

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ENCHENTES COM ANÁLISE EM TEMPO REAL

Diogo Rodrigues¹, Luiz Ricardo Fiera²

Resumo: As enchentes representam um dos principais desafios urbanos no Brasil, agravadas pela impermeabilização do solo e pela deficiência dos sistemas de drenagem. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento de enchentes com análise em tempo real, utilizando tecnologias acessíveis e de baixo custo. O protótipo foi construído com um microcontrolador Arduino Uno, sensor ultrassônico HC-SR04 para medir o nível da água e módulo GSM SIM800L para envio automático de alertas via SMS. Os testes realizados em ambiente controlado demonstraram precisão e estabilidade nas medições, com respostas rápidas a variações do nível hídrico. Os resultados comprovam a viabilidade técnica e econômica do sistema, que se mostra promissor para aplicação em áreas de risco e integração futura com plataformas IoT voltadas à gestão de desastres urbanos.

Palavras-chave: enchentes; Arduino; sensores ultrassônicos; monitoramento; GSM.

ABSTRACT: Floods are among the main urban challenges in Brazil, intensified by soil impermeabilization and inadequate drainage systems. This study aims to develop a real-time flood monitoring system using accessible and low-cost technologies. The prototype was built with an Arduino Uno microcontroller, an HC-SR04 ultrasonic sensor to measure water levels, and a SIM800L GSM module for automatic SMS alerts. Tests conducted in a controlled environment demonstrated measurement accuracy and stability, with quick responses to water-level variations. The results confirm the technical and economic feasibility of the system, which proves to be a promising solution for flood-prone areas and future integration with IoT platforms focused on urban disaster management.

Keywords: flooding; Arduino; ultrasonic sensors; monitoring; GSM.

¹Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), Criciúma - Santa Catarina - Brasil. diogorodrigues131415@unesc.net

²Orientador, Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), Criciúma - Santa Catarina - Brasil. ricardo.fiera@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

As enchentes urbanas estão entre os desastres naturais mais recorrentes e devastadores em centros urbanos, representando uma ameaça significativa para a população e a infraestrutura, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil. O crescimento desordenado das cidades, a impermeabilização do solo e as deficiências nos sistemas de drenagem urbana intensificam a ocorrência desses eventos, resultando em prejuízos materiais, impactos econômicos e, em situações mais graves, perdas humanas (Marotti et al., 2014; Bustamante, 2010). Apesar dos avanços nas tecnologias de previsão meteorológica terem melhorado a capacidade de antecipar chuvas intensas, o monitoramento em tempo real de riscos de enchentes ainda apresenta limitações relevantes, sobretudo em áreas com infraestrutura precária ou recursos escassos.

Diversas pesquisas vêm explorando alternativas para enfrentar esses desafios, incluindo a utilização de sensores, sistemas inteligentes de alerta e integração de dados meteorológicos (Hapsari; Zenurianto, 2016). Contudo, grande parte dessas soluções ainda apresenta barreiras como altos custos de implementação, dependência de infraestrutura robusta ou complexidade de manutenção, o que compromete sua aplicação em regiões de maior vulnerabilidade. Estudos recentes têm apontado a Internet das Coisas (IoT) como uma estratégia promissora, ao possibilitar a integração de sensores, redes sem fio e plataformas embarcadas de baixo custo, como Arduino e Raspberry Pi, para a coleta e análise contínua de dados em tempo real (Intharasombat; Khoenkaw, 2015; Teixeira et al., 2017). Nesse contexto, sensores ultrassônicos vêm se destacando por sua eficiência em monitorar o nível da água em pontos estratégicos, enviando informações diretamente a servidores capazes de processar e identificar situações de risco iminente (Patil et al., 2019; Mouha et al., 2021).

Apesar desses avanços, ainda existe uma lacuna significativa na literatura: a maioria das soluções concentra-se em sistemas localizados, sem a adoção de uma abordagem distribuída e escalável que permita monitorar diferentes áreas de forma simultânea, analisando os dados em tempo real para prever o impacto em regiões vizinhas. Além disso, muitos trabalhos não incorporam mecanismos de correção de erros ambientais, o que pode comprometer a precisão

das medições e gerar alarmes falsos, prejudicando a confiabilidade do sistema. Assim, identifica-se a necessidade de desenvolver soluções que conciliem baixo custo, aplicabilidade prática, escalabilidade e precisão na coleta e análise dos dados.

Diante desse cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de enchentes com análise em tempo real, utilizando sensores ultrassônicos instalados em um recipiente transparente de formato retangular, que simula de maneira controlada a variação do nível da água. O sistema não se limita a coletar dados automaticamente: ele busca analisá-los de forma contínua e emitir alertas de maneira autônoma, demonstrando seu potencial para futura aplicação em áreas de risco. O diferencial da pesquisa reside na combinação de tecnologias acessíveis, como redes GSM, com uma arquitetura modular e escalável, apta a ser replicada em distintas localidades. O objetivo central é desenvolver um protótipo funcional que una baixo custo, eficiência e aplicabilidade prática, contribuindo para a mitigação dos impactos das enchentes, para a segurança da população e para o fortalecimento do conceito de cidades inteligentes e resilientes (Bae; Ji, 2019; Kabi et al., 2023; Pultar, 2020; Goldenberg, 2020). No escopo atual, a expressão “análise em tempo real” refere-se ao processamento contínuo das medições do sensor e à geração imediata de alertas conforme limiares definidos. A etapa de previsão regional ou correlação com múltiplos pontos de monitoramento configura uma fase futura do projeto, descrita como potencial de expansão, mas não implementada neste protótipo inicial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica aborda os principais conceitos tecnológicos utilizados no desenvolvimento do sistema de monitoramento de enchentes. Primeiro, são apresentados os sensores ultrassônicos, que medem a distância por meio do método Time of Flight (ToF), enviando um pulso sonoro e calculando o tempo que ele leva para retornar após atingir a superfície da água. Em seguida, discute-se o uso do Arduino, uma plataforma de hardware simples e de baixo custo, adequada para projetos embarcados e ideal para aplicações em ambientes com recursos limitados. Também é explorado o papel das redes GSM, responsáveis pela transmissão dos alertas via SMS, permitindo comunicação mesmo em locais sem

internet. Por fim, destaca-se a aplicação da Internet das Coisas (IoT) na hidrologia urbana, que integra sensores, comunicação sem fio e análise de dados para criar sistemas eficientes de monitoramento em tempo real, contribuindo para a prevenção de enchentes em regiões vulneráveis.

