

ESCOLA ESTADUAL PADRE MANUEL DA NÓBREGA

SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO DE DESLIZAMENTO DE TERRA

São Paulo, SP, Brasil

2023



Antonio Marcos Freitas da Silva

Diana Alcantara Porto

Bianca Delmonte Vilela

Matheus Sousa Filho

Reinado de Melo Ferreira

SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO DE DESLIZAMENTO DE TERRA

Relatório apresentado à 7ª FEMIC - Feira Mineira de Iniciação Científica.

Orientação do Prof. Reinaldo de Melo Ferreira e
coorientação de Matheus Sousa Filho.

São Paulo, SP, Brasil

2023



RESUMO

Em todo o mundo, desastres naturais em decorrência de movimentação de massas de terra resultam em prejuízos socioeconômicos, com elevado número de vítimas fatais. Segundo pesquisa do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2022), de 1988 a 2022, 4.146 pessoas morreram em decorrência de deslizamentos de terra, apenas no Brasil. Existe uma relação entre chuva e deslizamento. Dados da literatura mostram que eventos pluviométricos superiores a 20% da média anual geram alta probabilidade de deslizamentos. Porém, devido a uma série de fatores, nem toda água proveniente de precipitações pluviométricas incidindo sobre a superfície do terreno pode ser captada pelo solo. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de sensoriamento remoto de deslizamento de terra, capaz de antever esses eventos, através da análise dos parâmetros de quantidade de chuva e umidade do solo. Para isso, foi desenvolvido um pluviômetro para medir a quantidade de precipitação, instantânea e acumulada, de chuva, juntamente com um sensor para medir a umidade do solo, e enviar estes dados, para celulares e computadores cadastrados, via conexão 4G. A seguir, foram estudadas e analisadas as características físicas (densidade, precipitação de chuva, umidade do solo) e geológicas (tipo de solo e ângulo de inclinação do terreno) envolvidas no processo de deslizamento de terra, e estabelecidas suas correlações. A relação encontrada, entre o volume de chuva e a densidade (compactação) do solo foi linear, enquanto que a relação entre a umidade do solo e sua densidade (compactação) foi uma curva polinomial com saturação em 1320 Kg/m^3 . Em ambos os casos foram utilizados ângulo de 45° graus e solo argiloso. Por fim, foi concluído que a partir dos padrões encontrados nas simulações de deslizamento e caracterização é possível se prever com antecedência a ocorrência de um deslizamento, e enviar esses dados, antecipadamente, para a defesa civil e números de telefone previamente cadastrados.

Palavras-chave: Deslizamentos de terra; Sensoriamento remoto; Geotecnia; Chuvas



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 Revisão da Literatura	7
1.1.1 Movimentos de massa	7
1.1.2 Classificação dos movimentos de massa, segundo AUGUSTO FILHO (1992)	8
1.1.3 Mecanismos condicionantes (agente preparatório)	8
1.1.4 Precipitação como agente deflagrador	8
2 JUSTIFICATIVA	10
3 OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo geral	11
3.2 Objetivos específicos	11
4 METODOLOGIA	12
4.1 Materiais utilizados e montagem do sistema	12
4.2 Calibrações dos sensores de umidade e fluxo de líquido	14
4.3 As simulações controladas de deslizamento	14
5 RESULTADOS OBTIDOS	16
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERÊNCIAS	20
APÊNDICE 1 - Código de programação utilizado no microcontrolador AVR.	22



1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, desastres naturais de movimentação de massas de terra resultam em prejuízos socioeconômicos, com elevado número de vítimas fatais. A maioria dos desastres está associada às alterações do clima por consequência das mudanças climáticas.

Três grandes eventos de deslizamentos conhecidos, ocorridos no início do século passado (deslizamentos da Ferrovia Federal Sueca, de Rosengarten, Alemanha, e do Canal do Panamá) geraram interesse da comunidade científica da época em coordenar estudos sobre o tema. As pesquisas realizadas produziram três relatórios, um para cada evento ocorrido, fornecendo subsídio para o advento do campo de pesquisa chamado de *Mecânica dos Solos* (DE LIMA, 1993).

Desde então, os movimentos de massa de terra vêm obtendo, cada vez mais, importância mundial, produzindo uma grande quantidade de estudos sobre este assunto, e culminando com a declaração da ONU que estabeleceu a década de 1990 como sendo a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais (MELO NETO, 2005).

Este é um tema atual no mundo todo. Ao longo do tempo, mesmo com todo conhecimento adquirido relativo à *mecânica do solo*, e aos escorregamentos, mesmo com toda a preocupação e atenção de diversos grupos de pesquisas e entidades governamentais e não governamentais, os desastres com consequências fatais se intensificaram na mesma proporção: em menos de uma década, desde o ano 2010 até o ano 2014, pelo menos 11500 pessoas morreram, cerca de 800 desapareceram, e mais de 60000 pessoas tiveram que se deslocar, em razão de deslizamentos de terra em todo o mundo (AFP, 2014).

No Brasil, devido à elevada concentração de grandes cidades localizadas ao longo de uma cadeia de montanhas, desde o sul até o norte do país, essas catástrofes se destacam de modo especial, devido ao elevado número e gravidade de ocorrências com consequências fatais.



