

Mau dimensionamento das encostas

Relação das Chuvas com os Escorregamentos e Deslizamentos de encostas

Alice Ferreira Alves; Amanda Cristina Quirino Santos;
Amanda Flávio Ferreira; Amanda Muzzi Silva; Lucas
Oliveira Silva; Waister Martins De Sousa;

Resumo

A população brasileira vive um grande problema na instabilidade de encostas, gerando em si grandes acidentes, colocando vidas em risco. Épocas chuvosas com elevados índices pluviométricos, têm se tornado verdadeiros tormentos, nesse período são quando as encostas ficam mais suscetíveis a escorregamentos, devido ao aumento do excesso de poropressão que reduz a resistência do solo ao cisalhamento. Todos reconhecem que as chuvas são a principal causa dos deslizamentos, mas poucos sabem que as chuvas apenas provocam os deslizamentos se existirem agentes que influenciam nos maciços dos taludes.

Com a ocupação humana desordenada a realização de obras em áreas de risco tem se tornado cada vez mais intensas, o que torna o problema da estabilidade de taludes e obras de contenção cada dia mais importante de ser divulgado e conscientizado pela população. A execução de cortes nos maciços pode condicionar movimentos de massa ou, mais especificamente, escorregamento de taludes, desde que as tensões cisalhantes ultrapassem a resistência ao cisalhamento dos materiais, ao longo de determinadas superfícies de ruptura. Naturalmente os taludes provenientes da má execução de aterros pode também levar ao movimento de massas de solos.

Palavras chaves: Estabilidade de Taludes. Instabilidade nas encostas. Relação da chuva com deslizamento.

Introdução

Um deslizamento pode ser entendido como um fenômeno geológico ligado à condições climáticas, entre os tipos básicos de deslizamentos, um dos mais recorrentes são os Escorregamentos de terra, tal ação pode ser definida como o movimento de uma massa de solo ou rocha, em declives, a qual acontece sobre superfícies em ruptura e também em zonas com intensa deformação por cisalhamento.

Diversos países são afetados diariamente em decorrência dos deslizamentos, tal fenômeno tem ocorrido com maior incidência devida principalmente às chuvas intensas que acometem essas regiões.