2.1 MONITORAMENTO AMBIENTAL E RISCOS HIDROLÓGICOS

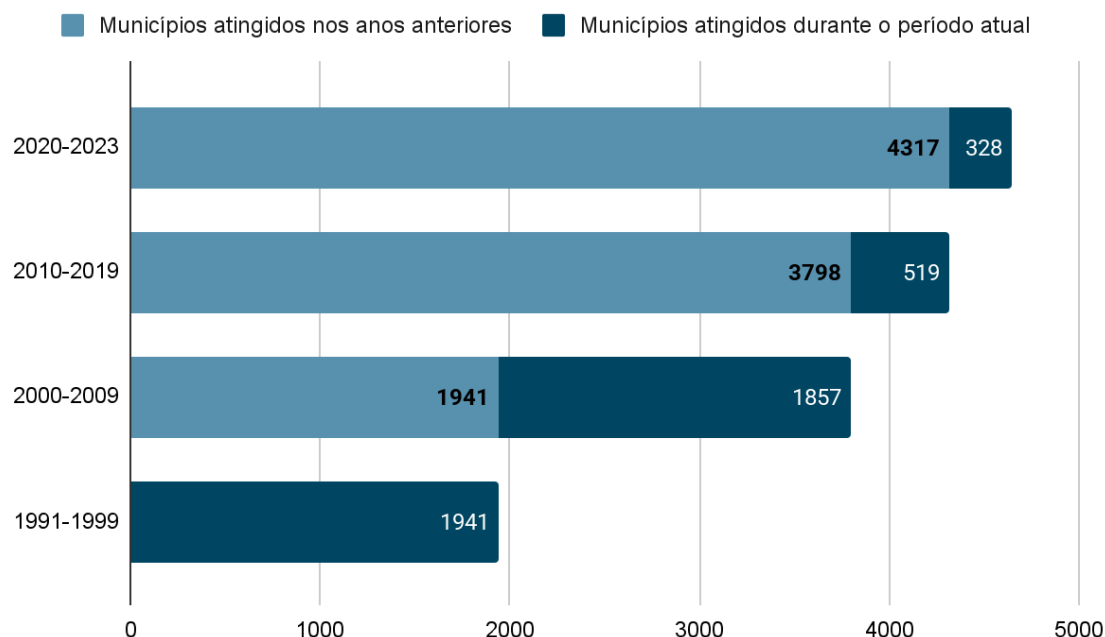
O monitoramento ambiental consiste na coleta, análise e interpretação contínua de dados que indicam o estado dos recursos naturais e suas alterações ao longo do tempo. Este processo é essencial para a identificação de tendências ambientais, antecipação de riscos e planejamento de ações preventivas. No contexto urbano, o monitoramento torna-se ainda mais relevante devido à complexidade dos ecossistemas modificados pela ação humana (Alves; Pollery; Amorim, 2023).

A urbanização acelerada e a consequente impermeabilização do solo interferem diretamente no ciclo hidrológico, ampliando os impactos de eventos extremos como as chuvas intensas. O monitoramento adequado dos recursos hídricos é uma ferramenta indispensável na gestão ambiental, permitindo a detecção precoce de situações críticas, como o risco de inundações (Bustamante, 2010).

O interesse pelo monitoramento ambiental intensificou-se a partir da década de 1970, quando cresceu a preocupação global com os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente. Eventos como a Conferência de Estocolmo (1972) e, posteriormente, a Rio-92, reforçaram a necessidade de ações contínuas de vigilância ambiental, incentivando o desenvolvimento de políticas e tecnologias voltadas à sustentabilidade.

Além disso, estudos recentes destacam que cidades menores também enfrentam limitações estruturais e orçamentárias no gerenciamento de drenagem urbana, o que torna ainda mais necessário o uso de soluções práticas e de baixo custo para monitoramento hidrológico. Tecnologias acessíveis podem auxiliar na prevenção de cheias e no planejamento de sistemas de drenagem mais eficientes (Almeida, 2020).

Gráfico 1 - Número de municípios atingidos por desastres relacionados a chuvas



Fonte: CNN Brasil (2025)

No Gráfico 1 observa-se uma tendência significativa de aumento na quantidade de desastres relacionados às chuvas nos últimos períodos analisados. Embora o número de municípios atingidos tenha diminuído entre 2000–2009 e 2010–2019, o total de ocorrências registradas continuou elevado, indicando intensificação dos eventos climáticos extremos. Entre 2020 e 2023, apesar da redução no número de municípios impactados, o total de desastres voltou a subir, sugerindo maior frequência de episódios concentrados em áreas já vulneráveis.

Com o avanço da ciência e da tecnologia, o monitoramento ambiental passou a incorporar sensores automáticos de nível, pluviômetros digitais, plataformas de coleta de dados (PCDs), imagens de satélite e estações hidrometeorológicas. Essas ferramentas permitem um acompanhamento em tempo real e com alta precisão das variáveis ambientais, otimizando o processo de tomada de decisão em situações de risco (Kobiyama et al., 2019).

No Brasil, o monitoramento ambiental está regulamentado por leis e diretrizes que visam à preservação dos recursos naturais e à mitigação de desastres. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) é uma das principais legislações que estabelecem o controle do uso da água, a gestão participativa e o acompanhamento contínuo dos corpos hídricos. O Sistema Nacional

de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e o Sistema de Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) desempenham papéis fundamentais na coleta e disseminação de dados críticos para o monitoramento de eventos extremos.

O monitoramento ambiental representa não apenas um instrumento técnico, mas também uma política pública estratégica para enfrentar os desafios decorrentes das mudanças climáticas, da urbanização desordenada e da pressão sobre os recursos hídricos. Seu fortalecimento é essencial para a construção de cidades mais resilientes e preparadas para os riscos hidrológicos.

2.1.1 Tipos de desastres naturais com foco em inundações urbanas

Entre os desastres naturais que mais impactam os centros urbanos, as inundações ocupam lugar de destaque, seja pelo número de ocorrências, seja pela extensão dos prejuízos causados. Esses eventos podem resultar do transbordamento de rios, da falha nos sistemas de drenagem pluvial ou do simples acúmulo de água da chuva em áreas impermeabilizadas. A ocupação desordenada do solo, a falta de planejamento urbano e a degradação ambiental são fatores que agravam ainda mais os efeitos dessas ocorrências (Carmo; Anazawa, 2014).