Segundo pesquisa do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2022), de 1988 a junho de 2022, 4.146 pessoas morreram em decorrência de deslizamentos de terra apenas no Brasil, com 6 estados e 269 municípios envolvidos em 959 eventos distintos. As principais cidades são as de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, todas localizadas na região serrana do estado do Rio de Janeiro, cujo número de mortes, em decorrência desses eventos, é o maior do Brasil. Em segundo lugar, vem o estado de São Paulo (MACEDO e SANDRE, 2022).

Os escorregamentos podem ocorrer de forma natural, ou provocados pela ação humana, através da ocupação desordenada, desmatamentos, moradias com baixa qualidade construtiva, fatores geológicos, topográficos e fisiográficos (GUSMÃO FILHO *et al.*, 1987), que aumentam as probabilidades de desastres. Desta maneira, é relativamente comum a ocorrência de eventos de deslizamentos induzidos pela ação humana, gerando instabilidade da encosta (**agente preparatório**), tendo a chuva como o **agente deflagrador** (MACEDO e SANDRE, 2022).

Por causa dos efeitos das mudanças climáticas nos regimes de chuvas, do aumento da população mundial e conseqüente aumento da demanda por habitação, somado ao contexto social e econômico da maioria dos países, por óbvio, esses eventos não podem ser evitados, mas ao contrário, tendem a aumentar.

Atualmente, existem alguns sensores de deslizamentos, que funcionam à base de detecção do movimento de terra, utilizando sensores de ultrassom ou acelerômetros. Porém, de acordo com a escala de movimento de escorregamento de VARNES (VARNES, 1978), os eventos de movimento de massa de terra *Classe 7*, com velocidades típicas de 5 metros por segundo, são os responsáveis pelas catástrofes com conseqüências fatais.

Percebe-se, então, que aqueles tipos de sensores, a base de movimento de terra, quando detectam o menor deslizamento, a catástrofe já é eminente. Ou seja, não há muito tempo, em relação a quem está em situação de risco, para conseguir sair ileso.



Como visto anteriormente, os deslizamentos de terra podem ter várias causas, como as geológicas, morfológicas, físicas, e humanas. Mas, há somente um mecanismo de acionamento, que por definição é um estímulo externo, tais como chuvas intensas, que causam uma resposta imediata na forma do deslizamento (CRUDEN e VARNES, 1996).

Em 1976, GUIDICINI e IWASA estabeleceram para São Paulo uma correlação entre chuva e deslizamento. As análises feitas por eles permitiram concluir que eventos pluviométricos superiores a 20% da média anual geram alta probabilidade de deslizamentos (MELO NETO, 2005).

Assim, o objetivo em monitorar as precipitações, é tentar se antecipar aos deslizamentos, trabalho este, já realizado pela própria defesa civil.

Porém, segundo COSTA (1996) e MELO NETO (2005) uma noção errônea comum é pensar que toda água proveniente de precipitações pluviométricas incidindo sobre a superfície do terreno pode ser captada pelo solo. Esse valor pode ser extremamente baixo, se, por exemplo, a superfície do terreno for asfaltada, coberto por vegetação e ou construções, ou se ela for inclinada.

1.1 Revisão da Literatura

1.1.1 Movimentos de massa

Em geral, os movimentos de massa são naturalmente, uma evolução física das paisagens das encostas, ocasionados devido à ação da gravidade por meio da desestabilização ou descontinuidade do talude, movendo solos, rocha, com o agente deflagrador principal, a infiltração de água, proveniente das chuvas.

Porém, mais recentemente, esses movimentos vêm acontecendo com maior frequência, deflagrados principalmente, pelas atividades do homem que transformam drasticamente a paisagem, extraíndo a vegetação primária, as trocando por habitações e



construções precárias, sem haver qualquer estudo ou planejamento prévio (SILVA, 2018).

Com relação à classificação dos movimentos de massa, estes são agrupados quanto ao tipo de movimento, características do material deslocado, tipo da encosta e a velocidade de deslizamento, entre outros fatores. A classificação mais comumente usada é a de AUGUSTO FILHO (1992), apresentada de forma breve, a seguir.

1.1.2 Classificação dos movimentos de massa, segundo AUGUSTO FILHO (1992)

Rastejos (*Creep*) são fluxos de terra lentos e contínuos, bastante imperceptível, com velocidades muito baixas, da ordem de centímetros por ano, podendo ser sazonais, constantes ou intermitentes; **Escorregamentos (*Slides*)** são caracterizados por apresentarem curta duração e velocidades relativamente elevadas. Possuem superfície de ruptura bem definida; **Quedas (*Falls*)** são movimentos extremamente rápidos, da ordem de metros por segundo, caracterizados pelo destacamento de lascas, placas ou blocos de material rochoso em movimento de queda livre; **Corridas (*Flows*)** são movimentos de massa rápidos e de alta energia, nos quais os materiais escoam encosta abaixo, em virtude da grande concentração de água na superfície.

1.1.3 Mecanismos condicionantes (agente preparatório)

Os agentes condicionantes são fatores, causados naturalmente ou pela ação do homem, que contribuem para a desestabilização do talude. Eles estão relacionados às características específicas do meio físico natural (geológico, hidrológico, tipo de vegetação original), remoção da cobertura vegetal, concentração de águas pluviais, vazamento na rede de água e esgoto, deficiência na construção de aterros, entre outros (CARVALHO *et al.*, 2007).

1.1.4 Precipitação como agente deflagrador

Precipitação pluviométrica é o fator mais significativo no acionamento dos deslizamentos de massa. Tanto a frequência, quanto a intensidade de sua ocorrência, interferem significativamente na instabilidade dos taludes, favorecendo o encharcamento do solo e, assim, os movimentos de massa. (CRUDEN e VARNES, 1996).