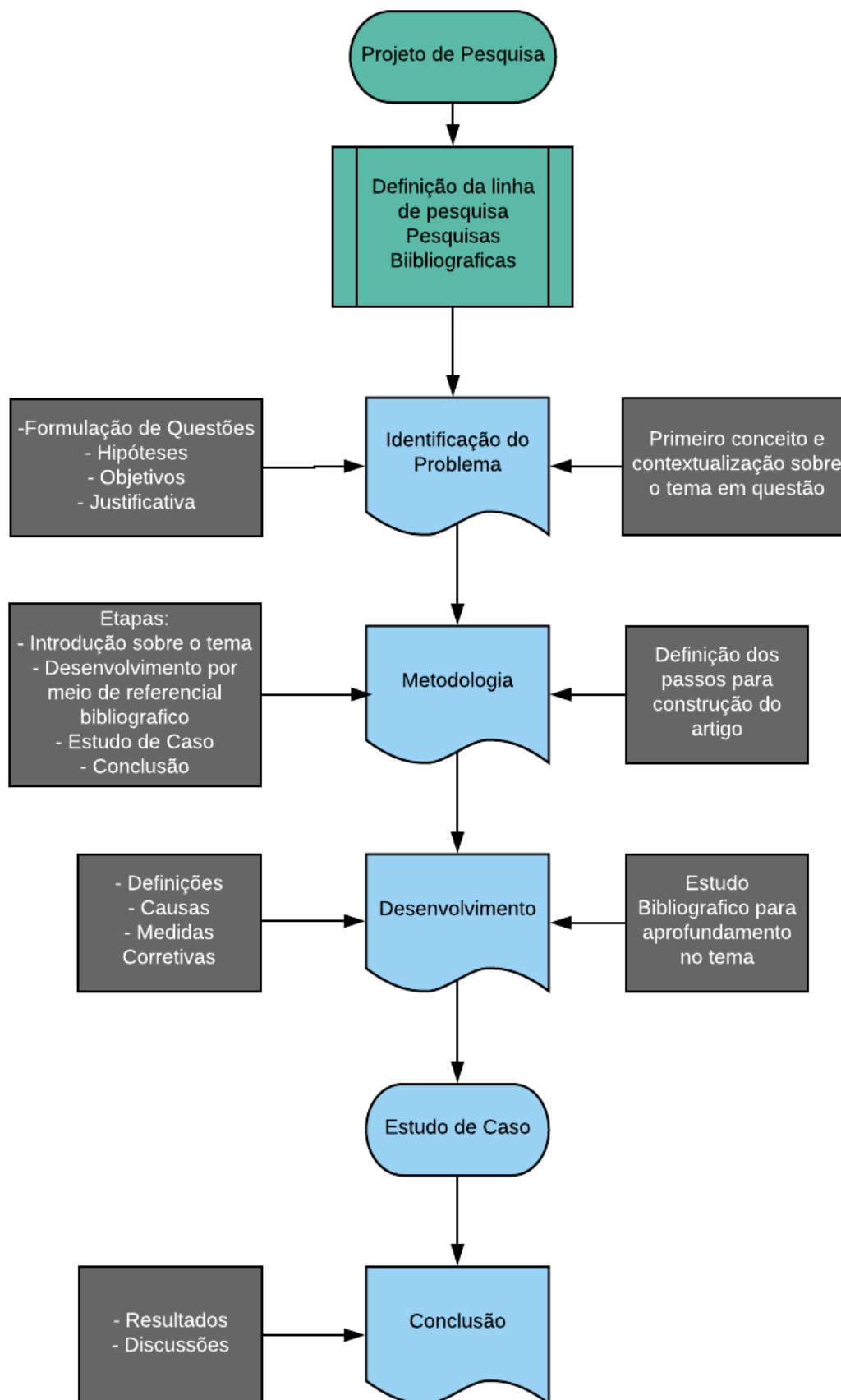
Tais escorregamentos trazem diversos riscos e prejuízos, principalmente à vida de animais e pessoas. Por diversas localidades ocorreram tragédias imensuráveis devidos tais condições, no Brasil, a maior delas foi em 2011, na região serrana do Rio de Janeiro, onde houve muitas mortes. Dentro desse contexto, quais as ações necessárias para prevenir os escorregamentos de terra?

Partindo - se da premissa de que as principais causas dos escorregamentos de terra estão quanto ao excesso de água que reduz a resistência estrutural do maciço terroso, juntamente com outros fatores como uso e ocupação do solo e declive da encosta, o objetivo deste trabalho será analisar os escorregamentos de terra em virtude da chuva e demonstrar ações preventivas.

Nesse contexto, os objetivos específicos determinarão definir os tipos de escorregamentos suas causas, ademais, as melhores formas para evitar tais escorregamentos e sua previsibilidade.

Conhecer melhor a causa de um deslizamento, se torna importante para a previsão e melhor combate a esse risco, é um conhecimento que interessa em muito engenheiros civis, além de pessoas leigas, que fazem a má ocupação do solo, em locais com risco de escorregamento, ao adquirir o conhecimento do conteúdo abordado poderão observar sinais simples de que aquela área pode sofrer danos e conhecer as condições da região em que vivem, com respaldo em (Highland e Bobrowsky, 2008) na qual afirmam que pessoas afetadas por deslizamentos devem adquirir maior conhecimento sobre as condições peculiares de sua vizinhança e comunidade.

Metodologia



Desenvolvimento

Escorregamento define-se como um tipo de deslizamento o qual há o movimento do solo sob efeito da gravidade, e também formação geológica resultante de tal deslocamento. No escorregamento observa-se uma intensa deformação por cisalhamento e o movimento não ocorre em toda a área simultaneamente, aumentando-se assim, o seu volume deslocado a partir de uma área no local da ruptura.

Quando há a ruptura de uma superfície rochosa, há conseqüentemente o movimento de descida, podendo esse ser como uma massa coerente ou semicoerente, o tipo de ruptura do solo define a forma de escorregamento diferenciando-se em escorregamento rotacional ou translacional.

De acordo com os estudos realizados em deslizamentos rotacionais a superfície de ruptura na seção deve ter o formato de um arco circular ou de uma curva não circular, e ocorre frequentemente em condições homogêneas e isotrópicas do solo, esse tipo de deslizamento é o mais constante em aterros.

