha e solo residual com voçorocas
<b>Densidade de ocupação da encosta (%)</b>	0 a 15%	16 a 30%	31 a 50%	51 a 65%	Acima de 65%

A seguir, serão descritos os principais fatores associados à instabilidade de taludes destacados na literatura. As características apresentadas descrevem suas ações de forma individual, pois conforme descrito anteriormente, a correlação entre os fatores é complexa.

### 1.2.1. Ação Antrópica

Silva (2008) destaca as principais interferências antrópicas:

- i. Modificação da geometria do talude, através de cortes ou aterros;
- ii. Alteração do regime hidrológico do talude;
- iii. Eliminação ou modificação da cobertura vegetal da encosta;

O autor ainda relata que tais modos de atuação podem ser favoráveis ou desfavoráveis à manutenção da estabilidade, dependendo das peculiaridades da encosta. Em geral, a intervenção humana contribui para uma aceleração dos processos de denudação.

A Lei Federal nº 6766/79 (Anexo 1 Anexo 1) não permite parcelamento de solos em terrenos com declive igual ou superior a 30%. Entretanto, no Rio de Janeiro, a falta de fiscalização do planejamento urbano, por décadas, permite a ocupação de zonas que, de acordo com a legislação, não poderiam ser ocupadas.

No âmbito internacional, a Organização das Nações Unidas (ONU), através da UNDRO (United Nations Disasters Relief Co-Ordinator) instituiu a década de 90 como a Década Internacional para a Redução de Desastres Naturais através da resolução 44/236 de 1989. Essa década foi criada com o intuito de incentivar a implementação de programas de redução e prevenção de acidentes, principalmente dirigidos a países de terceiro mundo (Silva e Pimentel, 1997).

Conforme destacado pela relatora especial da ONU para Direito à Moradia, Rolnik (2010), as políticas urbanas brasileiras jamais pensaram de forma planejada qual é o local adequado para a população morar. E na ausência desse local adequado, a população se instalou em locais impróprios para urbanizar e para ocupar. O preço são vidas que estão sendo perdidas, além do enorme prejuízo em função do colapso na circulação, na mobilidade e os efeitos que isso causa. A relatora também indica como solução definitiva a ampliação do acesso à terra bem localizada para a população de baixa renda.

Pinto (2002), Amaral et al. (1996) apud Suarez (1997b) encontram uma relação direta entre o número de deslizamentos no Rio de Janeiro e a localização de

assentamentos humanos desordenados (favelas). Cerca de 60% dos deslizamentos afetam assentamentos desordenados, associados com cortes indiscriminados, aterros sobre taludes de alta inclinação e descargas diretas de águas pluviais e servidas. Suarez (1997b) observa ainda que a maioria dos deslizamentos de terra em áreas urbanas é devida a fatores antrópicos tais como cortes e aterros, desmatamento, manejo inadequado de águas pluviais e servidas, mudanças no regime hidrológico das áreas ocupadas e urbanismo desordenado.

Cerri (1992) correlaciona as alterações realizadas pela ação antrópica com as respectivas possíveis consequências, conforme reproduzido na Tabela 2

**Tabela 2 – Correlação de ações antrópicas com possíveis consequências, Cerri (1992)**

<b>Alterações</b>	<b>Objetivos / Consequências</b>
Execução de cortes com alturas e inclinações acima de limites tecnicamente seguros. Execução de patamares (“aterros”) com o próprio material da escavação dos cortes, que é simplesmente lançado por sobre o terreno natural	Os terrenos são adaptados ao padrão mais convencional e econômico de construção de moradias
Instalação das moradias muito próximas à base ou ao topo de taludes naturais ou de corte	Maior aproveitamento do terreno
Excessiva retirada da cobertura vegetal	Eliminando-se sua contribuição à estabilidade
Cultivo de espécies que favorecem a instabilidade das encostas (bananeiras)	Utilizadas como produtoras de alimentos e para demarcar limites de “lotes”
Lançamento, em superfície, das águas servidas; concentração de águas pluviais  Instalações de fossas	Possibilitando uma contínua infiltração de água nos maciços
Lançamento e concentração de lixo e entulho nas encostas	Produzindo materiais altamente instáveis.

Bueno et al (2002), sugere quatro classes relativas ao seu maior ou menor grau de restrição à ocupação urbana:

Classe I: corresponde às áreas favoráveis à ocupação urbana, possuindo apenas certas restrições na fase de implementação das obras de engenharia. Essas restrições são no sentido de evitar a ocorrência de fenômenos geodinâmicos resultantes de uma ação técnica inadequada na implantação de determinada obra. Exemplificando, podem-se citar tais ocorrências como cortes mal dimensionados, aumento a declividade natural do terreno, estrangulamento de drenagem ocasionando inundações, etc.

Classe II: engloba áreas propícias à ocupação urbana mediante verificação de procedimentos técnicos específicos para a implantação das obras. Podendo-se citar a necessidade de pequenas obras de contenção ou instalação de drenagens artificiais (valas revestidas, canaletas, etc), visando estabilizar cortes do terreno.

Classe III: reúne áreas pouco favoráveis à ocupação que entretanto podem ser utilizadas mediante a elaboração de projetos técnicos, que exigem elevados investimentos e infraestrutura. Como exemplo, pode-se citar a necessidade de grandes obras de contenção como drenos profundos, injeções de concreto em maciços rochosos, execução de aterros.

Classe IV: compreende áreas impróprias à ocupação mesmo diante da adoção de projetos técnicos específicos. A utilização dessas áreas tornam as obras implantadas sujeitas a risco geotécnicos potenciais (tais como escorregamentos, enchentes, etc), riscos estes independentemente dos recursos técnicos utilizados.

### 1.2.2. Vegetação

Silva (2008) destaca que a presença de vegetação em taludes e encostas naturais é de grande importância no processo de estabilização. As raízes das plantas tendem a melhorar a qualidade do solo, aumentando sua resistência através do reforço mecânico das raízes e reduzindo o teor de umidade do solo, função desenvolvida pelas plantas através dos processos de transpiração e absorção. O autor ainda adotou como premissa, de acordo com considerações da literatura referentes aos tipos de vegetação, a altura da vegetação para a definição dos adjetivos (Rasteira, Arbustiva e Arbórea). O adjetivo Rasteira refere-se à vegetação com altura média inferior ou igual a 1,5 m. A vegetação com altura média entre 1,5 m e 3,0 m é classificada como Arbustiva. A partir de 3,0 m de altura, a vegetação é considerada Arbórea. Em seu trabalho, o range utilizado para criar as regras teve altura máxima de 6,0 m.

Vargas (1999) apud Pinto (2002) discorrendo a respeito da degradação da cobertura vegetal, salienta que esse campo começou a ser investigado por engenheiros especializados em Mecânica dos Solos na década de 70. Após terem concebido um modelo, no qual aplicaram uma teoria geomecânica de estabilidade de taludes levando em conta a existência da vegetação, os autores chegam a conclusão de que a remoção de árvores do talude melhora sua estabilidade, tanto pela diminuição da sobrecarga sobre os mesmos como pela remoção das tensões provenientes do vento sobre as árvores. Por outro lado, o apodrecimento das raízes é desfavorável à estabilidade. A elevação do nível da água pela queda da evapotranspiração, decorrente do desmatamento, também aumenta a instabilidade. Assim, segundo os autores, o efeito da degradação da cobertura vegetal das encostas seria ambíguo. Guidicini e Nieble (1983), apud Pinto (2002), salientam ainda que outro efeito benéfico da cobertura vegetal é a limitação da área atingida por escorregamentos, através da retenção da massa escorregada. O seu efeito frenador e dissipador de energia do material em deslocamento circunscreve a área afetada, minimizando os danos em terrenos situados a jusante do escorregamento.

Quanto aos efeitos da cobertura vegetal em massas de solo neste sentido, Suarez (1997a) também observa que um efeito positivo muito importante é o de ancoragem das massas de solo pelas raízes. As características físicas das raízes determinam o efeito da ancoragem e a densidade do sistema radicular melhora a retenção das partículas ou massas de solo, aumentando a resistência à erosão. As características das raízes dependem, por sua vez, da espécie vegetal, de sua idade, das propriedades, do perfil de solo e do meio ambiente. Dependendo destas condições (espécies vegetais e maciços), a cobertura vegetal pode ou não desempenhar papel importante na estabilidade. Se o perfil de solo for espesso e a superfície crítica de ruptura estiver em profundidade superior àquela em que se tem alta densidade de raízes, o efeito da vegetação é minimizado. Por outro lado, se o perfil de solo for pouco espesso, as raízes podem vir a se ancorar em materiais mais resistentes (solos residuais menos intemperizados e até na própria rocha) o que aumenta, e forma considerável, a estabilidade do maciço. Considerando-se estas observações e o levantamento bibliográfico exposto, o autor assume que o fitotipo mais estabilizante é o arbusto, seguido da grama e da árvore.

Apesar de não haver resultados conclusivos sobre a correlação entre vegetação e instabilidade de talude, parece consenso que a vegetação, na maioria de suas espécies, colabora de maneira positiva para estabilidade de taludes.

Na maioria das descrições, a vegetação é classificada quanto ao seu tipo e à densidade. Os tipos mais comuns são grama, arbusto e árvore. A densidade busca definir a ocupação relativamente a região analisada.

### 1.2.3. Pluviosidade

De acordo com Silva (2008), a correlação entre pluviosidade e escorregamento deve levar em consideração as propriedades hidráulicas do solo. Por isso, um escorregamento depende tanto dos índices pluviométricos referentes às poucas horas que o antecedeu quanto de dias anteriores. O autor ainda destaca que a água é, portanto, o mais importante agente natural na predisposição à ocorrência de escorregamentos, podendo atuar das seguintes formas:

- i. Elevação do nível piezométrico no maciço, aumentando a poropressão e reduzindo a resistência;
- ii. Aumento da pressão hidrostática em descontinuidades. A ocorrência e o comportamento da água subterrânea são condicionados pelas rochas e estruturas geológicas presentes no local em questão. No caso de maciços de rochas fraturadas com baixa porosidade, a subida do N.A. acontece de forma rápida;
- iii. Erosão subterrânea regressiva (“*piping*”). Este processo, resultante da força de percolação, inicia-se a partir de uma surgência de água e através da erosão e carreamento das partículas forma cavidades que podem apresentar muitos metros de comprimento;
- iv. Diminuição do efeito da coesão aparente;
- v. Enfraquecimento dos materiais, pela ação do intemperismo químico;
- vi. Erosão superficial, agindo diretamente sobre o talude. A água superficial contribui para a erosão laminar, que será tanto maior quanto menos protegido estiver o solo, podendo inclusive criar cicatrizes erosivas (ravinas ou voçorocas) que mais tarde resultarão, eventualmente, em escorregamentos.

A respeito de valores limite propostos, Feijó et al. (2001), apud Pinto 2002, encontraram, como médias gerais de precipitação relacionadas a movimentos de

massa no Município do Rio de Janeiro, para os estudos realizados, os valores de 26,1 mm/h, 67,7 mm/24h e 99,6 mm/96h. Vê-se ainda, que valores limites sugeridos pela literatura são, às vezes controversos. Tal fato deve-se, provavelmente, ao efeito não considerado de precipitações anteriores, dada sua importância como componente do evento chuvoso como um todo, já que as regiões enfocadas são semelhantes do ponto de vista climático. Torna-se necessária uma análise do evento de chuva como um todo e não somente da precipitação ocorrida no dia de um possível evento de escorregamento.

De acordo com o site da Prefeitura do Rio de Janeiro<sup>1</sup>, o Sistema de Alerta de Chuvas Intensas e de Deslizamentos em Encostas da Cidade do Rio de Janeiro foi criado em 25 de setembro de 1996 com o objetivo de emitir Boletins de Alerta à população sempre que houver previsão de chuvas intensas que possam gerar inundações de vias públicas e/ou acidentes geotécnicos em encostas.

O Sistema utiliza informações, em tempo real, de 32 estações pluviométricas automáticas instaladas no Município do Rio de Janeiro, imagens de radares meteorológicos (Convênio Prefeitura do Rio de Janeiro e Comando da Aeronáutica), detector de raios, dados climáticos de duas estações meteorológicas, imagens de satélite e informações disponíveis na WEB. Os dados são analisados numa estação central computadorizada situada na sede da Geo Rio (São Cristóvão), por geotécnicos e meteorologistas, em esquema de plantão 24 horas por dia.

A Tabela 3 define o Nível de alerta por meio das intensidades das chuvas, definidas conforme apresentado na Figura 5.

**Tabela 3 - Condição das chuvas na Cidade**

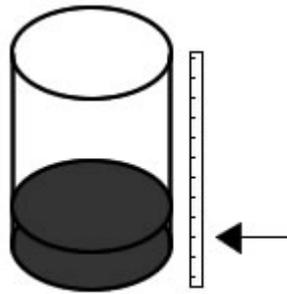
Fonte: <http://www0.rio.rj.gov.br/alertario/>

Nível	Descrição
<b>Vigilância</b>	Ausência de chuva ou chuva leve nas próximas 6 horas
<b>Atenção</b>	Possibilidade de chuva moderada, ocasionalmente forte, nas próximas horas
<b>Alerta</b>	Chuva forte nas próximas horas podendo causar alagamentos e deslizamentos isolados
<b>Alerta Máximo</b>	Chuva muito forte nas próximas horas podendo causar alagamentos e deslizamentos generalizados

<sup>1</sup> Site: <http://www2.rio.rj.gov.br/Geo Rio/site/alerta/alerta.htm>

### intensidade das chuvas

chuva leve	1,1 a 5,0 mm/h
chuva moderada	5,1 a 25 mm/h
chuva forte	25,1 a 50 mm/h
chuva muito forte	> 50 mm/h



medindo a chuva

**Figura 5 - Intensidade das chuvas**

Fonte: <http://www0.rio.rj.gov.br/alertario/>

#### 1.2.4. Drenagem

A drenagem é uma das soluções mais eficazes na estabilização de encostas.

Considerando o histórico de ocorrências de escorregamento, assume-se que uma encosta com boas condições de drenagem (naturais ou artificiais) fica menos suscetível a escorregamento. Conforme observado por Netto (1994), apud Silva (2008), a drenagem exerce papel fundamental sobre o modelamento do relevo (formas de vertentes e vales), sendo uma variável especialmente importante em regiões tropicais úmidas.

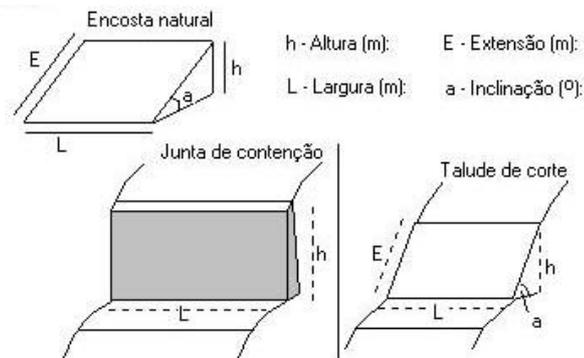
Silva (2008) destaca que quanto mais eficiente for o sistema de drenagem, menor será a infiltração de água no solo e, portanto, menor será a suscetibilidade de escorregamento do talude. O autor, a partir do histórico de Laudos de Vistoria da Geo Rio utilizado em seu trabalho, salienta a importância da drenagem, natural ou construída, observando que apenas 23% dos casos analisados tiveram ocorrência em taludes com sistemas de drenagem eficiente.

### 1.2.5. Geomorfologia

Os fatores de cunho geomorfológico, muitas vezes chamados de parâmetros topográficos, tratam das relações entre a forma e a hidrologia (superficial e sub-superficial) da encosta, englobando parâmetros tais como: declividade, forma da encosta (tanto em perfil quanto em planta), em áreas de contribuição, orientação das encostas (aspecto), espessura do solo, comprimento da encosta, (as)simetria dos vales e elevação (Fernandes e Amaral, 1996, apud Silva, 2008).

A Figura 6 apresenta os parâmetros geométricos para definição de talude ou obra de contenção definidos nos Laudos da Geo Rio.

Os principais fatores geomorfológicos tratados neste trabalho são descritos nos itens subsequentes.



**Figura 6 – Parâmetros geométricos para definição de talude ou obra de contenção definidos nos Laudos da Geo Rio**

#### *Tipo de Relevo*

O Relevo qualifica as condições de declividade, comprimento de encostas e configuração superficial que afetam o terreno onde ocorrem as unidades de solos. A Tabela 4 apresenta os intervalos de classificação de declividade, considerando características do relevo, conforme descrito por Costa (2006).

O relevo carioca está filiado ao sistema da Serra do Mar, recoberto pela Floresta da Mata Atlântica. É caracterizado por contrastes marcantes, montanhas, mar, florestas e praias, paredões rochosos subindo abruptamente de baixadas extensas. O Rio de Janeiro apresenta três importantes grupos montanhosos, mais alguns conjuntos de serras menores e morros isolados, em meio a planícies circundadas, dos quais destacam-se:

- i. Maciço da Pedra Branca (Pico da Pedra Branca)- 1.025 m de altitude
- ii. Maciço da Tijuca (Pico da Tijuca) - 1.022 m de altitude
- iii. Maciço do Gericinó (Pico do Guandu) - 964 m de altitude
- iv. Serras: Engenho Novo e Misericórdia
- v. Morros Isolados: Pão de Açúcar, Viúva e Inhoaiba
- vi. Colina: Outeiro da Glória
- vii. Planícies: Guaratiba, Jacarepaguá e Campo Grande
- viii. Restingas: Copacabana, Ipanema-Leblon, Marambaia e Jacarepaguá
- ix. Pontal: Sernambetiba e Arpoador
- x. Esporões: Cara de Cão ou São João e Ponta do Joá

**Tabela 4 – Intervalos de classificação de declividade, considerando características do relevo**

Fonte: Costa (2006)

Intervalo de declive em percentual	Classe de Declividade	Caracterização
< 3%	Relevo Plano – encosta sem problemas	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
3% - 8%	Relevo Suave Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives suaves.
8% - 20%	Relevo Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives acentuados.
20% - 45%	Relevo Fortemente Ondulado	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros, com declives fortes.
45% - 100%	Relevo Montanhoso e Escarpado	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas e maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes, com vales encaixados.

### *Altura*

Considerando a altura como a diferença entre as cotas máximas e mínimas, conforme o parâmetro “h” definido na Figura 6, na maior parte das literaturas pesquisadas, é assumido que taludes mais altos são mais suscetíveis a escorregamento.

Thomas (1979), apud Silva (2008), destaca que quanto mais elevado o valor da amplitude, maior a energia cinética aplicada às vertentes e, conseqüentemente, maior é a capacidade de deslocamento de material, principalmente se associada a elevadas declividades.

### *Inclinação / Declividade*

Para a inclinação do talude, quando analisada individualmente, assume-se que encostas mais íngremes são mais suscetíveis a escorregamentos.

De acordo com Fernandes et al (2001), “a declividade vem sendo utilizada como o principal, ou mesmo o único parâmetro de caráter topográfico incorporado aos estudos de previsão e definição de áreas instáveis gerando, com frequência, distorção na análise dos deslizamentos. Como consequência dessa interpretação áreas de menor declividade, inicialmente definidas como de baixa suscetibilidade mostram a presença de deslizamentos no campo, principalmente na forma de corridas de massa. Tal fato evidencia que outros fatores condicionantes devem ser também considerados.”

Uma suposição interessante é de que taludes naturais terrosos íngremes provavelmente dispõem de material resistente de modo a justificar sua inclinação elevada.

#### 1.2.6. Os Solos das Encostas Naturais

O solo é a camada superficial constituída de partículas minerais e orgânicas, distribuídas em horizontes de profundidade variável, resultante da ação conjunta de agentes intempéricos sobre as rochas e a adaptação destas às condições de equilíbrio do meio em que se encontram expostas, geralmente diferentes daquele que condicionou sua gênese apresentando variabilidade espacial.

O conhecimento das rochas e solos do Rio de Janeiro tem grande importância na análise dos processos de deslizamento de taludes.

### *Capa de solo*

Entende-se por capa de solo a espessura de solo sobre o embasamento rochoso e revela o volume de solo presente e eventualmente suscetível a escorregamentos, além da composição relativa solo/rocha da encosta para um determinado ponto analisado. “Assume-se aqui que quanto mais delgadas as capas de solo, menor a suscetibilidade a escorregamentos, já que dessa forma dispõe-se de um menor volume de material.” (Pinto, 2002)

### *Parâmetros de resistência*

Os parâmetros de resistência dos solos, coesão e ângulo de atrito, são utilizados, em geral, pelos métodos de análise de estabilidade de taludes.

Os resultados apresentados por Silva (2008) mostraram que o ângulo de atrito influencia de forma significativa a estabilidade. Foi observado que, “coerentemente, o risco de escorregamento diminui com o aumento do ângulo de atrito, ou seja, com o aumento da resistência do solo.”

## 1.3. Técnicas de Inteligência Computacional

### 1.3.1. Inteligência Computacional

Inteligência Computacional é a busca, através de técnicas computacionais inspiradas na Natureza, para o desenvolvimento de sistemas inteligentes que imitem aspectos do comportamento humano, tais como: aprendizado, percepção, raciocínio, evolução e adaptação, conforme definido no *site* da PUC (PUC, 2011), que ainda correlaciona as técnicas computacionais com as respectivas inspirações na natureza, conforme estabelecido na Tabela 5 para as técnicas de Rede Neural e Lógica Fuzzy.

Esta área da ciência computacional usa basicamente conceitos matemáticos, computacionais e estatísticos a fim de resolver problemas com maior eficiência. A robótica e automação de máquinas são áreas que utilizam expressivamente a Inteligência Computacional. A aplicação de Inteligência Computacional em Geotecnia tem apresentado bons resultados, como, por exemplo, classificação dos solos e avaliação de áreas suscetíveis a escorregamento

Em razão de cada técnica apresentar vantagens e desvantagens, são utilizados os sistemas híbridos que combinam duas ou mais técnicas para obter a

solução de um problema. Assim, busca-se dirimir as desvantagens individuais com a combinação das vantagens de cada técnica de modo a minimizar, suas desvantagens.

O objetivo do presente trabalho é a obtenção de um modelo que forneça a suscetibilidade de escorregamento por meio da variável de saída Previsão de Escorregamento (PE) com a utilização de um Sistema *Neuro-Fuzzy* (SNF), cujas técnicas serão abordadas no item 1.3.2.

**Tabela 5 – Correlação entre Técnica Computacional com as inspirações na natureza**

Fonte: Adaptado de PUC (2011)

<b>Técnica</b>	<b>Inspiração na Natureza</b>
Redes Neurais	Neurônios biológicos
Lógica <i>Fuzzy</i>	Processamento linguístico

De acordo com Gil (2010), os SNFs procuram usar o máximo das propriedades das RNAs (aprendizado) e da LF (interpretação linguística), minimizando suas limitações e deficiências.

Individualmente as técnicas RNA e LF apresentam vantagens evidenciadas em diversas aplicações. Entretanto, também apresentam certas desvantagens que são minimizadas, ou até mesmo eliminadas, quando as técnicas são aplicadas em sistemas híbridos. Assim, podem ser produzidos sistemas com maior poder de interpretação, de aprendizado, de estimativa de parâmetros e de generalização. Os SNF usam o máximo da capacidade de aprendizagem das RNAs e de interpretação linguística da LF.

#### *Aplicação de Inteligência Computacional em Geotecnia*

A Inteligência Computacional é aplicada em diversas áreas da vida real, como por exemplo: robótica (robôs auxiliares), dispositivos para reconhecimentos de escrita a mão e reconhecimento de voz, programas de diagnósticos médicos, entre outros.

Silva (2008) relaciona as seguintes aplicações de Lógica Fuzzy na Engenharia Geotécnica:

- i. classificação dos solos (Juang et al, 1996);

- ii. análise do potencial de erosão (Mitra et al, 1998; Alves et al, 2002; Alves, 2004);
- iii. avaliação de áreas suscetíveis a escorregamentos (Pinto, 2002; Oliveira et al, 2005; Lee e Juang, 1992);
- iv. avaliação da estabilidade de barragens (Fontenelle e Vieira, 2002);
- v. avaliação de modelos de suscetibilidade a movimentos de massa em uma faixa de dutos (Rabaco, 2005);
- vi. escolha de áreas para aterros sanitários (Macbean et al, 1995; Champratheap e Ganer, 1996; Lima, 1995; Ramos e Mendes, 2001; Calijuri et al, 2002);
- vii. diagnóstico dos impactos de áreas de resíduos (Menezes, 1995).

O próprio trabalho de Silva (2008), que foi inspirador para o desenvolvimento do presente trabalho, aplica a técnica de Lógica Fuzzy na Previsão do Risco de Escorregamento de Taludes em Solo Residual. O autor conclui que a técnica é eficiente, fácil e de baixo custo, mostrando-se uma ferramenta válida para ser utilizada no monitoramento das encostas do Município do Rio de Janeiro.

A aplicação de Lógica Fuzzy em Geotecnia pode também ser observada em Chissolucombe (2009), sendo utilizada para estimar os danos nas estruturas adjacentes à escavação do túnel. A técnica, aplicada em uma situação real ocorrida durante a escavação do Metrô-DF, apresentou resultados condizentes com o ocorrido em campo.

Outra aplicação de Inteligência Computacional em Geotecnia observada nas referências pesquisadas é a utilização de Algoritmo Genético para determinar a relação entre teor de umidade e sucção, usualmente denominada de curva característica (SWCC). Este parâmetro é muito utilizado na previsão do comportamento de solos não saturados, conforme proposto por Gerscovich et al (2004).

A aplicação de RNA em Geotecnia pode ser encontrada nas seguintes publicações:

- i. Chissolucombe (2009) utiliza RNA para estimar os deslocamentos induzidos pela escavação de um túnel. A técnica, aplicada em uma situação real ocorrida durante a escavação do Metrô-DF, apresentou resultado extremamente eficiente quando tem-se um conjunto de dados para

treinamento que abrangem todo o universo do problema. O autor destaca que de acordo com sua revisão bibliográfica, as RNAs têm sido utilizadas na resolução de vários problemas geotécnicos, desde obras subterrâneas, fundações, pavimentação, estruturas de contenção, prospecção geotécnica e modelagem constitutiva. Em todas as situações, a quantidade e qualidade dos dados disponíveis foram de extrema importância para o desempenho da rede neural.

- ii. Biondi et al (2006) treinaram uma RNA com situações reais, com classificação validada pelo método de determinação do comportamento do solo através do Teste da Penetração do Cone (CPT) a fim de classificar os solos a partir de resultados desse tipo de ensaio.
- iii. Ruffier, et al (1998) apresentam uma aplicação de RNA ao estudo de fundações sujeitas a esforços de tração, assentes em terrenos inclinados.

A aplicação de *Neuro-Fuzzy* em Geotecnia é abordada no trabalho de Buzzy (2010), com o objetivo de analisar o comportamento geotécnico de maciços de solo, visando a segurança de dutos enterrados.

### 1.3.2. Neuro-Fuzzy

Como dito anteriormente, Silva (2008) inspirou o desenvolvimento deste trabalho concluindo que a aplicabilidade do modelo *Fuzzy* na Previsão do Risco de Escorregamento de taludes em Solo Residual é eficiente, fácil e de baixo custo, mostrando-se uma ferramenta válida para ser utilizada no monitoramento das encostas do Município do Rio de Janeiro. Entretanto, o autor sugere para trabalhos futuros a aplicação híbrida utilizando Redes Neurais e Lógica Nebulosa para a previsão do risco de escorregamento de taludes.

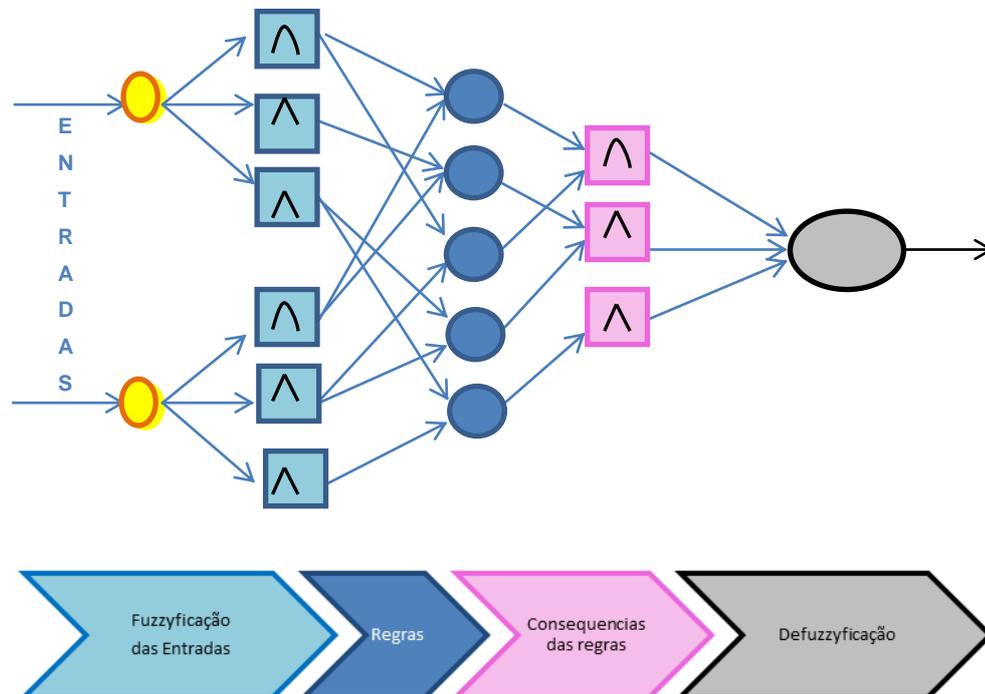
Destaca-se que a presente análise não buscará definir a previsão de risco, por não considerar as consequências de um escorregamento, mas busca-se estimar a suscetibilidade de escorregamento, por meio da variável de saída Previsão de Escorregamento (PE), a partir de fatores condicionantes obtidos em análises preliminares de inspeções visuais com a utilização de um modelo *Neuro-Fuzzy*.

