

IoT para Avaliação de Risco de Deslizamento

Thales L. de Souza¹, Andreia A. Costa¹, Juan Faria¹,
Felix D. Antreich¹, Johnny C. Marques¹, Cecilia de A. C. César¹

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)
Estado São Paulo - SP – Brasil

thales.souza@ga.ita.br, andreia.costa.101296@ga.ita.br, juan.faria@ga.ita.br
fean@ita.br, johnny@ita.br, cecilia@ita.br

Abstract. *Climate change has caused several incidents worldwide, such as excessive rainfall that causes landslides with consequences ranging from the loss of property to the loss of human life. The effects of these events could be minimized if people and groups were alerted on time and knew the procedures to follow. In Brazil, initiatives using cutting-edge technology are still incipient, as indicated by CEMADEN (National Center for Natural Disaster Monitoring and Alerts). This article is dedicated to modeling an environmental cyber-physical system that provides for installing sensors in risk areas, collects and processes data, and sends notifications to the responsible authorities. Additionally, it integrates data, allowing long-term analysis aimed at planning strategies by public authorities. A prototype of the environmental system was built, and preliminary tests indicated that the project has functionality and performance adequate to the demands of this application.*

Resumo. *As mudanças climáticas têm causado diversos incidentes ao redor do mundo como o excesso de chuvas que causam deslizamentos de terra com consequências que vão da perda de patrimônio até a perda de vidas humanas. Os efeitos destes eventos poderiam ser minimizados se pessoas e grupos fossem alertados em tempo justo e soubessem os procedimentos a seguir. No Brasil, as iniciativas usando tecnologia de ponta ainda são insipientes como indicado pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). Este artigo se dedica a modelagem de um sistema ciber-físico ambiental que prevê a instalação de sensores nas áreas de risco, recolhe e processa os dados e envia notificações às autoridades responsáveis. Adicionalmente, integra os dados permitindo uma análise de longo prazo visando o planejamento de estratégias por parte do poder público. Um protótipo do sistema ambiental foi construído e os testes preliminares indicaram que o projeto tem funcionalidade e desempenho adequados às demandas desta aplicação.*

1. Introdução

Mudanças climáticas tem afetado todas as regiões da terra. De acordo com a ONU, com o aumento do aquecimento global, os eventos extremos de calor e chuva tornam-se mais frequentes e mais intensos¹.

¹<https://www.un.org/en/climatechange/science/mythbusters>

No Brasil, inúmeros eventos recentes de deslizamento de terra tem confirmado esta tendência como a tragédia ocorrida em São Sebastião em 2023 com um volume de chuvas que foram consideradas as maiores registradas em um período de 24 horas na história do país e que deixou o triste saldo de 60 mortos².

Acrescenta-se a este grave problema climático, a crescente expansão da população brasileira para as áreas de risco, devido à precariedade habitacional, urbanização desordenada das grandes cidades, e ainda ineficácia na fiscalização e planejamento. Pesquisa divulgada pelo IBGE, indica que 31% dos municípios brasileiros sofreu com alagamentos e quanto maior a população dos municípios, maior a proporção dos atingidos por alagamentos: 92,9% dos municípios atingidos possui mais de 500 mil habitantes. A infiltração de água das chuvas combinada com mudanças nas condições naturais do relevo levaram a deslizamentos em 21,2% dos municípios da região Sudeste e chegando a 24,8% na região Sul³.

Na introdução do Manifesto da SBC sobre Tecnologias Digitais para o Meio Ambiente, é citada a Ação 13 ligada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU que visa tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos. [SBC 2022].

De fato, tecnologias digitais tem muito a contribuir. Há técnicas de sensoriamento remoto sendo empregadas principalmente em países desenvolvidos, o que ainda não é realidade na maioria dos países. Satélites são empregados para uma maior cobertura espacial, porém isto implica em menor resolução espaço-temporal limitando a estimativa da quantidade de precipitação de eventos hidrológicos extremos de alta velocidade [FUSINATO et al. 2023]. Soluções combinadas são necessárias.