Algumas medidas corretivas utilizadas quando ocorrem deslizamentos rotacionais são as de construção de muros de arrimo na base do desmoronamento para diminuição ou desvio do movimento do solo e retaludamento apropriado para redução considerável do risco, devendo também ser refeitos ou restaurados os caminhos de drenagem rompidos durante o colapso para prevenção de um futuro acúmulo de água na massa deslizante.

Em deslizamentos translacionais o formato da superfície de ruptura é influenciado pela presença de camada próxima que tenha uma resistência com diferença significativa, onde a maior parte da superfície de ruptura passa através da camada com menor resistência ao cisalhamento, o formato da superfície é influenciado pela presença de descontinuidades, como fissuras e deslizamentos preexistentes.

Ao analisar as medidas de correção desse tipo de desmoronamento pode-se citar o uso de terraplenagem, muros de arrimo e drenagem para prevenção da reativação do movimento do solo, obras mais sofisticadas em rochas fazem-se de utilização de tirantes, grampos e ancoragens realizadas por firmas e profissionais especializados, visto que escorregamentos translacionais em taludes apresentam demasiado trabalho para alcançar sua estabilidade de modo permanente, carecendo assim de uma maior atenção e cautela.

Principais Causas dos Escorregamentos

“O movimento dos maciços de terras depende, principalmente, de sua resistência interna ao escorregamento.” (Terzaghi - 1925)

Os escorregamentos acontecem devido à perda de resistência do solo, gerando a falta de equilíbrio pela falta de força contrária do solo, que evita o movimento de deslize.

Os deslizamentos acontecem por causas naturais e também por falha e interferência humana. Podendo ser ocasionado pelos dois fatos. Tendo como principal motivo a água. A saturação do solo pode acontecer por chuva intensa, degelo, aumento do nível de água por inundações.

O movimento de massas de solo e a ruptura de taludes são associados a falhas geológicas e falhas específicas.

O escorregamento rotacional é ocasionado devido ao aumento de água subterrânea, após fortes chuvas, que desencadeiam a saturação dos taludes, gerando erosão na base dos mesmos. Sendo mais comum em aterros.

O escorregamento translacional é ocasionado devido à saturação do solo, desde chuvas, a degelo, inundações. Podendo ocorrer em todos os tipos de condições e ambientes.

O aumento da saturação do solo gera excesso de poro pressão que contribui com a redução de estabilidade do maciço.

Quando a inclinação do talude excede a resistência ao cisalhamento do maciço, torna-o com uma ocupação irregular, sendo esse outro motivo da ocorrência de escorregamentos.

Medidas Preventivas

Diante das frequentes ocorrências de deslizamentos na atualidade, devemos examinar uma forma de prevenção, analisando as possibilidades e alternativas, possuímos importantes medidas preventivas para evitar este fenômeno geológico.

O monitoramento das regiões consideradas de risco é a principal medida preventiva que deve ser tomada. Dessa forma é realizado um mapeamento das áreas em conjunto com as informações e planos de remoção. Pode ser utilizado também o inclinômetro, equipamento

manipulado para medir variações na inclinação e elevação de taludes. É recomendada a aplicação de um sistema de alerta, para complementar o monitoramento.

Um sistema já conhecido e aplicado nos Estados Unidos é o sistema de radares, são habilitados 155 radares com tecnologia Doppler, esta possibilita calcular a velocidade dos ventos e a direção, precedendo com exatidão a dimensão e volume das chuvas. Um investimento como esse em nosso país seria de extrema relevância para prever e evitar tragédias causadas pelos deslizamentos.

A fiscalização de ocupação irregular também é vista como preocupação. O código florestal proíbe algumas construções, entre elas, obras em solos com inclinação transcendente a 45 graus, e com distância inferior a 30 metros do leito dos rios, entretanto proibir não é o mesmo que impedir e infelizmente em território nacional o código é burlado e altamente desrespeitado, é necessário então que a fiscalização das obras no Brasil seja feita com mais veemência e eficiência.

Uma técnica bastante aplicada e eficaz são as obras de contenção, que podem ser adaptadas exatamente para o transtorno apresentado. Os muros de contenção são uma alternativa para minimizar a erosão fluvial, e deter deslizamentos lentos. Pode se também optar pela contenção de taludes naturais, por meio de alguns métodos, como a drenagem das águas subterrâneas, execução de tirantes, e concretos projetados.