O sistema *Neuro-Fuzzy* combina os paradigmas da RNA e da LF, que possuem características de adaptação e aprendizagem, formando um sistema Híbrido Incorporado (hibridização forte).

Biondi Neto (2010) apresenta as seguintes características do SNF:

- i. Permitem a integração de conhecimento:
  - a. Implícito (conjunto de dados)
  - b. Explícito (preliminar, proveniente de especialista)
- ii. Extração de conhecimento sob o formato de regras fuzzy.

A arquitetura *Neuro-Fuzzy*, adaptada de Biondi Neto (2010) é representada na Figura 7.



**Figura 7 – Arquitetura Neuro-Fuzzy**

A Figura 8 e a Figura 9 (adaptadas de Biondi Neto, 2010) apresentam, respectivamente, as características *Fuzzy* e de aprendizagem de um Sistema *Neuro-Fuzzy*.

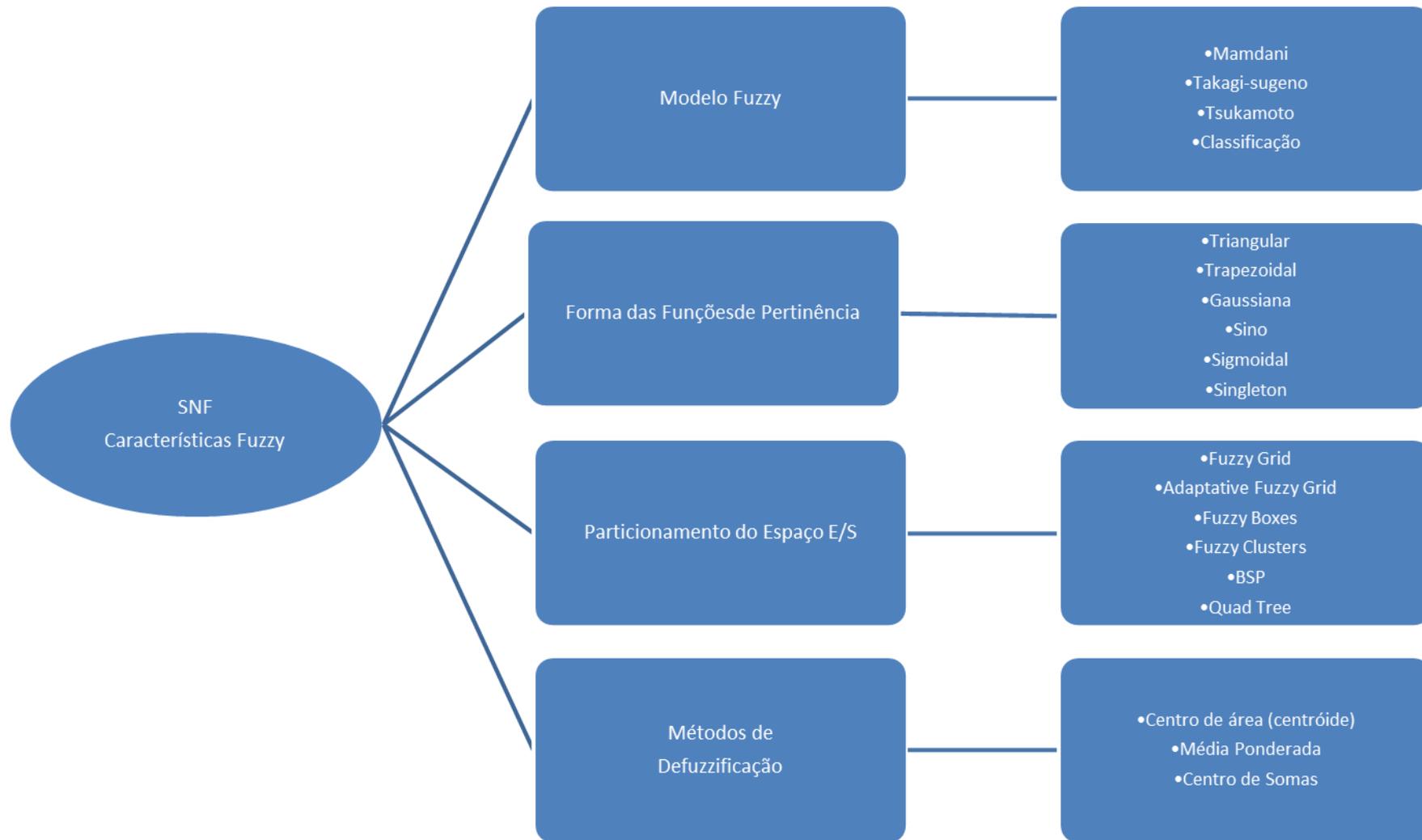


Figura 8 - Característica *Fuzzy* de um SNF(adaptado de Biondi Neto, 2010)

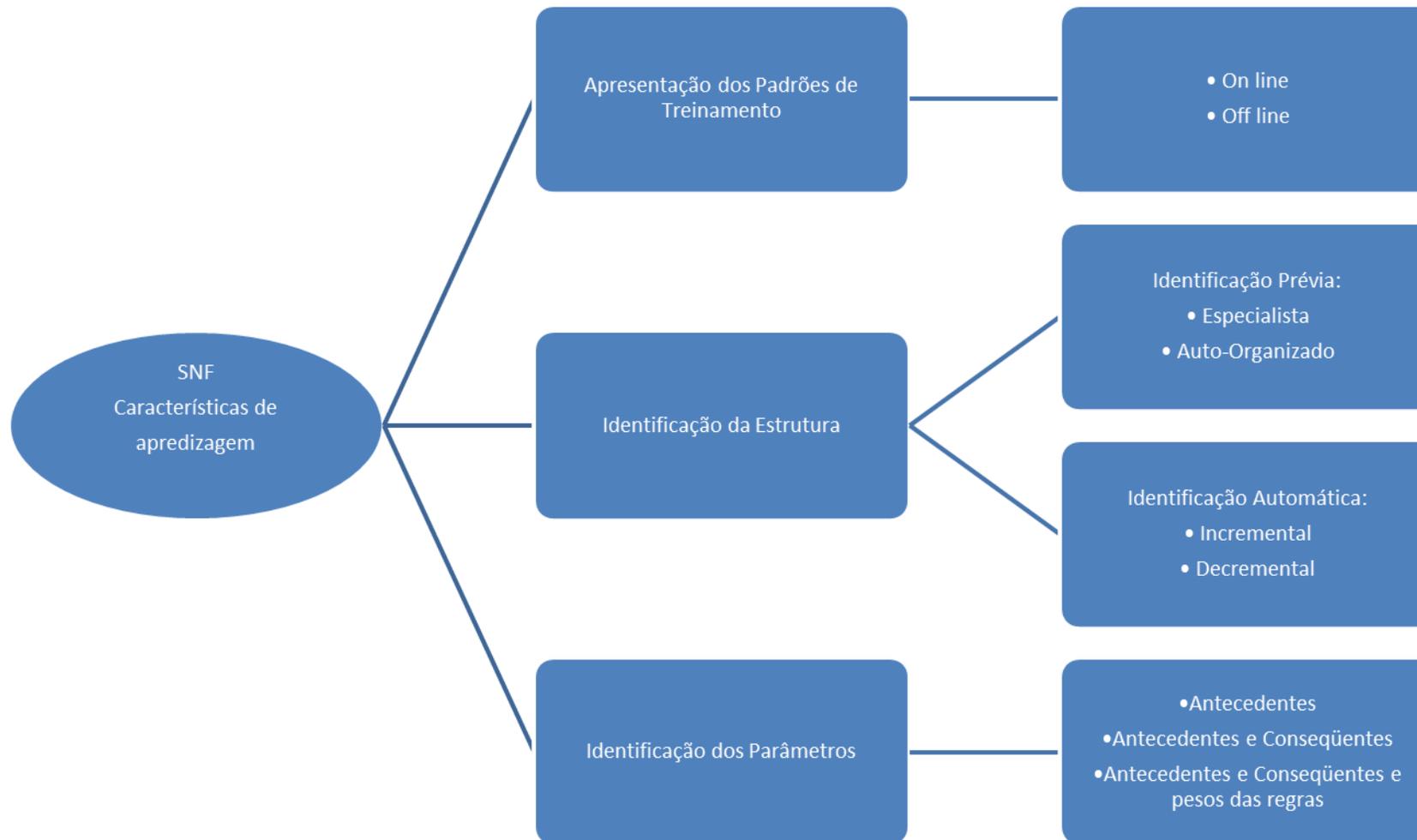


Figura 9 – Característica de aprendizagem de um SNF (adaptado de Biondi Neto, 2010)

As características *Fuzzy* e de aprendizagem utilizadas neste trabalho são descritas a seguir, conforme apresentadas por Biondi Neto (2010):

i. Características *Fuzzy*

i. Modelo *Fuzzy*: Takagi-Sugeno (Figura 10)

Regra: Se  $x$  é  $A$  e  $y$  é  $B$  então  $z$  é  $f(x,y)$

$z$  é combinação linear das entradas

$z = px_1 + qx_2 + r$ , se  $p=q=0 \dots z=r$  (*Fuzzy singleton*)

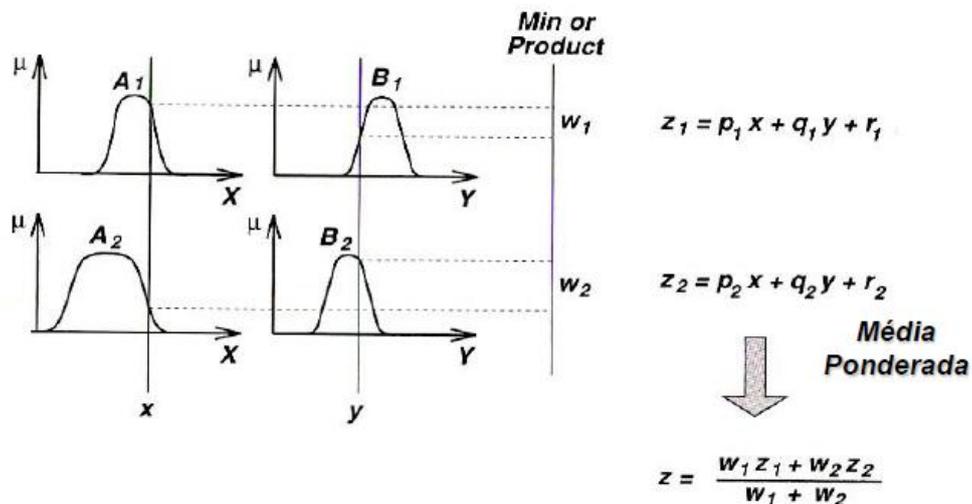


Figura 10 – Modelo *Fuzzy* Takagi-Sugeno

ii. Forma das Funções de Pertinência (FP): Triangular ou Sino (Figura 11)

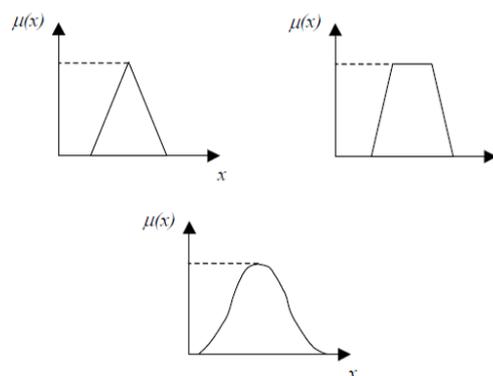


Figura 11 – Exemplos de membership function

iii. Particionamento do espaço E/S: *Fuzzy Grid* (Figura 12)

O particionamento do espaço de entrada indica a forma como as regras estão relacionadas com este espaço. O particionamento do espaço de saída está associado aos consequentes das regras.

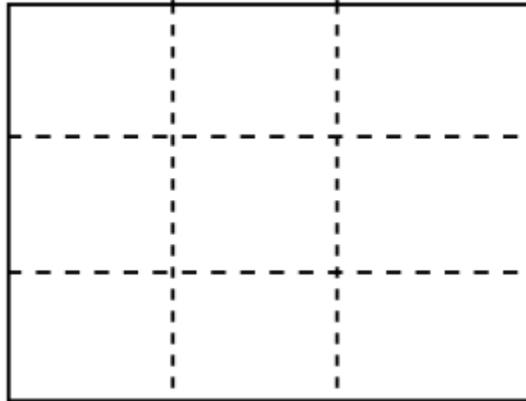


Figura 12 - Particionamento do espaço E/S: *Fuzzy Grid*

iv. Método de defuzzificação: Média ponderada

É a determinação do valor preciso da saída *Fuzzy*.

Quando apenas *Singletons* (*Takagi-sugeno*) são usados como consequentes das regras.

Combina o consequente das regras com o nível de disparo de cada uma delas, gerando a saída  $Z$ :

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (1)$$

Onde:

$n$  é o número de regras;

$Z_i$  valor da singleton  $i$ ;

$\mu_i$  é o nível de disparo da regra.

v. Apresentação dos padrões de treinamento: Aprendizado Off-line

A atualização dos parâmetros ocorre após a apresentação de todos os padrões de treinamento (época).

Esta estratégia exige que o conjunto de dados de treinamento seja conhecido previamente, antes da identificação da estrutura.

vi. Método de identificação de estrutura:

Identificação prévia com Método Auto-Organizados e Aprendizado Competitivo: O conhecimento prévio é implícito e proveniente de um conjunto de dados de treinamento.

- i. Um algoritmo de treinamento não-supervisionado ou qualquer outro método estatístico de clusterização é usado para determinar o centro das Funções de Pertinências.
- ii. Os parâmetro referentes à largura das FPs são determinados heurísticamente por algoritmos do tipo *K-nearest-neighbors* ou *first-nearest-neighbors*. (Método dos vizinhos mais próximos)
- iii. Depois da apresentação dos primeiros padrões criam-se algumas regras.
- iv. O antecedente da regra é criado tomando o conjunto *Fuzzy* com maior grau de pertinência.
- v. Havendo conflito entre as regras usa-se competição.

vii. Aprendizado dos parâmetros

São ajustes dos parâmetros do sistema, tais como: os pesos *Fuzzy*, que definem os perfis das FPs dos antecedentes e conseqüentes das regras, ou o peso da própria regra, definindo seu grau de importância.

- i. Sistemas apenas com identificação dos antecedentes: São usados nos SNF voltados para classificação. Neste caso, não há conseqüente das regras a serem ajustados. O perfil dos antecedentes das regras é ajustado por um algoritmo de retro-propagação de erro.
- ii. Sistemas com identificação dos antecedentes e conseqüentes: A maioria dos SNF apresentam peso das regras unitários, fixos, o que permite boa interpretação semântica das regras *Fuzzy* levantadas no aprendizado. Neste caso, o aprendizado dos antecedentes e conseqüentes
- iii. pode ser feito de maneira simultânea.

- iv. Sistemas com identificação dos antecedentes e conseqüentes e peso das regras: O aprendizado de todos os parâmetros é feito globalmente, através de algoritmo supervisionado (gradiente) que os ajusta em um mesmo passo.

Os parâmetros utilizados na fase de treinamento, conforme descritos por Gil (2010), são:

- i. O tamanho do passo, que associado à taxa de aprendizado  $\eta$ , poderá influenciar na velocidade de convergência do método. Se o valor do passo for pequeno, provavelmente a convergência será lenta, pois o gradiente deverá ser calculado muitas vezes. Por outro lado, se o valor do passo for grande, a convergência será inicialmente muito rápida, mas o algoritmo irá oscilar entre os valores ótimos.
- ii. A validação cruzada, da mesma forma que é utilizada durante o treinamento das RNAs, utiliza o controle sobre os dados para evitar, tanto o excesso do treinamento (memorização) como também sub treinamento (falta de aprendizado). Assim, procura-se atingir um dos principais objetivos, o da generalização das redes que será percebido na fase de execução, i.e, a utilização dos SNFs com os valores das funções de pertinência já ajustados pelo processo de treinamento.

Resumidamente, por Gil (2010), na fase direta fixam-se os antecedentes e identificam-se os conseqüentes pelo método dos mínimos quadrados, e na fase reversa, fixam-se os conseqüentes atualizando os parâmetros dos antecedentes pelo método do gradiente. A fase de treinamento dos SFN é representada no diagrama da Figura 13Figura 13, adaptado de Biondi Neto (2010)

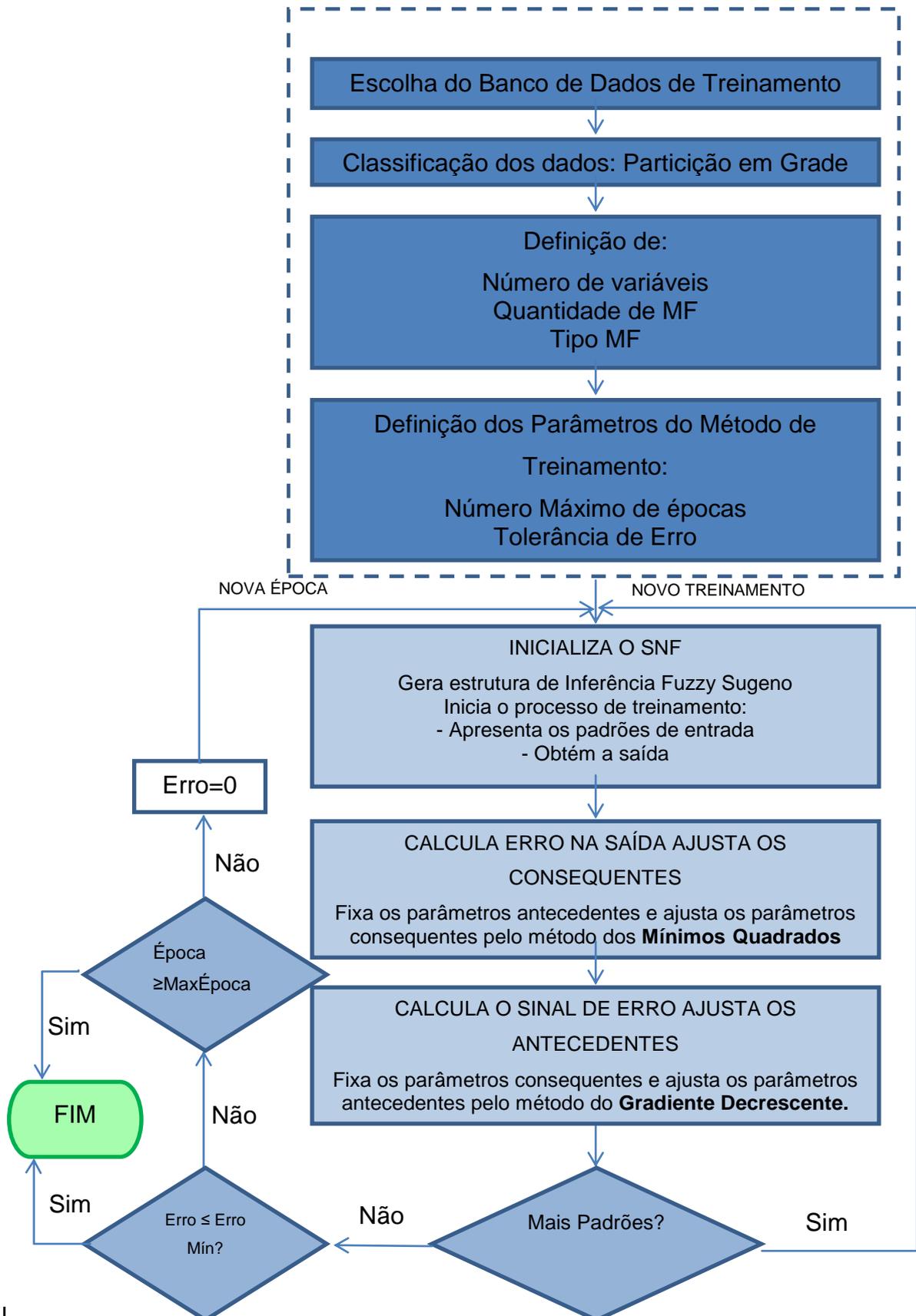


Figura 13 - Fase de treinamento dos SFN (adaptado de Biondi Neto, 2010)

Com o objetivo de ratificar os conceitos, a Figura 14 apresenta o esquema de um SNF, com 5 entradas associadas a 3 funções de pertinência, com as respectivas 243 regras *Fuzzy* e a sua saída, utilizando o particionamento em grade. A Função de pertinência escolhida foi a de sino.

O número de regras é definido pela Equação 2, nos casos em que se adota o mesmo número de funções de pertinência para todas as variáveis, como assumido neste trabalho:

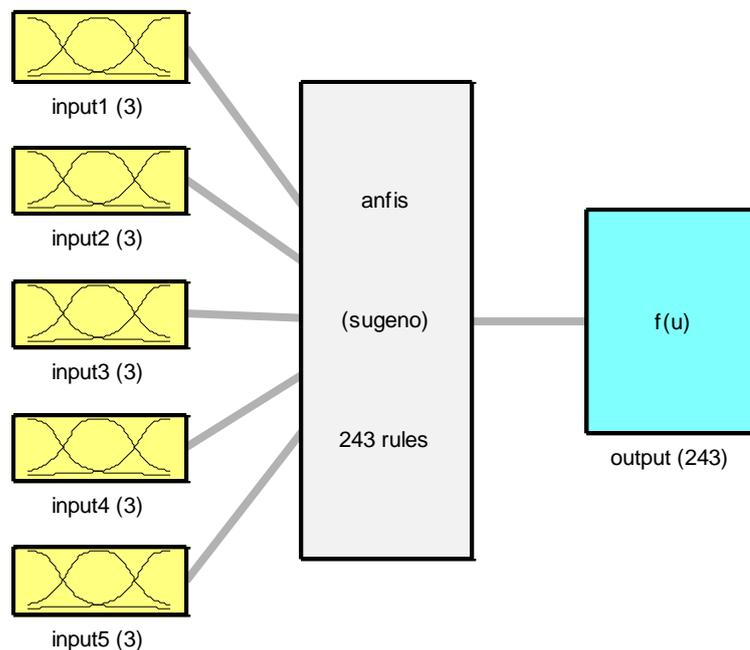
$$n = nMF^{Nv} \quad (2)$$

Onde:

$n$  = Número de regras

$nMF$  = Número de funções de pertinência

$Nv$  = Número de variáveis



System anfis: 5 inputs, 1 outputs, 243 rules

**Figura 14 - Representação esquemática de um SNF**

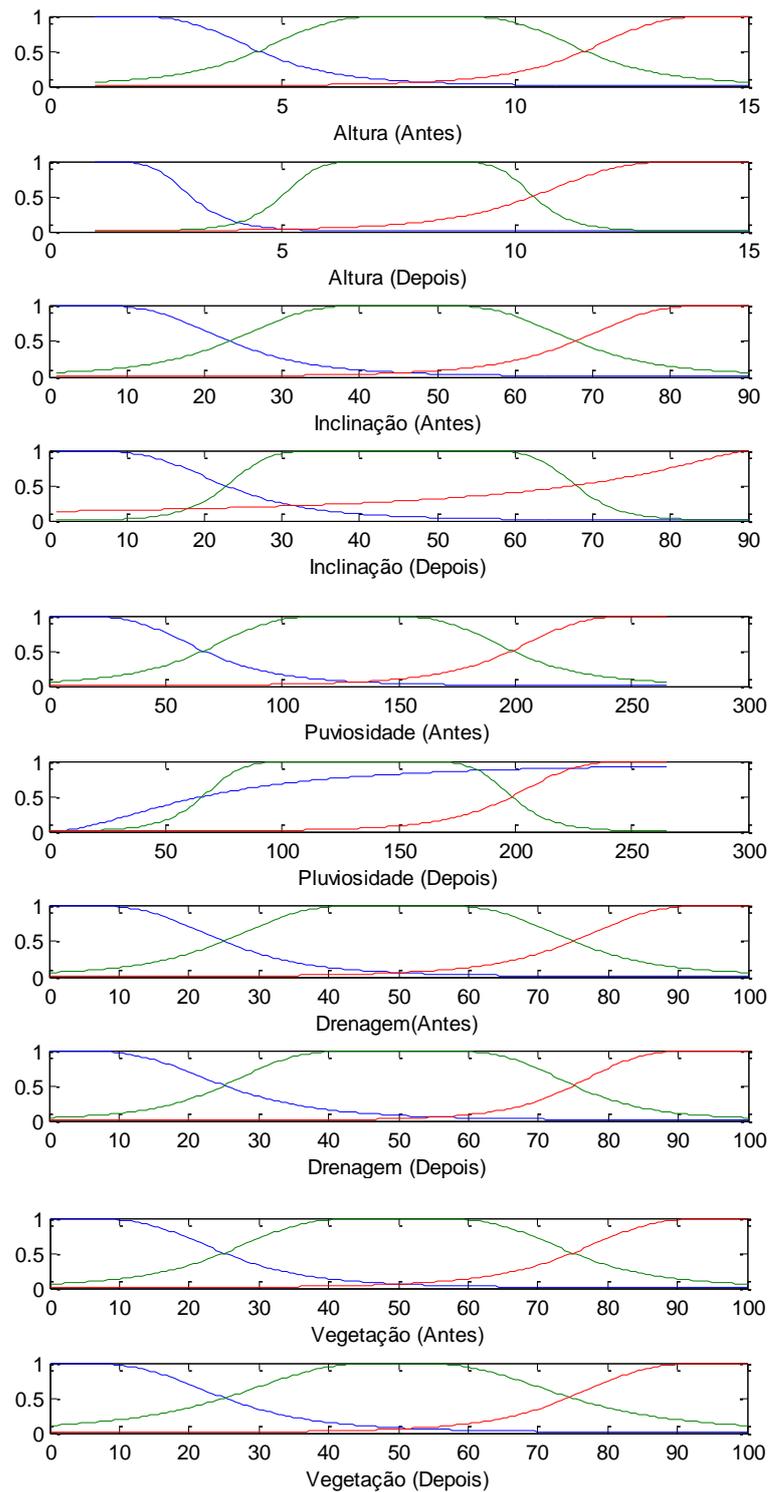
A Figura 15 representa graficamente as 3 funções de pertinência definidas pelo SNF a partir dos dados de entrada, para cada variável (no presente

trabalho sendo Altura, Inclinação, Pluviosidade, Drenagem e Vegetação) na fase inicial do treinamento caracterizada na figura como “Antes”. Para isso, é fixado o número de Funções de Pertinência (MF, *Membership Function*) associado a cada variável – no caso de 3 MF para cada uma das variáveis- os valores iniciais dos parâmetros antecedentes são definidos de modo que as funções sejam distribuídas igualmente ao longo do domínio de cada variável de entrada. Em razão de durante a fase de treinamento deste SNF os parâmetros destas MFs serem alterados, o resultado das Funções de Pertinência com a fase de treinamento concluída é caracterizado para cada variável por “Depois”. Na Figura 15 Figura 15 pode-se observar a importância de um treinamento, pois a tendência humana é criar a distribuição da classificação das variáveis de maneira uniforme e não da maneira obtida com a fase de treinamento concluída. Esse tipo de distribuição pode ser o reflexo do aprendizado e/ou a representação de um banco de dados incompleto.

O capítulo 2.2 descreve os limites definidos para cada variável apresentada na Figura 15.

Alguns problemas de modelos com técnicas como Neuro-Fuzzy são descritos abaixo:

- i. Necessidade de um banco de dados de treinamento com uma grande quantidade de dados que abranja as diversas combinações das regras, a fim de facilitar o processo de seleção dos dados para teste/validação.
- ii. A validação dos modelos deve ser realizada por uma seleção de conjunto de dados que tanto represente os dados de treinamento quanto seja distinto dos dados treinados para não tornar a validação trivial.



**Figura 15 – Representação gráfica das 5 MFs para cada uma das variáveis de entrada, antes e depois do treinamento.**

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Introdução

A elaboração de um Sistema *Neuro-Fuzzy* para previsão da suscetibilidade de escorregamento de taludes foi realizada por meio das seguintes etapas:

- i. Criação do banco de dados para treinamento;
- ii. Definição do algoritmo;
- iii. Treinamento;
- iv. Validação.

O modelo para cada combinação de variáveis foi testado para diferentes combinações dos parâmetros de um SNF:

- i. diferentes números de funções de pertinência (de 2 a 5) (nMF);
- ii. diferentes erros objetivos ( $\epsilon$ );
- iii. número máximo de épocas (E);
- iv. ajustes no banco de dados, com a exclusão de conjunto de dados que se mostravam inconsistentes com os demais, ou com a inclusão de novos conjuntos de informações para que o treinamento tivesse número de dados superior ao número de regras.

Neste capítulo, serão discutidos a formação do Banco de Dados, a ferramenta computacional utilizada para treinamento, e as análises realizadas.

### 2.2. Banco de Dados

Para a elaboração do Modelo *Neuro-Fuzzy* para previsão da suscetibilidade de escorregamento de taludes a partir de inspeção visual, foi elaborado um banco de dados com as informações constantes de um histórico de Laudos de Vistoria da Geo Rio.

Após diversos testes para ajustes dos parâmetros do programa (nMF,  $\epsilon$  e E) e refinamento do banco de dados, foi obtido um conjunto de informações de 280 Laudos de Vistoria da Geo Rio, e complementado com 39 conjuntos de dados da pesquisa de Silva (2008), obtendo um total de 319 conjuntos de informações para entrada do treinamento apresentado no Anexo 4 – Banco de dados Anexo 4 – Banco de dados.