Outro problema no Brasil é a grande dificuldade de se encontrar sistemas de alerta de emergência automatizados em áreas de risco, como uso de sirenes ou outros dispositivos, que poderiam ser utilizados pela Defesa Civil para alertar os habitantes das áreas de risco sobre uma emergência em tempo real. A legislação não exige esse tipo de recurso na maioria dos empreendimentos e nas cidades [Maireles 2018]. A defesa Civil no Estado de SP realiza notificações de risco aos cidadãos via SMS⁴, contudo, segundo o último plano diretor do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais), entre as fraquezas mapeadas está a dificuldade em obter estes alertas de forma antecipada e com boa precisão.

Entre as ações propostas no Manifesto da SBC, a Ação 5 motiva este trabalho: "Promover a modelagem de sistemas ambientais por múltiplos meios que contemple abordagens matemáticas, computacionais e da Inteligência Artificial." [SBC 2022].

Pretende-se modelar o sistema ambiental, um sistema ciber-físico, com o uso de Internet das Coisas (IoT) que permite a obtenção de dados variados de fontes diversas

²<https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2023/02/26/temporal-devastador-no-litoral-norte-de-sp-completa-uma-semana-veja-resumo-da-tragedia.ghtml>

³<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/21636-munic-2017-48-6-dos-municipios-do-pais-foram-afetados-por-secas-nos-ultimos-4-anos>

⁴<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/ricanduva/noticias/?p=98571>

e com diferentes temporalidades e granularidades. Dados obtidos a partir de sensores podem se inserir em um sistema sem intervenção humana via rede de comunicação. Neste trabalho, o objetivo é a minimização dos danos de deslizamentos de terra sinalizando a iminência do evento às autoridades responsáveis.

As principais contribuições deste trabalho são:

- Modelagem de um sistema de IoT para avaliação do risco de deslizamento que integre os elementos envolvidos: a terra (coisa), dispositivos eletrônicos (hardware), software, e usuários;
- Construção de um protótipo;
- Testes das principais funcionalidades do sistema ciber-físico: da chuva à entrega de alerta;
- Integração dos dados em um ambiente de análise de dados de longo prazo para melhoria contínua do sistema.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma: trabalhos relacionados encontram-se na Seção 2; a modelagem proposta na Seção 3 e o protótipo construído na seção 4. Alguns testes realizados encontram-se na Seção 5 e a conclusão na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados

Nossa pesquisa visou artigos atuais selecionados de uma busca com as palavras-chave "landslide+IoT". Muitos destes artigos abordavam o problema de deslizamento de terra devido a terremotos, e não excesso de chuvas como é o cenário brasileiro, mas alguns *insights* são comuns aos dois cenários, como a necessidade de emitir alertas o mais rápido possível. Isto foi apontado nos experimentos feitos em Taiwan [Lau et al. 2023] e Índia [Mohan et al. 2023]. A seguir a pesquisa foi refinada com as palavras-chave "landslide+rainfall+IoT" e alguns trabalhos mais específicos foram encontrados.

[Hemalatha et al. 2022] realizam um estudo que detalha os principais aspectos de sistemas de monitoramento de terra, categorizando-os por tipo de movimento de terra (como queda, tombamento, deslizamento), velocidade de ocorrência (lenta a rápida) e parâmetros monitorados (dados meteorológicos, geológicos e físicos). Eles descrevem as fases e métodos de monitoramento, abrangendo desde análises territoriais até monitoramento em tempo real, além de sistemas de alerta precoce usando IoT. Apontam diversos desafios, como questões de direitos autorais, políticas governamentais, assim como a importância de algoritmos inteligentes, capacidade de processamento dos dispositivos e eficiência energética.

[Esposito et al. 2022] exploram o uso de soluções de Internet das Coisas (IoT) para melhorar os Sistemas de Alerta Precoce em casos de desastres naturais. Eles combinam monitoramento de ameaças, previsões baseadas em dados históricos, avaliação de riscos, comunicação e preparação para reduzir os danos antes que eventos perigosos ocorram. Os autores descrevem uma estrutura clássica de IoT em três níveis: Percepção (sensores que detectam dados ambientais), Comunicação (comunicação de dados) e Aplicação (processamento de dados e armazenamento, geralmente na nuvem). Levantam requisitos também clássicos em IoT: longa duração da bateria, alta confiabilidade e tolerância a falhas, ampla cobertura e baixa latência. No caso de deslizamentos de terra é crucial considerar a minimização de alarmes falsos, redução de custos, facilidade de instalação, otimização do posicionamento dos sensores, e garantia de resiliência e redundância.