Segundo SILVA (2018), as águas provenientes de precipitação atuam no acionamento dos movimentos de massa, basicamente: diminuindo a resistência do solo devido à diminuição da coesão; diminuindo a resistência ao cisalhamento por causa do aumento da pressão hidrostática; aumentando as solicitações externas devido ao aumento da densidade do substrato que forma o talude; aumentando a saturação no material que forma a encosta, provocando o desenvolvimento de poropressões positivas nos solos; e formando e erosão dos materiais da encosta, entre outros.

Alguns fatores comuns tornam os deslizamentos mais suscetíveis, principalmente quando as precipitações são mais concentradas; em geral, quase sempre há a dependência dos índices pluviométricos acumulados nos dias anteriores; os processos do tipo *corridas* estão associados a índices pluviométricos muito intensos; os deslizamentos podem ocorrer, mesmo com valores de precipitações considerados normais, em áreas modificadas pelo homem com aterros, cortes e desmatamentos; os deslizamentos mais profundos estão relacionados a chuvas acumuladas, enquanto que os superficiais são dependentes da intensidade e períodos de tempo curtos; em solos com alta densidade e pouca permeabilidade, a chuva acumulada de vários dias apresenta maior importância; em solos com baixa densidade e maior permeabilidade, a chuva de curta duração e grande intensidade são mais importantes (RAMOS FILHO, 2014 ; SILVA, 2016).

Para o Brasil, a primeira correlação entre a precipitação e os deslizamentos foi desenvolvida em 1957, por PICHLER. Mais tarde, em 1976, GUIDICINI & IWASA analisaram as correlações entre as precipitações acumuladas de até 120 dias anteriores em relação aos movimentos de massa, indicando que índices pluviométricos acima de 250 mm diários e valores de precipitação acima de 20% do valor anual são suficientes para ocasionar deslizamentos de terra.



2 JUSTIFICATIVA

Nos últimos séculos, devido ao aumento da população mundial, somado às consequências das mudanças climáticas, os desastres naturais em decorrência de deslizamentos de terra, além dos prejuízos financeiros, vêm causando cada vez mais, um grande número de vítimas fatais. Em fevereiro de 2023, na região de São Sebastião (SP), cerca de 60 pessoas morreram em decorrência de deslizamentos acionados pelas chuvas. Segundo pesquisa do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2022), de 1988 a junho de 2022, 4.146 pessoas morreram em decorrência de deslizamentos de terra, apenas no Brasil.

Atualmente, as técnicas antigas que visam unicamente o monitoramento da quantidade de chuvas, utilizadas pela defesa civil para tentar antever os eventos de deslizamento, têm se mostrado ineficazes com relação ao objetivo de evitar os danos fatais para as populações que vivem em ambientes de risco. Justamente, porque uma noção errônea comum é pensar que toda água proveniente de precipitações pluviométricas incidindo sobre a superfície do terreno pode ser captada pelo solo. Esse valor pode ser extremamente baixo, se, por exemplo, a superfície do terreno for asfaltada, coberto por vegetação e ou construções, ou se ela for inclinada.

Por outro lado, técnicas novas que visam o monitoramento da movimentação do solo, também se mostraram incapazes, para eventos mais frequentemente ocorridos, cuja classe seja de *nível 7*, onde o movimento de terra gera deslocamentos muito rápidos, na ordem de 5 metros por segundo.

Deste modo, para se conseguir prever com mais precisão e antecedência os eventos de deslizamentos de terra em um determinado local, e evitar as mortes decorrentes dos eventos mais comuns, de *classe 7*, além dos dados da precipitação instantânea, se faz necessário o conhecimento da água também acumulada no solo, juntamente com uma análise prévia da correlação desses dados com o tipo de solo monitorado e suas características físicas e geológicas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de sensoriamento remoto de deslizamento de terra, com a capacidade de antever estes eventos, principalmente em regiões urbanizadas. Emitir alertas de riscos para a população e a defesa civil, com antecedência, de modo a se evitar as consequências graves, como ferimentos e mortes.

3.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um sistema de sensoriamento remoto de deslizamento de terra, capaz de antever esses eventos, através da análise dos parâmetros de quantidade de chuva e umidade do solo;
- Desenvolver um pluviômetro que meça a quantidade de precipitação, instantânea e acumulada, de chuva;
- Desenvolver um sensor que meça a umidade do solo;
- Através de simulações em laboratório, estudar e analisar as características físicas (densidade, precipitação de chuva, umidade do solo) e geológicas (tipos de solo e ângulo de inclinação do terreno) envolvidas no processo de deslizamento de terra, e estabelecer suas correlações;
- Com base nos padrões de quantidade de chuva, umidade, compactação, densidade e tipo de solo, e deslizamentos encontrados nas simulações, determinar o marco temporal irreversível no processo de deslizamento de terra;
- Gravar e enviar os dados, de modo constante e instantâneo, para telefones e / ou computadores cadastrados;
- Enviar o alerta de deslizamento, antecipadamente, para a defesa civil e números de telefone previamente cadastrados.