As inundações urbanas são classificadas como eventos hidrológicos extremos. Embora façam parte da dinâmica natural do ciclo da água, suas consequências são intensificadas pela vulnerabilidade da infraestrutura urbana e pela alta densidade populacional. Conforme apontam Ribeiro e Silva (2020), esses eventos estão entre os maiores desafios enfrentados pelas cidades na busca por sustentabilidade e resiliência, uma vez que provocam perdas materiais, desabrigamento, interrupção de serviços essenciais e até mesmo vítimas fatais.

A literatura técnica e os órgãos de proteção civil, como a Defesa Civil Nacional, distinguem os principais tipos de inundações em áreas urbanas:

- a) Alagamentos: ocorrem geralmente de forma localizada e rápida, causados por chuvas intensas que excedem a capacidade dos sistemas de drenagem urbana. São comuns em áreas com solo impermeabilizado e declividade reduzida;
- b) Cheias: caracterizam-se pelo aumento gradual do nível de rios e córregos, levando ao transbordamento e à inundação das margens. Podem durar dias e atingir grandes extensões territoriais;

c) Enxurradas: são escoamentos superficiais intensos e velozes, que ocorrem principalmente em áreas com grande declividade. São extremamente perigosas, podendo arrastar pessoas, veículos e estruturas.

Essas classificações ajudam no planejamento de ações específicas de mitigação, resposta e reconstrução, além de subsidiar políticas públicas de prevenção. De acordo com a Classificação de Desastres da Defesa Civil (CENAD, 2023), esses eventos são considerados desastres de origem hidrológica, categoria que engloba enchentes, enxurradas e alagamentos súbitos.

O histórico recente de inundações em cidades brasileiras reforça a necessidade de sistemas de monitoramento e resposta em tempo real. Casos como os de Petrópolis (RJ, 2022), Joinville (SC, 2023) e Recife (PE, 2022) evidenciam a gravidade do problema. Esses episódios não apenas resultaram em perdas humanas e prejuízos econômicos, mas também expuseram fragilidades na gestão urbana e na infraestrutura de drenagem.

Compreender a natureza e os tipos de inundações é essencial para a construção de sistemas de monitoramento eficazes, capazes de antecipar riscos, emitir alertas e apoiar ações emergenciais de forma coordenada.

2.2 SISTEMAS DE MONITORAMENTO DE ENCHENTES

Historicamente, o monitoramento dos níveis de água em ambientes urbanos foi realizado por meio de sistemas convencionais de drenagem e estações de medição com coleta manual de dados. Esses métodos buscavam, principalmente, escoar rapidamente a água das chuvas para fora das áreas urbanizadas, como forma de conter alagamentos (Trata Brasil, 2025).

Apesar de eficazes em contextos urbanos anteriores à intensa expansão populacional, tais sistemas mostraram-se inadequados frente às atuais exigências urbanísticas e ambientais. As redes de drenagem tradicionais, por exemplo, não são capazes de absorver o volume de água gerado em eventos extremos, especialmente quando mal conservadas ou subdimensionadas (Almeida, 2020).

Além das redes de drenagem e estações fixas, diversos instrumentos analógicos e manuais vêm sendo utilizados há décadas para a medição de variáveis hidrológicas. Entre os exemplos clássicos estão os linímetros, utilizados para

registrar a intensidade da chuva ao longo do tempo; as réguas linimétricas, que medem visualmente a altura dos rios; e os pluviômetros manuais, distribuídos em pontos estratégicos para a coleta de dados pluviométricos (Alves, 2020).

No Brasil, as principais instituições responsáveis pelo monitoramento hidrológico e pela gestão de riscos relacionados a enchentes são a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Defesa Civil, que atuam em parceria com centros de meteorologia estaduais e municipais. Essas instituições integram redes de estações de medição e alertas, embora muitas dessas estruturas ainda sejam dependentes de coleta manual e análise posterior dos dados.

É importante destacar o contraste entre os sistemas tradicionais de drenagem urbana e os conceitos mais modernos de drenagem sustentável, conhecidos como Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). Enquanto os modelos convencionais se concentram na rápida evacuação da água das áreas urbanas, os SUDS propõem a retenção, infiltração e reutilização da água pluvial, incorporando soluções como pavimentos permeáveis, reservatórios de retenção, jardins de chuva e bacias de infiltração (Almeida, 2020; Mousa et al., 2016). Essa abordagem visa não apenas o controle de enchentes, mas também a sustentabilidade ambiental e a recarga do lençol freático, tornando-se uma alternativa viável para os desafios impostos pela urbanização acelerada.

2.2.1 Limitações dos métodos manuais e dos sistemas de alto custo

Uma das principais limitações dos métodos tradicionais está relacionada à dependência de intervenções manuais para a obtenção e análise dos dados. A coleta periódica, feita por técnicos em campo, além de ser onerosa, está sujeita a falhas humanas e a atrasos na detecção de eventos críticos (Alves, 2020).

Muitos desses sistemas demandam altos investimentos em infraestrutura e manutenção, o que dificulta sua aplicação em regiões economicamente vulneráveis. Em diversos casos, a falta de manutenção adequada leva ao entupimento de condutos e obstrução de canais, comprometendo o funcionamento do sistema e intensificando os efeitos das inundações (Alves, 2020).

O tempo médio de resposta entre a coleta manual e a análise dos dados pode variar entre 24 e 72 horas, o que reduz consideravelmente a eficácia na

resposta a eventos críticos. Técnicos responsáveis pela medição em campo também enfrentam riscos significativos durante chuvas intensas ou enchentes, como escorregamentos, correntezas e o acesso a áreas alagadas, colocando em risco sua integridade física (Ribeiro; Silva, 2020).

Casos reais no Sudeste brasileiro, especialmente em cidades como São Paulo e Belo Horizonte, evidenciaram falhas graves em sistemas tradicionais, agravadas pela ausência de manutenção preventiva e pela ineficiência das redes de drenagem (Bustamante, 2010; Alves, 2020).

Os custos médios de instalação de estações hidrológicas manuais variam entre R\$ 10 mil e R\$ 20 mil, enquanto sistemas automáticos com sensores e comunicação remota podem ultrapassar R\$ 50 mil (Trata Brasil, 2025), tornando sua adoção inviável para muitos municípios de pequeno porte ou com orçamento limitado.

2.3 SENSORES ULTRASSÔNICOS PARA MEDIÇÃO DE NÍVEL DE ÁGUA

Sensores ultrassônicos funcionam pela emissão de um pulso sonoro que se propaga pelo ar, reflete na superfície da água e retorna ao sensor, permitindo calcular a distância com base no tempo de voo (ToF). Como não exigem contato direto com o fluido, oferecem maior durabilidade e segurança, sendo adequados para ambientes externos e situações de baixa visibilidade, como chuva ou turbidez (Digiflow, 2024; Alves, 2022). Em medições hidrológicas, apresentam resolução típica entre 1 e 2 cm, o que os torna apropriados para o monitoramento de rios e reservatórios (Ding et al., 2025).