Em razão do elevado número de regras a partir de 4 Funções de Pertinência para cada variável (sendo geradas 256 regras para 4 Funções de Pertinência (FP) para a combinação de 5 variáveis), a memória do computador utilizado para treinar o SNF não foi capaz de processar o treinamento. Por isso, não foi possível obter treinamento para um número de regras superior a 243, ou seja, 5 variáveis com 3 funções de pertinência. Em razão da utilização de 2 funções de pertinência não representar adequadamente a distribuição de classificação das variáveis, optou-se por utilizar o mínimo de 3 funções de pertinência e, por consequência da restrição técnica, o máximo de 5 variáveis por treinamento.

Algumas das informações constantes dos Laudos de Vistoria não foram incluídas no banco de dados de treinamento, por serem consideradas irrelevantes para treinamento ou por serem descritas em poucos laudos, conforme descrito em seguida, no item 2.2.1 (Laudos da Geo Rio).

Para as variáveis descritas nos laudos e obtidas de forma qualitativas, foram atribuídos valores para cada descrição qualitativa para viabilizar sua utilização no treinamento, seguindo as premissas descritas no item 2.2.4 (Banco de dados resultante).

#### 2.2.1. Laudos da Geo Rio

A Tabela 6 reproduz o modelo de Laudo de Vistoria da Geo Rio com as informações iniciais. As informações constantes dos laudos foram utilizadas da maneira descrita a seguir, exemplificadas com as informações do Laudo 545 do ano de 2011, apresentado no Anexo 5.

- i. Número do Laudo e Ano, compilados para identificação das informações;

A identificação do Laudo de Vistoria da Geo Rio 545 de 2001 no banco de dados passou a ser 2001545.

- ii. Localização para obter Latitude e Longitude, as quais foram utilizadas para definir:
  - a. A estação pluviométrica mais próxima, que define a pluviosidade, determinada conforme procedimento descrito no item 2.2.4.5;
  - b. O laudo mais próximo, com o objetivo de complementar as informações, para o método de complementação descrito no item 2.2.3.1;

c. As informações dos Mapas do Rio de Janeiro (Silva, 2001).

Com o endereço apresentado no laudo 545 de 2001 (Anexo 5), foi possível obter as Latitudes e Longitudes que definiram a estação pluviométrica da Penha como a mais próxima do evento. A partir do histórico de dados da estação Pluviométrica da Penha, foram obtidas as pluviosidades utilizadas no treinamento.

A partir das latitudes e longitudes, também foram definidos o local do evento mais próximo e as informações dos Mapas do Rio de Janeiro.

iii. Datas: utilizadas para definir a pluviosidade do local, tanto a máxima diária quanto as acumuladas em 24 h, 48 h, 72 h e 96 h, por meio do histórico pluviométrico da estação mais próxima do local objeto da vistoria;

iv. Aspectos regionais:

a. Ocupação: as informações relativas ao tipo e densidade de ocupação foram compiladas de forma qualitativa. Posteriormente, foram atribuídos valores a cada tipo de informação qualitativa, com auxílio de especialista, conforme descrito no item 2.4 (Banco de Dados);

O Laudo 545 de 2001 (Anexo 5) decreve o Tipo de Ocupação “Favela” com Alta Densidade. Com o Tipo e Densidade da Ocupação qualitativo foi atribuído o valor para a variável “Ocupação”, conforme descrito no item 2.2.4.7.

b. Vegetação: foram compiladas as informações de tipo e densidade, para obter uma classificação qualitativa. Para utilização da variável no treinamento, foram atribuídos valores a cada tipo de descrição qualitativa. A metodologia utilizada para atribuição de valores é descrita no item 2.4 (Banco de dados);

O Laudo 545 de 2001 (Anexo 5) decreve o Tipo de Vegetação “Rasteira Arbustiva” com Densidade Média. Com o Tipo e Densidade da vegetação qualitativo foi atribuído o valor para a variável “Vegetação”, conforme descrito no item 2.2.4.8.

c. Relevo: Informação utilizada indiretamente, por meio da relação do Relevo e a inclinação, conforme descrito no item 2.2.4.3 , para complementar a informação de inclinação ausente nos Laudos.

O Laudo 545 de 2001 (Anexo 5) decreve o Tipo de Relevo “Ondulado”, que de acordo com a relação descrita no item 2.2.4.3 corresponde a inclinação de 14°.

v. Características Locais:

- a. Tipo de Talude, Material, e Espessura: estas informações não foram utilizadas no treinamento por constarem de poucos Laudos de Vistoria, e pela dificuldade de estimativa de valores, mesmo pelos métodos de complementação do banco de dados utilizados neste trabalho, descritos no item 2.2.3.
- b. Drenagem: as informações qualitativas Tipo e Condições foram compiladas e atribuídos valores baseados no trabalho de Silva (2008), conforme descrito no item 2.2.4.6.

O Laudo 545 de 2001 decreve o Tipo de Drenagem “Natural” com condição do sistema de Drenagem Insuficiente.

- c. Água Subterrânea: Em razão de poucos laudos apresentarem informações quanto à água subterrânea, esta variável não foi utilizada.
- d. Risco: o Tipo e o Grau do Risco foram utilizados para auxiliar na distribuição das faixas de valores de Previsão de Escorregamento (PE) atribuídos a cada tipo de Situação (Característica da Ocorrência).

O Laudo 545 de 2001 decreve o risco com Tipo “Instalado” com Alto Grau.

vi. Características da Ocorrência

- a. Situação: A cada tipo de Situação foi atribuída a classificação qualitativa de suscetibilidade (Alta, média e baixa). Conforme dito anteriormente, em conjunto com as informações de Risco (Tipo e Grau), buscou-se distribuir uma faixa de valores para cada classificação qualitativa de suscetibilidade para obter a variável de saída Previsão de Escorregamento (PE) O item 2.2.4.1 apresenta o processo adotado para definir a classificação quantitativa da variável de saída, suscetibilidade, com a combinação das classificações quantitativas das informações Situação e Risco.

O Laudo 545 de 2001 decreve a situação Ocorrido, o que corresponde a uma Suscetibilidade Alta, conforme definido no item 2.2.4.1.

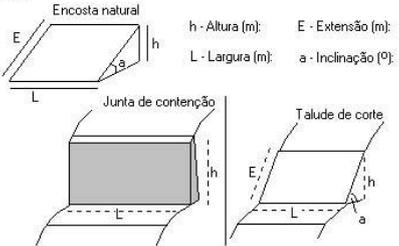
b. Volume de material mobilizado, tipos de movimentos e consequências: poucos laudos apresentaram estas informações. Portanto, as mesmas não foram utilizadas, tendo em vista a dificuldade em estimar seus valores, mesmo pelos método de complementação do banco de dados, em razão da complexidade estrutural do município do Rio de Janeiro. Além disso, entende-se que estes dados são mais relevantes na definição dos riscos de um escorregamento.

c. Descrição: Neste item, foram obtidas as informações referentes à altura e à inclinação dos taludes.

Conforme apresentado no Anexo 5, o Laudo 545 de 2001 não apresenta a informação de altura e inclinação no item “Descrição da Ocorrência” do Laudo de Vistoria. Nesse caso, foram utilizados os métodos de complementação descritos no item 2.2.3, para completar as variáveis de entrada desse conjunto de dados do Laudo 545 de 2001

vii. Providências: Informações não utilizadas, pois não influencia na obtenção da suscetibilidade.

Tabela 6 – Exemplo de Laudo de Vistoria da Geo Rio

LAUDO DE VISTORIA GEO RIO No.:		NÚMERO/ANO
<b>1 - LOCALIZAÇÃO Logradouro:</b> Categoria: _____ Complemento: _____ Bairro: _____ Estado: _____ <b>2 - DATA DO PEDIDO DIA/MÊS/ANO</b>		Número: R.A.: ____ AP: ____  Cidade: _____
<b>3 - DATA DA VISTORIA</b>	DIA/MÊS/ANO	
<b>4 - ORIGEM DO PEDIDO</b>	_____	
<b>5 - SOLICITANTE</b> Nome: _____ Telefone: _____		
<b>6 - ASPECTOS REGIONAIS</b>		
6.1 - Tipo de Ocupação _____ Densidade: _____		
6.2 - Tipo de Vegetação _____ Densidade: _____		
6.3 - Tipo de Relevo: _____		
<b>7 - CARACTERÍSTICAS LOCAIS</b>		
7.1 - Tipo de Talude _____ Natureza do Material		
7.2 - Espessura média aproximada do perfil do solo (m):		
7.3 - Tipo de Drenagem: _____		
7.3.1 - Condição do Sistema de Drenagem: _____		
7.4 - Condições de Água Subterrânea		
7.5 - Risco Tipo: Instalado * Grau: Medio		
* - Possibilidade de ocorrência de movimento de massa com atingimento de moradias ou bens públicos.		
<b>8 - CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA</b>		
8.1 - Situação: _____		
8.2 - Data: DIA/MÊS/ANO Hora Aproximada:		
8.3 - Volume aproximado do material mobilizado (m <sup>3</sup> ): _____ m <sup>3</sup>		
8.4 - Tipo(s) de Movimento(s)		
8.4.1 - Superfície de Deslizamento		
8.4.2 - Classificação		
8.5 - Conseqüências <b>Número de Vítimas Fatais:</b>		
8.6 - Descrição da Ocorrência (explicitar causas prováveis e conseqüências)		
Obs.: Em caso de elaboração de croquis ou descrições ver figura na última página. **		
<b>9 - PROVIDÊNCIAS</b>		
<b>10 - OBSERVAÇÕES GERAIS</b>		
<b>11 - RESPONSÁVEL PELA VISTORIA:</b> _____		
<b>13 - ANEXOS</b>		
<b>CD Associado:</b>		
<small>Obs: Em caso de elaboração de croquis ou descrições, utilizar os parâmetros abaixo ilustrados para definir a geometria do talude ou obra de contenção existente.</small>		
		

### 2.2.2. Informações complementares

Buscou-se complementar as informações descritas no item 2.2.1 Laudos da Geo Rio com informações dos Mapas do Rio de Janeiro (SILVA, 2001):

- i. Geológicos;
- ii. De solos;
- iii. Geomorfológicos;
- iv. Geoambiental.

O principal objetivo da inclusão das informações dos Mapas seria obter dados que pudessem, de forma direta ou indireta, fornecer parâmetros de resistência. Porém, essas informações não foram utilizadas na análise em razão da imprecisão observada nos mapas (em razão da qualidade utilizada de sua digitalização para inserir no programa AutoCad) e da dificuldade em encontrar uma correlação entre os parâmetros de resistência e as informações obtidas nos mapas.

Os itens subseqüentes apresentam o procedimento para obtenção das informações dos mapas, com o objetivo de orientar trabalhos futuros que busquem definir com maior precisão as informações fornecidas e, conseqüentemente, encontrar a relação com os parâmetros de resistência.

#### 2.2.2.1. Latitude e Longitude

As Latitudes e Longitudes foram obtidas pelo seguinte procedimento:

- i. O endereço descrito em um Laudo de Vistoria era informado no Googlemaps, com o Labs Marcador do LatLng ativado, obtendo assim as informações de Latitude e Longitude do endereço em questão.
  - a. As latitudes e longitudes obtidas pelo Googlemaps apresentam datum WGS-84.
- ii. Em razão do datum das coordenadas utilizadas nos Mapas consultados (Silva, 2001) apresentarem Datum SAD-69, as latitudes e longitudes obtidas no Googlemaps foram convertidas para UTM e geográficas com datum SAD-69 para possibilitar as consultas aos mapas:
  - a. A conversão foi feita em um conversor disponibilizado na internet.

Os valores das Latitudes e Longitudes foram utilizados para definir:

- b. A estação pluviométrica mais próxima, que define a pluviosidade;

- c. O laudo mais próximo, com o objetivo de complementar as informações;
- d. As informações dos Mapas do Rio de Janeiro (Silva, 2001).

#### 2.2.2.2. Mapas

Foram utilizados os mapas geológicos do Estado do Rio de Janeiro, constantes da publicação de Silva (2001). Os Mapas foram incluídos em arquivos de AutoCad, onde buscou-se obter seus Georreferenciamentos com suas coordenadas relativas, considerando as Latitudes e Longitudes.

Utilizando as Latitudes e Longitudes, cada laudo teve suas características obtidas no que se refere a informações Geológicas, de Solos, de Geomorfologias, e Geoambientais. As descrições de cada tipo de informação pode ser consultada no Anexo 3.

Conforme mencionado anteriormente, o principal objetivo da inclusão das informações dos Mapas seria obter dados que pudessem, de forma direta ou indireta, fornecer parâmetros de resistência. Porém, essas informações não foram utilizadas na análise em razão da imprecisão observada nos mapas (em razão da qualidade utilizada de sua digitalização para inserir no programa AutoCad) e da dificuldade em encontrar uma correlação entre os parâmetros de resistência e as informações obtidas.

#### 2.2.3. Métodos de Complementação

Como alguns laudos apresentam ausência das informações descritas no item 2.2.1, e tendo em vista a necessidade de obter um banco de dados com um número de conjunto de variáveis completo para treinamento do SNF, foram definidos dois tipos de procedimentos para complementação do conjunto de informações dos Laudos utilizados para o treinamento. Os valores ausentes foram substituídos pelo valor do atributo correspondente do objeto completo mais similar no conjunto de dados, levando-se em consideração: i. Distância métrica; ou ii. Associação dos dados. Para ampliar o bando de dados para treinamento, ainda foram considerados 39 conjuntos de dados utilizados para análise paramétrica de Silva (2008), conforme será descrito posteriormente. A seguir, são descritos os procedimentos de complementação por Distância métrica ou Associação dos Dados.

### 2.2.3.1. Distância

- i. Este método consiste em obter as informações inexistentes em um Laudo de Vistoria, no Laudo mais próximo, considerando as distâncias medidas através das Latitudes e Longitudes:

$$L_{ij} = \sqrt{|Lat_i - Lat_j|^2 + |Long_i - Long_j|^2} \quad (3)$$

Onde,

$L_{ij}$  é a distância entre endereços descritos no Laudo i e no Laudo j;

$Lat_i$  e  $Lat_j$  são as latitudes dos Laudos i e j, respectivamente;

$Long_i$  e  $Long_j$  são as Longitudes dos Laudos i e j, respectivamente;

Neste método, os Laudos considerados mais próximos (menor  $L_{ij}$ ) fornecem o valor da variável utilizado para complementar o Laudo que não apresentava a informação.

- ii. Com esse método, foi possível complementar o banco de dados, porém os resultados do treinamento do SNF se mostraram pouco satisfatórios, quando comparados aos erros fornecidos pelo programa para o banco de dados complementado pelo outro método de complementação utilizados neste trabalho, descrito a seguir. Como descrito no Manual da Geo Rio (GEO RIO, 1998), o contexto geológico das encostas do Rio de Janeiro apresenta grande complexidade estrutural e de difícil relacionamento estratigráfico, o que provavelmente contribuiu para os resultados não satisfatórios utilizando esse método, o que indica que apesar da menor distância entre os locais, a relação entre os condicionantes e suscetibilidade de escorregamento podem ser divergentes.

### 2.2.3.2. Associação de dados

O Método da distância forneceu dados aparentemente inconsistentes, muito provavelmente por causa da complexidade estrutural, pois considera que um dado ausente pode ser complementado com o dado equivalente da ocorrência mais próxima, o que não necessariamente representa a realidade. Por isso, optou-se por avaliar outro método de complementação do banco de dados: Associação de dados nos testes iniciais com 3 variáveis (Altura, Inclinação e Pluviosidade) definidas como os principais fatores de instabilidade de taludes..

O método da Associação dos dados consiste em:

- a. Somar a diferença entre os valores de cada variável (que não esteja vazia) para a combinação de todos os laudos;

$$\Delta_{ij} = \sum_{z=1}^n |\text{Var}_{z_i} - \text{Var}_{z_j}| \quad (4)$$

Onde:

$\Delta_{ij}$  é o somatório da diferença entre os valores de cada variável (diferente de zero) dos Laudos i e j.

$\text{Var}_{z_i}$  é a variável z do Laudo i

$\text{Var}_{z_j}$  é a variável z do Laudo j

- b. O Laudo com o menor somatório das diferenças ( $\Delta$ ) tem o valor da variável utilizado para complementar o Laudo do qual não consta a informação.

A Tabela 7, apenas para efeito de comparação entre os dois métodos de complementação (Distância e Associação de Dados), apresenta os erros percentuais de treinamentos realizados com as 3 variáveis (Altura, Inclinação e Pluviosidade máxima diária), para os dois métodos de complementação. Pode-se observar que o método da associação de dados forneceu um ajuste mais adequado, com diferenças inferiores.

**Tabela 7 – Comparação entre as validações dos treinamentos com os dois métodos de complemento: Distância e Associação dos dados**

Diferença percentual	Método da distância	Método da associação de dados
Média de dados utilizado em treinamento	14%	0,16%

#### *Dados de referências bibliográficas*

A partir da análise de trabalhos da literatura, foi possível complementar o banco de dados do presente trabalho com 39 conjuntos de dados, apresentados por Silva (2008). O autor elaborou um modelo Fuzzy para a definição do potencial de ruptura de taludes a partir do banco de dados da Geo Rio.

#### 2.2.4. Banco de dados resultante

O Banco de dados resultante para o treinamento do SNF é constituído dos seguintes parâmetros de entrada (Anexo 4):

- i. Altura;
- ii. Inclinação;
- iii. Pluviosidade;
- iv. Drenagem;
- v. Ocupação;
- vi. Vegetação

Nos próximos itens, a variável de saída e os condicionantes de escorregamento utilizados para o treinamento do SNF serão descritos de forma individual.

##### 2.2.4.1. Suscetibilidade

O objetivo do presente trabalho é estabelecer a suscetibilidade de ocorrência do escorregamento a partir da variável de saída Previsão de Escorregamento (PE), a partir de análise preliminar de inspeção visual com a indicação de condicionantes de escorregamentos.

Para cada tipo de Situação (Característica da Ocorrência do Laudo de Vistoria da GeoRio) foi atribuída uma classificação qualitativa de suscetibilidade, conforme o a classificação do Mapa de Suscetibilidade a Escorregamento do Rio de Janeiro, Tabela 8.

**Tabela 8– Classificação da Suscetibilidade**

Situação	Suscetibilidade
Ocorrida	Alta
Com possibilidade de ocorrência	Média
Sem Possibilidade de Ocorrência	Baixa

Para utilizar a variável de saída em um Sistema Neuro-Fuzzy, faz-se necessário definir intervalos de valores para cada classificação qualitativa da suscetibilidade.

Neste trabalho, a variável de saída do Sistema Neuro-Fuzzy proposta é a Previsão de Escorregamento, para a qual foi adotada a escala utilizada por Silva (2008) para a variável PRE (Previsão do Risco de Escorregamento): de 0 (zero) a 100 (cem). Onde se convencionou que quanto menor o valor desta variável, menor será a suscetibilidade de escorregamentos de encostas.

Para cada classificação qualitativa da PE foi adotado um range de valores da PRE (Silva, 2008), conforme apresentado na Tabela 9Tabela 9.

**Tabela 9 – Suscetibilidade utilizada no treinamento**

PRE Silva (2008)		PE	
Alto	75 – 100	Alta	75 – 100
Médio	62,5 – 87,5	Média	45 – 87,5
Baixo	45 - 75		
Inexistente	0 – 50	Baixa	0 – 50

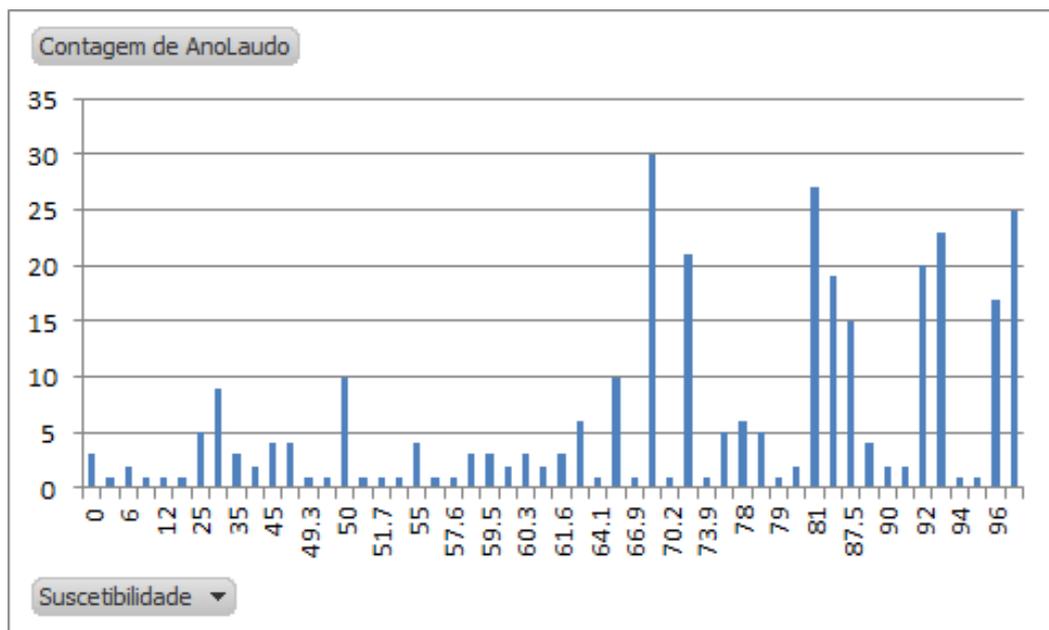
A informação de Risco (Tipo e Grau), por não ter nenhum condicionante que avalie as consequências de um evento, foi utilizada somente como parâmetro de distribuição dos valores para cada suscetibilidade (Alta, Média ou Baixa), conforme a situação do evento. Para definir essa relação, foram considerados os seguintes conceitos de Risco (Rosa Filho e Cortez, 2005):

- i. O risco atual corresponde ao risco instalado em áreas ocupadas e aponta os locais que devem receber prioritariamente as medidas estruturais e não-estruturais voltadas à redução desses riscos.

- ii. O risco potencial caracteriza os terrenos quanto à suscetibilidade para geração de novas situações de risco em áreas ainda não intensamente ocupadas, fornecendo subsídios para a expansão e o adensamento das diferentes formas de uso do solo.

Desta maneira, a situação (Ocorrido, com possibilidade de ocorrência ou sem possibilidade de ocorrência) recebeu o valor mais alto, dentro do intervalo de valores para cada classificação de PE, para o Risco Instalado Alto e menor valor para Risco Inexistente. Na ausência da informação “Risco”, adotou-se o valor médio do intervalo de valores para cada classificação de PE.

A resultante da distribuição dos valores para cada descrição obtida com a compilação de Risco e Situação da ocorrência com a Suscetibilidade utilizada no treinamento do SNF é observada na Tabela 10. A Figura 16 apresenta a distribuição de número de laudos para cada valor de PE.



**Figura 16 – Número de Laudos para cada valor de PE**

Tabela 10 – Suscetibilidade utilizada no treinamento

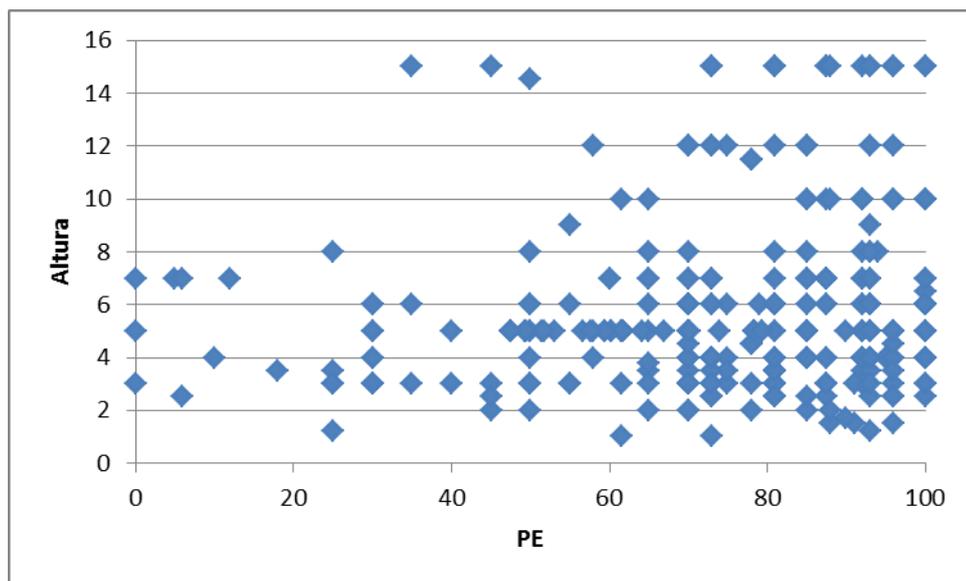
Suscetibilidade	Situação	Intervalo de PE	Risco		PE			
			Tipo	Grau				
Alta	Ocorrido	75 – 100	Instalado	Alto	100			
				Médio	92			
				Baixo	88			
					95			
			Potencial	Alto	85			
				Médio	80			
					78			
				Médio	85			
				Baixo	80			
			Inexistente		75			
Média	Com possibilidade de Ocorrência	45 – 87,5	Instalado	Alto	87,5			
				Médio	70			
				Baixo	65			
					75			
			Potencial		65			
				Alto	55			
				Médio	60			
			Baixo	45				
			Baixa	Sem possibilidade de Ocorrência	0 – 50	Instalado	Alto	50
								40
Médio	30							
Baixo	25							
Potencial	Alto	20						
	Médio	12						
	Baixo	5						
	Alto	20						
	Médio	18						
		35						
Inexistente		0						

#### 2.2.4.2. Altura

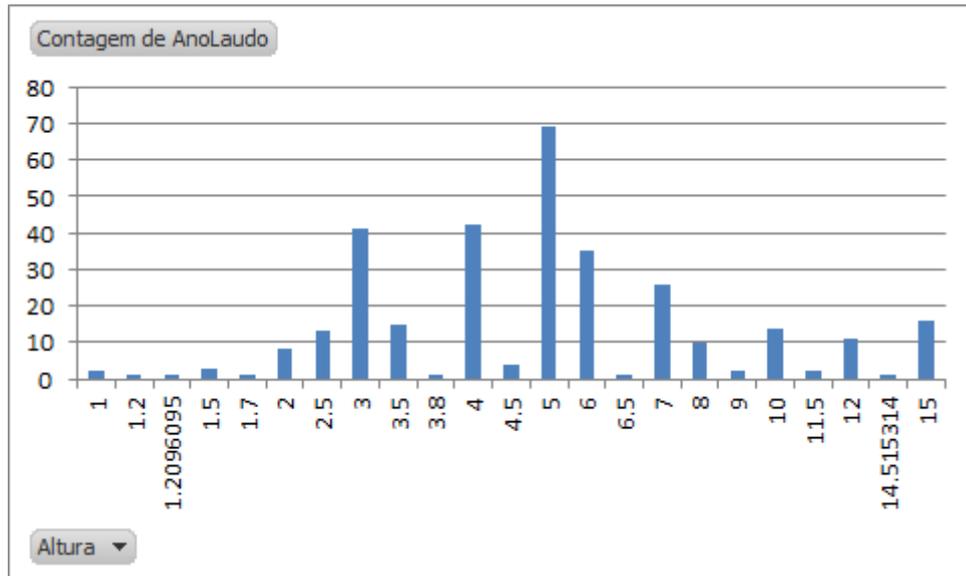
Thomas (1979), apud Silva (2008), destaca que quanto mais elevado o valor da amplitude, maior a energia cinética aplicada às vertentes e, conseqüentemente, maior é a capacidade de deslocamento de material, principalmente se associada a elevadas declividades.

Na Figura 17 pode-se observar a relação entre Altura e PE utilizada no treinamento do SNF. Nota-se que não é possível observar uma regra para a relação de Altura com suscetibilidade, o que indica que o fator Altura isoladamente não é suficiente para indicar a suscetibilidade de escorregamento.

A Figura 18 apresenta o número de laudos para cada valor de Altura utilizado no treinamento, em que pode ser observada a pouca distribuição dos dados, o que dificulta o treinamento.



**Figura 17 – PE x Altura**



**Figura 18 – Número de Laudos para cada valor de Altura(m)**

#### 2.2.4.3. Inclinação

A inclinação dos taludes, em graus ( $^{\circ}$ ), foi obtida por três maneiras:

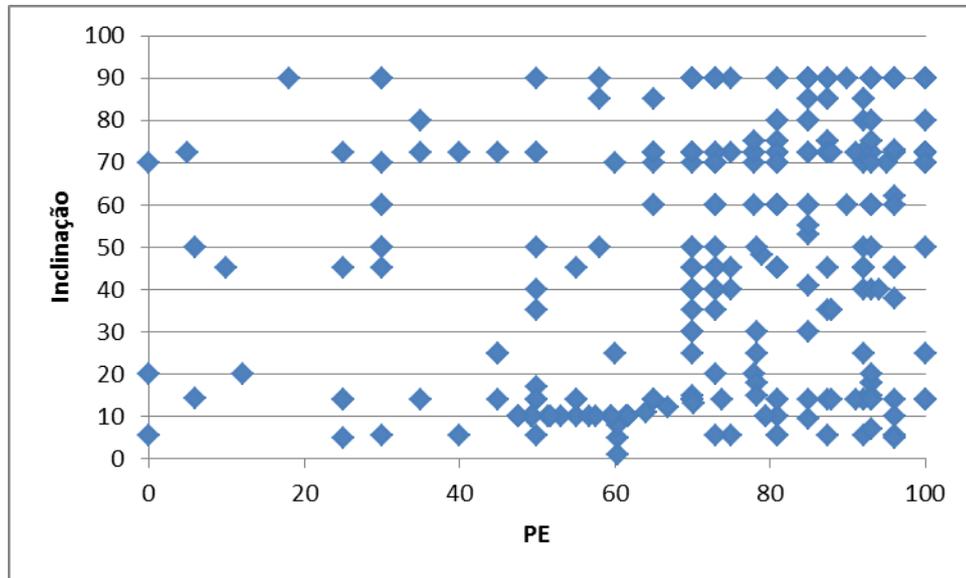
- i. Diretamente dos Laudos de Vistoria, no item “descrição da ocorrência”;
- ii. Nos Laudos que não definiam a inclinação do talude do evento, a informação era obtida utilizando-se a informação do “Tipo de Relevo” do item “Aspectos Regionais” dos Laudos. Com a informação tipo de relevo, então estima-se a inclinação do talude a partir da Tabela 11Tabela 11. Essa tabela é o resultado da média dos intervalos de inclinação atribuídos a cada tipo de relevo apresentados na Tabela 4Tabela 4;
- iii. na ausência de informações nos Laudos, tanto de inclinação quanto de relevo, a inclinação foi estimada a partir do método de complementação de associação de dados descrito no item 2.2.3..