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais utilizados e montagem do sistema

Para o desenvolvimento do sistema (Figuras 11 e 12), foi montado um pluviômetro, utilizando um sensor de fluxo de líquido, de efeito hall YFS201 (Figura 1), acoplado em um cone de plástico (Figura 8) para captação da água da chuva, com abertura de 10 cm de diâmetro feito em impressora 3D; O sensor de umidade capacitivo SKU:SEN0193 (Figura 3) foi utilizado para medir a umidade do solo; Um módulo de cartão microSD SDHC Mini TF Card Adapter Reader (Figura 2) e um cartão MicroSD de 4GB (Figura 6), para guardar os dados fisicamente no local; o módulo de SMS GSM/GPRS SIM800L (Figuras 4), e um chip de celular (Figuras 7) para enviar os dados através de conexão 4G; Tudo foi centralizado no microcontrolador AVR Arduino Uno (Figura 5), responsável por controlar toda a captação e envio de dados dos sensores, para a memória microSD e os computadores e celulares previamente cadastrados no módulo SMS; Por fim, uma caixa de plástico (Figuras 9 e 10), feita em impressora 3D, foi utilizada para acomodar, compactar e proteger todos os componentes internos do sistema (microcontrolador, módulo de memória microSD e módulo SMS). O pluviômetro e o sensor de umidade, por óbvio, são componentes que devem ficar na parte externa, fora da caixa, ligados por fios elétricos aos componentes internos da caixa.



Figura 1. Sensor de fluxo de líquido.



Figura 2. Módulo microSD.



Figura 3. Sensor de umidade capacitivo de solo.



Figura 4. Módulo sinal de SMS.



Figura 5. Microcontrolador Arduino Uno.



Figura 6. Memória microSD.



Figura 7. Chip 4G.



Figura 8. Cone de Plástico.

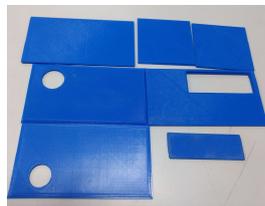


Figura 9. Caixa desmontada.



Figura 10. Caixa montada.

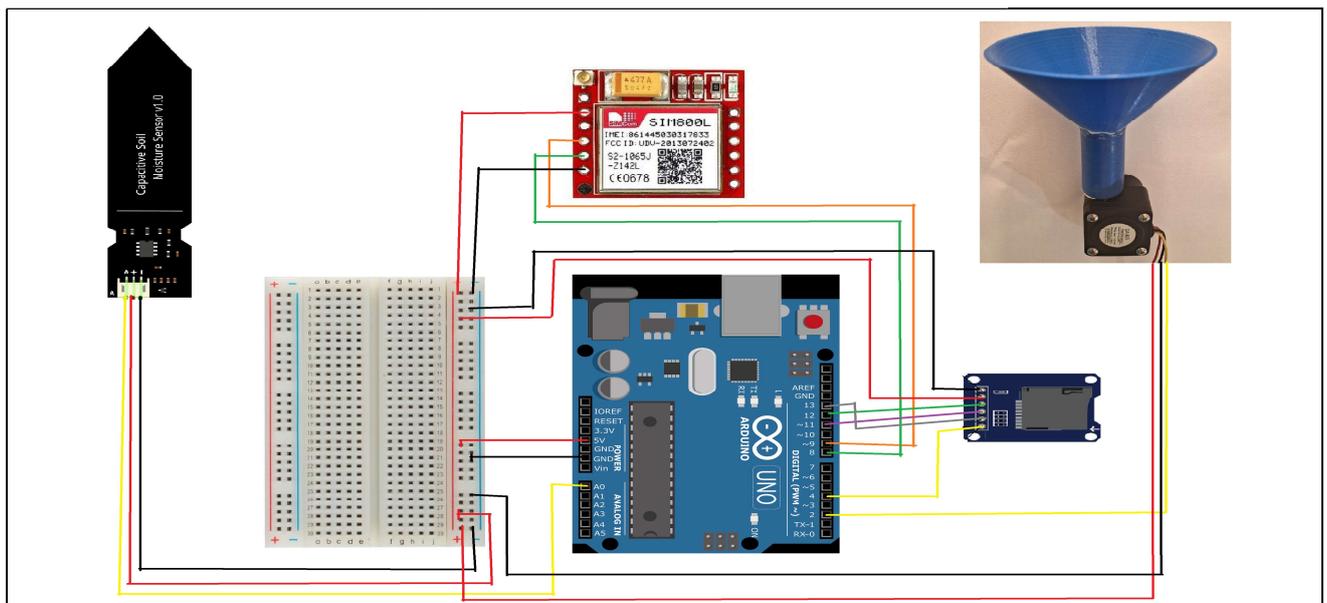


Figura 11. Desenho esquemático das ligações elétricas dos componentes no sistema.