Figura 1- Muro de contenção de fluxo de detritos na Bacia Kamikochi, Japão. (Manual de deslizamentos)

Existe hoje uma extensão de procedimentos considerados eficientes utilizados dentro das obras de contenção, algumas possibilidades são o contraforte de enrocamento, ancoragem rochosa para estabilização de áreas com possível tombamento de rochas, construção de muros de arrimos para desviar o movimento do solo, proteção biotecnica de taludes (o uso de estruturas em combinação com elementos biológicos), construção de um vertedouro, e construção de um túnel de desvio através de um pilar adjacente.



Figura 2- Contraforte de enrocamento no Canadá (Manual de deslizamentos)

Em conjunto com todas as medidas preventivas apresentadas, é necessária a coordenação de ações por meio do governo local, ações essas que vão desde palestras públicas e sinais afixados em áreas de perigo imediato, até providencias como levantamento geológico, disponibilidade de empresas geotécnicas privadas e departamento de engenharia. Os órgãos públicos possuem como necessidade e obrigação, assegurar a comunidade um plano de respostas a emergências, plano esse que deve ter sua eficácia avaliada pelo governo.

Fator de Segurança

De modo a garantir o equilíbrio do talude, o fator de segurança estabelece uma relação entre a resistência ao cisalhamento disponível do solo ($s = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi'$) e a tensão de cisalhamento mobilizada (sm), analisando os efeitos dos esforços atuantes.

$$FS = \frac{\text{forças resistentes (resistência ao cisalhamento disponível)}}{\text{forças atuantes (resistência mobilizada)}} \quad FS = s / sm$$

$$\text{logo, } sm = \frac{1}{FS} [c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi']$$

Desenvolvida ao decorrer da superfície de ruptura, a resistência disponível de cisalhamento pode ser determinada a partir das forças de coesão (R_c) e atrito (R_ϕ) resultantes, são o produto dos fatores de resistência pela área (A) da superfície onde tal resistência se desenvolve.

$$S = R_c + R_\phi$$

$$S = s \cdot A \qquad S = c' \cdot A + (\sigma - u) \cdot \text{tg}\phi' \cdot A$$

A partir da definição do fator de segurança, a resistência mobilizada (S_m) para manter o corpo em equilíbrio pode ser dada por:

$$S_m = \frac{S}{FS} = \frac{R_c}{FS} + \frac{R_\phi}{FS} = R_{cm} + R_{\phi m}$$

Onde : R_{cm} – coesão mobilizada
 $R_{\phi m}$ – atrito mobilizado

Partindo – se do ponto de que alguns métodos para estabilização dos taludes são dados pela somatória das forças que atuam sobre eles, de forma a resistir ($R_c + R_\phi$) ou provocar o deslizamento (F_a), o coeficiente de segurança pode ser definido por:

$$FS = \frac{\sum \text{forças resistentes}}{\sum \text{forças atuantes}} = \frac{FR}{FA}$$

Em outros casos, o fator de segurança poderá ser considerado como a razão entre os momentos de acordo com as forças que atuam sobre as cunhas e a mantêm em equilíbrio (M_r) e os momentos das forças de instabilidade (M_a). Tais momentos são analisados em um ponto fora do talude, dessa forma:

$$FS = \frac{\sum M_r}{\sum M_a}$$

Ao se obter um valor de $FS > 1$ significa a estabilidade do maciço, deste modo, os esforços resistentes são maiores que os esforços atuantes.

De acordo com o tempo, haverá variações no fator de segurança, pois na prática, o talude pode ficar sem se deslizar por anos, entretanto, em determinado momento as condições de equilíbrio podem se alterar. Desta forma, se pode concluir que diversos fenômenos podem trazer situações críticas ao talude, ou seja, a avaliação da estabilidade poderia ser feita de melhor forma em termos probabilísticos, de forma a quantificar fatores condicionantes para o equilíbrio do talude por meio de uma confiança de cálculo ganha a partir do estudo de períodos recorrentes e intervalos de tais fatores que podem afetar o maciço.