**Tabela 11 – Correlação de relevo e inclinação**

Tipo de Relevo	Inclinação ( $^{\circ}$ )
Escarpado	72,5
Montanhoso	72,5
Ondulado	14,0
Suave	5,5

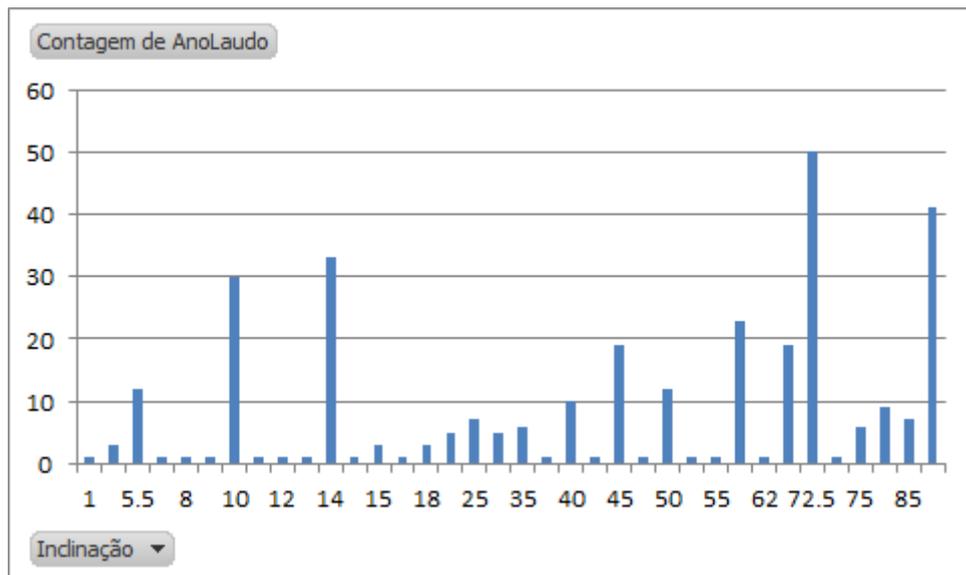
Na Figura 19Figura 19 pode-se observar a relação entre Inclinação e Suscetibilidade utilizada no treinamento do SNF, com a falta de uma regra clara para

a relação de Inclinação com suscetibilidade. Tal constatação indica que o fator inclinação isoladamente não é suficiente para indicar a suscetibilidade de escorregamento.



**Figura 19 – Suscetibilidade x Inclinação**

A Figura 20 apresenta o número de laudos para cada valor de Inclinação utilizado no treinamento, em que pode ser observada a concentração de laudos em alguns valores, o que dificulta o treinamento.



**Figura 20 – Número de Laudos para cada valor de Inclinação (°)**

#### 2.2.4.4. Pluviosidade

De acordo com Silva (2008), a correlação entre a pluviosidade e o escorregamento deve levar em consideração as propriedades hidráulicas do solo. Por isso, um escorregamento depende tanto dos índices pluviométricos referentes às poucas horas que o antecedeu quanto de dias anteriores.

A respeito de valores limite propostos, Feijó et al. (2001), apud Pinto (2002) encontraram, como médias gerais de precipitação relacionadas a movimentos de massa no Município do Rio de Janeiro, para os estudos realizados, os valores de 26,1 mm/h, 67,7 mm/24h e 99,6 mm/96h.

Para o treinamento do SNF, a Pluviosidade foi obtida seguindo o procedimento:

- i. Definida a Estação pluviométrica mais próxima do local da ocorrência. Para isso, foram utilizados os pontos (Latitudes e Longitudes) de cada Laudo e calculada a distância para os pontos de cada Estação pluviométrica, apresentados na Tabela 12 e na Figura 21 Figura 21.
- ii. Com a data da ocorrência (na ausência desta data, foram utilizadas as datas do pedido e datas da vistoria), são obtidos os índices medidos na estação pluviométrica mais próxima do local do evento: Máxima da data; acumulada em 24 h, 48 h, 72 h e 96 h.
- iii. Para os dados utilizados no treinamento do SNF, constantes do trabalho Silva (2008), são apresentados apenas os índices máximos (mm/d). As informações de localização e datas não foram apresentadas na análise paramétrica de Silva (2008). Por isso, para que o treinamento do SNF utilizasse o mesmo número de dados tanto para pluviosidade máxima (mm/d) quanto para as acumuladas (mm/24 h, 48 h, 72 h e 96 h), foi elaborada a correlação entre as máximas diárias e as acumuladas correspondentes às informações dos Laudos de Vistoria utilizados, conforme apresentado na Tabela 13 Tabela 13. Essa correlação consiste em obter as médias das pluviosidades acumuladas de cada período de acúmulo para cada intervalo de máximas diárias apresentados na coluna mm/h da Tabela 13 Tabela 13.

**Tabela 12 – Coordenadas Geográficas da Rede de Telepluviômetros Geo Rio**  
[http://www2.rio.rj.gov.br/Geo Rio/site/alerta/estacao\\_local.htm](http://www2.rio.rj.gov.br/Geo Rio/site/alerta/estacao_local.htm)

Nº	Nome	Long. (W)	Lat. (S)	UTM (E)	UTM (N)	Cota (m)
1	Vidigal	43° 13' 58.0"	22° 59' 31.9"	681,10	7456,22	85
2	Urca	43° 10' 00.4"	22° 57' 21.1"	687,88	7460,30	90
3	Rocinha	43° 14' 42.0"	22° 59' 09.7"	679,93	7456,95	160
4	Tijuca	43° 13' 18.5"	22° 55' 55.0"	682,33	7462,90	340
5	Santa Teresa	43° 11' 47.0"	22° 55' 54.2"	684,94	7462,91	170
6	Copacabana	43° 11' 22.0"	22° 59' 10.8"	685,65	7456,86	90
7	Grajaú	43° 16' 03.4"	22° 55' 19.6"	677,62	7463,77	80
8	Ilha do Governador	43° 12' 37.5"	22° 49' 04.9"	683,87	7475,52	0
9	Penha	43° 16' 31.3"	22° 50' 40.0"	677,03	7472,69	111
10	Madureira	43° 20' 20.5"	22° 52' 23.8"	670,38	7469,60	45
11	Irajá	43° 20' 13.5"	22° 49' 36.6"	670,74	7474,68	20
12	Bangu	43° 27' 57.3"	22° 52' 49.2"	657,40	7468,22	15
13	Piedade	43° 18' 26.4"	22° 53' 35.0"	673,49	7467,47	72
14	Jacarepaguá/Tanque	43° 21' 53.1"	22° 54' 44.7"	667,53	7565,45	73
15	Saúde	43° 11' 40.3"	22° 53' 52.6"	685,21	7466,69	35
16	Jardim Botânico	43° 13' 26.4"	22° 58' 21.7"	682,09	7458,38	0
17	Barra/Itanhangá	43° 18' 07.9"	22° 59' 54.0"	674,20	7455,42	80
18	Jacarepaguá/Cidade de Deus	43° 21' 46.0"	22° 56' 44.3"	667,91	7461,59	15
19	Barra/Riocentro	43° 24' 37.3"	22° 58' 48.8"	662,79	7458,31	0
20	Guaratiba	43° 35' 41.2"	22° 03' 01.3"	645,70	7449,95	0
21	Gericinó	43° 34' 59.7"	22° 52' 04.3"	645,31	7470,54	0
22	Santa Cruz	43° 41' 04.4"	22° 54' 36.7"	634,80	7466,08	15
23	Grande Méier	43° 16' 40.7"	22° 53' 26.2"	676,64	7467,59	25
24	Anchieta	43° 24' 13.0"	22° 49' 38.2"	663,89	7474,74	50
25	Grota Funda	43° 31' 10.6"	23° 00' 51.6"	651,76	7454,06	10
26	Campo Grande	43° 33' 42.7"	22° 54' 12.6"	647,49	7466,43	30
27	Sepetiba	43° 42' 41.8"	22° 58' 07.4"	632,60	7459,35	62
28	Sumaré	43° 14' 13.8"	22° 57' 05.5"	681,42	7460,87	768
29	Av. Brasil/Mendanha	43° 32' 28.3"	22° 51' 25.5"	651,58	7475,21	736
30	Recreio dos Bandeirantes	43° 25' 14.4"	23° 00' 32.7"	661,43	7454,57	65
31	Laranjeiras	43° 11' 15.4"	22° 56' 25.9"	685,92	7462,18	60
32	São Cristóvão	43° 13' 18.3"	22° 53' 48.0"	682,39	7466,81	25

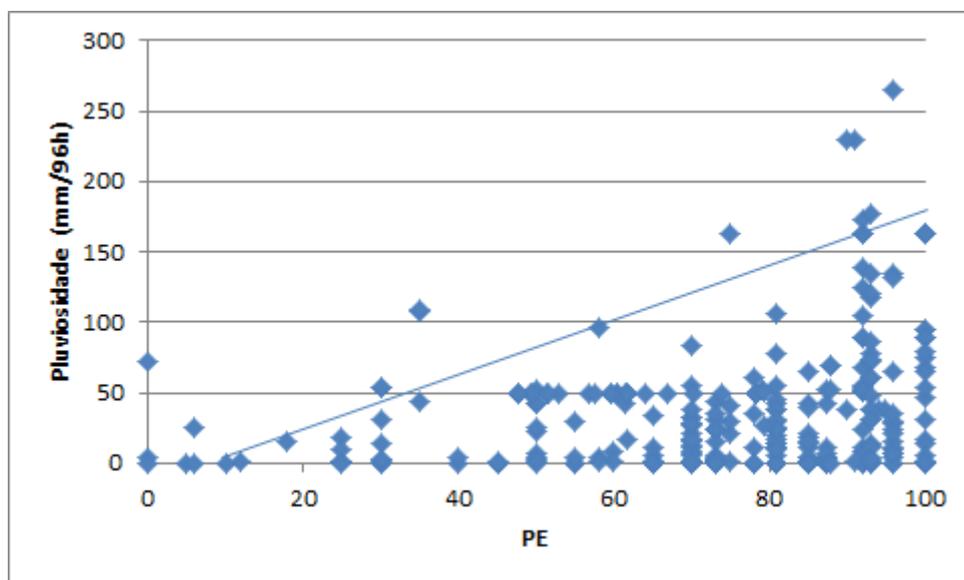


**Figura 21 – Mapa com localização da Rede de Telepluviômetros**  
[http://www2.rio.rj.gov.br/Geo Rio/site/alerta/estacao\\_local.htm](http://www2.rio.rj.gov.br/Geo Rio/site/alerta/estacao_local.htm)

**Tabela 13- Média das chuvas acumuladas para as horas antecedentes tendo como referencia a maior chuva em mm/h**

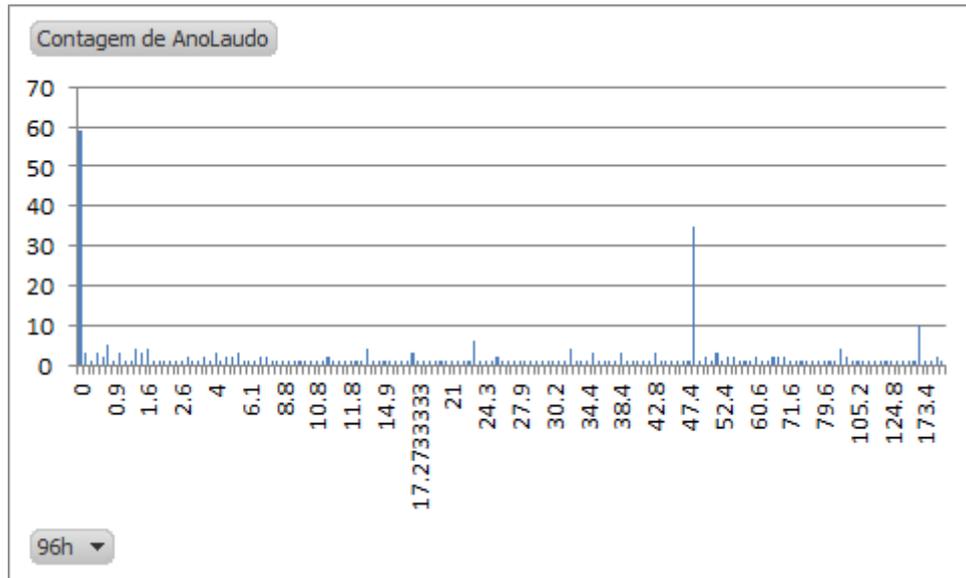
mm/h	24 h	48 h	72 h	96 h
0,00 a 0,20	0,46	3,92	6,73	10,89
0,20 a 1,00	3,17	11,15	27,1	34,521
1,00 a 2,00	7,63	26,46	38,92	42,62
2,00 a 5,00	17,27	37,34	39,52	41,97
5,00 a 10,00	27,68	41,54	44,84	49,02
10,00 a 20,00	51,1	67,8	71,2	74,35
20,00 a 30,00	49,33	49,33	58,26	58,43

Na Figura 22, são observadas as relações entre Pluviosidade acumulada de 96 h e PE utilizadas no treinamento do SNF, com linha de tendência que representa a regra de que maior pluviosidade conduz a uma maior suscetibilidade. Porém, para os dados abaixo dessa das linhas, mais uma vez, não é possível observar uma regra para a relação entre Pluviosidade e Suscetibilidade, o que indica que um fator isoladamente não é suficiente para indicar a suscetibilidade de escorregamento.



**Figura 22 - Suscetibilidade x Pluviosidade acumulada (96h)**

A Figura 23 apresenta o número de Laudos para cada valor de pluviosidade acumulada em 96 h. Pode ser observada uma distribuição bastante regular, porém, como são diversos valores, não é possível obter para uma faixa de valores uma concentração de laudos que permita abranger todas as regras do SNF.



**Figura 23 - Número de Laudos para cada valor de dePluviosidade acumulada (96h)**

#### 2.2.4.5. Drenagem

Em razão da Drenagem ser uma das soluções mais eficazes na estabilização de encostas, essa variável é analisada no treinamento do SNF. Silva (2008) estabeleceu os adjetivos (Ineficiente, Pouco Eficiente e Eficiente) para a variável Drenagem em um modelo Fuzzy. Estes adjetivos refletem a eficiência da drenagem do talude analisado, variando de 0% para drenagem ineficiente a 100% para drenagem eficiente. A Tabela 14 apresenta a faixa de valores percentuais de eficiência de drenagem atribuído por Silva (2008) para cada adjetivo.

**Tabela 14 – Faixa de valores de drenagem (adaptado de Silva, 2008)**

Adjetivo	Faixa de Valores
Ineficiente	0 – 40%
Pouco Eficiente	10 – 90%
Eficiente	60 - 100

No presente trabalho, foi definida uma relação entre a classificação qualitativa, apresentada nos laudos de vistoria, e a classificação quantitativa, que representa a eficiência do sistema, como mostra a Tabela 15.

Na Figura 24, é apresentada a relação entre Drenagem e Suscetibilidade utilizada no treinamento do SNF. Nessa Figura, pode-se observar a falta de uma regra para a relação de Drenagem com Suscetibilidade, o que enfatiza,

mais uma vez, que a análise de um condicionante isoladamente não é suficiente para indicar a suscetibilidade de escorregamento

A Figura 25 apresenta o número de Laudos para cada valor de Drenagem. Pode ser observada uma concentração de número de laudos para o valor de 50% da Drenagem, o que não permite uma boa distribuição para os três adjetivos da variável Drenagem.

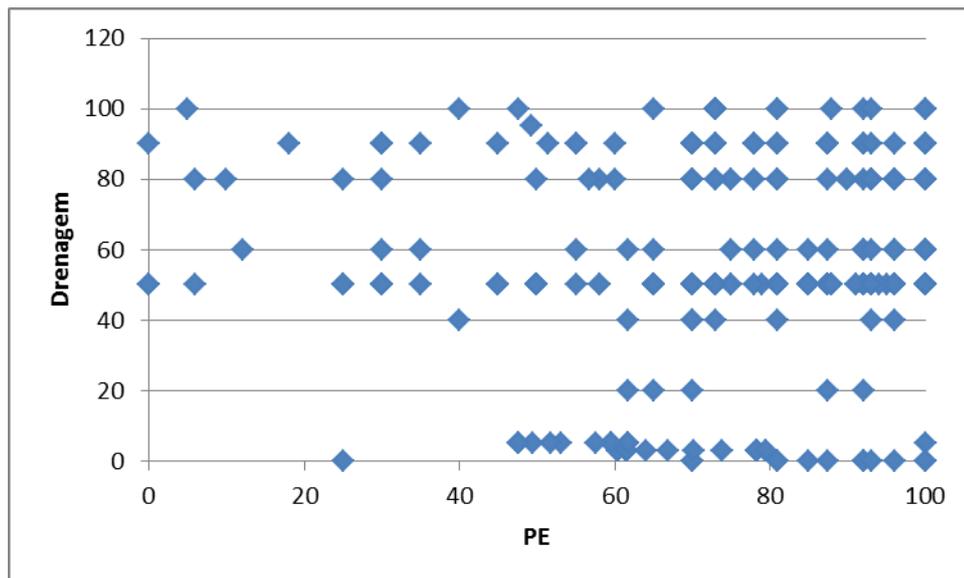
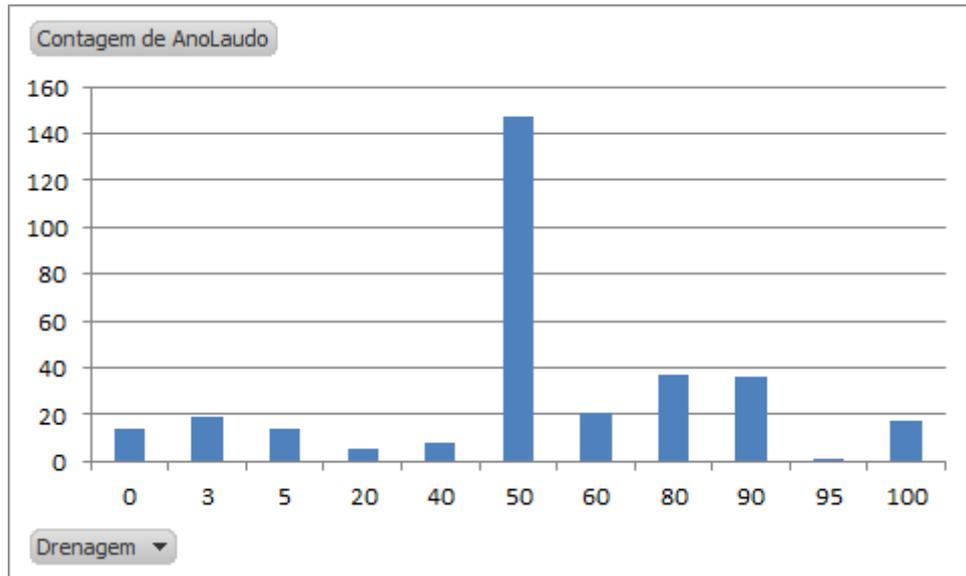


Figura 24 - Suscetibilidade x Drenagem

Tabela 15 – Drenagem qualitativa e quantitativa

Adjetivos	Drenagem	Drenagem Quantitativa
Ineficiente	Natural Obstruída	0%
	Insuficiente	5%
	Construída Obstruída	0- 20%
	Natural Danificada	40%
Pouco Eficiente	Construída Danificada	10% - 50%
	Natural Insuficiente	50%
	Construída Insuficiente	60% - 80%
Eficiente	Construída	60%
	Natural	80%
	Natural Satisfatória	90%
	Construída Satisfatória	100%



**Figura 25 - Número de Laudos para cada valor de Drenagem**

#### 2.2.4.6. Ocupação

A variável ocupação, que representa a ação antrópica, está na relação de variáveis analisadas por contribuir, na maioria das vezes, com a aceleração dos processos de instabilidade. Com a informação de Tipo e Densidade de Ocupação, do item “Aspectos Regionais” dos Laudos de Vistoria, buscou-se definir o grau de ação antrópica de cada local descrito.

Silva (2008) definiu os adjetivos Desordenada, Pouco Ordenada e Ordenada, para as quais foram atribuídos valores dentro da faixa de 0 a 100, conforme apresentada na Tabela 16Tabela 16.

**Tabela 16 – Faixa de valores da variável ocupação(adaptado de Silva, 2008)**

Adjetivo	Faixa de Valores
<b>Desordenada</b>	0 – 40%
<b>Pouco Ordenada</b>	30 – 80%
<b>Ordenada</b>	70 - 100

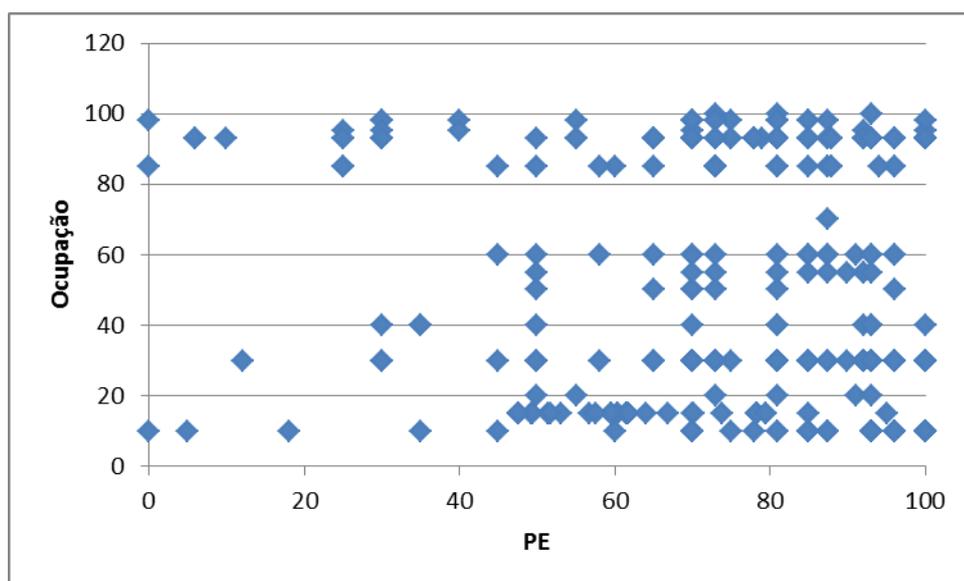
Considerando o Tipo e a Densidade, foram atribuídos valores para cada classificação qualitativa, conforme apresentado na Tabela 17. Essa distribuição de valores foi feita com base na Tabela 16Tabela 16. A classificação numérica, definida em conjunto com especialistas, significa que quanto menor o número atribuído à variável Ocupação da Encosta, maior a possibilidade de ocorrência de um

escorregamento. Dessa maneira à Ocupação “Trecho de Encosta desocupada” foi atribuído o maior valor, sendo seguido por “Área Urbana Estruturada”, “Favela/Área Urbana Estruturada”, “Loteamento Irregular” e “Favela”. Para distribuir os intervalos de valores atribuídos a cada tipo de ocupação, foi levada em consideração a densidade da ocupação, sendo o maior valor do intervalo atribuído ao tipo de ocupação com menor densidade. Para os Laudos que não apresentam a densidade da ocupação, foram atribuídos os menores valores de cada faixa de valores atribuídos ao tipo de ocupação.

Essa definição numérica não considerou outros fatores relacionados à intervenção antrópica, tais como: sobrecarga, presença de águas servidas e contenção, em razão de não ser um item informado na maior parte dos laudos, nem ser possível aplicar um método para complementar, pois é uma informação bastante particular.

Na Figura 26 Figura 26 é observada a relação entre Ocupação e PE utilizada no treinamento do SNF, com a falta de uma regra para a relação de Ocupação com Suscetibilidade, como ocorreu com todos os condicionantes analisados.

A Figura 27 Figura 27 apresenta o número de Laudos para cada valor atribuído a variável ocupação. Pode ser observado pequeno número de laudos para alguns valores, o que não permite uma boa abrangência da variável em todas as regras do SNF.



**Figura 26 - Suscetibilidade x Ocupação**

Tabela 17 - Ocupação qualitativa e quantitativa

Adjetivo	Ocupação da Encosta Qualitativo		Ocupação da Encosta Quantitativo
	Tipo	Densidade	
Desordenada	Favela	Alta	10
			15
		Média	30
		Baixa	40
Pouco Ordenada	Favela/Área Urbana Estruturada		30 - 50
		Alta	50
	Média	60	
	Favela/Loteamento Irregular	Baixa	60
			50
	Loteamento Irregular	Média	55
Baixa		60 - 70	
Ordenada	Loteamento Irregular/Trecho de encosta desocupada	Baixa	70
	Área Urbana Estruturada	Alta	85
			93
		Média	93
		Baixa	98
	Área Urbana Estruturada/Trecho de encosta desocupada	Baixa	95
	Trecho de Encosta desocupada		100

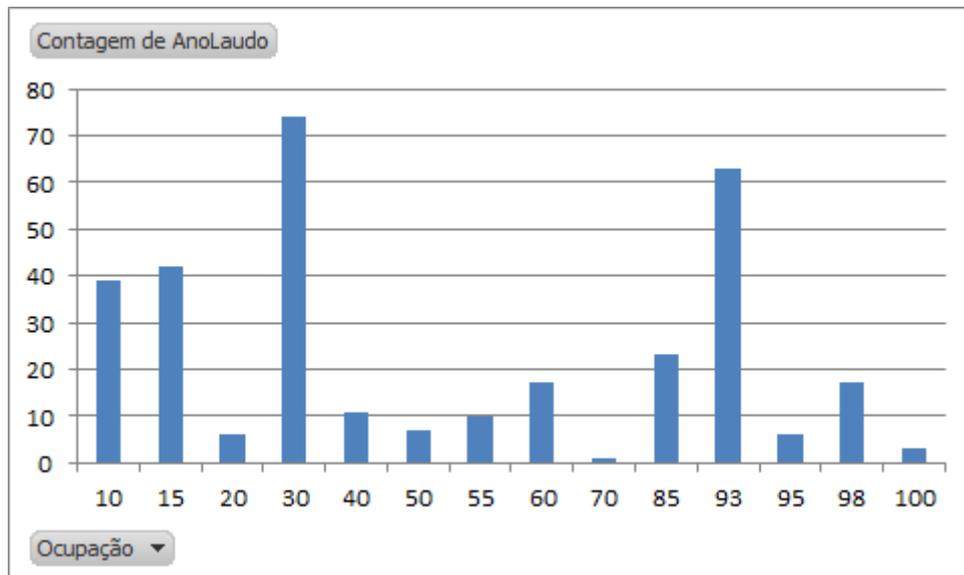


Figura 27 - Número de Laudos para cada valor atribuído a Ocupação

#### 2.2.4.7. Vegetação

A análise da variável Vegetação se deve ao fato de a presença da maioria das espécies nos taludes contribuir para a estabilidade. A Tabela 18 apresenta a relação entre as classificações qualitativas e quantitativas para a variável Vegetação, utilizada no treinamento do SNF. À classificação qualitativa (tipo e densidade) da vegetação fornecida nos Laudos de vistoria, foram atribuídos dois tipos de valores: baseados na altura da vegetação e na contribuição fitotipo para a estabilidade.

A classificação numérica baseada na altura da vegetação teve como referência as atribuições de valores para cada fitotipo feita por Silva (2008):

- i. Rasteira: altura média inferior ou igual a 1,5 m;
- ii. Arbustiva: altura média entre 1,5 m e 3,0 m;
- iii. Arbórea: A partir de 3,0 m de altura. Em seu trabalho, o range utilizado para vegetação teve altura máxima de 6 m.

Foi testada a classificação numérica baseada na contribuição do fitotipo para a estabilização do talude, conforme observado por Suarez (1997a): o fitotipo mais estabilizante é o arbusto, seguido da grama e da árvore. A partir dessa consideração, foi estabelecida uma classificação numérica considerando o fitotipo e sua densidade, conforme apresentado na coluna “Quantitativo Fitotipo” da Tabela 18, em que optou-se por utilizar uma faixa de valores entre 0 e 100, da qual o maior número atribuído a vegetação (fitotipo e densidade) representa maior favorecimento a estabilização do talude e o menor número representa a vegetação que menos favore a estabilização do talude.

De acordo com os resultados dos treinamentos realizados, a classificação da vegetação por fitotipo mostrou-se mais adequada para obter a Previsão de Escorregamento (PE), em razão do menor erro fornecido pelo programa.

Na Figura 28, observa-se a falta de regra para relação entre Vegetação e PE utilizada no treinamento do SNF. Como já ressaltado, um fator isoladamente não é suficiente para indicar a suscetibilidade de escorregamento.