2.3.1 Aplicações em hidrologia urbana

Em contextos urbanos, esses sensores são amplamente utilizados em sistemas de alerta de enchentes e estações automáticas. Seu baixo custo e facilidade de instalação permitem aplicação em pontes, margens de rios e estruturas de drenagem, destacando-se em cidades de médio porte (Belizário, 2021; Alves, 2022). Experiências reais incluem o uso em Curitiba no monitoramento do Rio Barigui e em cidades como Joinville e Florianópolis, onde são integrados a pluviômetros e estações meteorológicas para análise conjunta dos dados (Alves;

Pollery; Amorim, 2023; Nunes et al., 2025). A integração com sensores ambientais adicionais, como pluviômetros e anemômetros, fortalece a capacidade de previsão hidrológica em plataformas IoT (Mousa et al., 2016).

2.3.2 Fatores que afetam a precisão e técnicas de correção

A precisão dos sensores ultrassônicos pode ser afetada por temperatura, vento, umidade e interferências físicas. A temperatura altera diretamente a velocidade do som, podendo distorcer a medição, motivo pelo qual modelos modernos incorporam sensores térmicos que recalculam automaticamente a distância via correção algorítmica (Digiflow, 2024). Em áreas urbanas densas, reflexões múltiplas causadas por edificações, veículos ou superfícies metálicas também podem gerar ecos falsos, exigindo posicionamento adequado e estratégias de mitigação (Ding et al., 2025).

Para aprimorar a estabilidade das medições, utilizam-se filtros digitais como média móvel e Kalman, que reduzem ruídos e suavizam flutuações inesperadas. Além disso, técnicas recentes aplicam aprendizado de máquina para calibração adaptativa, permitindo ajustes automáticos com base em padrões históricos e condições ambientais, aumentando a confiabilidade das medições em tempo real (Ding et al., 2025).

2.3 APLICAÇÕES DE ARDUINO EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO DE ENCHENTES

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto utilizada em aplicações ambientais devido ao seu baixo custo, simplicidade e capacidade de integração com diferentes sensores e módulos (Darwis et al., 2023). O Arduino Uno, baseado no microcontrolador ATmega328, oferece 16 MHz de processamento, 32 KB de memória flash e baixo consumo energético, tornando-o adequado para sistemas embarcados de monitoramento contínuo. Embora limitado em memória e processamento quando comparado a plataformas mais avançadas, como o ESP32 ou o Raspberry Pi, o Arduino se destaca pela facilidade de uso e robustez em aplicações de coleta de dados e automação básica (Magnaye et al., 2024).

2.3.1 Aplicações e sensores utilizados no monitoramento de enchentes

Diversos estudos comprovam a eficiência do Arduino no monitoramento de nível de água. Sistemas utilizando sensores ultrassônicos, capacitivos ou de pressão submersa têm demonstrado boa precisão na detecção de variações no nível hídrico, permitindo a emissão de alertas automáticos via GSM, e-mail ou plataformas IoT (Darwis et al., 2023; Alves, 2022). Exemplos incluem projetos que utilizam o sensor HC-SR04 ou variantes como o JSN-SR04T conectados ao Arduino Uno, integrados a módulos GSM para envio de notificações em tempo real, ou sistemas híbridos que combinam sensores pluviométricos e estações meteorológicas para aumentar a confiabilidade das medições (Belizário, 2021; Magnaye et al., 2024). Esses estudos demonstram que o Arduino continua sendo uma solução acessível e eficaz para monitoramento de enchentes em cenários urbanos e rurais.

2.3.2 Comunicação, integração e desafios na implementação

A integração do Arduino com módulos de comunicação como GSM, LoRa e Wi-Fi permite transmitir dados em tempo real para servidores remotos ou plataformas de análise, ampliando a capacidade de resposta a eventos críticos (Nunes et al., 2025). O GSM é indicado para regiões com cobertura móvel, enquanto o LoRa se destaca pelo baixo consumo e longo alcance; já o Wi-Fi oferece maior taxa de transmissão em ambientes urbanos. Esses dados podem ser encaminhados para serviços como AWS IoT, Google Cloud IoT ou plataformas open source como ThingsBoard, possibilitando dashboards, análise preditiva e emissão automática de alertas (Mousa et al., 2016).

Apesar dos benefícios, desafios persistem, como instabilidade de sinal, interferências, limitações climáticas e necessidade de calibração dos sensores. Estratégias como redundância de comunicação, caixas estanques, manutenção remota via OTA e uso de componentes com proteção IP65 aumentam a confiabilidade e longevidade do sistema (Darwis et al., 2023; Alves, 2022). Dessa forma, o Arduino se consolida como uma solução viável para projetos de monitoramento ambiental de baixo custo e alta aplicabilidade.

2.4 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO COM PLATAFORMAS DE COMUNICAÇÃO E ALERTA

A integração de sistemas de monitoramento de enchentes com tecnologias de comunicação em tempo real, como a Internet das Coisas (IoT), tem se mostrado essencial para a eficácia na detecção e resposta a eventos hidrológicos extremos. A utilização de microcontroladores, como o Arduino, em conjunto com sensores e módulos de comunicação, permite a coleta e transmissão de dados em tempo real, facilitando a tomada de decisões rápidas e informadas (Darwis et al., 2023).

Entretanto, a comunicação em áreas remotas enfrenta desafios significativos, como a limitada cobertura de redes móveis e a dificuldade em manter conexões estáveis e de baixa latência. Em muitos casos, a infraestrutura de telecomunicações é insuficiente, exigindo soluções alternativas como redes mesh ou tecnologias de comunicação de longo alcance (LoRaWAN), que garantem maior alcance com menor consumo energético (Magnaye et al., 2024).

A redundância das redes é fundamental para garantir a confiabilidade do sistema. Isso inclui o uso de múltiplos canais de comunicação, protocolos de retransmissão automática e armazenamento local temporário dos dados em caso de falhas na transmissão, evitando a perda de informações críticas durante eventos extremos (Nunes et al., 2025).

A segurança dos dados em ambientes IoT é um aspecto crucial, visto que sistemas de monitoramento de enchentes podem ser alvo de ataques cibernéticos que comprometam a integridade, confidencialidade e disponibilidade das informações. A implementação de criptografia, autenticação robusta e protocolos seguros de comunicação são práticas essenciais para proteger esses sistemas contra invasões e garantir a confiabilidade das operações (Mousa et al., 2016).