[Danladi and Baykara 2022] discutem a *LPWAN* (Low Power Wide-Area Network), enfatizando sua eficiência em superar desafios de alcance operacional, consumo de energia e custo em tecnologias sem fio. *LPWAN* é apontada por sua capacidade de comunicação de longa distância com baixo consumo energético e custo reduzido. Dentre as tecnologias *LPWAN* analisadas, destacam-se LoRa, SigFox, NB-IoT, Weightless. Pensando no cenário brasileiro LoRa desponta como boa escolha.

[Debauche et al. 2022] trazem um outro aspecto importante do projeto de sistemas de monitoramento de desastres: uma arquitetura Edge distribuída focada no processamento e armazenamento eficientes de dados de IoT e multimídia, visando reduzir o tempo de resposta. O conceito de *SSCIoT* (Short Supply Circuit Internet of Things) é proposto para otimizar o processamento de dados em cenários onde a conexão com a nuvem é limitada ou inexistente, enfatizando a importância da coordenação entre sensores e aplicações e a integração entre Edge, Fog e Cloud Computing.

[Souza et al. 2022] desenvolvem uma solução IoT integrada para monitoramento em tempo real de deslizamentos de terra, utilizando sensores de umidade no solo. Os dados são enviados a uma plataforma de computação em nuvem, onde um modelo analítico avalia o risco de deslizamento e, se necessário, aciona um alarme. A configuração otimiza a distância entre os sensores para equilibrar a redundância de dados e a eficiência energética, com simulações de chuva variadas para testar a resposta do sistema. O fator de segurança (SF) considera múltiplos parâmetros do solo e da água para prever riscos de deslizamento com precisão.

[Suwarno et al. 2021] desenvolveram um Sistema de Alerta Antecipado para detecção de inundações de lava, que embora tenha características diferentes de inundações de água também utiliza os mesmos sensores que alimentam sistemas de decisão com alertas automáticos. Aproveitamos a ideia de arquitetura deste trabalho com dois serviços importantes: detecção e notificação.

Estes trabalhos indicaram aspectos importantes neste tipo de projeto que foram incluídos em nosso projeto. Indicaram a tendência do uso de sistemas inteligentes na Borda que processem os dados de sensores e ao mesmo tempo que possa emitir alertas precisos de forma antecipada.

3. Modelagem do Sistema de Avaliação de Risco de Deslizamento

Na primeira parte de nosso experimento fizemos a modelagem do sistema IoT para contemplar todos os possíveis *stakeholders*, todas as informações importantes e todas as interações entre os diversos elementos, enfim houve um levantamento de requisitos funcionais e não funcionais. Foram realizadas entrevistas no escritório local do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

A Figura 1 ilustra o contexto da solução. Na figura estão representados os principais elementos constitutivo do sistema ciber-físico:

- A coisa física que é a terra da encosta, identificada por sua localização GPS;
- Usuários finais: moradores da área monitorada que serão notificados sobre possíveis deslizamentos;
- Dispositivos eletrônicos no local monitorado: sensores e microprocessador equipado com módulo de comunicação; fazem o papel de Computação de Borda com potencial para envio direto das notificações aos interessados;

- Nuvem (Cloud) com servidores para armazenamento e tratamento de dados remotos;
- Analistas: avaliam dados a médio e longo prazo para tomada de decisões estratégicas; servidores na nuvem são envolvidos nesta tarefa.
- Autoridades: Prefeituras de cidades com áreas de risco, órgãos de análise climática e Defesa Civil interessados nos dados de curto, médio e longo prazo. A curto prazo são os responsáveis pela autorização de envio de mensagens.