Orientações quanto a Resistência do Maciço

A partir dos ensaios em laboratório, são definidos parâmetros quanto a resistência, que serão utilizados na avaliação dos fatores de segurança, tais resultados são obtidos a partir do teste de ruptura do solo, e posteriormente corrigidos por fatores de redução, por meio das equações:

$$\phi'_d = \arctan\left(\frac{\tan \phi'_p}{FS_\phi}\right); \quad c'_d = \left(\frac{c'_p}{FS_c}\right)$$

Onde ϕ'_d e c'_d são, ângulo de atrito e coesão respectivamente, esses fatores para o dimensionamento. c'_p e ϕ'_p são coesão de pico e ângulo de atrito respectivamente, por fim, FS_ϕ e FS_c são respectivamente fatores para redução de atrito e coesão, os valores para essas reduções devem estar entre 1,0 e 1,5 para que se tenha uma maior confiança na estimativa dos parâmetros de resistência.

Os valores típicos de parâmetros geotécnicos geralmente usados para o dimensionamento dos muros de contenção no Rio de Janeiro podem ser induzidos a partir da seguinte tabela:

Tipo de solo	γ (kN/m ³)	ϕ' (graus)	c' (Kpa)
Aterro compactado (silte areno-argiloso)	19 – 21	32 – 42	0 – 20
Solo residual maduro	17 – 21	30 – 38	5 – 20
Colúvio	15 – 20	27 – 35	0 – 15
Areia densa	18 – 21	35 – 40	0
Areia fofa	17 – 19	30 – 35	0
Pedregulho uniforme	18 – 21	40 – 47	0
Pedregulho arenoso	19 – 21	35 – 42	0

Tabela – Valores de parâmetros típicos para projeto de muros (GeoRio, 2000P)

Nesta tabela, constam dados do peso específico total (γ), o ângulo de atrito efetivo (ϕ') assim como a coesão efetiva (c'). É importante notar, que tais valores dependem de diversos fatores, como grau de saturação, nível de tensões e condições de carregamento, portanto, os ensaios em laboratório são de suma importância para se determinar as melhores condições do maciço para que se faça o dimensionamento correto de uma estrutura de contenção, quando necessário.

Estudo de Caso

Para este trabalho, será analisado o ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro, onde no ano de 2011, precipitações intensas causaram enchentes e deslizamentos em sete municípios, que ficou conhecido como a maior tragédia climática e geotécnica do Brasil, onde bairros foram destruídos trazendo como principais prejuízos a morte de 916 pessoas, mais de 350 desaparecidos ademais, os milhares de desabrigados.

Diante do caso em estudo, quais os fatores causadores desse desastre? Quem são os culpados por trás dessa catástrofe?

Em primeiro momento, se tornam necessários a contextualização e o entendimento da área. A Região serrana do Rio é formada por montanhas, com solo fértil e rios, possuindo um clima ameno. Não diferente das outras regiões do país, o crescimento urbano nas últimas décadas é notável, ademais, pontos turísticos importantes surgiram ao longo desses municípios, além de um setor industrial bem desenvolvido, que atrai pelas condições econômicas favoráveis.

Entretanto, devido à localização na Serra do Mar, onde as condições geomorfológicas são de rochas com uma fina camada fina de terra com cobertura de mata atlântica, onde há grande declividade e regime de chuvas intensas principalmente no verão, tais características tornam o solo mais instável e tendente a deslizamentos (Amarílis Busch e Sônia Amorim, 2011).

Outros pontos a serem observados são os fatores humanos, com a expansão urbana, os desmatamentos nas margens dos rios e encostas, assim como as ocupações irregulares somente agravaram a instabilidade da área e tornando a incidência de deslizamentos, inundações e erosões.

Sobre tal questão de crescimento, FABRIANI (1991), Se comparando aos desastres ocorridos em Petrópolis, em 1988, já identificava que somente a existência de leis para proteção ambiental e leis urbanas não são suficientes para impedir problemas como estrangulamento do sistema viário, um sistema de transportes precário e falta de alternativas para o crescimento residencial.

Contextualizando a Catástrofe

A tragédia ocorreu entre os dias 11 e 12, em janeiro de 2011, quando uma precipitação intensa acometeu os municípios de Petrópolis, Nova Friburgo, São José do Vale do Rio Preto, Teresópolis, Areal e Sumidouro, formando uma área total estimada de 2.300Km² onde 713.000 pessoas têm suas residências.