2.4.1 Plataformas de alerta: sms, aplicativos móveis e web

Diversas plataformas de alerta têm sido implementadas para disseminar informações sobre riscos de enchentes. Sistemas baseados em Arduino têm sido integrados com módulos GSM para envio de mensagens SMS, além de aplicativos móveis e interfaces web que permitem o monitoramento remoto e a emissão de

alertas personalizados. Essas soluções visam alcançar um público amplo e garantir que as informações críticas sejam recebidas de maneira oportuna (IJRET, 2025).

A personalização dos alertas é um aspecto importante para aumentar a efetividade das notificações. Usuários podem configurar limites específicos de níveis de água, horários para recebimento das mensagens e canais preferenciais de comunicação, como SMS, e-mail ou notificações push em aplicativos móveis, tornando o sistema mais adaptável às necessidades locais (Mousa et al., 2016).

Casos reais demonstram o sucesso dessas plataformas. Na cidade de Recife (PE), por exemplo, um sistema integrado com módulos GSM e aplicativo móvel permitiu a redução significativa dos danos causados por enchentes, ao fornecer alertas antecipados para comunidades vulneráveis, possibilitando ações preventivas e evacuações organizadas (Darwis et al., 2023). Outro exemplo é o projeto implementado em São José dos Campos (SP), que utilizou uma plataforma web associada a sensores instalados em rios locais para emitir alertas automáticos via SMS e aplicativo, aumentando a participação da população na gestão de riscos (Magnaye et al., 2024).

2.4.2 Desafios na implementação e sustentabilidade

Apesar dos avanços tecnológicos, a implementação de sistemas integrados de monitoramento e alerta enfrenta desafios, como a necessidade de infraestrutura de comunicação confiável, manutenção contínua dos equipamentos e capacitação das comunidades locais para interpretar e reagir aos alertas emitidos. Fatores socioeconômicos podem influenciar a eficácia desses sistemas, especialmente em regiões com recursos limitados (Darwis et al., 2023).

A manutenção e longevidade dos sistemas são questões críticas, pois sensores e módulos eletrônicos expostos a condições climáticas adversas estão sujeitos a desgaste, falhas e degradação. A implementação de estratégias de manutenção preventiva, monitoramento remoto do funcionamento dos dispositivos e a facilidade para substituição de componentes contribuem para a durabilidade dos sistemas (Magnaye et al., 2024).

A sustentabilidade econômica requer a definição de modelos de financiamento que garantam a continuidade dos projetos, podendo incluir parcerias público-privadas, incentivos governamentais, financiamento coletivo ou integração

com políticas públicas de gestão de riscos. Modelos de negócio sustentáveis possibilitam a expansão dos sistemas para áreas vulneráveis com recursos limitados, assegurando o acesso contínuo e atualizado às informações (Nunes et al., 2025).

A capacitação contínua e o engajamento das comunidades são fundamentais para o sucesso dos sistemas. Programas educativos e treinamentos sobre a interpretação dos alertas, ações preventivas e uso das plataformas tecnológicas ajudam a criar uma cultura de prevenção e participação ativa, fortalecendo a resiliência local frente a eventos hidrológicos extremos (Mousa et al., 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do protótipo de monitoramento de enchentes utilizou materiais de baixo custo amplamente empregados em projetos de Internet das Coisas (IoT).

A análise realizada pelo protótipo limita-se ao processamento local e imediato das leituras captadas pelo sensor ultrassônico, sem aplicações estatísticas complexas ou modelos preditivos. Assim, o termo “tempo real” refere-se ao ciclo contínuo de coleta–interpretação–alerta, e não a uma análise preditiva regional, que é prevista como evolução futura do sistema.

Tabela 1 - Preços dos equipamentos	
Dispositivo	Preço
Arduino Uno R3	R\$ 63,22
Sensor Ultrassônico HC-SR04	R\$ 14,00
Módulo GSM SIM800L	R\$ 47,00
Bateria Recarregável 3,7 V Li-ion	R\$ 25,00
Bateria 9 V Alcalina Duracell	R\$ 39,90

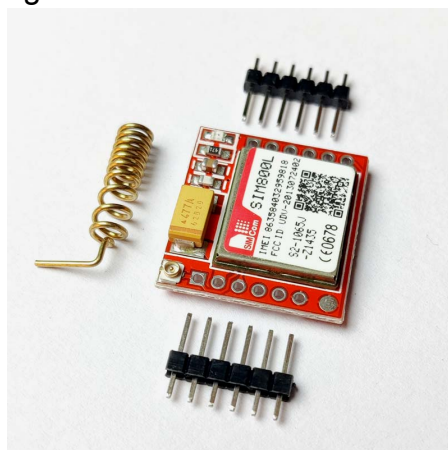
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A unidade central do sistema foi construída com um microcontrolador Arduino Uno, citado na literatura por sua simplicidade, versatilidade e adequação a aplicações embarcadas de monitoramento ambiental (Darwis et al., 2023; Magnaye et al., 2024).

Para a medição do nível da água, empregou-se um sensor ultrassônico HC-SR04, o sensor apresenta tecnologia destacada por seu baixo custo, conforme apresentado na Tabela 1, precisão suficiente e por não exigir contato direto com o fluido, o que reduz riscos em ambientes sujeitos a enchentes (Digiflow, 2024; Alves, 2022).

A transmissão dos alertas foi realizada por meio do módulo GSM SIM800L, ilustrado na Figura 1, frequentemente utilizado em sistemas de monitoramento remoto para envio de dados e mensagens SMS em regiões onde a conectividade Wi-Fi é limitada, conforme ressaltado por estudos de sistemas de detecção precoce de enchentes baseados em IoT (Darwis et al., 2023; IJRET, 2025)

Figura 1 - módulo GSM SIM800L



Fonte: Mercado livre (2025)

Quanto à alimentação, foram utilizadas duas baterias, uma delas é recarregável de 3,7 V dedicada ao SIM800L devido às exigências de operação do módulo GSM, enquanto o Arduino Uno recebeu energia de uma bateria de 9 V, garantindo autonomia elétrica do protótipo durante a fase de testes, alinhado ao que recomendam sistemas de monitoramento ambiental alimentados por fontes independentes (Ding et al., 2025).