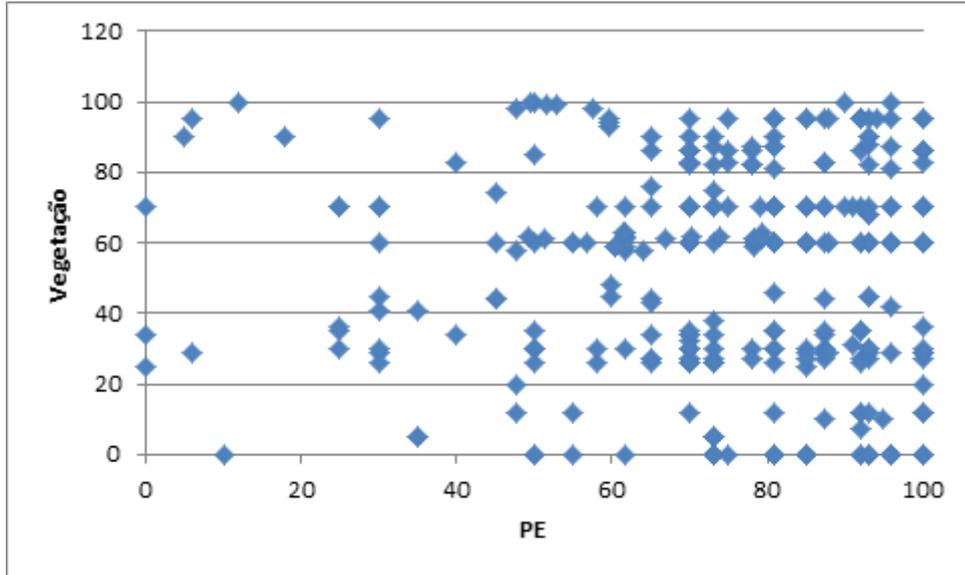


Figura 28 - - Suscetibilidade x Vegetação (Fitotipo)

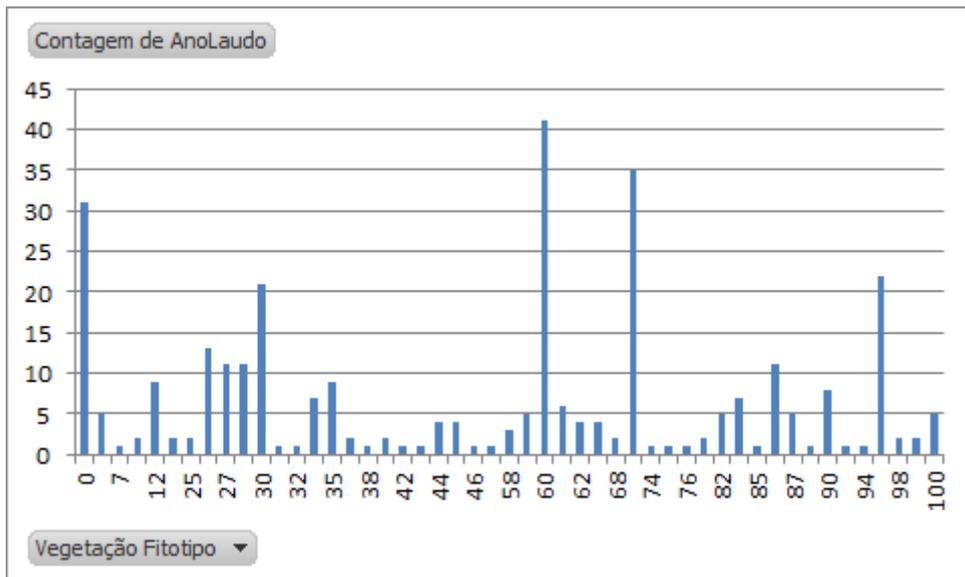


Figura 29 - - Número de Laudos para cada valor atribuído a Vegetação (Fitotipo)

Tabela 18 – Vegetação qualitativa e quantitativa

Adjetivo	Vegetação		Quantitativo Altura	Quantitativo Fitotipo
	Tipo	Densidade		
Arbórea	Arbórea Alta	Alta	6	12
	Arbórea	Média	4,8	29
	Arbórea	Esparsa	4,5	30 - 31
	Arbórea		4,5	20
	Arbórea e Arbustiva	Alta	3,5	40 - 42
	Arbórea e Arbustiva	Média	3	43 - 45
	Arbórea, Arbustiva e Rasteira	Alta	3	25
Arbustiva	Arbórea, Arbustiva e Rasteira		3	29
	Arbustiva	Alta	3	100
	Arbórea Nenhuma	Alta	2,75	32
	Arbórea Arbustiva	Esparsa	2,75	45 - 46
	Arbórea Rasteira	Alta	2,5	36
	Arbustiva		2,5	95
	Arbustiva	Média	2,25	95
	Arbórea Arbustiva Rasteira	Média	2	26
	Arbórea Rasteira		2	38 - 39
	Arbórea Rasteira	Média	2	35
	Arbustiva	Esparsa	1,5	90
	Arbórea Arbustiva Rasteira	Esparsa	1,5	27 - 28
	Arbórea Rasteira	Esparsa	1,5	34
	Arbustiva Rasteira	Alta	1,5	88
	Arbustiva Rasteira	Média	1,5	86 - 87
Rasteira	Rasteira Alta	Alta	1,5	74 - 75
	Arbórea Arbustiva Plantação de Bananeira		1,1	10
	Arbustiva Rasteira	Esparsa	1,1	81 - 83
	Arbustiva Rasteira		1,1	85
	Arbustiva Rasteira Nenhuma	Esparsa	0,8	76
	Rasteira	Média	0,75	70
	Rasteira Nenhuma	Esparsa	0,5	48
	Rasteira		0,5	68 - 70
	Rasteira	Esparsa	0,4	60
	Rasteira Ausente		0	40
		Ausente	0	0

### 2.3. Ferramenta Computacional (MATLAB)

O SNF foi desenvolvido em um Notebook HP Pavilion dv4-2090br, com processador Intel® Core™ i5-430M, com 6GM RAM e 500GB HDD, utilizando o software MATLAB®, da empresa The Mathworks, Inc. para sua implementação.

A técnica baseada em SNF utilizada foi a *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*: (ANFIS) que, baseada em treinamento de dados, ajusta automaticamente um modelo Sugeno de regras *Fuzzy*.

A técnica, com o algoritmo apresentado no Anexo 2, consiste em:

- i. A partir de um banco de dados (com os *inputs* (coluna 1 a n-1) e *outputs* (coluna n)), é construída uma função de inferência *Fuzzy* da qual as *Membership Function* (MF) são ajustadas usando apenas um algoritmo de *backpropagation* ou em combinação com algum outro método;
- ii. São definidas para o treinamento:
  - a. Número de épocas (Epoch\_n)
  - b. Número de funções de pertinência (numMFs)
  - c. Tipo de função de pertinência (mfType)
  - d. Erro (Error\_goal)
  - e. Passo (ss, ss\_dec\_rate e ss\_inc\_rate)
- iii. As funções de pertinência são distribuídas uniformemente pelo range e, após o treinamento, a distribuição é ajustada conforme observado na Figura 15. Figura 15; pois os parâmetros associados a MF são alterados no processo de treinamento por um vetor gradiente que, quando obtido, as rotinas de otimização são aplicadas para ajustar os parâmetros para reduzir as medidas do erro.
- iv. O erro é definido pelo método do erro médio quadrático, medido entre o conjunto de output desejado (utilizado no banco de dados para treinamento) e o obtido pelo sistema.
- v. Após atingir o número de épocas definido em Epoch\_n ou atingir o erro objetivo, o modelo é validado por um conjunto de variáveis de input com o output conhecido para comparar com o output fornecido pelo Modelo.

Nos itens a seguir, são descritas as variações nos treinamentos realizados para cada conjunto de dados.

#### 2.4. Análises realizadas

Em razão de restrições técnicas, foi possível realizar o treinamento com o máximo de 243 regras, ou seja, 5 variáveis com 3 funções de pertinência. Em razão

da utilização de 2 funções de pertinência não representar adequadamente a distribuição de classificação das variáveis, optou-se por utilizar o mínimo de 3 e, por consequência da restrição técnica, apenas 5 variáveis.

Com 4 variáveis e 4 funções de pertinência (256 regras), não foi possível realizar o treinamento, pois, o número de regras não permitia que o computador processasse o treinamento em razão de sua memória.

Com base no banco de dados descrito no item 2.2 deste trabalho, foram elaborados modelos para fornecer a Previsão de Escorregamento (PE) a partir de método básico de caracterização que permitam uma avaliação preliminar com os seguintes fatores:

- i. Altura;
- ii. Inclinação;
- iii. Pluviosidade;
- iv. Drenagem;
- v. Vegetação;
- vi. Ocupação

Para a elaboração do banco de dados utilizado no treinamento, foram consideradas experiências passadas, a partir de um conjunto de laudos de vistoria da GeoRio, onde espera-se que exista a mesma suscetibilidade de ocorrer escorregamentos em áreas similares às utilizadas no treinamento.

Foram realizados diversos treinamentos para ajustes dos parâmetros (nMF, Erros objetivos e Número máximo de Épocas) do Sistema Neuro Fuzzy e refinamento do banco de dados.

A funções de pertinência adotadas para treinamento do banco de dados ajustado foram do tipo triangular ou sino e o nMF variava entre 3 e 5, de acordo com o número de regras estabelecido em conjunto com o número de variáveis.

O banco de dados resultante desses diversos treinamentos, apresentado no Anexo 4, foi utilizado para treinar diversas combinações de variáveis, conforme descrito a seguir.

Neste trabalho optou-se por:

- i. Não restringir os valores de output, deixando que o treinamento identifique a faixa de valores em que deve permanecer;

- ii. Não considerar o tipo de movimento de massa, pois não havia dados suficientes para o treinamento de um SNF.

A seguir serão descritos:

- i. O critério de avaliação do treinamento;
- ii. As combinações entre as variáveis para os diferentes treinamentos com o objetivo de obter uma análise de sensibilidade de cada variável inserida;
- iii. A metodologia para validação do treinamento.

#### 2.4.1. Erro médio quadrático

Para comparar os diversos treinamentos realizados foi avaliado o erro fornecido pelo programa, definido pelo Erro médio quadrático.

O erro médio quadrático ( $\varepsilon$ ) é aquele cujo quadrado é igual à média aritmética dos quadrados da diferença entre os valores de saída utilizados para treinamento e fornecidos pelo programa após o treinamento, conforme representado na Equação 5:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}} \quad (5), \text{ onde}$$

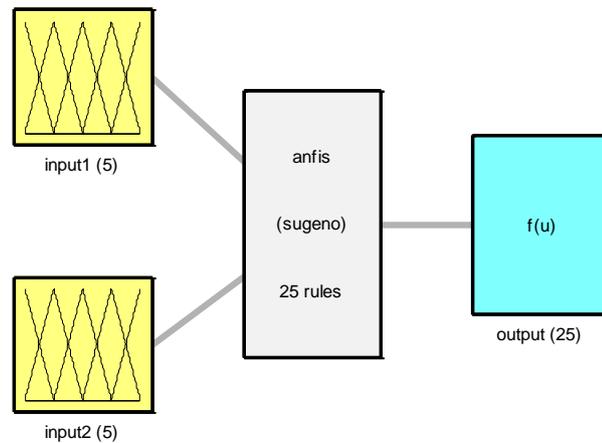
O Erro médio quadrático se emprega geralmente para avaliar a precisão de uma série de observações, pois apresenta a vantagem de que erros maiores apresentam maior influência devido aos seus quadrados.

#### 2.4.2. Altura e Inclinação

A primeira análise consiste em avaliar a relação da Previsão de Escorregamento (PE) com os condicionantes permanentes, a Altura (h) e a Inclinação (i).

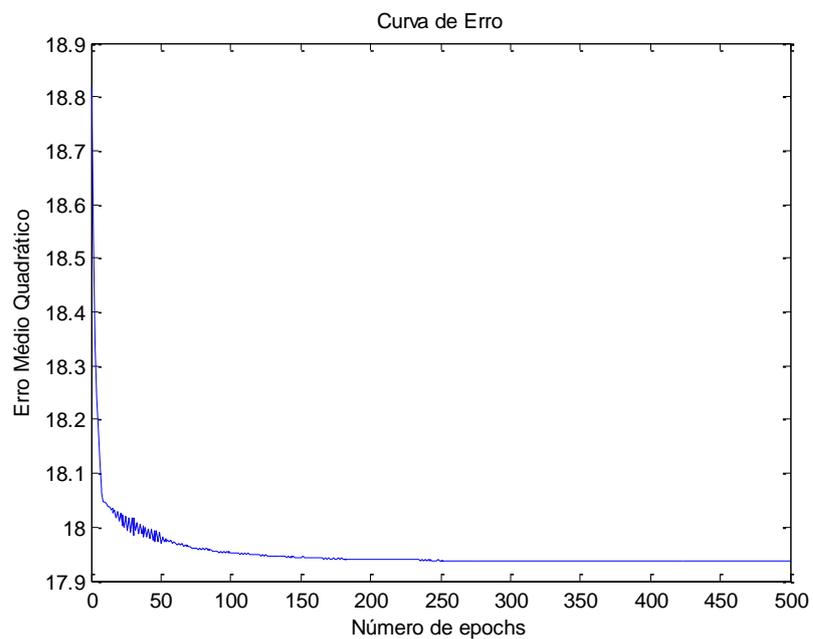
A Figura 30 Figura 30 apresenta o esquema de um SNF para 2 variáveis e 5 MF. A Figura 31 Figura 31 apresenta a evolução do Erro com o número de Época do treinamento com as variáveis Altura e Inclinação.

No capítulo 3 são apresentados e discutidos os resultados do treinamento e as validações.



System anfis: 2 inputs, 1 outputs, 25 rules

**Figura 30 - Representação esquemática de um SNF de 2 variáveis com 5 MF**



**Figura 31 - - Erro x Época (Altura e Inclinação)**

#### 2.4.3. Altura, inclinação e pluviosidade acumulada em 96 h

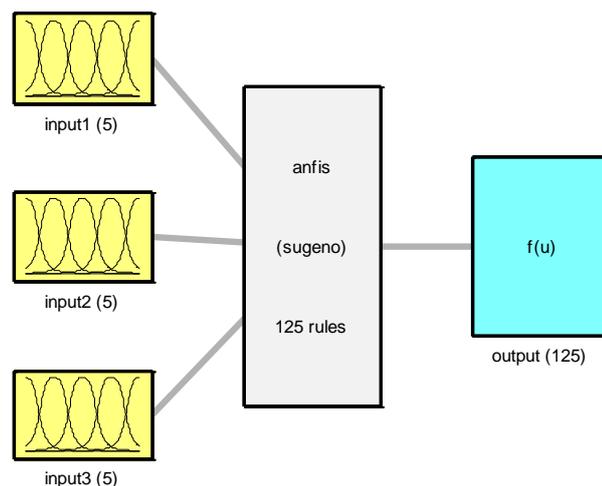
O segundo treinamento analisado incluiu o condicionante apontado na literatura pesquisada como sendo o principal agente natural na influência de instabilização: a pluviosidade. Como destacado no item 1.2.3, um escorregamento

depende tanto dos índices pluviométricos referentes às poucas horas que o antecedeu quanto dos índices pluviométricos de dias anteriores.

Na etapa de ajuste dos parâmetros do SNF e refinamento do banco de dados, a pluviosidade acumulada em 96 h apresentou um melhor resultado quando comparado com resultados de treinamentos utilizando a pluviosidade máxima diária ou acumuladas em 24 ou 48 h.

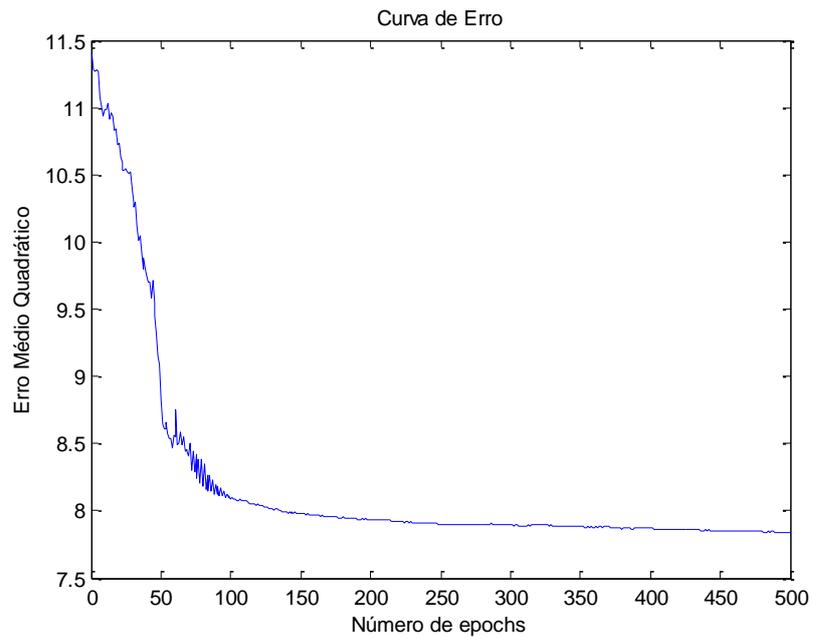
Por isso, o banco de dados resultante da etapa de ajuste foi analisado somente com a pluviosidade acumulada em 96 h.

A Figura 33 apresenta o esquema de um SNF para 3 variáveis e 5 MF. A Figura 33 apresenta a evolução do Erro com o número de Época do treinamento com as variáveis Altura, Inclinação e Pluviosidade acumulada em 96 h.



System anfis: 3 inputs, 1 outputs, 125 rules

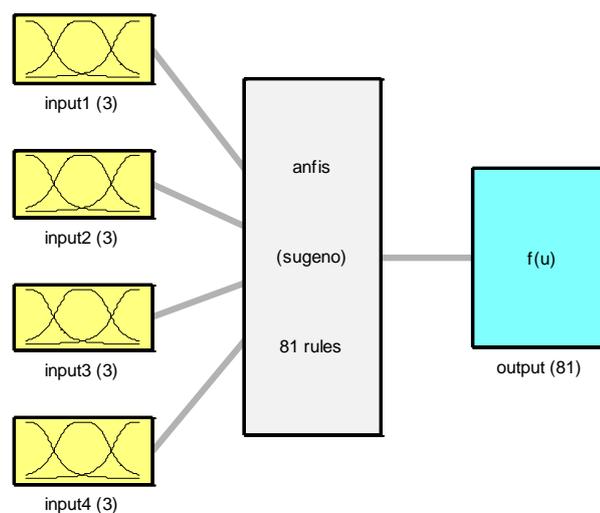
**Figura 32 - - Representação esquemática de um SNF de 3 variáveis com 5 MF**



**Figura 33 - - Erro x Época (Altura, Inclinação e Pluviosidade acumulada em 96h)**

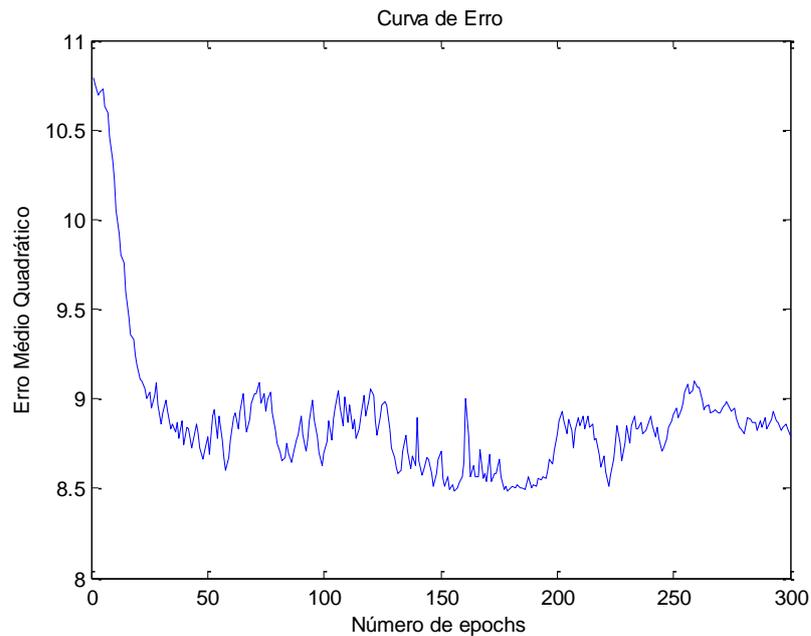
#### 2.4.4. Altura, inclinação, pluviosidade (96h) e drenagem

A Figura 34 apresenta o esquema de um SNF para 4 variáveis e 4 MF. A Figura 35 apresenta a evolução do Erro com o número de Época do treinamento com as variáveis Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96 h e Drenagem.



System anfis: 4 inputs, 1 outputs, 81 rules

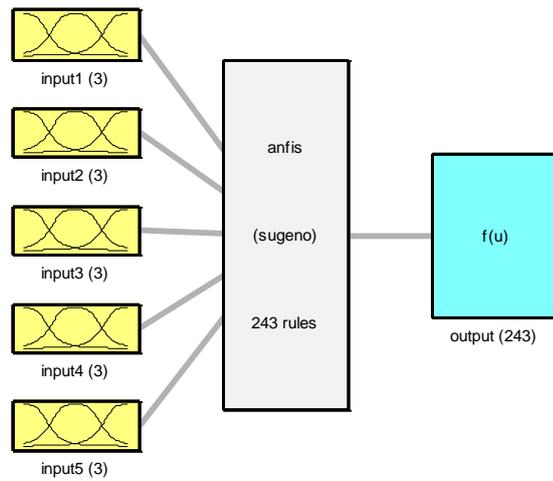
**Figura 34 - - Representação esquemática de um SNF de 4 variáveis com 3 MF**



**Figura 35 - - Erro x Época (Altura, Inclinação e Pluviosidade acumulada em 96 h)**

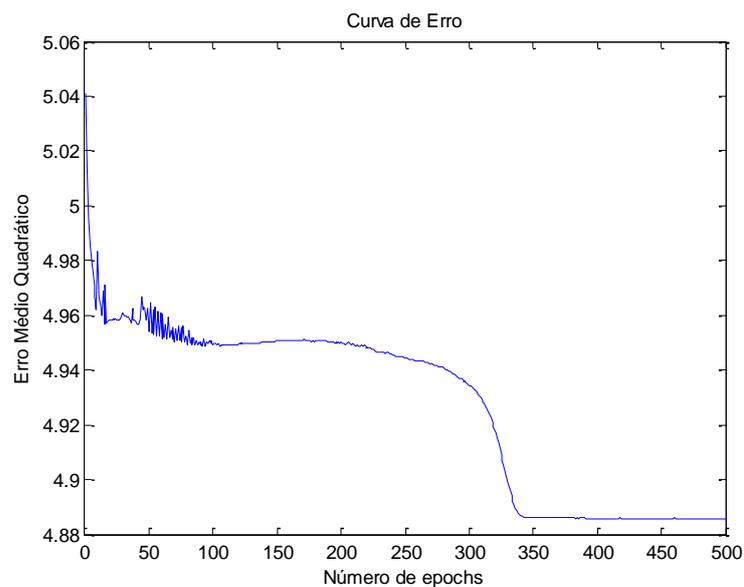
#### 2.4.5. Altura, inclinação, pluviosidade, drenagem e ocupação

O modelo a partir de 4 variáveis, somente é possível realizar treinamento com 3 MF, pois em razão das restrições técnicas por causa do elevado número de regras a partir de 4 Funções de Pertinência (MF) para cada uma das 5 variáveis, a memória do computador utilizado para treinar o SNF não foi capaz de processar o treinamento. Assim, conforme observado na Figura 36, considerando as 5 variáveis (Altura, Inclinação, Pluviosidade em 96 h, Drenagem e Ocupação) com 3 MF, são obtidas 243 regras. A Figura 37 apresenta a evolução do Erro com o número de Época do treinamento com as variáveis Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96 h, Drenagem e Ocupação.



Systemanfis: 5 inputs, 1 outputs, 243 rules

**Figura 36 - - Representação esquemática de um SNF de 5 variáveis com 3 MF**



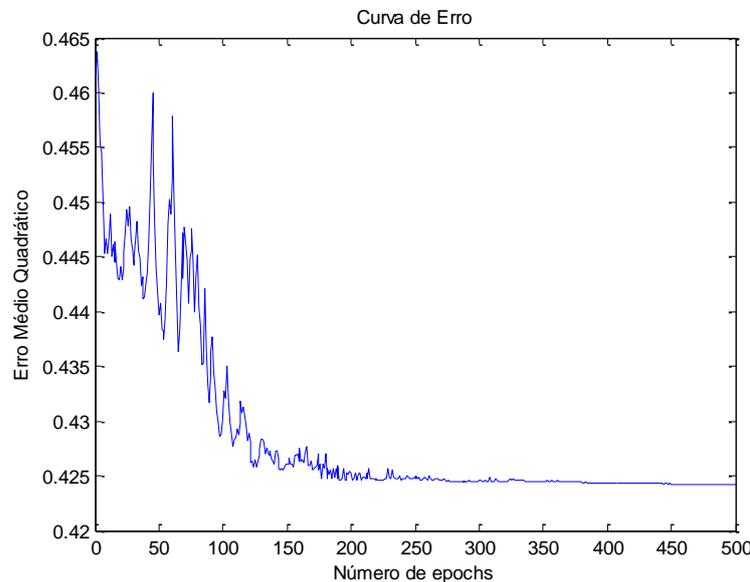
**Figura 37 - - Erro x Época (Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96h e Ocupação)**

#### 2.4.6. Altura, inclinação, pluviosidade, drenagem e vegetação

Conforme dito no item 2.4.5, o modelo a partir de 4 variáveis, somente é possível realizar treinamento com 3 MF, pois em razão das restrições técnicas por causa do elevado número de regras a partir de 4 Funções de Pertinência (MF) para

cada uma das 5 variáveis, a memória do computador utilizado para treinar o SNF não foi capaz de processar o treinamento. Assim, a variável “Ocupação” foi substituída pela variável “Vegetação”.

A classificação da vegetação utilizada para treinamento do banco de dados ajustado foi baseada em valores referentes à influência do fitotipo para estabilização do talude, pois apresentou menor erro quando comparado a valores de altura da vegetação na fase de ajustes dos parâmetros e refinamento do banco de dados. A Figura 38 apresenta a evolução do Erro com o número de Época do treinamento com as variáveis Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96 h, Drenagem e Vegetação.



**Figura 38 - - Erro x Época (Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96h e Vegetação (Fitotipo))**

#### 2.4.7. Validação do Modelo

O modelo treinado com as variáveis Altura, Inclinação, Pluviosidade Acumulada em 96 h, Drenagem e Vegetação apresentou o menor erro ( $\epsilon$ ), conforme pode ser visto na Tabela 20 do item 3.1 (Análise dos Resultados). O modelo obtido a partir desse treinamento foi avaliado com a aplicação de ruídos nos valores utilizados no treinamento, a fim de obter os valores de Previsão de Escorregamento (PE) para comparar com os valores de PE desejados, que sejam os valores atribuídos aos conjuntos de dados sem ruído.

No presente trabalho adotou-se como ruído a utilização de Fatores de Multiplicação correspondentes porcentagens, varianda para cima ou para baixo,

aplicados às variáveis de entrada utilizadas no treinamento: Altura, Inclinação, Pluviosidade, Drenagem e Vegetação (fitotipo).

Os ruídos foram utilizados para avaliar se o treinamento foi capaz de aprender as regras para dados não utilizados no treinamento.

Foram utilizados percentuais de 0,1%, 0,3% e 0,5%, o que forneceu Fatores de Multiplicação iguais a 1,001, 0,999, 1,003, 0,997, 1,005 e 0,995.

### 3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1. Análises realizadas

Neste capítulo, são apresentados os resultados das análises descritas no item 2.4 que trata da modelagem, bem como de suas validações. A partir dos resultados, são obtidas as conclusões preliminares de cada modelo, onde buscou-se obter o melhor resultado de treinamento medido por meio do erro médio quadrático fornecido pelo programa. A Tabela 19 apresenta a nomenclatura adotada para cada conjunto de treinamento com o banco de dados ajustado relacionado com os tipos de variáveis utilizadas.

Tabela 19 – Treinamento e Variáveis

Treinamento	Variáveis
Treinamento 1	Altura e Inclinação
Treinamento 2	Altura, Inclinação e Pluviosidade acumulada em 96 h
Treinamento 3	Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96 h e Drenagem
Treinamento 4	Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96 h, Drenagem e Ocupação
Treinamento 5	Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96 h, Drenagem e Vegetação

A Tabela 20 apresenta para cada treinamento o número de Funções de Pertinência adotado para cada variável e o erro médio quadrático fornecido pelo programa.

Tabela 20 – nMF e  $\epsilon$  de cada Treinamento

Treinamento	nMF	$\epsilon$
Treinamento 1	5	17,93763
Treinamento 2	5	7,834816
Treinamento 3	3	8,48323
Treinamento 4	3	4,885661
Treinamento 5	3	0,424231

A partir dos erros fornecidos pelo programa para cada treinamento, as seguintes conclusões podem ser inferidas:

- i. A diminuição do erro do Treinamento 2, quando comparado ao erro do Treinamento 1, mostra que a Previsão de Escorregamento é melhor medida a partir de um conjunto com maior número de variáveis. Isso vai ao encontro das observações destacadas no item 1.2 deste trabalho que ressaltam que o comportamento dos solos é função de uma complexa correlação de diversos fatores.
- ii. O pequeno aumento do erro do Treinamento 3, em comparação com o Treinamento 2, apesar do aumento de número de variáveis, mostra a influência do número de Funções de Pertinência (FP). Em razão de não ter sido possível o processamento com mais de 3 FP a partir de 4 variáveis, por causa do excessivo número de regras, foi necessário utilizar somente 3 FP para cada variável. Essa diminuição de 5 para 3 FP aparentemente piorou o resultado.
- iii. A diminuição do erro do Treinamento 4 em comparação com o Treinamento 3, pode ser decorrente do mesmo motivo da diminuição do Treinamento 2, quando comparado ao erro do Treinamento 1, em razão do aumento de variáveis.
- iv. A substituição da variável “Ocupação” pela variável “Vegetação” apresentou um resultado melhor, considerando a diminuição do erro do Treinamento 5, o que mostra que a variável “Vegetação” tem maior influência na Previsão de Escorregamento. Vale ressaltar que os valores utilizados para classificação quantitativa da variável ocupação foram obtidos com a colaboração de especialista de maneira empírica, o que pode ter contribuído para o pior resultado quando comparado com o treinamento utilizando a variável Vegetação.