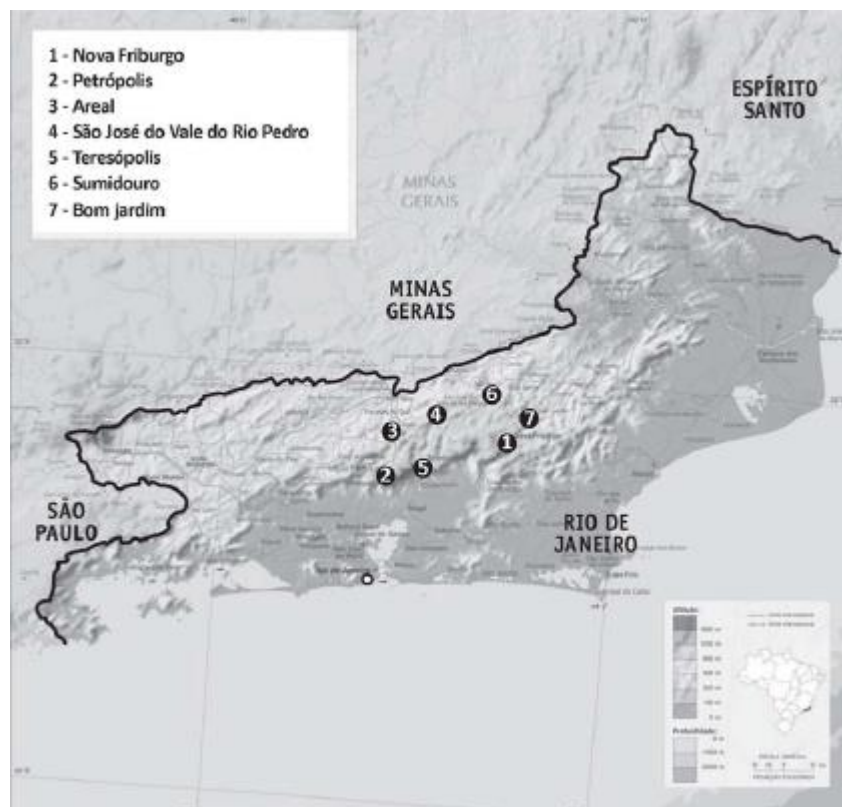


Figura 3- Mapa da região afetada. Fonte: Sobre imagem in IBGE mapas escolares

A chuva registrada continha um índice muito alto, no período de 24hrs choveu quase metade do que se esperava para todo o mês. Toda essa intensidade provocou a enchente dos rios, que arrastaram casas e pedras. Além disso, os morros e encostas perderam toda a resistência, devido ao grande aumento da água em seu interior, causando os escorregamentos que atingiram tanto regiões de maior quanto de menor ocupação.

Segundo o relatório geológico elaborado pelo Departamento de Recursos Minerais (DRM), o solo que se deslocava atingia uma velocidade de 180 km/h, e cada massa despencava 1 km em 20 segundos.

O bairro cheio de casa se tornou irreconhecível e completamente coberto por lama, casas foram levadas pela terra. A catástrofe causou alterações geográficas onde rios, canais e córregos mudaram seus cursos e pontes, estradas e ruas desapareceram (Amarílis Busch e Sônia Amorim, 2011).



Figura 4- Fonte: Deslizamento em Nova Friburgo (RJ) em 2011

Explicando as causas

Ao comentar sobre o ocorrido, um professor de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) afirmou que o alto índice pluviométrico foi o ápice para o desastre acontecer. As proporções em que aconteceram os escorregamentos são explicados por fatores condicionantes como o regime das águas de superfície e o relevo, assim como o uso e ocupação do solo tanto na área urbana como na área rural.

O relatório elaborado pelo Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro trouxe os mesmos resultados, alegando que as causas se devem a geologia da região e ocupação do solo. A diretoria do Centro de Pesquisas sobre a Epidemiologia dos Desastres (Cred) da Bélgica explica que fatores como infraestrutura, desenvolvimento das instituições e a o nível da educação recebida sobre os riscos, contribuíram para que a tragédia fosse maior.