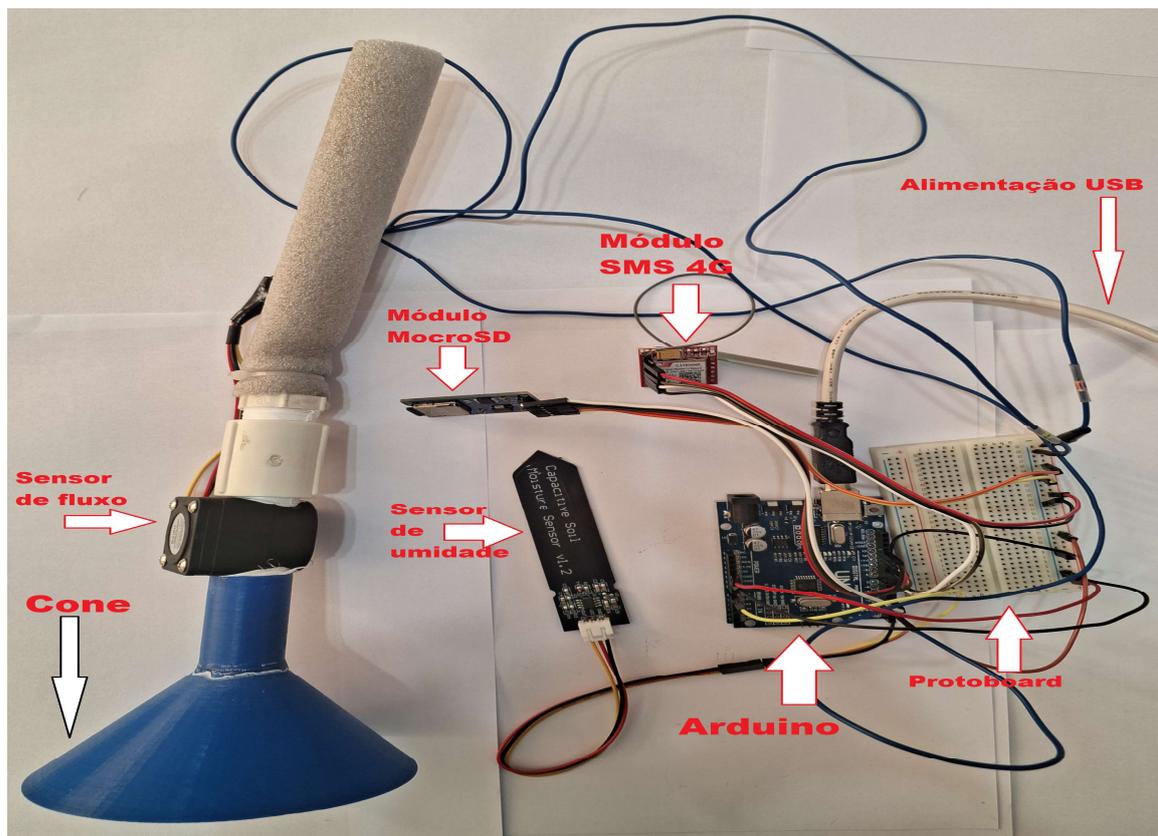


Figura 12. Imagem das ligações físicas de todos os componentes no sistema, fora da caixa.

4.2 Calibrações dos sensores de umidade e fluxo de líquido

O sensor de umidade foi calibrado utilizando dois pontos: sinal emitido quando imerso em água pura (100% de água) e quando exposto ao ar seco (0% de água).

O sensor de fluxo de líquido foi calibrado fornecendo quantidades de água previamente conhecidas (1 litro, 1,5 litros e 2 litros de água) e registrados os seus sinais emitidos.

4.3 As simulações controladas de deslizamento

Simulações de deslizamento foram realizadas, para além de verificar a funcionalidade do sistema, identificar também, experimentalmente em laboratório, as características físicas (densidade, precipitação de chuva, umidade do solo) e geológicas

(tipos de solo e ângulo de inclinação do terreno) envolvidas no processo de deslizamento de terra, e estabelecer seus padrões e suas correlações.

Para isso, foi utilizado um cano de PVC, com um metro de comprimento e 10 cm de diâmetro cortado paralelamente ao comprimento, de modo termos um objeto no formato de canoa ou calha, onde, posteriormente, foi preenchida com terra argilosa, proveniente do jardim da própria escola. O sensor de umidade foi colocado no fundo da calha, antes que ela fosse preenchida com terra (Figura 13).



Figura 13. Calhas com terra, e os sensores de umidade no fundo das calhas, embaixo da terra.



Figura 14. Aparato com a calha fixada em 45°. Realização das simulações de deslizamento.

Foi construído, em madeira, um aparato com o objetivo de fixar a calha com o sensor e a terra, com uma angulação de 45° (Figura 14, acima). Na parte de cima deste aparato, o pluviômetro fica fixo, de modo a despejar a água no topo da calha com terra inclinada. A água utilizada nessas simulações era de torneira, ligada a uma mangueira, que a despejava diretamente no cone do pluviômetro, e este, diretamente no topo da calha com terra.

Para cada massa de terra colocada na calha foi utilizada uma compactação (densidade) específica. A densidade foi medida fazendo a razão massa por volume, conhecendo-se previamente a massa da terra (medida em balança digital) e seu volume, que é igual ao da própria calha.

Com a umidade da terra, compactada, abaixo de 30%, foram realizadas as medições. Para diferentes densidades de terra (compactação) foi simulado um

deslizamento mediante a precipitação de chuva: despejando água da torneira, através da mangueira diretamente para o pluviômetro, um deslizamento de terra acontecia na sequência, depois de um tempo. Simultaneamente foram captados os dados da quantidade de água incidida e a respectiva umidade da terra no momento de seu deslizamento na calha.