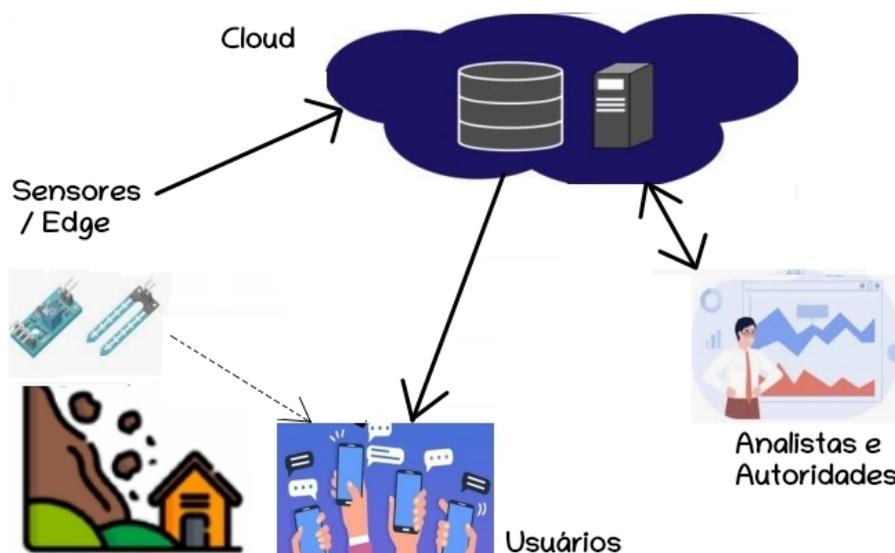


Figure 1. Diagrama de Contexto do Sistema Anti-Deslizamento

A seta tracejada da Figura indica o potencial para envio direto de mensagens, caso as decisões sejam tomadas em tempo no próprio computador de borda. Inicialmente, pensamos em decidir pelo envio direto após avaliarmos o tempo de resposta do sistema. Assim, na etapa preliminar do projeto, esta possibilidade ficou apenas registrada.

Posteriormente, com as interações com o CEMADEN local, a equipe foi informada que um sistema não poderia enviar mensagens diretamente a população sem a autorização expressa das autoridades, uma vez que estas mensagens pode ter graves consequências como requisitar imediata desocupação do ambiente. Desta maneira, a seta direta (tracejada) da figura 1 foi definitivamente abandonada. Em nosso Serviço de Notificações, criamos primeiramente uma notificação à autoridade que deve confirmar o evento assegurando adicionalmente não se tratar de um incidente de segurança cibernética e só então notificamos os usuários finais.

Uma vez compreendido o contexto, se partiu para uma visão mais concreta do sistema. Sendo um sistema ciber-físico, nosso sistema requer uma modelagem que capture a relação entre o mundo físico e o mundo virtual. O projeto europeu IoT-Architecture (IoT) tem as diretrizes para realizar este tipo de modelagem recomendando um estilo de diagrama UML (Unified Modeling-Language) que permite a representação dos diferentes tipos de elementos usando diferentes cores [Bassi et al. 2013].

A Figura 2 contém o diagrama UML deste projeto usando as cores (1) Bege para os elementos físicos, (2) Azul para os dispositivos eletrônicos (hardware), (3) Amarelo para representar seres humanos e (4) Verde para o software. Note que o nível de abstração

ainda é alto. Nem todos os dispositivos eletrônicos envolvidos estão representados no diagrama, como por exemplo, não há a representação (em azul) dos servidores da nuvem que abrigam os serviços e aplicações pois isto congestionaria o diagrama e tiraria o foco da representação que se deseja enfatizar: os dispositivos necessários para trazer a informação do mundo físico e o fluxo de seu tratamento.

Foi feita uma avaliação do volume de dados gerado bem como a frequência necessária para a aplicação tratá-los com a demanda requerida. Em situações normais, o envio a cada 2 minutos é suficiente para capturar as alterações no ambiente. Quando há detecção de vibração, o intervalo de envio passa para 1 minuto, porém as leituras locais dos sensores ocorrem a cada 5 segundos. Esta dinâmica leva a um volume de apenas 250Kb/min considerando todos os dados sensorizados no intervalo. Com este volume reduzido e a demanda temporal leve, avaliou-se até esta etapa não ser necessário de fato um servidor adicional de Borda, portanto no diagrama, consta apenas um Controlador que ficará responsável pelo processamento local e envio diretamente a plataforma na nuvem.