Conclusão

Resultados

Entre os principais resultados se pode citar o fato de que as relações humanas com o meio em que vivem, devem ser feitas de modo que procure respeitar o ambiente. As leis quanto a uso e ocupação do solo devem ser seguidas. Mas, quanto ao principal resultado em questão, as chuvas sempre estarão ligadas aos deslizamentos, por isso, diversos cuidados deveriam ser tomados para tentar evitar o aumento crítico da poro – pressão no maciço terroso, pois assim como a tragédia do Rio, diversos lugares são afetados constantemente com escorregamentos devido às consequências da chuva.

Discussões

A prevenção torna – se é um dos fatores principais para que se evitem os escorregamentos de terra, de tal premissa, se pode considerar desde a impermeabilização até um sistema de drenagem que favoreça o escoamento de água na região existente. Outra prevenção a ser considerada, seria o mapeamento de toda a região, como já é feito em outros lugares, onde o tal mapeamento detalha toda a pedologia e estuda a declividade do maciço terroso, com os cruzamentos desses dados são obtidos os laudos sobre a susceptibilidade da ocorrência dos escorregamentos.

As regiões do Rio de Janeiro sofriam constantemente com deslizamentos em menor escala, e dessas centenas já haviam ocorrido, ou seja, desde o início a solução já apontava para que fosse criada uma melhor infraestrutura com reforços nas encostas, se identifica também a importância de uma melhor gestão pública, que seja comprometida com a segurança da população.

ABSTRACT

Currently, the Brazilian population is experiencing a major problem in the instability of slopes, causing big accidents and putting lives at risk. Rainy seasons with high rainfall have become real torments, in this period when the slopes are more susceptible to landslides, due to the increase of the pore-pressure excess that reduces the soil resistance to shear. Everyone recognizes that rain is the main cause of landslides, but few people know that rainfall only causes landslides if there are agents that influence the slope massifs.

With disorganized human occupation the construction of houses in risk areas has become increasingly intense; this makes the problem of slope stability and slope contention increasingly important to be published and to raise people's awareness. The execution of cuts in the masses can condition mass movements or, more specifically, slope slip, provided that the shear stresses exceed the shear strength of the materials, along certain rupture surfaces. Of course the slopes from the bad execution of landfills can also lead to the movement of soil masses.

Key words: Stability of Slopes. Instability on the slopes. Relation of rain and landslides.

Referências Bibliográficas

HIGHLAND, Lynn; BOBROWSKY, Peter. **O Manual de Deslizamentos**: Um guia para a compreensão dos deslizamentos. 1ed. Virginia: U.S Geological Survey. 2008. Disponível: https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS_0.pdf. Acesso em 20 de Março de 2018.

MARANGON, M. **Estabilidade de Taludes**. 1ed. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora. 2006. Disponível em: http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid04EstabilidadeTaludes01.pdf. Acesso em 22 de Março de 2018.

BRESSANI, Luiz A. **Escorregamentos de terra**: Alguns conceitos básicos. 1ed. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010. Disponível em: http://www3.inpe.br/crs/crectalc/pdf/bressani_ceos.pdf. Acesso em 23 de Março de 2018.

FREITAS, Eduardo. **Deslizamentos de Encostas**. Brasil Escola. Disponível em:

<<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/deslizamentos-encostas.htm>>. Acesso em 02 de Abril de 2018.

BUSCH, Amarílis; AMORIM, Sônia. **A tragédia da região serrana do Rio de Janeiro em 2011: Procurando respostas**. 1ed. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Administração Pública. 2011. Disponível em:

<http://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/328/2/A%20trag%C3%A9dia%20da%20regi%C3%A3o%20serrana%20do%20Rio%20de%20Janeiro%20em%202011%20procurando%20respostas.pdf>. Acesso em 28 de Março de 2018.

CASTILHO, Lucas; OLIVEIRA, Priscila M. et al. **Análise de uma Tragédia Ambiental e a Participação da População no Equacionamento dos Problemas de Moradia: Um estudo de Caso da Tragédia na Região Serrana do Rio**

CAPUTO, Homero; CAPUTO, Armando et al. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. 7ed. Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: Biblioteca Martinho Lutero. ILES/Ulbra. 2018.

Sites:

www.greennation.com.br/dica/sugestoes-para-evitar-os-impactos-de-deslizamentos/4471.

Acesso em 06 de abril de 2018.

www.solotrat.com.br/contencao-de-encostas. Acesso em 06 de abril de 2018.