

GEOSENSE: MONITORAMENTO DE ENCOSTAS COM NODEMCU PARA ALERTA DE DESLIZAMENTO

Leandro Ribeiro Nogueira¹

Resumo

Deslizamentos de encostas são eventos recorrentes no Brasil, especialmente em áreas urbanas com relevo acidentado, ocupação desordenada e chuvas concentradas. No Vale do Paraíba Fluminense, o domínio dos Mares de Morros, solos argilosos e a supressão vegetal ampliam a suscetibilidade. Este artigo apresenta o GeoSense, um sistema educacional de baixo custo para monitoramento de taludes com Internet das Coisas (IoT), integrando NodeMCU ESP8266, acelerômetro MPU6050 (variação de inclinação/movimento) e sensor de umidade do solo (saturação), com visualização em página web local e alertas visuais e sonoros. O projeto alia educação científica, cidadania e tecnologia acessível, em consonância com o ODS 11, fomentando cultura de prevenção e resiliência comunitária. O protótipo atingiu os objetivos e manteve funcionamento correto nos testes de laboratório em ambiente controlado. Conclui-se que a solução é replicável em escolas, associações e órgãos locais, potencialmente reduzindo tempos de resposta em situações de risco e formando estudantes com competências digitais e científicas.

Palavras-chave: Deslizamentos. IoT. Monitoramento.

Introdução

Deslizamentos de encostas (movimentos gravitacionais de massa) decorrem do desequilíbrio entre forças atuantes e resistentes, sendo frequentemente desencadeados por chuvas intensas que elevam a pressão de poros e reduzem a resistência ao cisalhamento do solo. Em áreas urbanas brasileiras, esse processo é agravado por fatores antrópicos como ocupação de encostas íngremes, deficiência de drenagem, cortes e aterros inadequados e supressão de vegetação, resultando em perdas humanas e danos materiais recorrentes (Guerra e Jorge (org.), 2013).

No Vale do Paraíba Fluminense, especialmente em Barra Mansa (RJ), a instabilidade é favorecida pela combinação entre relevo dissecado do domínio dos

¹ Mestre em Ensino em Ciências da Saúde e do Meio Ambiente (UniFOA), docente do UGB-FERP.

Mares de Morros, solos argilosos e chuvas concentradas no verão, sendo intensificada por urbanização sem obras compatíveis com normas técnicas (Cunha e Guerra, 2017; IBGE, 2025). Mapas institucionais e manuais técnicos apontam elevada suscetibilidade em porções da Serra do Mar e áreas adjacentes, demandando ações integradas de diagnóstico, prevenção, monitoramento e educação para o risco (IBGE, 2019; CPRM/SGB, 2018).

Nesse contexto, destaca-se a relevância de sistemas de monitoramento de baixo custo baseados em RSSF/IoT para acompanhar variáveis hidromecânicas ligadas às fases iniciais de instabilização, como umidade do solo e microvariações de inclinação (Domingues, 2024; Gurgel Júnior, 2024). Assim, este trabalho apresenta o **GeoSense**, protótipo didático replicável desenvolvido no Colégio Estadual São Pedro (Barra Mansa/RJ), integrando NodeMCU ESP8266, sensor de umidade e MPU6050, com visualização em página web local e alertas locais por buzzer e LEDs. O projeto dialoga com diretrizes nacionais de estabilidade de encostas e mapeamento de risco (ABNT, 2009; CPRM/SGB, 2018) e com a literatura sobre instrumentação para alerta precoce em taludes (Viana, 2023; Queiroz, 2024), tendo como objetivo desenvolver um sistema funcional, físico e digital de monitoramento de taludes, capaz de detectar níveis críticos de umidade e movimentação no solo, gerando alertas visuais e remotos em tempo real como forma de prevenir deslizamentos em comunidades vulneráveis.

Metodologia

O estudo foi realizado no Colégio Estadual São Pedro (Barra Mansa/RJ) e teve como objetivo desenvolver e validar didaticamente um protótipo IoT de baixo custo para monitoramento de taludes, com alertas locais imediatos por buzzer e LEDs, sem depender de internet externa.

Na primeira etapa, foi identificado o problema local relacionado a deslizamentos no Vale do Paraíba Fluminense, definindo-se o recorte didático do projeto: detectar saturação relativa do solo e pequenas variações de inclinação, associadas às deformações iniciais que antecedem deslizamentos. O protótipo foi pensado para ser

barato, rápido de montar, robusto para uso escolar e com funcionamento independente de rede externa.

Na segunda etapa, ocorreu a construção do protótipo, conectando o MPU6050 ao ESP8266, o sensor de umidade do solo à entrada analógica e os sistemas de alerta (buzzer/LEDs) com resistores adequados. No firmware (Arduino C/C++), foram implementadas rotinas de aquisição periódica de dados com média móvel, e uma lógica de decisão com níveis de alerta: umidade do solo em percentual com L1 = 70% (atenção) e L2 = 90% (risco/quase saturado); além disso, foi calculada a variação angular de inclinação ($\Delta\theta$) em relação a uma referência calibrada (θ_{ref}), usando um valor crítico entre $0,1^\circ$ e $0,3^\circ$, com histerese para evitar alarmes falsos. O sistema também incluiu uma interface web local, hospedada no próprio ESP8266, com atualização a cada 1 segundo, exibição de leituras, status e horário, além de codificação por cores para indicar estabilidade ou criticidade. Foi criado ainda um buffer em memória para armazenar as últimas leituras e permitir inspeção rápida sem armazenamento externo.