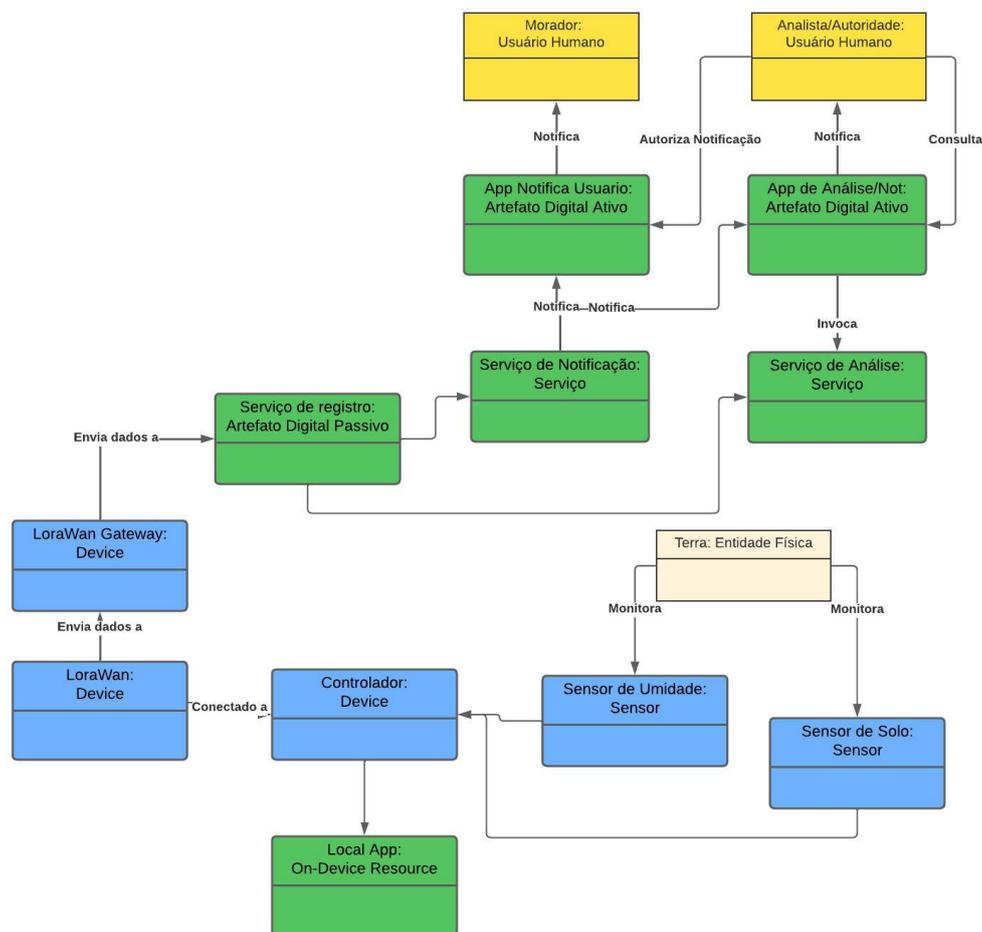


Figure 2. Diagrama UML do Sistema Anti-Deslizamento

4. Protótipo

Há diversas opções para detectar o movimento do solo como por exemplo medir a potência óptica que atravessa uma fibra óptica [Junior et al. 2016], ou empregar sensores acús-

ticos ou sensores de vibração. Em nosso projeto, optamos pelos sensores de vibração pelo baixo custo e facilidade de instalação.

Originalmente, baseado no estudo de [Danladi and Baykara 2022], havíamos escolhido a tecnologia LoRa para a conectividade, devido ao amplo alcance, adequada taxa de transferência, e flexibilidade em relação à latência e duração da bateria. Todavia, como na região onde os testes seriam realizados não havia uma rede LoRaWan, substituímos o módulo de comunicação LoRa por um módulo GSM da rede celular que tem ampla cobertura em regiões remotas do Brasil.