Com os conjuntos de dados adequados captados, futuramente será feita a análise de correlação entre os deslizamentos, do volume de água (precipitação), umidade da terra, tipo e densidade do solo e seu grau de inclinação, para se verificar o padrão, e assim, estabelecermos as condições específicas para os eventos de deslizamentos, e deste modo, poder antecipá-los. Nas simulações realizadas em laboratório, para a alimentação do sistema, foi utilizada a porta USB de um computador ligado à rede elétrica.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Foram realizadas quatro simulações, para um ângulo de inclinação de 45°, obtendo-se os seguintes resultados (Tabela 1):

Tabela1. Dados das simulações de deslizamento. Relação da densidade de terra pelo volume de água e umidade da terra. Fonte: Autores.				
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4
Densidade da terra (Kg/m3)	1083,00	1250,00	1750,00	2022,40
Volume de água (L)	4,20	4,80	6,24	3,45
Volume de água (mm)	135,49	154,85	201,30	224,21
Umidade (%)	65	93	100	100

Para a relação da umidade de terra no momento do deslizamento, pela densidade, o melhor ajuste da curva nos dados foi uma polinomial de 2º grau (Figura 15), definida pela seguinte função: $f(x) = -0,00023x^2 + 0,71x - 428$. [1]



Figura 15. Gráfico da umidade pela densidade da terra no momento do deslizamento, ângulo de 45°.

Seu ponto de saturação indica o valor de 1320 Kg/m³ de densidade para um escorregamento. Isso mostra que para densidades iguais e superiores a esta valor, deslizamentos tendem a ocorrer apenas em condições de saturação. E, em valores de densidade inferiores a 1320 Kg/m³, os deslizamentos irão ocorrer antes da saturação. Por exemplo, em uma densidade de 1080 Kg/m³ a umidade de 65% é suficiente para deflagrar um escorregamento.

Quanto ao valor do volume de água utilizada para o deslizamento em relação à densidade de terra (Figura 16), em seu ajuste, a relação se mostra linear, definida pela seguinte função: $f(x) = 0,094x + 35,78$ [2], confirmando a tendência esperada de que quanto maior a densidade da terra, maior sua compactação, e portanto, maior é a quantidade de água necessária para ocasionar o seu deslizamento.

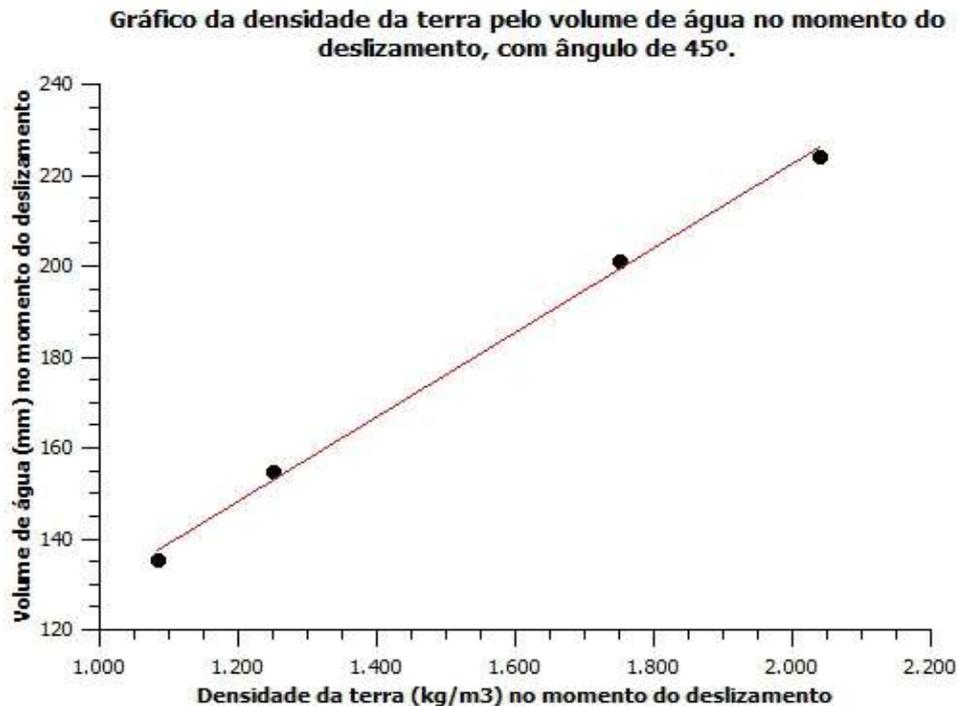


Figura 16. Gráfico do volume pela densidade da terra, no momento do deslizamento, ângulo de 45°.

Densidades de 1083 Kg/m³, chuvas de 136,92mm (correspondentes a 4,26L – Figura 16) são suficientes para desencadear um deslizamento, enquanto que densidade maior de 1750Kg/m³, torna-se necessário uma quantidade de 224,21mm de chuva (correspondentes a 6,24L – Figura 16). Verifica-se, assim, a dependência dos deslizamentos ativados pelas precipitações, em relação às intensidades das chuvas. Dependendo da elevação do nível das precipitações, há geração de forças de percolação (arraste) e pressões hidrostáticas (aumento temporário das poropressões), reduzindo a resistência dos solos pela perda de coesão.



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo de construir um sistema capaz de realizar o sensoriamento remoto de deslizamento de terra, relacionado aos parâmetros de umidade do solo e precipitação da chuva, foi atingido.

Através das relações obtidas (Figuras 15 e 16), funções [1] e [2], e para um mesmo tipo de solo e inclinação de talude, têm-se a possibilidade de se prever, com antecedência quando ocorrerá um deslizamento, se o solo for constantemente monitorado.

Contudo, pretende-se dar continuidade às simulações, pois com uma base de dados maiores, realizaremos os estudos de correlação entre os parâmetros envolvidos nos deslizamentos de terra, com maior precisão.