Os métodos empregados envolveram a configuração e programação da plataforma utilizando a Arduino IDE, ambiente amplamente utilizado em pesquisas acadêmicas e reconhecido pela facilidade de implementação de rotinas de leitura e processamento de sensores (Magnaye et al., 2024). As rotinas desenvolvidas foram responsáveis pela leitura contínua dos dados fornecidos pelo sensor HC-SR04, pela filtragem e interpretação das distâncias medidas e pela identificação de padrões que indicassem elevação súbita ou crítica do nível da água, técnica coerente com

estratégias de monitoramento hidrológico baseadas em sensores ultrassônicos descritas na literatura (Rudyk et al., 2025; Mousa et al., 2016). Com base nessas leituras, foram definidos limiares de operação que determinam quando o módulo SIM800L deveria ser acionado automaticamente para o envio de mensagens SMS aos números cadastrados no código, seguindo método semelhante ao utilizado em sistemas de alerta precoce implementados em pesquisas recentes (IJRET, 2025; Darwis et al., 2023). A metodologia buscou reproduzir as condições de operação de um sistema de monitoramento aplicado em campo, garantindo que o protótipo mantivesse confiabilidade nas medições e alertas.

Embora a fundamentação teórica tenha apresentado técnicas avançadas de correção de erros — como filtros de Kalman, média móvel ponderada e abordagens baseadas em aprendizado de máquina — o protótipo implementado nesta etapa optou por um método de filtragem simples baseado na média das leituras sucessivas. Essa escolha se justifica pelo caráter inicial de prova de conceito, cujo foco era validar o funcionamento básico do sensor e do sistema de alertas. A filtragem média reduz oscilações imediatas geradas pela água e por pequenas interferências, mas não compensa ainda fatores ambientais mais complexos, como variações térmicas ou múltiplos ecos. Dessa forma, o projeto reconhece que técnicas mais avançadas serão incorporadas em versões futuras, especialmente para operação em ambientes reais, onde as variações são mais intensas e imprevisíveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados com o protótipo permitiram avaliar o desempenho do sistema de monitoramento de enchentes em condições controladas, utilizando uma caixa plástica transparente de 30 cm de profundidade para simular variações rápidas e graduais no nível da água. A metodologia de testes reproduziu três níveis de risco configurados no código: atenção (15 cm), alerta (10 cm) e nível crítico (5 cm).

Durante as medições, o sensor ultrassônico HC-SR04 apresentou estabilidade e consistência nas leituras, com variação média inferior a 1 cm entre ciclos consecutivos, alinhada à precisão esperada para esse tipo de sensor, conforme observado em estudos similares (Ding et al., 2025; Digiflow, 2024). O sistema foi capaz de identificar corretamente todas as mudanças de nível e acionar

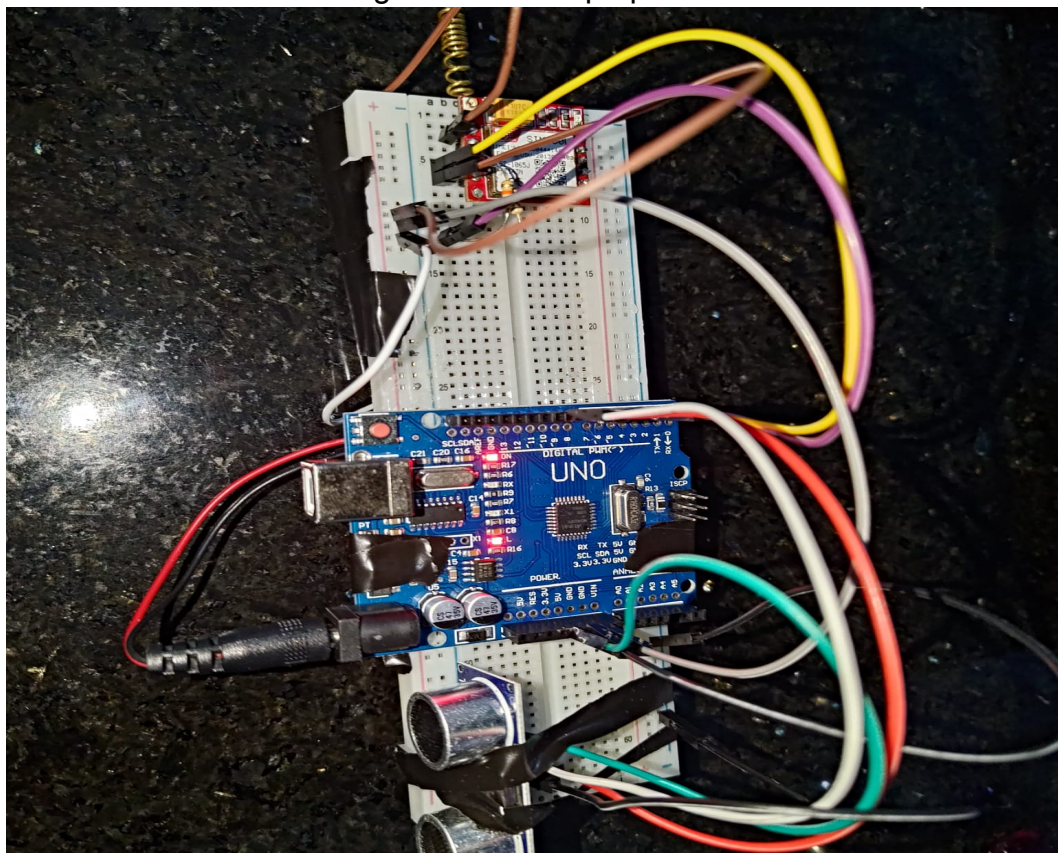
o módulo GSM SIM800L sem atrasos perceptíveis, enviando SMS automaticamente para o número configurado.

Cabe destacar que a filtragem simples utilizada não contempla todos os fatores ambientais discutidos na revisão teórica, como vento, variação de temperatura e reflexões múltiplas. Em ambiente controlado, esse método mostrou-se suficiente para garantir leituras estáveis; entretanto, em cenários reais, métodos mais robustos — como o filtro de Kalman ou correções térmicas automáticas — serão necessários para mitigar ruídos ambientais mais severos. Assim, esta fase do projeto valida o funcionamento geral do sistema, mas evidencia a importância de ampliar o tratamento de sinais nas próximas etapas de desenvolvimento.