Assim, para a montagem do protótipo, foram usados os seguintes componentes principais em um protoboard:

- Arduino Uno
- Shield GSM SIM 900a + chip de operadora móvel
- Fonte de alimentação 9V para Shield GSM
- Fonte de alimentação para Arduino – USB de 5V
- Sensor de Umidade e Temperatura Sensor de Umidade do Solo (Soil Moisture)
- Módulo Piezoelétrico (Sensor de vibração)

A Figura 3 ilustra a interligação destes componentes.

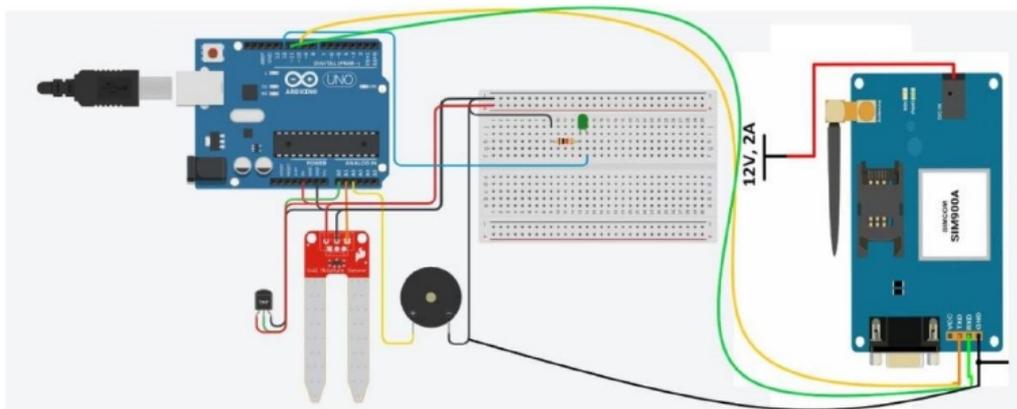


Figure 3. Esquema elétrico do projeto

Adicionalmente foi utilizada a plataforma ThingSpeak [Maureira 2014] cujo servidor sempre no ar permite a criação de canais para leitura e escrita de dados e fornece chaves para o acesso controlado. O Arduino vai escrever dados dos sensores no canal de escrita do ThingSpeak usando uma chave de escrita, e a aplicação na nuvem vai ler os dados em seu respectivo canal de leitura usando uma chave de leitura. Esta plataforma é de uso intuitivo com interface simples, e com potencial para tratamento dos dados através de sua integração com o Matlab. O acesso aos canais pode ser realizado de várias maneiras, mas a mais simples é via chamada HTTP da API REST. Por exemplo, para escrever o valor 123 no campo field1 de um canal, pode-se usar a API ou fazer acesso via um browser com a sintaxe: https://api.thingspeak.com/update.json?api_key=<write_api_key>&field1=123.

5. Testes Realizados

Após a montagem do circuito apresentado na seção 4, o circuito foi submetido a um teste de campo onde as condições externas foram artificialmente alteradas para verificar se a

resposta era correta e se os dados chegariam em tempo justo ao servidor remoto na nuvem.

Verificamos o compromisso que existe ao usar um microcontrolador como o Arduino ao invés de usar um processador como o Raspberry Pi. Por um lado, com o Arduino, conseguimos um excelente tempo de resposta pela simplicidade e ausência de um sistema operacional completo. Adicionalmente esta solução é de baixo custo e baixo gasto de energia. Por outro lado, no Arduino não seria possível rodar os modelos inteligentes que demandam processadores mais robustos e também não seria possível executar tarefas simultâneas. Ao ponderar que o sistema não tem requisitos de tempo real críticos, pois as respostas podem chegar aos decisores na escala de tempo de segundos, optamos pela solução de menor custo: manter o controlador Arduino. A resposta humana da autorização no envio final da mensagem é que determina a rapidez de uma eventual desocupação da área. Com esta decisão de manter o microcontrolador, verificamos que a tarefa de coletar os dados de sensores e enviar à nuvem como único processamento da Borda, foi realizado com folga pelo Arduino.