### 3.2. Validações

Conforme descrito no item 2.4.7, o modelo treinado com as variáveis Altura, Inclinação, Pluviosidade Acumulada em 96 h, Drenagem e Vegetação apresentou o menor erro ( $\epsilon$ ), conforme observado nas Tabela 19 e Tabela 20, por isso, foi o modelo utilizado na validação descrita abaixo.

A Tabela 21 apresenta, para cada ruído aplicado às variáveis de saída:

- i. O valor de cada fator multiplicador das variáveis utilizadas no treinamento para cada ruído.
- ii. o valor de erro médio quadrático obtido entre as Previsões de Escorregamento desejáveis e os valores de Saída da execução correspondente ao valor de PE de cada conjunto de variáveis com o respectivo ruído.
- iii. Os valores máximos e mínimos obtidos na relação de saída da execução do modelo, para verificar se estão dentro da faixa de valores de Previsão de Escorregamento utilizada no treinamento.

**Tabela 21 – Validação do Teste 5 com dados do treinamento com ruído**

Ruído	Fator	$\epsilon$	Saída	
			Máxima	Mínima
+0,1%	1,001	4.52245	116.7654	-2.9987
-0,1%	0,999	4.169443	126.026	-1.1962
+0,3%	1.003	13.44107	156.5031	-83.7037
-0,3%	0.997	13.05838	182.109	-2.7586
+0,5%	1.005	22.31539	195.8207	-159.362
-0,5%	0.995	21.70399	234.9204	-4.3289

Apesar dos pequenos percentuais utilizados no ruído, o programa, ao executar o modelo para a validação das variáveis com os ruídos, apresenta o seguinte aviso:

*“Warning: Some input values are outside of the specified input range.”*

Da Tabela 21 podem ser obtidas as seguintes observações:

- i. O erro quadrático aumenta com o aumento do ruído, conforme o esperado, pois a execução do modelo passa a ser realizada com valores mais distantes dos valores utilizados no treinamento;
- ii. Os valores de saída, correspondente à Previsão de Escorregamento, fornecidos pelo modelo executado com os variáveis utilizadas no treinamento com ruído, apresenta alguns resultados fora da faixa de

valores de Previsão de Escorregamento utilizada no treinamento, que variavam na faixa entre 0 e 100.

A partir do aviso descrito acima e dos valores máximos e mínimos resultados da execução estarem fora da faixa de valores de PE utilizada no treinamento, pode-se inferir :a necessidade de ampliar o banco de dados para treinamento, de maneira quantitativa e qualitativa, a fim de obtermos um modelo capaz de fornecer resultados dentro da faixa de valores utilizada no treinamento.

Da relação de dados utilizada na validação do modelo com ruído de 0,1%, somente 5% (correspondente a 16 conjuntos de variáveis de uma relação de 319), ficou fora da faixa de valores de PE utilizada no treinamento. Com o aumento do ruído para 5%, percentual percentual de resultados fora da faixa de valores de PE utilizados no treinamento aumentou para 14%.

Para análise da validação do modelo, pode-se considerando o pior cenário de validação do modelo sendo a execução com variáveis com ruído de 0,5% e Fator de multiplicação de 1,005, por (i) apresentarem maior erro médio quadrático e (ii) maior número de resultados fora da faixa de PE utilizada no treinamento. O Anexo 6 apresenta:

- i. PE utilizada no Treinamento (considerada como o alvo da validação);
- ii. PE fornecida pelo modelo com variáveis com ruído de 0,05%; e
- iii. Erro percentual para cada conjunto de variáveis utilizada, correspondente aos Laudos.

Do Anexo 6, pode ser observado que a validação obteve 273 resultados dentro da faixa de valores de PE utilizada no treinamento, , dentre os quais, 96% dos resultados, apesar de apresentarem diferenças entre os valores de PE esperados e fornecidos pelo modelo, permanecem na mesma classificação de Suscetibilidade (Alta, Média ou Baixa), definida no item 2.2.4.1.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 4.1. Introdução

O presente trabalho procurou desenvolver um modelo inicial, utilizando como ferramenta a Técnica de Inteligência Computacional *Neuro-Fuzzy*, que indicasse a suscetibilidade de escorregamento de taludes no município do Rio de Janeiro a partir de condicionantes obtidos por inspeção visual.

A qualidade e a quantidade de informações do banco de dados teve grande impacto no resultado do treinamento.

As conclusões foram obtidas a partir:

- i. das comparações dos Erro ( $\epsilon$ ) obtidos em cada treinamento com a variação de número de funções de pertinência (MFs) e número de variáveis, apresentados no item 3.1; e
- ii. dos resultados das validações, apresentados no item 3.2.

### 4.2. Conclusões

A análise dos resultados numéricos obtidos nos 5 treinamentos realizados com o banco de dados final permitiu as seguintes conclusões:

- Quanto maior o número de funções de pertinência (MFs), melhor o resultado apresentado para o mesmo conjunto de dados;
- Ao aumentar os tipos de variáveis, foi obtida significativa redução do Erro ( $\epsilon$ ) fornecido pelo programa, o que comprova a teoria de que as causas de escorregamento de taludes são função de uma combinação complexa de diversos condicionantes.
- Ressalta-se que os dados utilizados no treinamento apresentam grande nível de incerteza, pois as descrições qualitativas, obtidas por inspeção visual, dependem da percepção do vistoriador, o que pode apresentar variações nas interpretações de uma variável que deveria apresentar a uma mesma classificação;
- O treinamento 5 (Altura, Inclinação, Pluviosidade acumulada em 96 h, Drenagem e Vegetação classificada conforme a influencia do fitotipo na estabilização de taludes) apresentou:

- um menor Erro ( $\varepsilon$ ) no treinamento; e
- resultados da validação, utilizando dados com ruído,, com razoável aproximação da suscetibilidade desejada, conforme observado no Anexo 6. Entretanto, apresenta valores fora do intervalo de valores atribuídos à Previsão de Escorregamento (PE) utilizado no treinamento, o que evidencia a necessidade de aprimoramento do banco de dados para obter valores de PE com maior grau de certeza.
- Dentre os modelos analisados neste trabalho, o considerado mais adequado para fornecer a suscetibilidade de escorregamento é o treinamento 5, que considera as seguintes variáveis:
  - Altura: variando de 1 a 15 m;
  - Inclinação ( $\theta$ );
  - Pluviosidade acumulada em 96 h (mm);
  - Drenagem em percentual de eficiência;
  - Vegetação classificada conforme a influência do fitotipo na estabilização de taludes

O Anexo 4 – Banco de dados Anexo 4 – Banco de dados apresenta o banco de dados utilizado no treinamento 5, com os condicionantes acima relacionados e sua saída para os dados de treinamento.

- Ressalta-se que esse modelo pretende somente obter, por meio de uma análise preliminar com condicionantes obtidos a partir de inspeção visual, a suscetibilidade de escorregamento, por meio do parâmetro Previsão de Escorregamento (PE), ainda necessitando de uma análise geotécnica detalhada de estabilidade para definir o melhor tratamento nos casos de instabilidade.

#### 4.3. Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros são sugeridas as seguintes ações:

- Ampliar o banco de dados para treinamento de modo a obter, não somente uma quantidade de dados que seja significativamente superior ao número de regras, mas também qualitativamente de modo a cobrir os *gaps* nas relações

entre as variáveis e possibilitando cobrir todas as combinações das regras apresentadas.

- Ao ampliar o banco de dados de modo que cubra todas as combinações das regras, poderá ser realizada a distinção entre os diversos tipos de escorregamentos.
- Para ampliar os tipos de variáveis, com a inclusão de parâmetros de resistência, deve-se elaborar uma programa com Comitê de *Neuro-Fuzzy*, para viabilizar o desenvolvimento do modelo.
- A partir da validação de um modelo para definir a suscetibilidade de escorregamento com um banco de dados mais amplo, um novo modelo para definição de risco do escorregamento suscetível pode ser elaborado, envolvendo a suscetibilidade e as consequências de uma ocorrência.

## REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, A., MARQUES, M. e SOUZA, F.J. Análise do potencial erosivo dos solos em bacias hidrográficas: Aplicação da Lógica Nebulosa (Fuzzy) no diagnóstico ambiental. 2002. Pesquisa Agropecuária e Desenvolvimento Sustentável, PESAGRORIO, v. 1, n. 1, p.1-13, 2002.
- [2] ALVES, A.S. Avaliação do Potencial à Erosão dos Solos: Uma Análise por Lógica Fuzzy e Sistemas de Informação Geográfica. 2004. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Cartográfica, UERJ, Rio de Janeiro, 2004.
- [3] AMARAL, C., VARGAS, E., KRAUTER, E. (1996). Analysis of Rio de Janeiro landslide Inventory data. Seventh International Symposium on Landslides, Trondheim, Norway, p. 1843-1846.
- [4] AUGUSTO FILHO, O, CERRI, L.E.S, e AMENOMORI, C.J. (1990), Riscos geológicos: aspectos conceituais, I Simpósio Latino-Americano sobre risco geológico urbano, Anais, São Paulo, SP, páginas 334-341. Apud CERRI, L. E. S., Identificação, análise e cartografia de riscos geológicos associados a escorregamentos, 1ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encosta, 1ª COBRAE, Vol. II, p. 605-617, Rio de Janeiro, Novembro de 1992, Rio de Janeiro.
- [5] BIONDI NETO, Sistemas Híbridos, Rio de Janeiro, Pós-Graduação em engenharia civil, Disciplina Inteligência Computacional, 2010, Notas de aula
- [6] BIONDI NETO, L., SIEIRA, A.C.C.F., DANZIGER, B.R. e SILVA, J.G.S., Neuro-CPT: Classificação de Solos usando-se Redes Neurais Artificiais, ENGEVISTA: Revista da Escola de Engenharia da UFF, Vol.8, No. 1 (2006). Disponível em: [http://www.uff.br/engevista/1\\_8Engevista4.pdf](http://www.uff.br/engevista/1_8Engevista4.pdf)
- [7] BRASIL, Decreto-Lei nº6.766, de 19 de dezembro de 1979
- [8] BRESSANI, L.A., Luiz A. Bressani, Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, 18 de março de 2010, Palestra proferida a convite da ABES em parceria com SENGE/RS. Disponível em: [www.senge.org.br/](http://www.senge.org.br/). Acessado em 15/12/2010.
- [9] BUENO, L. DA S., LAPOLLI, E. M., LAPOLLI, F. R., Estudo em Áreas de ocupação urbana com Fatores de Risco: O caso do Bairro Córrego Grande –

- Florianópolis – SC, XXVIII Congresso Interamericano de Ingenieri Sanitaria y Ambiental, Cancun, Mexico, 27 a 31 de octubre, 2002.
- [10] BUZZI, M.F., Modelagem De Maciços Naturais Baseadas Em Sistemas Neuro-Fuzzy Visando A Segurança De Dutos Enterrados. XI Semana do Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, 20 a 22 de outubro de 2010. Resumo. Disponível em: <http://www.ppgmne.ufpr.br/semana/ResumosPDF/MaikoFernadesBuzzi.pdf>
- [11] Calijuri, M.L., Melo, A.L.O. e Lorentz, J.F. Indentificação de Áreas para Uso em Aterros Sanitários com o Uso de Análise Estratégica de Decisão. 2002. Informática Pública. Vol. 4 (2): 231-250, 2002.
- [12] CERRI, L. E. S., Identificação, análise e cartografia de riscos geologicos associados a escorregamentos, 1ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encosta, 1ª COBRAE, Vol. II, p. 605-617, Rio de Janeiro, Novembro de 1992, Rio de Janeiro.
- [13] CHAMPRATHEEP, K. e GANER, B.Z.Q. Preliminary Landfill Site Screening Using Fuzzy Geograohical Information Systems. 1996. Waste Management & Resaerch. V. 15, p. 197-215, 1996.
- [14] CHISSOLUCOMBE, I. (2009). Uso de Técnicas de Inteligência Artificial na Estimativa de Deslocamentos e Danos Induzidos por Escavações Subterrâneas. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-057/2009, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 216 p. Disponível em: <http://www.geotecnia.unb.br/tese/GTD05709.pdf>.
- [15] COSTA, V. C. da, Propostas de Manejo e Planejamento Ambiental de Trilhas Ecoturísticas: Um Estudo no Maciço da Pedra Branca – Município do Rio de Janeiro (RJ), Rio de Janeiro, 2006, Tese (Dutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, 2006.
- [16] FARIA, R, ROCHA, G.C. e ZAIDAN, R.T., A eficácia de previsões de ocorrência de movimentos de massa em Juiz de Fora – MG, Disponível em: [http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo1/083.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/083.pdf). acessado em 15/12/2010
- [17] FEIJÓ, R.L., PAES, N.M., D'ÓRSI, R.N. (2001). Chuvas e Movimentos de Massa no Município do Rio de Janeiro. III COBRAE, Rio de Janeiro, p. 223-230. Apud PINTO, Wendell Dias, Avaliação da Suscetibilidade a

- Escorregamentos em Solo: Uma Abordagem *Fuzzy*, Campos dos Goytacazes – RJ, Outubro – 2002
- [18] FELL, R., COROMINAS, J., BONNARD, C, CASCINI, L, LEROI, e., Savage, W., pelo Comitê Técnico de escorregamentos e encostas artificiais (Joint Technical Committee on landslides and engineerd slopes, JTC-1), Manual para o zoneamento de susceptibilidade de perigo e risco de escorregamento para o planejamento de uso do solo [2008]. Disponível em: [http://www.emtermos.com.br/abms/site/conteudo/JTC1\\_Portugues.doc](http://www.emtermos.com.br/abms/site/conteudo/JTC1_Portugues.doc). Acessado em 30/12/2010.
- [19] FERNANDES, N.F. e AMARAL, C.P. Movimentos de massa: uma abordagem geológicogeomorfológica. 1996. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S. ed. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Apud SILVA, M. A. da, Aplicação de Lógica Nebulosa para Previsão do Risco de Escorregamentos de Taludes em solo Residual, Rio de Janeiro, 2008
- [20] FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A.T., VIEIRA, B. C. M, MONTGOMERY, D. R. e GREENBERG, H., Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis, Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, nº 1 (2001), p 51-71
- [21] FONTENELLE, A.S. e VIEIRA, V.P.P.B. Análise de Risco Aplicada à Estabilidade de Talude de Barragem de Terra no Estado do Ceará. 2002. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH, Ceará, 2002.
- [22] GEO RIO, Manual de Encostas da Geo Rio [1998]
- [23] GERSCOVICH, D. M. S. ; Guedes, M. N. ; Fonseca, E. T. . Evaluation of Soil-Water Characteristic Curves for Problems of Unsaturated flow in Soils from Brazil. Solos e Rochas, Janeiro-Abril, v. 27, n. 1, p. 57-68, 2004.
- [24] GIL, M. C. C., Aplicação de Redes Neuro-*Fuzzy* para a Solução de Problemas Inversos em Transferência Radiativa, 2010.
- [25] GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org.). Impactos ambientais e urbanos no Brasil, 4º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. Apud FARIA, R, ROCHA, G.C. e ZAIDAN, R.T., A eficácia de previsões de ocorrência de movimentos de massa em Juiz de Fora – MG, Disponível em: [http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo1/083.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/083.pdf). acessado em 15/12/2010.

- [26] GUERRA, A.J.T, MENDONÇA, M.B DE, LOPES, P.B.M., LIMA, F.DA S., JORGE, M DO C. O., MENDES, B. DA R., Criação de um Sistema de Previsão e Alerta de Risco a deslizamentos e enchentes, visando minimizar os impactos sócio-ambientais no bairro Quitandinha, bacia do rio Piabanha (afluente do Paraíba do Sul), município de Petrópolis-RJ, Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, Brasil, 9-11 dezembro 2009, IPABHi, p. 785-824.
- [27] Googlemaps (2011), <http://maps.google.com/>
- [28] GUIDICINI, G. e NIEBLE, C.M. (1983). Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. 2a ed. São Paulo, Edgard Blücher. 196 páginas. Apud PINTO, Wendell Dias, Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos em Solo: Uma Abordagem *Fuzzy*, Campos dos Goytacazes – RJ, Outubro – 2002
- [29] G1. Dinheiro gasto para contenção de encostas é cada vez menor, diz relatório, 8/1/2010. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MRP1440199-5606,00.html>. Acessado em 28/10/2010
- [30] HOMERO, Deslizamento de encostas: um problema que exige prevenção. Disponível em [http://www.faperj.br/versao-impresao.phtml?obj\\_id=6099](http://www.faperj.br/versao-impresao.phtml?obj_id=6099). Acessado em 15/12/2010.
- [31] JUANG, C.H., HUANG, X.H., HOLTZ, R.D. e CHEN, J.W. Determining Relative Density of Sands From CPT Using Fuzzy Sets. 1996. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 1, p.1-6. 1996.
- [32] LEE, D.H. e JUANG, C.H. Evaluation of failure potential in mudstone slopes using fuzzy sets. 1992. ASCE Geotechnical Special Publication No 31, Stability and Performance of Slopes and Embankments – II, Vol. 2, p. 1137-1151, 1992.
- [33] LIMA, G.S. Seleção de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários: Uma Proposta Baseada na Análise do Valor e Lógica Fuzzy. 1995. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. COPPE/UFRJ, 153p, 1995.

- [34] MACBEAN, E.A., ROVERS, F.A. e FARQHAR, G.J. Solid Waste Landfill Engineering and Design. 1995. PrenticeHall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey, USA, 521p, 1995.
- [35] MASSAD, F. Obras De Terra - Curso Básico De Geotecnia. 2003. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
- [36] MENEZES, D.B. Diagnóstico dos Impactos do Depósito de Resíduos Sólidos de São Carlos no Meio Físico. 1995. Dissertação de Mestrado, EESC-USP, São Carlos, 102p, 1995.
- [37] MITRA, B., SCOTT, D., DIXON, C. e McKIMMEY, J. Application of fuzzy logic to the prediction of soil erosion in a large watershed. 1998. Geoderma, v. 86, n. 4, p.183-209, 1998.
- [38] NETTO, A.L.C. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. 1994. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S. ed. Geomorfologia: uma atualização de conceitos e bases, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. Apud SILVA, M. A. da, Aplicação de Lógica Nebulosa para Previsão do Risco de Escorregamentos de Taludes em solo Residual, Rio de Janeiro, 2008
- [39] OLIVEIRA, O.O., JUNIOR, F.S.A., ALVES, M.G. e VIEIRA, E.M. Uso De Técnicas de Geoprocessamento para Identificar Áreas Susceptíveis ao Escorregamento na Região de Campos dos Goytacazes – RJ. 2005. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3191-3198, 2005.
- [40] PINTO, Wendell Dias, Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos em Solo: Uma Abordagem *Fuzzy*, Campos dos Goytacazes – RJ, Outubro – 2002.
- [41] PORTALGEO. Disponível em [http://portalgeo.rio.rj.gov.br/mapa\\_risco/](http://portalgeo.rio.rj.gov.br/mapa_risco/)
- [42] PUC: <http://www.ica.ele.puc-rio.br/compint/index.rails?name=Intelig%C3%A2ncia%20Computacional>,  
[acesado em 01/11/2011.](http://www.ica.ele.puc-rio.br/compint/index.rails?name=Intelig%C3%A2ncia%20Computacional)
- [43] RABACO, L.M.L. Avaliação de Modelos de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa numa Faixa de Dutos. 2005. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia de Computação - Área de Concentração Geomática, UERJ, Rio de Janeiro, 2005.

- [44] RAMOS, R.A.R. e MENDES, J.F.G. Avaliação da Aptidão do Solo para Localização Industrial: O Caso de Valença. 2001. Revista Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal, n.10, p. 7-29, 2001
- [45] ROLNIK, R., Caos no Rio: relatora da ONU culpa Governo, Além da Notícia, 7/4/2010, Entrevista. Disponível em: [http://www.alemdanoticia.com.br/ultimas\\_noticias.php?codnoticia=4483](http://www.alemdanoticia.com.br/ultimas_noticias.php?codnoticia=4483). Acessado em 15/12/2010.
- [46] ROSA FILHO, A. e CORTEZ, A.T.C., Percepção geográfica de deslizamentos de encostas nas favelas em áreas de risco no município de Campos do Jordão-SP, Simpósio Nacional sobre Geografia, Percepção e Cognição do Meio Ambiente, Londrina, 2005.
- [47] RUFFIER, A.P.R., LISBOA, E.F.A. e DANZIGER, F.A.B., Aplicação de Redes Neurais ao Estudo da Capacidade de Carga de Fundações à Tração. [1998]. Disponível em: <http://www.ericolisboa.eng.br/artigos/cobram98.pdf>
- [48] SILVA, F.L.M. E PIMENTEL J. (1997). Inventário de Ocorrências de Movimentos de Massa no Estado do Rio de Janeiro. II PSL / II COBRAE, Rio de Janeiro, Vol. 3, p. 117-120. Apud PINTO, Wendell Dias, Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos em Solo: Uma Abordagem *Fuzzy*, Campos dos Goytacazes – RJ, Outubro – 2002.
- [49] SILVA, L. C. da, Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro / Organizado por Luiz Carlos da Silva {e} Hélio Canejo da Silva Cunha. – Brasília: CPRM. 2001.
- [50] SILVA, M. A. da, Aplicação de Lógica Nebulosa para Previsão do Risco de Escorregamentos de Taludes em solo Residual, Rio de Janeiro, 2008
- [51] SUAREZ, J.D. (1997a). La Vegetación en la Estabilización de Deslizamientos. II PSL / II COBRAE, Rio de Janeiro, Vol. 2, p. 739-746. Apud PINTO, Wendell Dias, Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos em Solo: Uma Abordagem *Fuzzy*, Campos dos Goytacazes – RJ, Outubro – 2002.
- [52] SUAREZ, J.D. (1997b). Mecanismos de Deslizamiento Relacionados com Procesos Urbanos. II PSL / II COBRAE, Rio de Janeiro, Vol. 2, p. 961-966. Apud PINTO, Wendell Dias, Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos em Solo: Uma Abordagem *Fuzzy*, Campos dos Goytacazes – RJ, Outubro – 2002.

- [53] THOMAS, M.F. Tropical geomorphology: a study of weathering and landform development in warm climates. 1979. 2 ed. London: MacMillan, 1979. Apud SILVA, M. A. da, Aplicação de Lógica Nebulosa para Previsão do Risco de Escorregamentos de Taludes em solo Residual, Rio de Janeiro, 2008
- [54] VARGAS, M. (1999). Revisão Histórico-Conceitual dos Escorregamentos da Serra do Mar. Revista Solos e Rochas, São Paulo, Vol. 22, No 1, p. 53-83. Apud PINTO, Wendell Dias, Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos em Solo: Uma Abordagem *Fuzzy*, Campos dos Goytacazes – RJ, Outubro – 2002.
- [55] Wang, Li-Xin, and Mendel, Jerry M. (1991) —Generating Fuzzy Rules from Numerical Data, with Applications.|| USC-SIPI Report No. 169. Signal and Image Processing Institute, University of Southern California, Los Angeles, CA.
- [56] Yager, Ronald E., and Zadeh, Lotfi A. Eds. (1992). An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

## ANEXO

### **ANEXO 1 – TRECHO DO DECRETO-LEI Nº6.766, DE 19 DE DEZEMBRO DE 1979**

A questão do uso do solo no que se refere à ocupação de encosta é tratada no Inciso III do Parágrafo Único, Art. 3º do Decreto-Lei nº6.766, de 19 de dezembro de 1979, que define que

“Parágrafo único: Não será permitido o parcelamento do solo:

...

III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;

IV – em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

...”

No Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001), destaco o Inciso IV de seu Art. 2º que diz:

“Art. 2º A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais:

...

IV - Planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;”

## ANEXO 2 – PROGRAMA MATLAB

% dados tem n+1 colunas. As n primeiras colunas representam as variáveis de entrada e a coluna n+1 a saída.

```

time1=cputime;
epoch_n = 2500;
data = [dados];
numMFs = 2;
mfType = 'gbellmf';
%mfType = 'trimf';
error_goal = 1e-6;

% ===== AJUSTE DO PASSO (SEMELHANTE A TAXA DE APRENDIZADO ADAPTATIVA)
ss = 0.2;
ss_dec_rate = 0.9;
ss_inc_rate = 1.1;

in_fis = genfis1([data],numMFs,mfType);

% Mostra o sistema de Inferência Fuzzy
plotfis(in_fis)

[out_fis trn_error step_size] = ...
    anfis([data],in_fis, [epoch_n error_goal ss ss_dec_rate
ss_inc_rate],[1,1,1,1]);

figure (2);

[x,mf] = plotmf(in_fis,'input',1);
subplot(4,1,1), plot(x,mf)
xlabel('Altura (Antes)')

[x,mf] = plotmf(out_fis,'input',1);
subplot(4,1,2), plot(x,mf)
xlabel('Altura (Depois)')

[x,mf] = plotmf(in_fis,'input',2);
subplot(4,1,3); plot(x,mf)
xlabel('Inclinação (Antes)')

[x,mf] = plotmf(out_fis,'input',2);
subplot(4,1,4); plot(x,mf)
xlabel('Inclinação (Depois)')

figure (3);

[x,mf] = plotmf(in_fis,'input',3);
subplot(4,1,1), plot(x,mf)
xlabel('Puviosidade (Antes)')

[x,mf] = plotmf(out_fis,'input',3);
subplot(4,1,2), plot(x,mf)
xlabel('Pluviosidade (Depois)')

[x,mf] = plotmf(in_fis,'input',4);
subplot(4,1,3), plot(x,mf)

```

```

xlabel('Drenagem (Antes) ')

[x,mf] = plotmf(out_fis,'input',4);
subplot(4,1,4), plot(x,mf)
xlabel('Drenagem (Depois)')

figure (4);

[x,mf] = plotmf(in_fis,'input',5);
subplot(4,1,1), plot(x,mf)
xlabel('Vegetal (Antes)')

[x,mf] = plotmf(out_fis,'input',5);
subplot(4,1,2), plot(x,mf)
xlabel('Vegetal (Depois)')

[x,mf] = plotmf(in_fis,'input',6);
subplot(4,1,3), plot(x,mf)
xlabel('Vegetal (Antes)')

[x,mf] = plotmf(out_fis,'input',6);
subplot(4,1,4), plot(x,mf)
xlabel('Vegetal (Depois)')

% Simula a saída ANFIS

SAIDA=evalfis(data(:,1:6),out_fis)

time2=cputime;
time=time2 - time1;

figure (5);

% Curva do erro

plot(1:epoch_n, trn_error);
xlabel('Número de epochs'); ylabel('Erro Médio Quadrático');
title('Curva de Erro');

figure (6);

% Curva do passo

plot(1:epoch_n, step_size);
xlabel('Número de epochs'); ylabel('Passo');
title('Curva do Passo - Adaptativo');
% Mostra as regras

showrule(in_fis)

% Testes

dados1=[];

SAIDA1=evalfis(dados1(:,:),out_fis)

```

## ANEXO 3 – DESCRIÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DOS MAPAS GEOLÓGICOS, DE SOLOS, GEOMORFOLÓGICOS E GEOAMBIENTAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. (SILVA, 2001)

### i. Mapa Geológico

**Tabela 22 – Características obtidas no Mapa Geológico**

Característica	Descrição
$\epsilon\gamma 5$ (16)	Granitóides pós-tectônico: (Hornblenda)-biotita granitóides do tipo-I, de granulação fina a média, textura equigranular a porfirítica localmente com foliação de fluxo magmático preservado. Ocorre como corpos tabulares, diques, stocks e pequenos batólitos cortando as rochas regionais. Ocorrem também como plútons homogêneos, algumas vezes com evidência de magma mingling e mixing. Fases aplíticas tardias são abundantes. (16) Granito Utinga.
$\epsilon\gamma 5$ (5)	Granitóides pós-tectônico: (Hornblenda)-biotita granitóides do tipo-I, de granulação fina a média, textura equigranular a porfirítica localmente com foliação de fluxo magmático preservado. Ocorre como corpos tabulares, diques, stocks e pequenos batólitos cortando as rochas regionais. Ocorrem também como plútons homogêneos, algumas vezes com evidência de magma mingling e mixing. Fases aplíticas tardias são abundantes. (5) Maciço Pedra Branca.
$\epsilon\gamma 5$ (8)	Granitóides pós-tectônico: (Hornblenda)-biotita granitóides do tipo-I, de granulação fina a média, textura equigranular a porfirítica localmente com foliação de fluxo magmático preservado. Ocorre como corpos tabulares, diques, stocks e pequenos batólitos cortando as rochas regionais. Ocorrem também como plútons homogêneos, algumas vezes com evidência de magma mingling e mixing. Fases aplíticas tardias são abundantes. (8) Granito Favela.
$\epsilon\gamma 5$ a	Neoproterozóico/Cambriano (Brasiliano III): Granitóide pós-tectônico: Granito Favela
$\epsilon\gamma 5a$ (8)	Neoproterozóico/Cambriano (Brasiliano III): Granitóide pós-tectônico: Granito Favela
MNps	Meso/Neoproterozóico: Complexo Paraíba do Sul. Unidade São Fidélis. Granada-biotita-silimanita gnaiss quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios analéticos in situ ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaiss calcissilicático e quartzito frequentes. Variedades com cordierita e silimanita (kinzigito) com contatos transicionais com o granada biotita gnaiss. Horizontes de xistos grafitosos são comuns. Também ocorrem rocha calcissilicática, metacarbonática (ca) e quartzito (qz). Em raros domínios com baixa taxa de strain estrutura turbidíticas são preservadas.
MNps bgn	Meso/Neoproterozóico: Complexo Paraíba do Sul. Unidade São Fidélis. Granada-biotita-silimanita gnaiss quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios analéticos in situ ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaiss calcissilicático e quartzito frequentes. Variedades com cordierita e silimanita (kinzigito) com contatos transicionais com o granada biotita gnaiss. Horizontes de xistos grafitosos são comuns. Também ocorrem rocha calcissilicática, metacarbonática (ca) e quartzito (qz). Em raros domínios com

	baixa taxa de strain estrutura turbidíticas são preservadas. Bgn Granda-biotita gnáissicos
MNps kin	Meso/Neoproterozóico: Complexo Paraíba do Sul. Unidade São Fidélis. Granada-biotita-silimanita gnaiss quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios analéticos in situ ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaiss calcissilicático e quartzito frequentes. Variedades com cordierita e silimanita (kinzigito) com contatos transicionais com o granada biotita gnaiss. Horizontes de xistos grafitosos são comuns. Também ocorrem rocha calcissilicática, metacarbonática (ca) e quartzito (qz). Em raros domínios com baixa taxa de strain estrutura turbidíticas são preservadas. Kin Cordierita-silimanita gnaisses (kinzigitos)
Ny1r	Complexo Rio Negro: Unidade Rio Negro Ortognaiss bandado, TTG, de granulação grossa, texturas porfíricas recristalizadas e augen, com forte foliação tangencial. Intercalações de metagabro e metadiorito deformados (anfibolito) ocorrem localizadamente. Intrusões de granada leucogranitos tipo-S e de apófises de granitóides do Batólito Serra dos Órgaos ocorrem regionalmente.
Ny1ra	Complexo Rio Negro: Unidade Rio Negro Ortognaiss bandado, TTG, de granulação grossa, texturas porfíricas recristalizadas e augen, com forte foliação tangencial. Intercalações de metagabro e metadiorito deformados (anfibolito) ocorrem localizadamente. Intrusões de granada leucogranitos tipo-S e de apófises de granitóides do Batólito Serra dos Órgaos ocorrem regionalmente. Gnaiss Archer
Ny2r co	Suíte Rio de Janeiro: Granito Corcovado: Granito tipo-S com granada, muscovita e biotita, textura megaporfírica (augen) com superposição de foliação tangencial em estado sólido. Xenólito e restito de paragnaiss são abundantes bem como intrusões de diques aplíticostardios de leucogranitotipo S (co)
Ny2r cv	Suíte Rio de Janeiro: Leucogranito gnáissico Cosme Velho: Leucogranito tipo-S com muscovita, granada e biotita, de granulação média, textura granoblástica e forte foliação tangencial. Xenólitos e restritos de paragnaisses são comuns (cv).
Ny2r pa	Suíte Rio de Janeiro: Granito Pão de Açúcar: Fáceis metaluminosa do Granito Corcovado com hornblenda e biotita como minerais acessórios; localmente com bolsões e manchas de granada-ortopiroxênio charnockito (pa)
Ny2ss	Unidade Santo Aleixo: Fáceis marginal do Batólito Serra dos Órgaos constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólito de paragnaiss parcialmente fundido e assimilado (migmatito de injeção). Instruções tardias de leucograno tipo S são comuns.
Qha	Depósito Colúvio-Aluvionar: Depósitos fluviais e flúvio-marinhos areno-siltico-argilosos com camadas de cascalheiras associadas a depósitos de tálus, e sedimentos lascustrinos e de manguezais retrabalhado.
Qphm	Depósito Marinho e Flúvio-Marinho: Depósitos flúvio-marinhos sílico-areno-argilosos, ricos em matéria orgânica, englobando linhas de praia atuais a antigas, além de manguezais.