REFERÊNCIAS

AFP, **Os mais letais deslizamentos de terra no mundo desde 2010**. Estado de Minas. Internacional. Maio, 2014. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/internacional/2014/05/02/interna_internacional,524828/os-mais-letais-deslizamentos-de-terra-no-mundo-desde-2010.shtml>.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., 1992, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ, v. 2, p.721. 1992.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

COSTA, F. Q. **Problemas de estabilidade de taludes em solo residual de gnaiss - Análise do escorregamento do Espinhaço da Gata, PE-89/ Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 146p. 1996.

CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. .Landslide Types and Proceses .. **LANDSLIDES - Investigation and Mitigation. Transportation Research Board - National Research Council. USA. Vol.1, pp. 36 . 75. 1996.**

DE LIMA, M. J. C. P. **Estabilidade de Taludes**. Apostila do Instituto Militar de Engenharia - IME . Ed. IME, 100p. 1993.

D'ORSI, R. N. **Correlação entre pluviometria e escorregamentos no Trecho da Serra dos Órgão da Rodovia Federal BR-116 RJ (Estrada Rio-Teresópolis**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia Civil. 287p. 2011.

GUIDICINI, G. & YWASA, O. Y. **Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamentos em Meio Tropical Úmido**. São Paulo: IPT, 48p. (IPT . Publicação, 1080). 1976.

GUSMÃO FILHO, J. A.; JUCÁ, J. F. T.; JUSTINO DA SILVA, J. M. **Groundwater effects in the moving mechanisms in the hills of Olinda, Brazil**. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING , 9., 1987. Proceedings. Irlanda: ISSMFE, v.1, p. 431-434. 1987.

LIMA, A. F. **Comportamento Geomecânico e Análise de Estabilidade de uma Encosta da Formação Barreiras na Área Urbana da Cidade do Recife**. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, PE, 186p. 2002.



MACEDO, E. S. ; SANDRE, L. H. Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v.12, n.1, p.110-117, 2022.

MELO NETO, M. V. **Problemas de estabilidade de taludes em solo residual de gnaiss - Classificação e caracterização geotécnica de dois movimentos de massa no estado de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 213p. 2005.

PICHLER, E. **Aspectos Geológicos dos escorregamentos de Santos**. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 69-77, 1957.

RAMOS FILHO, G. M. **Correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade nas Encostas de João Pessoa/PB**. 63p. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SILVA, N. L. **Correlação entre pluviosidade e movimentos gravitacionais de massa no Alto Ribeirão do Carmo / MG**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Núcleo de Geotecnia - NUGEO. 114p. 2014.

SILVA, X. A. S. **Mapeamento de Áreas de Risco na Cidade de João Pessoa: comunidades Riachinho e Santa Clara, João Pessoa, PB**. 65p. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SILVA, L. F. **Análise de curva de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de João Pessoa (PB)**. Monografia. Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Programa de Engenharia Civil. João Pessoa, PB, 71p. 2018.

VARNES, D. J. **Slope Movement Types and Processes.. In: Landslides Analysis and Control**. Washington: National Academy of Sciences, pp. 11 . 33. 1978.



APÊNDICE 1 - Código de programação utilizado no microcontrolador AVR.

```
/*
- SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO DE DESLIZAMENTO DE TERRA
-
```

```
=====
==
```