Nos testes realizados, colocamos os sensores num solo seco e posteriormente colocamos água no solo. Percebemos a capacidade do sensor de perceber pequenas alterações que nos permitiu classificar o estado do solo como seco ou úmido ou encharcado. No teste de vibração, configuramos o limiar de vibração para mínimo permitindo assim testar esta funcionalidade ainda que na ausência de forte vibração real.

A Figura 4 ilustra os valores obtidos de 3 sensores em curto espaço de tempo. Estes gráficos foram extraídos da plataforma *ThingSpeak* que coleta os dados e que permite o acesso de leitura a um agente identificado.



Figure 4. Dados dos sensores obtidos via *ThingSpeak*

O código executando no Arduino, o Local App da Figura 2, ao ler os dados dos sensores os envia pelo canal de escrita do *ThingSpeak*. Nosso software na Nuvem lê este valor, armazena (serviço de registro), envia ao serviço de notificação que decide enviar ou não uma notificação à Autoridade. No momento, nosso modelo é extremamente simplificado, fazendo apenas a verificação dos limiares dos valores percebidos, e ao ultrapassarem certos limiares, a notificação é enviada. O serviço de notificação utiliza a API da Meta chamada WhatsApp Cloud API para envio de mensagens aos números cadastrados no sistema.

Por fim, o volume de dados levantado pode ser empregado para tratamento estratégico de longo prazo. A visão emergencial de curto prazo tem um objetivo importante de diminuir o impacto do incidente desocupando a área, porém, ao tratar estes dados em uma janela de tempo maior, novos entendimentos podem emergir e permitir o discernimento quanto à estratégia de tratamento deste tipo de problema. Por exemplo, em

uma região onde certos limiares mínimos não foram alcançados nos últimos 5 anos se diminuiria o número de sensores na área. Por outro lado, seria possível expandir o número de sensores em localidades que embora não tenham atingido a situação de emergência, tiveram um índice pluviométrico maior. Inclusive os dados históricos de sensores podem ser relacionados aos dados de urbanização para obter uma avaliação de risco mais precisa. Para realizar este tipo de análise, criamos um canal entre o *ThingSpeak* e o *PowerBi* da Microsoft [Microsoft 2024].

A Figura 5 ilustra estes dados sendo amostrados em uma tela do *PowerBi*. Além de serem exibidos os dados históricos, o *PowerBi* dispõe de uma operação chamada *drill-down* que permite buscar e exibir limiares configurados. Nesta tela definimos 3 cards com os valores de interesse: Temperatura Máxima Atingida, Umidade do Ar e Umidade de Solo que representam Risco.