Na terceira etapa, foi construída uma maquete de talude, com base rígida inclinada e deposição de solo. O sensor de umidade foi instalado verticalmente na camada superficial (aprox. 5 cm), simulando infiltração, enquanto o MPU6050 foi fixado em protoboard dentro de uma caixa impressa em 3D (PLA) e calibrado com botão próprio. Os alertas (buzzer e LEDs) ficaram visíveis no topo da maquete.

Na quarta etapa, foram realizadas calibração e ajustes finos de umidade, inclinação e alertas. A análise dos dados e ajustes de código foram apoiados por Inteligência Artificial, e os testes foram conduzidos exclusivamente na maquete, sem intervenções em encostas reais, garantindo segurança e evitando riscos ambientais. O sistema foi planejado para minimizar riscos de privacidade, sem uso de tokens ou redes externas; para futuras aplicações em campo, recomenda-se autorização técnica e integração com a Defesa Civil.

O custo final do protótipo ficou em cerca de R\$ 183,48. A alimentação por bateria 9V é suficiente para demonstrações, mas para uso prolongado sugere-se pack Li-ion e/ou energia solar. Para maior robustez, recomenda-se caixa selada IP65/67, vedação de cabos e proteção mecânica.

Resultados e Discussão

Os ensaios em maquete foram conduzidos em quatro cenários controlados, com três repetições por condição, e confirmaram após calibração um comportamento estável e coerente, validando a lógica baseada em dois gatilhos complementares (umidade e inclinação), com média móvel e histerese para reduzir ruídos e falsos alarmes.

O sensor de umidade distinguiu de forma consistente os estados seco–úmido–saturado, com $L1=70\%$ adequado para pré-alerta e $L2=90\%$ eficiente para acionar estado crítico (LED vermelho + buzzer) mesmo sem movimento, apesar de pequenas oscilações próximas ao limiar ($70\text{--}75\%$), mitigadas pela filtragem. No parâmetro inclinação, a definição de θ_{ref} permitiu detectar microinclinações de décimos de grau, com $\theta_{crit}\approx 0,2^\circ$ e histerese reduzindo praticamente a zero os falsos disparos, inclusive diante de perturbações rápidas.

Os alertas apresentaram latência sub-segundo, e a interface web local (1 s) manteve-se estável por 10–15 min. O sistema atingiu 100% de acerto nos cenários-alvo e ausência de disparos no cenário de ruído. Operacionalmente, a bateria 9 V atendeu às demonstrações, mas recomenda-se Li-ion + carga solar e encapsulamento IP65/67 para aplicações prolongadas. Em contexto escolar, o protótipo reforça a alfabetização científica ao relacionar, em tempo real, saturação hídrica e deformações incipientes, articulando-se ao ODS 11 e possibilitando futuras expansões (telemetria, pluviômetro e painel integrado).

Considerações Finais

O protótipo cumpriu o objetivo de detectar condições críticas a partir de dois gatilhos independentes e complementares, com alarme local imediato, baixa taxa de falsos disparos e boa estabilidade da interface. As limitações inerentes aos sensores de baixo custo foram mitigadas por calibração e histerese e são compatíveis com o estágio educacional do projeto.

No recorte territorial do Vale do Paraíba Fluminense, a replicação do GeoSense por outras escolas e coletivos — com apoio da Defesa Civil e universidades — pode fomentar redes locais de monitoramento educativo, multiplicando pontos de observação, formando jovens multiplicadores e aproximando a comunidade de decisões informadas sobre uso e ocupação do solo.

Referências

ABNT. **NBR 11682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Manual de mapeamento de perigo e risco a movimentos gravitacionais de massa** (Projeto GIDES), v. 1.1. Rio de Janeiro: CPRM/SGB, 2018.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 15. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017.

DOMINGUES, F. Protótipo de sistema de monitoramento de solo para áreas de risco de deslizamento. **Brazilian Journal of Development**, 2024.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. ISBN 978-85-7975-079-3.

GURGEL JÚNIOR, F. J.; GIGOLOTTI, J. C. J.; SILVA, F. S. B. T.; SILVA, A. S.; TEIXEIRA, L. C. S. **Sistema de monitoramento de saturação de água do solo para prevenção de movimentos gravitacionais de massa**. *Cadernos UniFOA*, v. 19, n. 54, p. 1–12, 2024. DOI: 10.47385/cadunifoa.v19.n54.5029.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

VIANA, D. R.; MENDONÇA, M. B.; SILVA, W. B.; ROCHA, C. H. O. **Aplicação da interferometria SAR Sentinel-1 no monitoramento de taludes de uma barragem**. In: COBRAE – *eBook* 8, 2023.