As etapas metodológicas seguiram o seguinte fluxo:

- a) Montagem do circuito eletrônico, apresentado na Figura 2, integrando o sensor HC-SR04, o módulo GSM e as fontes de alimentação independentes;

Figura 2 - Protótipo pronto

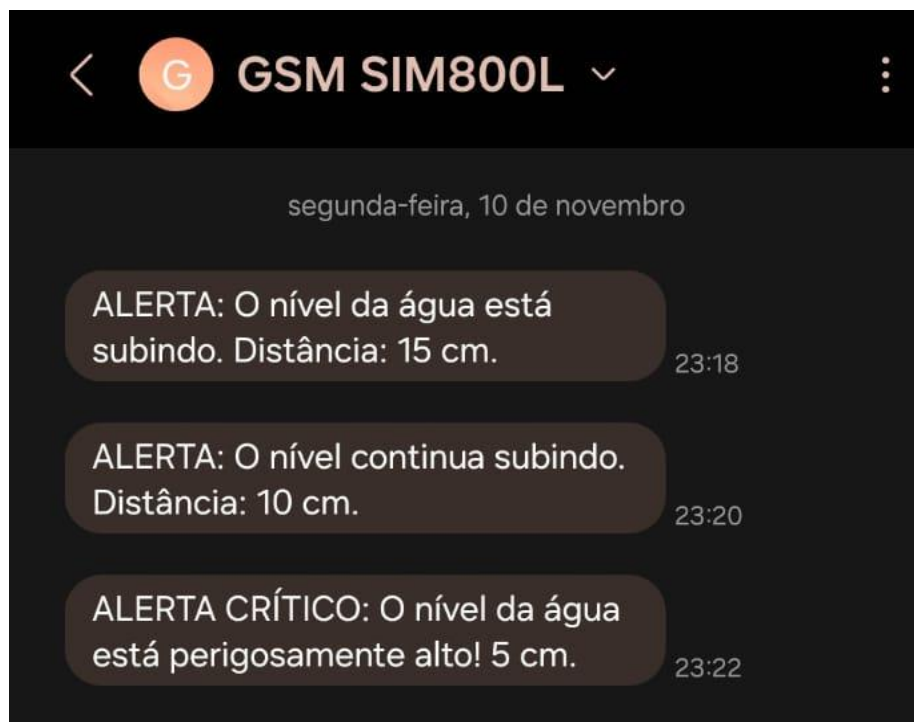


Fonte: elaborado pelo autor

- b) Desenvolvimento do código-fonte, incluindo:

- i) Rotinas de leitura contínua dos dados do sensor;
 - ii) Interpretação dos valores medidos;
 - iii) Definição de limiares de alerta.
- c) Integração do módulo SIM800L, configurado para envio automático de mensagens. A Figura 3 mostra as mensagens SMS recebidas durante os testes, correspondentes aos três níveis configurados:
- i) Nível de atenção: 15 cm;
 - ii) Nível de alerta: 10 cm;
 - iii) Nível crítico: 5 cm.

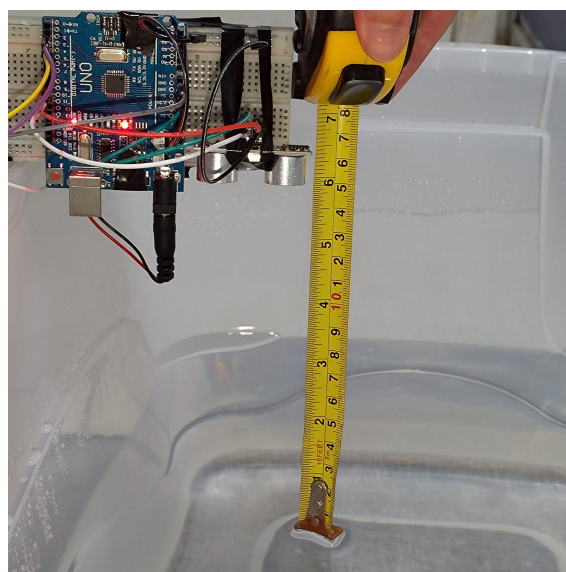
Figura 3 - Mensagens de SMS enviadas



Fonte: do autor

- d) Execução dos testes experimentais em um recipiente transparente de 30 cm de profundidade, simulando cenários reais de elevação gradual e súbita do nível da água. A Figura 4 apresenta o momento da medição e da leitura serial, demonstrando o comportamento do sistema durante o teste de precisão e o acionamento do módulo GSM.

Figura 4 - Teste de precisão do sensor e do envio de sms (resultados podem ser vistos na Figura 3)



Fonte: elaborado pelo autor

- e) Registro e análise dos dados obtidos, com verificação da estabilidade, tempo de resposta e precisão das medições.

Em todos os cenários, o envio das mensagens ocorreu com sucesso, com tempo médio de 3 a 6 segundos entre a detecção do nível e o recebimento do SMS, dependendo da instabilidade momentânea da rede GSM. O sistema apresentou comportamento estável mesmo com pequenas oscilações na água, graças ao uso de filtragem simples por média das leituras.

Os testes confirmam que o protótipo opera de forma confiável, atingindo os objetivos propostos para um sistema de baixo custo e fácil implementação. Dessa forma, o modelo demonstra potencial para ser escalado e aplicado em áreas de risco, especialmente em localidades com infraestrutura limitada de monitoramento.

Portanto, a “análise em tempo real” observada nos testes diz respeito apenas à resposta imediata às variações do nível de água dentro do recipiente. A extrapolação para cenários com múltiplos sensores ou para predição regional ainda não foi implementada e permanece como fase futura do projeto.

Apesar do bom desempenho em ambiente controlado, o protótipo ainda não foi exposto aos desafios de um ambiente real. Em rios ou canais urbanos, a superfície da água tende a apresentar ondulações provocadas por vento, chuva intensa, detritos e variações de vazão, fatores que podem gerar leituras instáveis.

Além disso, a temperatura ambiente influencia diretamente a velocidade do som, afetando a precisão do sensor HC-SR04; como o protótipo ainda não incorpora correção térmica automática, variações bruscas podem introduzir erros superiores aos observados no teste em laboratório.

A autonomia do sistema também representa uma limitação relevante. As baterias utilizadas nesta fase são adequadas para testes curtos, mas não suportariam monitoramento contínuo em campo. Sistemas reais exigiriam estratégias como painéis solares, módulos de deep-sleep, reguladores de energia de alta eficiência e monitoramento remoto do nível de bateria. Assim, a gestão energética deve ser tratada como componente central para operação prolongada em locais remotos.