## ii. Mapa de Solos

**Tabela 23 – Características obtidas no mapa de solos**

<b>Característica</b>	<b>Descrição</b>
AR1	Tipos de Terreno: Afloramento de rocha
BV	Brunizém Avermelhado
GHT	Glei Húmico tiomórfico
Ilha (BV?)	Ilha
LVa17	Latossolo Vermelho-Amarelo álico
LVa9	Latossolo Vermelho-Amarelo álico
PAa2	Podzólico Amarelo álico
PLa1	Planossolo álico
PLs2	Planossolo solódico
PVa11	Podzólico Vermelho Amarelo álico
PVa9	Podzólico Vermelho Amarelo álico
Pve 9	Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico
PVe11	Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico

## iii. Mapa Geomorfológico

**Tabela 24 – Características obtidas no mapa geomorfológico**

<b>Característica</b>	<b>Descrição</b>
121	Relevo de Agravção: Litorâneos: Planícies Costeiras (Terrenos Arenosos de Terraços Marinhos, Cordões Arenosos e Campos de Dunas). Superfície subhorizontais, com microrrelevo ondulado de amplitudes topográficas inferiores a 20m, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Terrenos bem drenados com padrão de drenagem paralelo, acompanhando as depressões intercordões.
122	Relevo de Agravção: Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas (Terrenos Argilo-Arenosos das Baixadas) Superfície sunhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais (processos fluviais e de encostas) e Marinhos. Terrenos mal drenados com padrão de canais meandrante e divagante. Presença de superfície de aplanamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das BAixadas.
123	Relevo de Agravção: Planícies Flúvio-Marinhas (Terrenos Argilosos Orgânicos de Fundo de Baías ou Enseadas, ou Deltas dominados por Maré). Superfícies planas, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais e Marinhos. Terrenos muito mal drenados com padrão de canais bastante meandrante e divagante, sob influência de refluxo de marés.
124	Relevo de Agravção: Planícies Flúvio-Lagunares (Terrenos Argilosos Orgânicos de Paleolagunas Colmatadas). Superfícies planas, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais e Lagunares. Terrenos muito mal drenados com lençol freático subaflorante.
221	Relevos de degradação entremeados na baixada: Colinas Isoladas: Formas de relevo residuais, com vertente convexas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvio, remanescentes do afogamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as baixadas litorâneas. Densidade de drenagem muito baixa com padrão de drenagem dendrítico e drenagem imperfeita nos fundos de vales afogados. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100m e gradientes suaves.
233	Relevos de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplanadas. Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos. Relevo de colinas dissecadas, com vertente convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados e de morrotes e morros dissecados, com vertente retilínea e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Densidade de drenagem média a alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a treliça ou retangular. Predominio de amplitudes topográficas ente 100 e 200m e gradientes suaves médios.
235	Relevos de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplanadas. Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais: Relevo de patamares litoestruturais, com vertentes predominantemente retilíneas e Côncavas e esparcadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, que se destacam topograficamente do domínio colinoso. Densidade de drenagem alta com padrão de drenagem variável, de paralelo a dendrítico. Predominio de amplitudes topográficas entre 300 e 700m e gradientes médios a elevados,

	com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha.
251	Relevos de Degradação em áreas montanhosas: Maciços Costeiros e Interiores: Relevo Montanhoso, extremamente acidentado, localizado em meio ao domínio das baixadas e planícies costeiras, ou em meio ao domínio colinoso, no caso dos maciços interiores. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Densidade de drenagem alta a muito alta com padrão de drenagem variável, de paralelo a dendrítico, geralmente centrífugo. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 300m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramento de rocha.

## iv. Mapa Geoambiental

Tabela 25 – Características obtidas no mapa geoambiental

Característica	Descrição	Limitações	Potencialidades	Recomendações
Urbana	Urbana			
7a2	Colinas Isoladas: Colinas residuais sustentadas por ortognaisses, paragnaisses, granitóides e granodioritos situados no graben da Baía de Guanabara. Estão isoladas pela sedimentação fluvial nos baixos cursos dos principais rios. Amplitudes topográficas inferiores a 50m. Predominam Latossolos e Podzólicos Vermelho-Amarelos álicos. A vegetação original era composta por floresta subperenifólia (7a1), junto aos contrafortes da Serra do Mar, desde o recôncavo da Baía de Guanabara até o Rio do Imbé; e floresta subcaducifólia	Terrenos suscetíveis à inundações nas áreas baixas e planas entre as colinas isoladas, e moderada suscetibilidade à erosão nas vertentes mais declivosas. Solos de baixa fertilidade natural. Os sedimentos de corrente do alto curso do Rio Guapiaçu, contêm altos teores de Cd e Zn. Aquíferos livres a semiconfinados, estritos aos vales planos, com potencial hidrogeológico baixo a nulo.	Terrenos com moderada a alta capacidade de carga (solos residuais e colúvios) e baixa suscetibilidade à erosão nas vertentes convexas. Adequado para agricultura preferencialmente com culturas perenes e pastagens, urbanização e obras viárias. Potencial mineral para argila, areia e água mineral (esteemMagé).	Implantação de sistema silvipastori e agroflorestal. Recomposição da Mata Atlântica. Controle ambiental em atividades de mineração. Recuperação de áreas degradadas e de rios contaminados.

	(7a2), nas bacias dos rios Guandu, Caceribu e Bacaxá. Estão ocupadas por pastagens e pequenos fragmentos de mata, sendo densamente urbanizadas na Região Metropolitana. A precipitação média anual varia de 1.200mm a 2.000mm (no sopé da Serra do Mar).			
3c	Baixadas: Planícies constituídas por sedimentos quaternários, argilo-arenosos e/ou areno-argiloso. Predominam Planossolos Solódicos. A vegetação original era composta por campos higrófilos e floresta subcaducifólia. Atualmente as terras estão ocupadas por pastagens e áreas urbanas. Esta unidade restringe-se ao campo militar de Gericinó e às cercanias de Sepetiba, na zona Oeste do Rio de Janeiro e exíguas áreas da zona norte e Baixada Fluminense. A precipitação média anual oscila em torno de 1.200mm.	Terrenos inundáveis nas margens dos rios, onde deve ser evitada urbanização, obras viárias ou disposição de resíduos sólidos. Predominam solos com restrição de drenagem interna, baixa fertilidade natural e altos teores de Na. Lençol freático elevado, passível de contaminação. Ocorrência de águas subterrâneas salinizadas.	Terrenos adequados para urbanização nas áreas melhor drenadas. Adequado para pastagem. Aquíferos livres, com potencial hidrogeológico regular.	Pecuária. Preservação ou recuperação dos campos e matas.
3b2	Baixadas: Planícies constituídas por sedimentos quaternários, argilo-arenosos e/ou areno-argiloso. Solos hidromórficos como Gleis Pouco Húmicos e Planossolos álicos, associados a	Terrenos inundáveis nas margens dos rios, onde deve ser evitada urbanização, obras viárias ou disposição de resíduos sólidos. Predomínio de solos de baixa fertilidade natural. Lençol freático	Adequado para agricultura de várzea e pastagem. Terrenos adequados para urbanização nas áreas melhor drenadas. Aquíferos livres, com potencial hidrogeológico, em geral, bom.	Agricultura com irrigação e/ou drenagem e pecuária, respeitando as limitações naturais dos terrenos. Controle ambiental em atividades de mineração.

	<p>baixadas com maior restrição de drenagem e Solos Aluviais distróficos associados a planícies melhor drenadas, são solos predominantes. A vegetação original era composta por floresta perenifólia de várzea (3b1) e por floresta subperenifólia e subcaducifólia de várzea ou campos higrófilos de várzea (3b2). Atualmente as terras estão ocupadas por pastagens e área urbanas e, subordinadamente, por pequenos fragmentos de mata. É notável o crescimento do processo e urbanização das baixadas de Sepetiba e Guanabara, na região metropolitana do Rio de Janeiro. A precipitação média anual varia de 1500 a 2200mm nas exíguas baixadas do litoral sul fluminense (3b1) e de 1100 a 1500mm nas baixadas de Maricá, Guanabara e Sepetiba (3b2).</p>	<p>elevado, passível de contaminação. Ocorrência de águas subterrâneas salinizadas. Sedimentos de corrente das baías de Ribeira, Sepetiba e Ilha Grande com alto teor de Zn. Água dos rios Valão Grande e Guandu com alto teor de Al. Água e sedimentos de corrente dos tributários da Baía de Guanabara e das baixadas de Jacarepaguá e Saquarema com altos teores de Zn, Cu, Pb, Al e F.</p>	<p>Fonte de areia, quartzo e feldspato (fração areia) na Baixada de Sepetiba (extração em cava em Seropédica) para construção civil e fins industriais.</p>	<p>Recuperação de áreas degradadas e de rios contaminados.</p>
2b2	<p>Planícies Fluvio-lagunares (brejos): Planície fluviolagunares com sedimentos quaternários, argilo-arenosos ou argilosos ricos em matéria orgânica. Ambiente redutor, com solos</p>	<p>Terrenos inundáveis, com baixa capacidade de carga. Solos com altos teores de sais e enxofre (solos Tiomórficos), com elevado risco de acidificação, nas drenados. Inaptos na agricultura e pastagem plantada.</p>	<p>Pastagens naturais. Atividade pesqueira nas lagunas. Na Baixada Campista, ocorrem aquífero confinados a semiconfinados de alta potencialidade hidrogeológica.</p>	<p>Preservação e recuperação ambiental de lagunas, brejos e banhados. Cuidados para evitar contaminação e rebaixamento do lençol</p>

	<p>Gleis Pouco Húmicos salinos, Gleis Húmicos Tiomórficos e Solos Orgânicos Tiomórficos, Campos halófilos de várzea ocupados por pastagens. a precipitação anual varia de 700 a 1300 mm. Esta subunidade é expressiva nos baixos cursos dos rios São João, Una, Macaé e Macabu, nas áreas mais próximas à linha de costa das baixadas fluvio-marinhas de Sepetiba e de Guanabara e nas baixadas fluvio-lagunares de Jacarepaguá, Maricá, Saquerema, Araruama e entorno da Lagoa Feia.</p>	<p>Lençol freático subaflorante. Inadequado na urbanização, obras viárias e disposição de resíduos sólidos. Aquíferos livre, rasos, com potencial restrito e águas frequentemente salinizadas. Teores altos de Pb, Al, e Se nas águas da região de Araruama, Al e F na foz dos rios São João e Una, Zn e F na água e sedimentos de corrente da região de R. dos Bandeirantes.</p>		<p>freático.</p>
2b1	<p>Planícies Fluvio-lagunares (brejos): Planície fluvio-lagunares com sedimentos quaternários, argilo-arenosos ou argilosos ricos em matéria orgânica. Ambiente redutor, com solos Gleis Pouco Húmicos salinos, Gleis Húmicos Tiomórficos e Solos Orgânicos Tiomórficos, Campos hidrófilos de várzea ocupados por pastagens. a precipitação anual varia de 700 a 1300 mm. Esta subunidade é expressiva nos baixos cursos dos rios São João, Una, Macaé e Macabu, nas áreas mais</p>	<p>Terrenos inundáveis, com baixa capacidade de carga. Solos com altos teores de sais e enxofre (solos Tiomórficos), com elevado risco de acidificação, nas drenados. Inaptos na agricultura e pastagem plantada. Lençol freático subaflorante. Inadequado na urbanização, obras viárias e disposição de resíduos sólidos. Aquíferos livre, rasos, com potencial restrito e águas frequentemente salinizadas. Teores altos de Pb, Al, e Se nas águas da região de Araruama, Al e F na foz dos rios São João e Una, Zn e F na água e sedimentos de corrente da</p>	<p>Pastagens naturais. Atividade pesqueira nas lagunas. Na Baixada Campista, ocorrem aquífero confinados a semiconfinados de alta potencialidade hidrogeológica.</p>	<p>Preservação e recuperação ambiental de lagunas, brejos e banhados. Cuidados para evitar contaminação e rebaixamento do lençol freático.</p>

	próximas à linha de costa das baixadas fluviomarinhas de Sepetiba e de Guanabara e nas baixadas fluviolagunares de Jacarepaguá, Maricá, Saquerema, Araruama e entorno da Lagoa Feia.	região de R. dos Bandeirantes.		
2a	Planícies Fluvio-lagunares (brejos): Planície fluviolagunares com sedimentos quaternários, argilo-arenosos. Ambiente redutor, com solos Orgânicos distróficos e Gleis Húmicos e Pouco Húmicos álicos. Campos hidrófilos de várzea ocupados por pastagens e, subordinadamente, por agricultura e pequenos fragmentos de mata higrófila. A precipitação média anual varia de 900 a 1500mm. Esta subunidade se destaca nos baixo-médios cursos dos rios São João, Macaé e Macabu e nas baixadas de Sepetiba e de Guanabara.	Terrenos inundáveis, com baixa capacidade de carga. Lençol freático subafloramento passível de contaminação. Solos podem apresentar sais em subsuperfície. Inadequados para urbanização, obras viárias e disposição de urbanização nas baixas encostas dos alvéolos. esíduos sólidos. Aquíferos livres rasos, com potencial restrito e águas frequentemente salinizadas.	Terrenos adequados para pastagem e agricultura de várzea.	Pecuária extensiva. Cuidados para evitar contaminação do lenções freático.
15b	Maçãos Costeiros: Maçãos montanhosos isolados nas baixadas litorâneas, sustentados por granitóides (gnaisse facoidal) e granitos. Vertentes convexas a côncavas e escarpadas e topos de cristas	Terrenos rochosos e escarpados, constituindo paredões subverticais. Ocorrência generalizada de afloramentos de rocha. Alta suscetibilidade a processos de erosão e movimentos de massa (inclusive queda de blocos). Solos	Áreas de beleza cênica, indicadas para turismo de baixa densidade. Áreas de mananciais.	Preservação da vegetação nativa. Ecoturismo.

	<p>alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Amplitudes topográficas superiores a 300m. Predominam Afloramentos de Rocha e Solos Litólicos em áreas de vegetação preservada. A vegetação original era composta por formações rupestres e floresta subcaducifólia. Esta subunidade restringe-se aos pontões rochosos próximos à linha de costa dos maciços da Tijuca (Pedra da Gávea, Dois Irmãos e alinhamento Morro dos Cabritos - Pão de Açúcar) e de Niterói (Jurujuba e Itacoatiara). A precipitação média anual varia de 1.200 a 1.400 mm.</p>	<p>muito rasos. Inaptos para urbanização, agricultura e pecuária. Potencial hidrogeológico nulo.</p>		
15a2	<p>Maciços Costeiros: Maciços montanhosos isolados nas baixadas litorâneas, sustentados por granitos, granitóides, ortognaisses migmatíticos, charnockitos e paragnaisses. Vertentes convexas a côncavas e escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Amplitudes topográficas superiores a 300m. Predominam Podzólicos e Latossolos</p>	<p>Terrenos de alta declividade. Ocorrência de depósitos de tálus com baixa capacidade de carga, e afloramentos de rocha. Alta suscetibilidade a processos de erosão e movimentos de massa. Solos, em geral, pouco espessos e de baixa fertilidade. Inadequado para agricultura e pecuária.</p>	<p>Áreas de beleza cênica, indicadas para turismo de baixa densidade. Urbanização sobre restritos patamares estruturais de gradientes mais suaves, alvéolos e planícies fluviais subordinadas. Aquíferos livres a semiconfinados, restritos aos vales, com potencial regular e águas leves de boa qualidade. Potencial para água mineral. Áreas de mananciais.</p>	<p>Preservação e implantação de sistema florestal para recomposição da Mata Atlântica. Proteção dos mananciais. Ecoturismo. Controle ambiental em atividade de mineração.</p>

	<p>Vermelho-Amarelos e Cambissolos álicos. A vegetação original era composta por floresta perenifólia (15a1), restrita ao maciço da Juatinga e à Ilha Grande; floresta subperenifólia e subcaducifólia (15a2), nos maciços da Pedra Branca, Tijuca e da Região dos Lagos, mantendo, em grande parte, a mata preservada. A precipitação média anual varia de 1.900 a 2.500mm, sob domínio da floresta perenifólia (15a1), de 1.200 a 2.000mm, sob domínio das florestas subperenifólia e subcaducifólia (15a2).</p>			
13b2	<p>Serras Alinhadas: Alinhamentos serranos sustentados por charnockitos, ortognaisses, granulitos, paragnaisses, mármores, granitóides e granitos. Diversas litologias apresentam textura milonítica. Vertentes escarpadas e cumes aguçados. Amplitude topográfica entre 300 e 700m e gradientes elevados. Predominam Podzólicos Vermelho-Amarelos e Vermelho-Escuros eutróficos e distróficos e,</p>	<p>Terrenos montanhosos de alta declividade. Ocorrência de depósitos de tálus com baixa capacidade de carga, e afloramentos de rocha. Alta suscetibilidade a processos de erosão e movimentos de massa (inclusive queda de blocos). Solos pouco espessos. Inadequados para urbanização, agricultura e pecuária. Déficit hídrico no período seco em áreas sob floresta subcaducifólia. Potencial hidrogeológico baixo a nulo.</p>	<p>Áreas de beleza cênica, indicadas para turismo. Potencial mineral para granito, feldspato e mármore. Água mineral em Macaé (Serra do Segredo). Rocha ornamental - pedra para revestimento em Santo Antônio de Pádua, Miracema, Itaperuna, Natividade e Porciúncula; pedra polida em Cambuci e Campos (maciço de Itaoca).</p>	<p>Implantação de sistema florestal para recomposição da Mata Atlântica. Proteção dos mananciais. Controle ambiental em atividades de mineração. Recuperação de áreas degradadas e de rios contaminados.</p>

	<p>subordinadamente, Cambissolos álicos. A vegetação original era composta por floresta perenifólia e subperenifólia (13b1), nas porções mais elevadas das serras do médio vale do Rio Paraíba do Sul; e floresta subcaducifólia (13b2), nas serras do Norte-Noroeste Fluminense e nos alinhamentos isolados dos contrafortes dos maciços costeiros e da Serra do Mar. Estão ocupados por pastagens e matas. A precipitação média anual varia de 1.200 a 1.800mm, sob domínio da floresta subperenifólia (13b1) e de 1.000 a 1.500mm, sob domínio da floresta subcaducifólia (13b2).</p>			
--	--	--	--	--

## ANEXO 4 – BANCO DE DADOS

AnoLaudo	Altura	Inclinação	96h	Drenagem	Vegetação Fitotipo	Ocupação	PE
19993	6	45	29.50	90	12	93	55
20009	6	73	94.30	5	29	30	100
199847	4	70	38.10	50	10	15	95
199879	6	80	107.70	60	5	40	35
199924	10	90	47.00	60	95	30	100
199926	4	90	77.70	60	60	30	93
199947	6	45	31.80	40	60	10	70
199948	3	73	28.40	50	60	30	96
199955	6	90	53.90	50	70	98	30
199955	6	90	53.90	50	70	98	30
199957	12	90	4.00	50	100	30	96
199986	6	60	116.80	50	60	10	93
200029	12	40	13.00	50	60	30	93
200061	7	90	0.00	50	95	10	85
200071	4	62	15.20	60	29	30	96
200074	3.5	85	138.40	50	95	55	92
200158	3.5	14	13.60	50	60	30	81
200160	2	14	13.60	50	70	30	85
200177	6.5	90	17.40	80	86	93	100
200181	3	14	43.40	90	41	10	35
200226	7	73	13.60	60	29	10	100
200244	6	80	163.40	0	95	30	92
200248	6	73	163.40	0	95	30	100
200249	3	25	163.40	50	70	95	92
200295	5	6	21.80	50	35	85	50
200315	4	50	31.20	50	60	93	30
200360	3	50	8.80	90	26	30	70
200581	5	90	4.20	80	26	85	58
200594	2.5	75	42.80	50	34	30	87.5
200599	6	50	16.40	50	35	30	70
200650	15	73	0.00	50	87	30	81
200725	4	45	0.00	60	0	93	92
200778	5	73	18.20	50	70	30	85
1996530	15	73	0.00	0	12	95	100
1998309	4	14	52.40	50	30	93	50
1998325	7	50	24.80	80	29	93	6
1998331	8	40	51.50	50	35	30	92
1998342	12	41	21.20	50	60	93	85
1998343	2	73	42.80	50	30	55	50

1998380	10	45	54.20	60	12	30	92
1998394	6	73	23.20	80	7	93	92
1998400	6	48	52.00	50	70	93	79
1998413	8	53	64.90	50	0	30	85
1998420	3	75	42.80	50	0	93	81
1998436	5	10	4.60	50	60	10	85
1998436	6	90	4.60	50	60	10	85
1998455	2.5	73	54.20	50	86	30	100
1998456	3	73	0.00	50	86	10	100
1998459	15	73	109.10	50	5	40	35
1998464	15	73	51.50	100	12	93	92
1998478	5	60	42.90	0	25	98	85
1998547	12	6	37.90	50	60	100	81
1998579	3	73	7.90	50	35	30	92
1998589	3	73	229.80	50	70	60	91
1998592	7	50	37.60	100	70	30	93
1998595	5	60	229.80	80	70	30	90
1998603	9	60	177.30	80	45	93	93
1998612	3	25	0.00	90	44	10	45
1998625	4.5	70	60.60	80	30	10	78
1998629	7	60	60.60	50	95	10	93
1998651	4	73	10.20	80	60	60	96
1998676	7	14	0.00	60	27	30	92
1998681	15	50	0.50	50	38	93	73
1998697	6	40	14.90	50	90	30	73
1998699	6	85	11.80	50	30	93	87.5
1998715	3	73	0.00	50	70	10	70
1998723	4.5	45	0.00	90	87	10	96
1998746	6	70	28.90	50	60	10	81
1998748	4	85	96.60	50	30	60	58
1998785	15	45	264.80	60	42	50	96
1998815	6	90	0.00	50	60	93	81
1998828	15	14	30.20	80	81	10	96
1998840	10	90	1.70	50	60	60	85
1998846	4	40	0.00	80	70	10	70
1998848	3	45	2.30	80	0	93	73
1998851	3.5	73	31.40	80	0	30	93
1998852	4.5	90	27.90	50	30	40	70
1998855	3	90	25.80	50	100	50	50
1998861	12	73	29.20	50	70	93	75
1998870	12	50	1.50	50	70	30	58
1998875	5	90	1.80	50	30	98	100
1998876	2.5	90	1.50	50	0	55	85

1998878	4	90	0.00	50	30	60	87.5
1998889	5	90	0.00	50	60	85	96
1998891	5	35	2.70	50	0	30	50
1998894	7	70	4.30	50	60	30	73
1998905	7	73	2.70	80	10	55	87.5
1998920	7	25	8.30	90	45	10	60
1998921	4	90	11.00	50	0	85	85
1998934	4	90	0.30	50	60	60	87.5
1998936	4	90	10.60	50	26	93	70
1998938	3	70	0.90	0	30	50	70
1998947	2.5	70	0.40	80	60	55	81
1998948	3.5	90	0.60	80	0	30	75
1998971	5	70	3.30	50	25	98	0
1998983	8	70	133.80	50	45	10	93
1998992	5	90	77.40	100	12	93	81
1998993	1.5	35	68.70	50	95	85	88
1999121	5	6	11.20	50	0	85	96
1999123	6	6	21.00	80	86	93	75
1999147	4	60	71.60	90	30	10	93
1999164	5	6	24.50	50	0	93	96
1999171	2	14	0.00	50	60	85	88
1999178	7	90	40.10	50	30	93	85
1999193	15	73	68.70	100	29	93	88
1999195	7	14	11.90	80	27	30	70
1999202	3.5	14	21.40	20	26	98	70
1999245	10	70	4.80	50	70	93	100
1999250	7	85	0.00	50	29	98	87.5
1999256	15	45	19.80	50	70	30	81
1999304	4.5	60	11.50	50	87	93	78
1999330	12	30	4.80	80	70	50	70
1999345	2	40	6.60	50	26	30	70
1999346	5	30	0.00	50	0	10	85
1999371	4	60	23.30	40	35	98	81
1999387	3	14	1.50	80	70	95	25
1999401	6	60	10.90	50	26	93	81
1999430	7	73	0.00	100	27	30	65
1999431	3	73	0.00	50	35	10	87.5
1999439	2.5	90	0.40	50	30	30	73
1999441	10	60	0.00	50	86	93	65
1999462	7	73	0.00	100	0	10	100
1999466	3	70	1.90	80	45	93	30
1999475	7	70	1.00	80	48	85	60
1999482	5	40	1.60	50	60	30	70

1999488	3	14	0.00	60	70	93	87.5
1999490	3.5	60	24.80	0	95	98	81
1999497	4	80	0.00	50	70	93	85
1999505	7	45	0.00	90	70	60	73
1999513	4	45	44.50	90	30	30	81
1999549	12	90	31.60	50	82	55	73
1999567	1	20	4.80	90	0	50	73
1999574	8	70	6.10	50	26	93	65
1999600	6	45	14.50	100	0	20	81
1999616	6	73	26.10	40	86	10	70
1999638	15	40	0.60	50	75	30	73
1999660	4	90	0.00	50	34	20	73
1999677	5	30	28.60	90	86	30	70
1999678	4	85	15.00	50	60	98	85
1999686	12	35	1.60	50	60	30	70
1999692	8	80	11.00	50	70	93	81
1999704	6	73	1.40	50	90	60	65
1999707	3	14	1.30	50	95	93	70
2000119	4	60	43.10	100	87	93	73
2000121	3	60	5.50	50	0	60	81
2000133	6	80	94.30	60	27	40	100
2000135	15	75	3.40	20	29	85	87.5
2000155	2.5	75	16.40	50	60	40	81
2000174	4	73	68.00	80	0	10	100
2000175	5	90	89.30	50	70	30	100
2000176	12	35	1.20	90	0	30	73
2000188	5	90	89.30	50	60	30	100
2000208	2	15	32.40	50	82	30	70
2000219	2.5	38	134.10	50	70	30	96
2000225	4	73	68.00	20	86	30	92
2000257	7	14	0.60	20	76	50	65
2000283	3	14	0.00	90	83	93	70
2000284	7	73	0.00	90	83	30	87.5
2000292	2	14	0.00	50	27	93	65
2000304	5	14	89.30	50	0	30	92
2000337	3	14	0.00	90	34	93	70
2000338	3	6	0.00	100	34	98	40
2000339	10	73	20.60	80	0	93	96
2000382	5	45	89.30	50	60	30	92
2000495	3	45	0.00	60	95	40	30
2000498	7	73	15.40	80	32	15	70
2000549	5	14	0.50	50	90	55	70
2000550	1.5	14	1.40	50	31	20	91