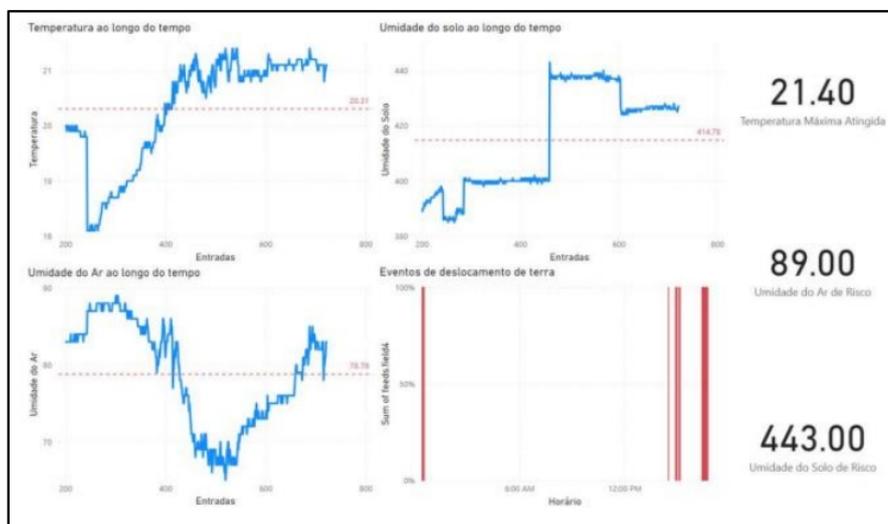


Figure 5. Dados de Longo Prazo visualizados no PowerBI

6. Conclusão

Este trabalho dedicou-se ao grave problema de deslizamento de terras em áreas urbanas. Foi realizada a modelagem de um sistema ciber-físico através de IoT, a construção de um protótipo e os testes preliminares das principais funcionalidades. Um sistema de notificação de emergência foi integrado e testado visando contribuir ao trabalho da Defesa Civil na proteção dos cidadãos. Os dados foram integrados no ambiente *PowerBi* para auxiliar a análise visando a melhoria do planejamento estratégico e tático das instituições envolvidas no problema. Os testes indicaram que um sistema de baixo custo pode responder em tempo apropriado às alterações dos parâmetros avaliados, e em maior escala de tempo pode também contribuir para uma análise mais profunda e tomada de decisão. O objetivo de todo o arcabouço é que mensagens confiáveis cheguem em tempo às mãos dos cidadãos, com o potencial de salvar vidas.

Para continuação deste trabalho, seria ideal implantar o sistema em um município de alto risco onde situações reais pudessem ser avaliadas. Adicionalmente, poderiam ser incorporados ao arcabouço modelos mais sofisticados e inteligentes para detecção precoce dos incidentes em andamento. Por fim, seria conveniente acrescentar no modelo

um atuador que acionaria um sistema de som para os momentos mais críticos onde uma sirene seria mais efetiva do que uma mensagem de celular.

References

- Bassi, A., Bauer, M., Fiedler, M., Kramp, T., Kranenburg, R., Lange, S., and Meissner, S. (2013). *Enabling Things to Talk*.
- Danladi, M. and Baykara, M. (2022). Low power wide area network technologies: Open problems, challenges, and potential applications. Acesso em: 20 abr. 2023.
- Debauche, O., Mahmoudi, S., and Guttadauria, A. (2022). A new edge computing architecture for iot and multimedia data management. *Information*, 13(2):89. Acesso em: 20 abr. 2023.
- Esposito, M., Palma, L., Belli, A., Sabbatini, L., and Pierleoni, P. (2022). Recent advances in internet of things solutions for early warning systems: A review. *Sensors*, 22(6):2124. Acesso em: 20 abr. 2023.
- FUSINATO, E., RUHOFF, A., and PAIVA, R. (2023). Revisão sistemática de estimativas de precipitação quantitativa por sensoriamento remoto para eventos de desastres hidrológicos passados. *III Encontro Nacional de Desastres*.
- Hemalatha, T. H., Uhlemann, S., Reghunadh, R., Ramesh, M., and Rangan, V. (2022). Review of landslide monitoring techniques with iot integration opportunities. *IEEE Xplore*. Acesso em: 20 abr. 2023.
- Junior, I. F. F., Filho, G. B., and Celaschi, S. (2016). Monitoramento de deslizamento de terra usando sensor simples de fibra Óptica.
- Lau, Y. M., Wang, K. L., Wang, Y. H., Yiu, W. H., Ooi, G. H., Tan, P. S., Wu, J., Leung, M. L., Lui, H. L., and Chen, C. W. (2023). Monitoring of rainfall-induced landslides at songmao and lushan, taiwan, using iot and big data-based monitoring system. *Landslides*, 20.
- Maureira, M. A. G. (2014). Thingspeak – an api and web service for the internet of things.
- Meireles, L. V. (2018). Projeto de uma rede de internet das coisas para monitoramento e alerta de emergência em áreas de risco. *Dissertação (Mestrado em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração)- UFOP*.
- Microsoft (2024). O que é o serviço do power bi?
- Mohan, A., Dwivedi, R., and Kumar, B. (2023). *IoT for Landslides: Applications, Technologies and Challenges*, pages 245–259. Springer Nature Singapore, Singapore.
- SBC (2022). Tecnologias digitais para o meio ambiente: Manifesto sbc.
- Souza, J., Pinho, A., Ferreira, C., Monteiro, A., and Henriques, F. (2022). An iot based system for landslides warnings using a real time slope monitoring model. Acesso em: 20 abr. 2023.
- Suwarno, I., Ma'arif, A., Raharja, N., Nurjanah, A., Ikhsan, J., and Mutiarin, D. (2021). Iot-based lava flood early warning system with rainfall intensity monitoring and disaster communication technology. Acesso em: 20 abr. 2023.