Autores: FREITAS DA SILVA, Antonio Marcos; GALHARDO, Matheus; GUEDES, Lucas Martins; GUTIERREZ, Alber Tolin; LANDUCCI, Enzo Dutra; LIVEN, Kevin Diego do Nascimento; NASCIMENTO, Pedro Henrique dos Santos do; PAGANINI, André Morrone Olean; PORTO, Diana Alcantara; SANTOS, Gustavo Oliveira dos; VILELA, Bianca Delmonte; FERREIRA, Reinado de Melo; SOUSA FILHO, Matheus

```
=====
==
```

```
*/
```

```
////////////////////comunicação sim800L: //////////////////////
```

```
#include <SPI.h>           // Biblioteca de comunicação SPI Nativa (Micro SD)
#include <SD.h>            //Biblioteca cartão micro SD
#include <SoftwareSerial.h> //Adiciona da biblioteca SoftwareSerial.h
SoftwareSerial mySerial(10, 11); //Cria objeto mySerial passando como parâmetro as
portas digitais RX e TX
const int chipSelect = 5; // Constante que indica em qual pino está conectado o Chip
Select(CS) do módulo MicroSD de comunicação
File dataFile;           // Objeto responsável por escrever/Ler do cartão SD
bool cartaoOk = true;
String leitura;
```

```
////////////////////sensor de fluxo: //////////////////////
```

```
//definicao do pino do sensor de fluxo e de interrupcao
const int INTERRUPTCAO_SENSOR = 0; //interrupt = 0 equivale ao pino digital 2
const int PINO_SENSOR = 2;
```

```
//definicao da variavel de contagem de voltas
unsigned long contador = 0;
```

```
//definicao do fator de calibracao para conversao do valor lido
const float FATOR_CALIBRACAO = 7.8;
```

```
//definicao das variaveis de fluxo e volume
float fluxo = 0;
float volume = 0;
float volume_total = 0;
```



```
//definicao da variavel de intervalo de tempo
unsigned long tempo_antes = 0;

////////////////////////////////////sensor de umidade: //////////////////////////////////

//Declaracao do pino conectado ao sensor de umidade
const int PINO_SENSOR_UM = A0;

//Declaracao da variavel que armazena as leituras do sensor de umidade
int leitura_sensor = 0;

//Declaracao das variaveis que armazenam os valores de calibracao
const int VALOR_MAXIMO = 522 ; //Valor com solo seco
const int VALOR_MINIMO = 222; //Valor com solo umido
//Altere o valor das variaveis acima de acordo com as medias obtidas atraves do codigo
da calibracão

void setup(){

    //////////////////////////////////comunicacão sim800L////////////////////////////////////
    mySerial.begin(9600); //Inicializa comunicacão entre o SIM800L e o Arduino
    delay(1000); //Intervalo de 1 segundo

    mySerial.println("AT"); //Teste de conexão
    updateSerial(); //Chamada da função updateSerial()

    mySerial.println("AT+CMGF=1"); //Configuracão do modo SMS text
    updateSerial(); //Chamada da função updateSerial()

    mySerial.println("AT+CMGS=\"+ZZXXXXXXXXXXXXX\""); //Número de telefone
    que irá receber a mensagem, "ZZ" corresponde ao código telefônico do país e
    "XXXXXXXXXXXXX" corresponde ao número de telefone com o DDD
    updateSerial(); //Chamada da função updateSerial()

    mySerial.print("Sistema de Sensoriamento Remoto de Deslizamento de Terra");
    //Texto que será enviado para o usuário
    updateSerial(); //Chamada da função updateSerial()

    mySerial.write(26); //confirmacão das configuracões e envio dos dados para
    comunicacão serial.

    ////////////////////////////////// MicroSD////////////////////////////////////
    if (!SD.begin(chipSelect)) { // Se não for possível se comunicar com o cartão SD o
    código não deve prosseguir
        cartaoOk = false;
        return;
    }
}
```



```
// Caso o cartão esteja ok é criado um arquivo no cartão SD com o nome datalog.csv
em modo de escrita.
if (cartaoOk) {
    dataFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);

}

////////////////////sensor de fluxo////////////////////
//mensagem de inicializacao
Serial.println("Medidor de Fluxo e Volume de Liquidos\n");
//configuracao do pino do sensor de fluxo como entrada em nivel logico alto
pinMode(PINO_SENSOR_UM, INPUT_PULLUP);

////////////////////sensor de umidade////////////////////
//Define o pino conectado ao sensor de umidade como uma entrada do sistema
pinMode(PINO_SENSOR_UM, INPUT);

}

void loop(){

    //////////////////////sensor de fluxo////////////////////
    //executa a contagem de pulsos uma vez por segundo
    if((millis() - tempo_antes) > 1000){

        //desabilita a interrupcao para realizar a conversao do valor de pulsos
        detachInterrupt(INTERRUPCAO_SENSOR);

        //conversao do valor de pulsos para L/min
        fluxo = ((1000.0 / (millis() - tempo_antes)) * contador) / FATOR_CALIBRACAO;

        //exibicao do valor de fluxo
        mySerial.print("Fluxo de: ");
        mySerial.printSerial.print(fluxo);
        mySerial.print(" L/min");

        //calculo do volume em L passado pelo sensor
        volume = fluxo / 60;

        //armazenamento do volume
        volume_total += volume;

        //exibicao do valor de volume
        mySerial.print("Volume: ");
        mySerial.print(volume_total);
        mySerial.print(" L");
        mySerial.print();

    }

    //////////////////////sensor de umidade////////////////////
```



```
//Realiza a leitura do sensor, a mapeia entre 0 e 100 % e exibe o valor
leitura_sensor = analogRead(PINO_SENSOR_UM);
leitura_sensor = map(leitura_sensor, VALOR_MINIMO, VALOR_MAXIMO, 100,
0);
mySerial.print("Umidade = ");
mySerial.print(leitura_sensor);
mySerial.print(" %");
mySerial.print();
////////////////////////////////////

//reinicializacao do contador de pulsos
contador = 0;

//atualizacao da variavel tempo_antes
tempo_antes = millis();

//contagem de pulsos do sensor
attachInterrupt(INTERRUPCAO_SENSOR, contador_pulso, FALLING);

}
////////////////////////////////////gravação dos dados no MicroSD////////////////////////////////////
//Limpaando Variáveis:
leitura = ""; // Limpo campo contendo string que será armazenada em arquivo CSV

// é aberto o arquivo no cartão SD com o nome datalog.csv em modo de escrita:
dataFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);

//escrevemos os dados a serem armazenados em uma String:
leitura = String(fluxo) + ";" + String(volume_total) + ";" + String(leitura_sensor) +
";" ;

// Se o arquivo estiver realmente aberto para leitura executamos as seguintes linhas de
código
if (dataFile) {
Serial.println(leitura); // Mostramos no monitor a linha que será escrita
dataFile.println(leitura); // Escrevemos no arquivos e pulamos uma linha
dataFile.close(); // Fechamos o arquivo
}

tempoInicial = tempoAtual; // somente se quiser resetar o tempo

delay(180000); // Aguardamos 3 minutos para executar o loop novamente.

}

/////funcao chamada pela interrupcao para contagem de pulsos para o sensor de
fluxo/////
```



```
void contador_pulso() {  
  
  contador++;  
}  
  //////////////////////////////////////////////////comunicação sim800L/////////////////////////////////////  
  
void updateSerial() {  
  
  while (mySerial.available()) //Verifica se a comunicação serial está disponível  
  {  
    Serial.write(mySerial.read()); //Realiza leitura serial dos dados de entrada Arduino  
  }  
  delay(500); //Intervalo de 0,5 segundos  
  
}
```