2000577	6	35	4.30	90	44	70	87.5
2000606	2	14	0.00	50	74	85	45
2000616	3.8	85	0.00	50	70	30	65
2000625	5	90	0.00	90	27	98	70
2000635	2.5	25	1.60	50	44	60	45
2000646	4	25	0.00	0	34	60	70
2000662	3.5	14	18.10	50	36	93	25
2000696	3	45	0.60	50	35	93	25
2001178	11.5	73	0.20	90	82	93	78
2001178	11.5	73	0.20	90	82	93	78
2001278	3	10	0.00	60	0	93	55
2001295	8	73	9.60	50	30	85	25
2001327	4	45	0.00	80	0	93	10
2001337	2.5	14	0.00	50	95	93	6
2001440	5	50	13.60	90	29	30	30
2001459	15	45	0.00	0	95	10	87.5
2001466	3	20	0.00	90	70	10	0
2001521	4	7	0.00	50	60	60	93
2001534	3	17	0.00	80	60	30	50
2001545	4	14	163.40	50	86	10	100
2001556	6	70	163.40	60	60	10	100
2001564	3	25	163.40	80	20	93	100
2001588	6	73	163.40	80	60	10	100
2001597	10	70	105.20	90	35	30	92
2001628	5	50	163.40	90	60	30	92
2001638	6	73	7.40	50	30	60	50
2001644	6	73	163.40	50	0	10	100
2001673	4	73	54.80	50	95	30	92
2002107	4	40	163.40	60	95	10	75
2002220	10	6	7.40	50	70	85	87.5
2002260	15	75	0.00	80	12	93	93
2002267	4	45	54.60	50	12	93	70
2002268	3	6	2.60	90	41	93	30
2002313	7	85	11.60	90	95	40	92
2002407	8	14	0.00	90	83	60	70
2002422	4	60	0.60	90	26	95	30
2002540	7	90	0.00	90	83	30	87.5
2002571	3	75	0.00	90	27	93	78
2002587	5	60	0.00	50	34	30	65
2002590	12	73	0.00	50	70	60	85
2003175	8	50	42.00	50	0	30	50
2003194	15	73	0.00	50	60	30	45
2003272	9	14	4.00	50	60	20	55

2003344	5	73	3.80	40	83	95	40
2003362	2.5	18	14.60	50	90	40	93
2003412	8	40	37.80	50	95	85	94
2003435	3	18	10.40	50	68	10	93
2003497	4	73	124.80	0	95	30	92
2003497	4	73	173.40	0	95	30	92
2003556	7	73	0.00	100	90	10	5
2003559	7	20	1.40	60	100	30	12
2003623	3.5	90	0.00	50	70	100	73
2003742	5	90	1.00	50	86	95	70
2003805	1.20961	14	47.40	50	82	100	93
2003823	2	20	35.60	60	86	93	78
2003840	6	40	3.40	50	26	40	50
2003912	4	14	74.60	90	12	93	100
2004105	2.5	90	35.60	50	60	10	96
2004136	4	60	2.00	50	27	98	73
2004198	7	6	72.40	50	34	85	0
2004199	6	30	16.40	50	60	93	70
2004408	6	73	83.00	50	26	98	70
2004503	14.5153 1	14	1.00	50	85	20	50
2004520	3	90	38.40	50	30	30	70
2004563	1.2	5	0.00	0	70	85	25
2004597	3	45	41.20	50	83	98	75
2004616	3.5	60	0.00	50	90	10	81
2004775	3	60	38.60	60	30	85	81
2004838	3.5	14	10.80	50	44	85	65
2005175	15	15	4.00	80	88	10	93
2005226	8	90	73.80	50	0	93	93
2005237	10	70	1.40	50	29	93	100
2005419	5	60	0.00	50	30	30	30
2005536	2.5	73	35.60	40	26	98	73
2005715	3	73	34.40	60	43	93	65
2006113	4	14	79.60	90	83	93	100
2006132	5	60	120.00	0	30	20	93
2006145	1.5	5	6.60	40	0	93	96
2006215	10	60	131.00	0	95	60	96
2006231	5	80	1.60	40	27	55	93
2006292	6	50	31.60	90	70	93	100
2006299	3.5	10	65.60	50	70	10	96
2006304	3.5	10	31.60	90	70	85	81
2006313	3.5	73	55.20	50	35	30	81
2006319	15	90	65.60	100	36	93	100

2006330	5	14	61.00	50	29	40	93
2006338	4	20	38.40	50	0	60	93
2006476	1.7	90	38.40	80	100	55	90
2006671	4	90	31.60	50	30	30	93
2006689	6	90	3.20	80	68	30	93
2006722	5	45	0.40	0	95	30	81
2006751	10	55	0.00	50	29	30	85
2006759	7	60	0.20	60	27	30	85
2006760	3	6	0.00	80	26	30	73
2006763	3	6	0.00	80	70	30	81
2007505	3.5	14	0.00	50	81	40	81
19981028	10	6	52.30	50	26	55	92
19981079	10	35	52.30	50	60	93	88
19981094	4	80	0.00	50	95	15	85
19981097	3.5	90	15.30	90	90	10	18
19981098	2.5	80	106.20	50	46	50	81
19981099	6	80	86.60	50	90	93	93
19981101	3	73	52.30	50	27	10	87.5
19981122	5	90	6.30	80	0	30	96
19981159	3	14	0.00	90	60	98	55
19981164	4	73	9.30	50	70	30	81
19981179	7	70	24.30	80	87	93	81
1999139 (Ponto1)	3	60	23.20	100	5	85	73
1999139 (Ponto2)	4	70	23.20	100	0	85	73
1999139 (Ponto3)	4	73	23.20	100	5	85	73
1999139 (Ponto4)	6	70	23.20	100	0	85	73
1999139 (Ponto5)	4	70	23.20	100	5	85	73
Altura 1	1	10	49.03	3	60	15	61.5
Altura 2	3	10	49.03	3	61	15	61.6
Altura 3	10	10	49.03	3	62	15	61.6
Drenagem 2	5	10	49.03	20	63	15	61.7
Drenagem 3	5	10	49.03	40	58	15	61.7
Drenagem 4	5	10	49.03	60	59	15	61.7
Drenagem 5	5	10	49.03	80	60	15	56.7
Drenagem 6	5	10	49.03	90	61	15	51.4
Drenagem 7	5	10	49.03	95	62	15	49.3
Drenagem 8	5	10	49.03	100	58	15	47.6
Inclinação 1	5	1	49.03	3	59	15	60.3
Inclinação 10	5	18	49.03	3	59	15	78.3

Inclinação 11	5	25	49.03	3	61	15	78.3
Inclinação 12	5	30	49.03	3	60	15	78.3
Inclinação 13	5	50	49.03	3	60	15	78.3
Inclinação 2	5	5	49.03	3	59	15	60.3
Inclinação 3	5	8	49.03	3	59	15	60.3
Inclinação 5	5	11	49.03	3	58	15	64.1
Inclinação 6	5	12	49.03	3	61	15	66.9
Inclinação 7	5	13	49.03	3	62	15	70.2
Inclinação 8	5	14	49.03	3	62	15	73.9
Inclinação 9	5	15	49.03	3	61	15	78.3
Pluviosidade 1	5	10	42.63	3	63	15	61.5
Pluviosidade 10	5	10	51.10	3	63	15	79.4
Pluviosidade 2	5	10	17.27	3	63	15	61.6
Pluviosidade 5	5	10	26.15	3	61	15	79.4
Vegetação 1	5	10	49.03	5	0	15	61.7
Vegetação 10	5	10	49.03	5	100	15	49.4
Vegetação 11	5	10	49.03	5	98	15	47.6
Vegetação 12	5	10	49.03	5	20	15	47.6
Vegetação 13	5	10	49.03	5	12	15	47.6
Vegetação 2	5	10	49.03	5	70	15	61.7
Vegetação 3	5	10	49.03	5	30	15	61.7
Vegetação 4	5	10	49.03	5	95	15	59.5
Vegetação 5	5	10	49.03	5	93	15	59.5
Vegetação 6	5	10	49.03	5	94	15	59.5
Vegetação 7	5	10	49.03	5	98	15	57.6
Vegetação 8	5	10	49.03	5	99	15	53
Vegetação 9	5	10	49.03	5	99	15	51.7

**ANEXO 5 – LAUDO 545/2001****LAUDO DE VISTORIA GEORIO No.: 545/2001****1 -LOCALIZAÇÃO**

Logradouro: Ipojuca

Categoria: Rua

Complemento:

Bairro: Penha

Estado: Rio de Janeiro

Número: 440

R.A.: XI AP: 3.2

Cidade:Rio de Janeiro

**2 -DATA DO PEDIDO** 24/12/01**3 -DATA DA VISTORIA** 24/12/01**4 -ORIGEM DO PEDIDO** G/COSIDEC**5 -SOLICITANTE**

Nome: Valdeilson

Telefone:

**6 -ASPECTOS REGIONAIS****6.1 - Tipo de Ocupação**

Favela

Densidade: Alta

**6.2 - Tipo de Vegetação**

Rasteira

Arbustiva

Densidade: Média

**6.3 - Tipo de Relevo:** Ondulado**7 -CARACTERÍSTICAS LOCAIS****7.1 - Tipo de Talude**

Talude de Corte

**Natureza do Material**

7.2 - Espessura média aproximada do perfil do solo (m): não identificada

7.3 - Tipo de Drenagem: Natural

7.3.1 - Condição do Sistema de Drenagem: Insuficiente

7.4 - Condições de Água Subterrânea

7.5 - Risco

Tipo: Instalado \*

Grau: Alto

\* - Possibilidade de ocorrência de movimento de massa com atingimento de moradias ou bens públicos.

## 8 - CARACTERÍSTICAS DA OCORRÊNCIA

8.1 - Situação: Ocorrido

8.2 - Data: 24/12/01

Hora Aproximada: 05:40

8.3 - Volume aproximado do material mobilizado (m3): 8

8.4 - Tipo(s) de Movimento(s)

8.4.1 - Superfície de Deslizamento

Sobre Rocha

8.4.2 - Classificação

Escorregamento de Lixo/Entulho

Escorregamento de Solo e Rocha

8.5 - Conseqüências

Danos a Moradias

Número de Vítimas Fatais:

---

### 8.6 - Descrição da Ocorrência (explicitar causas prováveis e conseqüências)

Obs.: Em caso de elaboração de croquis ou descrições ver figura na última página.\*\*

Tendo em vista as intensas chuvas, com elevados índices pluviométricos que se abateram sobre a cidade do Rio de Janeiro na madrugada do dia 24 de dezembro de 2001, ocorreu um deslizamento de capa de solo com entulho e lixo, provocando também a ruína parcial do muro de divisa confeccionado em alvenaria de tijolos cerâmicos 1/2 vez, pertencente ao imóvel nº 42 da Rua Silva Passos, Comunidade da Chatuba - Penha, de propriedade do Sr. Cláudio Ademir Bernardes.

Todo este material deslizado atingiu a moradia nº 440 da Rua Ipojuca, de propriedade do Sr. Valdeilson Felipe Silva, sem grandes danos materiais, apenas obstruindo a área lateral do referido imóvel.

### 9 -PROVIDÊNCIAS

9.1 - À G/COSIDEC para manter as interdições solicitadas no Memº nº 1342 GEO-RIO/DFL/GL, de 24/12/2001, na Rua Ipojuca - Comunidade da Chatuba - Penha:

n lateral direita da casa nº 440: Sr. Valdeilson Felipe Silva;

n casa nº 42 da Rua Silva Passos: Sr. Cláudio Ademir Bernardes;

9.2 - À GEO-RIO/DFL para notificar o Sr. Cláudio Ademir Bernardes, proprietário do imóvel nº 42 da Rua Silva Passos, a realizar obras estabilizantes de modo a garantir a segurança necessária ao local em apreço.

### 10 -OBSERVAÇÕES GERAIS

Foi solicitado durante a nossa vistoria que a Defesa Civil enviasse lona plástica para proteção do talude.

11 -RESPONSÁVEL PELA VISTORIA: Engº REINALDO FREIRE JAPIASSU

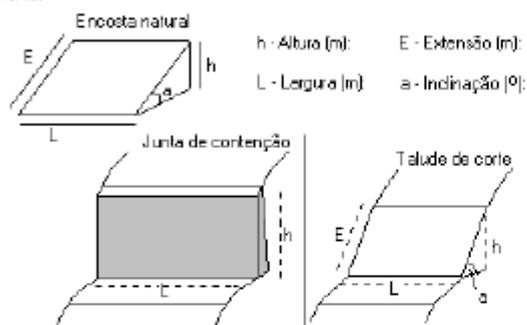
### 13 -ANEXOS

Outros

CD Associado:

\*\*

Obs: Em caso de elaboração de croquis ou descrições, utilizar os parâmetros abaixo listados para definir a geometria do talude ou obra de contenção existente.



## ANEXO 6 – RESULTADO DA VALIDAÇÃO DO MODELO

Laudo	PE Treinamento	PE Modelo	$\varepsilon^2$	Erro%
1998459	35.00	-159.362	37776.43	
2004563	25.00	-48.0465	5335.791	
2001644	100.00	-35.0775	18245.93	
1998325	6.00	-4.0288	100.5768	
1998595	90.00	-3.678	8775.568	
2001466	0.00	-2.7315	7.461092	
1998971	0.00	-0.3748	0.140475	
2003556	5.00	2.9946	4.021629	40%
2001178	78.00	3.8963	5491.358	95%
2001178	78.00	3.8963	5491.358	95%
2004198	0.00	5.3661	28.79503	
2001327	10.00	7.7891	4.888079	22%
2001337	6.00	12.4457	41.54705	107%
2003559	12.00	13.6714	2.793578	14%
1998589	91.00	15.4343	5710.175	83%
19981097	18.00	16.8595	1.30074	6%
2000662	25.00	24.9032	0.00937	0%
2001295	25.00	25.2469	0.06096	1%
1999387	25.00	25.7986	0.637762	3%
2000696	25.00	26.4464	2.092073	6%
2001440	30.00	29.4453	0.307692	2%
2000495	30.00	29.9079	0.008482	0%
199879	35.00	29.9912	25.08808	14%
2001597	92.00	30.2136	3817.559	67%
200074	92.00	30.2934	3807.704	67%
2005419	30.00	31.3844	1.916563	5%
1999466	30.00	32.0778	4.317253	7%
2002422	30.00	32.1226	4.505431	7%
200181	35.00	33.0741	3.709091	6%
2002268	30.00	33.1079	9.659042	10%
1998603	93.00	35.3434	3324.284	62%
200315	30.00	37.3015	53.3119	24%
2003194	45.00	37.3259	58.89181	17%
Drenagem 8	47.60	37.3345	105.3805	22%
2001556	100.00	38.6316	3766.081	61%
Vegetação 12	47.60	40.9237	44.57298	14%

Vegetação 13	47.60	41.1271	41.89843	14%
2000635	45.00	41.5839	11.66974	8%
2003344	40.00	41.7715	3.138212	4%
2000338	40.00	41.7959	3.225257	4%
Drenagem 7	49.30	42.2832	49.23548	14%
Altura 1	61.50	42.6257	356.2392	31%
2003175	50.00	43.5336	41.81433	13%
Drenagem 6	51.40	43.7549	58.44755	15%
1998612	45.00	44.7603	0.057456	1%
1998343	50.00	46.0534	15.57565	8%
1998870	58.00	46.2426	138.2365	20%
2000606	45.00	46.2585	1.583822	3%
200244	92.00	46.7771	2045.111	49%
Inclinação 3	60.30	48.3548	142.6878	20%
Altura 2	61.60	49.0411	157.726	20%
Pluviosidade 1	61.50	49.3173	148.4182	20%
2003272	55.00	49.4149	31.19334	10%
200295	50.00	49.4885	0.261632	1%
Inclinação 2	60.30	49.5157	116.3011	18%
Drenagem 5	56.70	49.8672	46.68716	12%
Drenagem 2	61.70	50.0417	135.916	19%
2003840	50.00	50.8669	0.751516	2%
Inclinação 1	60.30	51.2001	82.80818	15%
19993	55.00	51.3589	13.25761	7%
2001534	50.00	51.5877	2.520791	3%
Inclinação 5	64.10	51.6823	154.1993	19%
199955	30.00	51.6826	470.1351	72%
199955	30.00	51.6826	470.1351	72%
Pluviosidade 2	61.60	52.0989	90.2709	15%
1998309	50.00	53.5416	12.54293	7%
2001638	50.00	53.7333	13.93753	7%
Vegetação 3	61.70	54.1693	56.71144	12%
1999704	65.00	54.3316	113.8148	16%
2001278	55.00	54.6229	0.142204	1%
1998464	92.00	54.7635	1386.557	40%
1999616	70.00	55.3627	214.2506	21%
1999441	65.00	55.7972	84.69153	14%
Inclinação 6	66.90	55.8332	122.4741	17%
Vegetação 1	61.70	56.1033	31.32305	9%
1999475	60.00	56.1122	15.11499	6%
1998848	73.00	56.7144	265.2208	22%

1998920	60.00	56.8358	10.01216	5%
2004503	50.00	56.9852	48.79302	14%
1998938	70.00	57.8357	147.9702	17%
1999549	73.00	58.1055	221.8461	20%
Drenagem 3	61.70	58.6656	9.207583	5%
Vegetação 2	61.70	59.0393	7.079324	4%
1998891	50.00	59.1669	84.03206	18%
Drenagem 4	61.70	59.4221	5.188828	4%
Inclinação 7	70.20	59.4228	116.148	15%
19981159	55.00	60.1959	26.99738	9%
1999193	88.00	61.7036	691.5007	30%
2000257	65.00	63.45	2.4025	2%
1998748	58.00	63.5193	30.46267	10%
Inclinação 8	73.90	63.7193	103.6467	14%
1999430	65.00	63.7767	1.496463	2%
1999574	65.00	64.113	0.786769	1%
1999490	81.00	65.2197	249.0179	19%
2004838	65.00	65.4123	0.169991	1%
1998697	73.00	65.6292	54.32869	10%
2000292	65.00	65.915	0.837225	1%
200581	58.00	65.9566	63.30748	14%
1998715	70.00	65.9925	16.06006	6%
2002587	65.00	66.0137	1.027588	2%
1998380	92.00	66.0602	672.8732	28%
1999677	70.00	66.0953	15.24668	6%
1999567	73.00	66.324	44.56898	9%
2003497	92.00	66.9112	629.4479	27%
1999345	70.00	67.0738	8.562646	4%
2000625	70.00	67.3099	7.236638	4%
1999139 (Ponto5)	73.00	67.7806	27.24214	7%
1999139 (Ponto2)	73.00	67.8258	26.77235	7%
Inclinação 9	78.30	67.9535	107.0501	13%
2002107	75.00	68.0366	48.48894	9%
2002590	85.00	68.0662	286.7536	20%
1999202	70.00	68.0997	3.61114	3%
1998936	70.00	68.2219	3.16164	3%
2000616	65.00	68.342	11.16896	5%
1999482	70.00	68.4777	2.317397	2%
1999139 (Ponto3)	73.00	68.4821	20.41142	6%

Pluviosidade 5	79.40	68.522	118.3309	14%
2000549	70.00	68.6864	1.725545	2%
2004199	70.00	68.873	1.270129	2%
200360	70.00	68.9224	1.161222	2%
2005536	73.00	69.1521	14.80633	5%
2005715	65.00	69.2352	17.93692	7%
2004408	70.00	69.2466	0.567612	1%
Inclinação 10	78.30	69.5022	77.40128	11%
2004520	70.00	70.0485	0.002352	0%
200599	70.00	70.2883	0.083117	0%
2000498	70.00	70.3474	0.120687	0%
2002267	70.00	70.5852	0.342459	1%
Pluviosidade 10	79.40	70.7672	74.52524	11%
1999505	73.00	70.8009	4.836041	3%
1998983	93.00	70.8785	489.3608	24%
2000283	70.00	71.1666	1.360956	2%
199947	70.00	71.2236	1.497197	2%
1999195	70.00	71.5059	2.267735	2%
1998681	73.00	71.5701	2.044614	2%
19981179	81.00	71.6957	86.57	11%
1999139 (Ponto1)	73.00	71.7282	1.617475	2%
2002260	93.00	71.9168	444.5013	23%
2006760	73.00	71.9594	1.082848	1%
1999439	73.00	72.0038	0.992414	1%
19981098	81.00	72.2783	76.06805	11%
2000337	70.00	72.3314	5.435426	3%
1999304	78.00	72.5752	29.42846	7%
19981164	81.00	72.957	64.68985	10%
2004775	81.00	73.0587	63.06425	10%
2000208	70.00	73.2332	10.45358	5%
2003742	70.00	73.549	12.5954	5%
200778	85.00	74.8099	103.8381	12%
1998846	70.00	74.836	23.3869	7%
1999638	73.00	74.948	3.794704	3%
1998921	85.00	75.4889	90.46102	11%
1998852	70.00	75.524	30.51458	8%
2003823	78.00	75.6323	5.606003	3%
1999660	73.00	75.7745	7.69785	4%
1999513	81.00	75.8621	26.39802	6%
1998855	50.00	75.9253	672.1212	52%
200061	85.00	76.6099	70.39378	10%

2004597	75.00	76.8776	3.525382	3%
2004136	73.00	77.2761	18.28503	6%
1999139 (Ponto4)	73.00	77.4253	19.58328	6%
1998436	85.00	77.5123	56.06565	9%
20009	100.00	77.5488	504.0564	22%
2000119	73.00	77.7557	22.61668	7%
1998746	81.00	78.0677	8.598383	4%
1999686	70.00	78.2326	67.7757	12%
1998894	73.00	78.2714	27.78766	7%
2004616	81.00	78.3988	6.766241	3%
2003912	100.00	78.5718	459.1678	21%
2000155	81.00	78.8059	4.814075	3%
1999707	70.00	79.3667	87.73507	13%
1998420	81.00	79.5633	2.064107	2%
2006319	100.00	79.8825	404.7138	20%
Vegetação 10	49.40	80.212	949.3793	62%
2000135	87.50	80.5407	48.43186	8%
1998400	79.00	80.707	2.913849	2%
2000121	81.00	80.7158	0.08077	0%
200248	100.00	80.8355	367.2781	19%
1999600	81.00	80.9148	0.007259	0%
2006313	81.00	81.1858	0.034522	0%
2003623	73.00	81.4105	70.73651	12%
Vegetação 8	53.00	81.5322	814.0864	54%
Vegetação 9	51.70	81.5322	889.9602	58%
2002540	87.50	81.6235	34.53325	7%
1998993	88.00	81.6539	40.27299	7%
1999371	81.00	81.8022	0.643525	1%
200158	81.00	81.8457	0.715208	1%
Inclinação 11	78.30	81.878	12.80208	5%
2003412	94.00	82.1525	140.3633	13%
1998947	81.00	82.5155	2.29674	2%
199847	95.00	82.5864	154.0975	13%
2006231	93.00	82.5917	108.3327	11%
2000646	70.00	82.6811	160.8103	18%
1999256	81.00	82.7497	3.06145	2%
Vegetação 7	57.60	82.8243	636.2653	44%
Vegetação 11	47.60	82.8243	1240.751	74%
2000284	87.50	83.2927	17.70137	5%
2006304	81.00	83.3496	5.52062	3%
1998331	92.00	83.7616	67.87123	9%

1998478	85.00	83.8036	1.431373	1%
19981099	93.00	83.8784	83.20359	10%
2006722	81.00	83.9402	8.644776	4%
1999401	81.00	84.0645	9.39116	4%
2000174	100.00	84.3185	245.9094	16%
2002571	78.00	84.3651	40.5145	8%
2007505	81.00	84.3842	11.45281	4%
1998547	81.00	84.3947	11.52399	4%
Inclinação 13	78.30	84.6556	40.39365	8%
200160	85.00	85.2065	0.042642	0%
2006215	96.00	85.494	110.376	11%
1999497	85.00	85.5566	0.309804	1%
2006689	93.00	86.0035	48.95101	8%
200594	87.50	86.0192	2.192769	2%
Inclinação 12	78.30	86.1066	60.943	10%
2002313	92.00	86.3317	32.12962	6%
Vegetação 4	59.50	86.3972	723.4594	45%
2006759	85.00	86.4598	2.131016	2%
19981094	85.00	87.2179	4.91908	3%
2000577	87.50	87.2199	0.078456	0%
Vegetação 6	59.50	87.4879	783.3225	47%
1999678	85.00	87.5522	6.513725	3%
1998413	85.00	87.6851	7.209762	3%
1998878	87.50	87.7311	0.053407	0%
19981101	87.50	87.8103	0.096286	0%
1998629	93.00	87.9464	25.53887	5%
1998876	85.00	88.0265	9.159702	4%
1999171	88.00	88.171	0.029241	0%
1998723	96.00	88.2016	60.81504	8%
199926	93.00	88.3889	21.26224	5%
Vegetação 5	59.50	88.5041	841.2378	49%
1998861	75.00	88.5844	184.5359	18%
1998828	96.00	88.7057	53.20681	8%
1999488	87.50	88.7406	1.539088	1%
1999431	87.50	88.8211	1.745305	2%
2005175	93.00	88.8263	17.41977	4%
1998992	81.00	88.8519	61.65233	10%
1999692	81.00	88.9274	62.84367	10%
2001459	87.50	88.9687	2.15708	2%
2000382	92.00	89.0148	8.911419	3%
2000339	96.00	89.2509	45.55035	7%

200725	92.00	89.5668	5.920462	3%
1998676	92.00	89.817	4.765489	2%
2001521	93.00	89.9915	9.051072	3%
199957	96.00	90.5019	30.2291	6%
1998851	93.00	90.8199	4.752836	2%
2006763	81.00	91.1941	103.9197	13%
2000304	92.00	91.4441	0.309025	1%
1999250	87.50	91.529	16.23284	5%
2002407	70.00	91.8629	477.9864	31%
2004105	96.00	91.9435	16.45519	4%
2000550	91.00	92.0739	1.153261	1%
2006330	93.00	92.1942	0.649314	1%
1999330	70.00	92.6375	512.4564	32%
1998342	85.00	92.8479	61.58953	9%
2001545	100.00	92.848	51.1511	7%
2003435	93.00	93.1369	0.018742	0%
2005237	100.00	93.2156	46.02808	7%
1999147	93.00	93.6273	0.393505	1%
1998840	85.00	93.835	78.05722	10%
1998625	78.00	93.9581	254.661	20%
1999178	85.00	94.0414	81.74691	11%
1998579	92.00	94.2185	4.921742	2%
2000176	73.00	94.3177	454.4443	29%
1998934	87.50	94.6068	50.50661	8%
1998699	87.50	94.6365	50.92963	8%
2006145	96.00	94.7315	1.609092	1%
1999346	85.00	94.9135	98.27748	12%
2002220	87.50	95.1097	57.90753	9%
2006338	93.00	95.272	5.161984	2%
2006671	93.00	95.2859	5.225339	2%
199986	93.00	96.9038	15.23965	4%
2003805	93.00	97.023	16.18453	4%
1998651	96.00	97.1496	1.32158	1%
1999462	100.00	97.385	6.838225	3%
200071	96.00	97.6175	2.616306	2%
1998592	93.00	98.042	25.42176	5%
2006751	85.00	98.4016	179.6029	16%
199948	96.00	98.533	6.416089	3%
2000188	100.00	98.5873	1.995721	1%
2005226	93.00	98.6921	32.4	6%
2003362	93.00	99.2154	38.6312	7%

1998905	87.50	100.0947	158.6265	14%
200029	93.00	100.3716	54.34049	8%
200177	100.00	100.4739	0.224581	0%
2001628	92.00	100.5141	72.4899	9%
2000175	100.00	100.5781	0.3342	1%
1999121	96.00	100.5789	20.96633	5%
2006292	100.00	100.9454	0.893781	1%
1999164	96.00	101.073	25.73533	
200226	100.00	101.0844	1.175923	
2006299	96.00	101.9596	35.51683	
1998815	81.00	102.3808	457.1386	
1998948	75.00	102.3937	750.4148	
2003497	92.00	102.6479	113.3778	
2001673	92.00	103.2477	126.5108	
2000133	100.00	103.4584	11.96053	
2006132	93.00	105.0618	145.487	
19981079	88.00	105.1158	292.9506	
1998436	85.00	105.2141	408.6098	
19981028	92.00	105.5373	183.2585	
2001588	100.00	106.8365	46.73773	
1999245	100.00	107.0549	49.77161	
1998875	100.00	107.8221	61.18525	
2000219	96.00	109.0675	170.7596	
199924	100.00	110.1063	102.1373	
1998394	92.00	110.2895	334.5058	
1999123	75.00	110.3568	1250.103	
1998456	100.00	110.7414	115.3777	
1998889	96.00	112.9696	287.9673	
200249	92.00	113.0994	445.1847	
1998785	96.00	113.8319	317.9767	
2006476	90.00	114.2627	588.6786	
2006113	100.00	117.4462	304.3699	
Altura 3	61.60	124.5718	3965.448	
1998455	100.00	125.0416	627.0817	
19981122	96.00	129.0924	1095.107	
200650	81.00	133.606	2767.391	
1996530	100.00	141.3483	1709.682	
2000225	92.00	146.981	3022.91	
2001564	100.00	195.8207	9181.607	