Outro ponto crítico refere-se à escalabilidade do sistema. Embora o protótipo utilize um único sensor, instalações reais exigem redes com dezenas ou centenas de pontos distribuídos pela cidade. Nesse contexto, desafios como agregação dos dados, sincronização entre sensores, priorização de alertas e comunicação eficiente entre nós se tornam centrais. Soluções como LoRaWAN, redes mesh e servidores em nuvem capazes de processar séries temporais seriam necessárias para garantir operação distribuída e confiável.

Quanto à robustez física, o protótipo ainda não incorpora proteção contra intempéries como chuva, poeira e radiação solar. Em campo, seria necessário utilizar caixas IP65 ou superiores, conectores selados, resina de vedação e fixação apropriada para pontes e margens de rios. A ausência dessas proteções impede que o protótipo atual seja instalado diretamente em ambientes externos.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do protótipo de monitoramento de enchentes apresentado neste trabalho demonstrou que é possível criar uma solução de baixo custo, eficiente e tecnicamente viável para a detecção precoce da elevação do nível da água. A integração entre o Arduino Uno, o sensor ultrassônico HC-SR04 e o módulo GSM SIM800L permitiu a construção de um sistema capaz de realizar medições contínuas e enviar alertas automáticos por SMS sempre que os valores ultrapassaram limites críticos previamente definidos. Os testes realizados em ambiente controlado, utilizando um recipiente transparente para simular a variação

do nível da água, evidenciaram que o sistema respondeu de forma consistente às mudanças de altura, acionando corretamente os diferentes níveis de alerta programados.

Os resultados obtidos reforçam a potencial aplicação desse tipo de solução em áreas suscetíveis a enchentes, especialmente em municípios com limitações financeiras e estruturais. Sua arquitetura simples, modular e facilmente replicável contribui para ampliar o acesso a tecnologias de monitoramento hidrológico, alinhando-se às tendências atuais de cidades inteligentes e de sistemas de alerta precoce baseados em IoT. Além disso, o uso de componentes disponíveis facilita a manutenção e a expansão futura do projeto.

Apesar dos resultados positivos, o sistema ainda apresenta limitações, como dependência da qualidade do sinal GSM e sensibilidade do sensor ultrassônico a condições ambientais externas. Trabalhos futuros podem incluir a integração de múltiplas tecnologias de comunicação, como LoRa ou Wi-Fi, a adoção de sensores mais robustos e a implementação de análise em nuvem para ampliar a precisão e a escalabilidade do monitoramento.

Embora o sistema tenha cumprido seu objetivo de validar um modelo funcional de monitoramento de enchentes, diversos aspectos ainda precisam ser aprimorados para permitir sua operação em campo. Entre eles destacam-se: a implementação de técnicas avançadas de correção de erros ambientais, a ampliação da autonomia energética, o desenvolvimento de proteção física adequada e a criação de uma arquitetura distribuída para múltiplos sensores. Assim, o trabalho constitui uma etapa inicial sólida, servindo como base para evoluções futuras que aproximem o sistema das condições reais de operação e dos desafios enfrentados por cidades expostas a riscos hidrológicos.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. C. **Sistemas sustentáveis de drenagem urbana como alternativa ao controle de cheias**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2020. Disponível em: <<https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2020/10/TFC2-Isis-de-Castro-Almeida1.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ALVES, G. B. **Monitoramento do nível de água em reservatórios residenciais utilizando sensor ultrassônico**. IFPB, 2022. Disponível em:<

<https://repositorio.ifpb.edu.br/jspui/bitstream/177683/3459>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ALVES, G. C.; POLLERY, T. R.; AMORIM, P. R. **Monitoramento ambiental: metodologias e estudos de casos**. ResearchGate, 2023. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/371362890>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ALVES, L. A. **Eficiência de projetos de drenagem urbana frente à urbanização crescente**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/36383>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

BELIZÁRIO, G. B. **Monitoramento do nível de água em reservatório utilizando Arduino e sensor ultrassônico**. João Pessoa: IFPB, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ifpb.edu.br/jspui/bitstream/177683/3459/1/MONITORAMENTO%20DO%20NÍVEL%20DE%20ÁGUA%20EM%20RESERVATÓRIO%20RESIDENCIAIS%20UTILIZANDO%20SENSOR%20ULTRASSÔNICO%20-%20GABRIEL%20Belizário%20Alves.pdf>>. Acesso em 22 abr. 2025.

BUSTAMANTE, T. G. C. **Impactos da chuva na ocorrência de deslizamento de terra e inundações no Estado de São Paulo**. 2010. Dissertação (Mestrado) – INPE, São José dos Campos – SP. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/08.20.17.56/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em 15 mai. 2025

CARMO, R. L. do; ANAZAWA, T. M. **Mortalidade por desastres no Brasil: o que mostram os dados**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 19, n. 9, p. 3669-3681, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.07432014>>. Acesso em 25 abr. 2025.

DARWIS, M. et al. **IoT Based Early Flood Detection System with Arduino and Ultrasonic Sensors in Flood-Prone Areas**. ResearchGate, 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/376765044_IoT_Based_Early_Flood_Detection_System_with_Arduino_and_Ultrasonic_Sensors_in_Flood-Prone_Areas>. Acesso em: 23 abr. 2025.

DIGIFLOW. **Como o sensor ultrassônico mede o nível de líquidos?**. 2024. Disponível em: <<https://digiflow.com.br/sensor-de-nivel-ultrassonico>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

DING, N. et al. **Laboratory performance assessment of low-cost water level sensor for field monitoring in the tropics**. Measurement: Sensors, v. 24, p. 100187, 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914724000872>>. Acesso em: 22 jun. 2025.

IJRET. **Arduino-Based Rainfall and Flood Monitoring System With Real-Time Alert Notification**. International Journal of Scientific Research in Engineering and Technology, v. 11, n. 1, p. 196–200, 2025. Disponível em: <https://ijsret.com/wp-content/uploads/2025/01/Ijret_V11_issue1_196.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2025.

MAGNAYE, A. A. B. et al. **Automated flood water level sensor and alarm system using Arduino Uno**. International Journal of Research Studies in Educational Technology, v. 8, n. 3, p. 66–69, 2024. Disponível em: <<https://consortiacademia.org/10-5861-ijrset-2024-8022/>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

MERCADO LIVRE. **Catálogo de componentes eletrônicos**. Disponível em: <<https://www.mercadolivre.com.br>>. Acesso em: 11 nov. 2025.

MOUSA, M. et al. **Flash flood detection in urban cities using ultrasonic and infrared sensors**. IEEE Sensors Journal, v. 16, n. 19, p. 7204–7216, 2016. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7516634>>. Acesso em 22 jun. 2025.

NUNES, P. N. et al. **Cidades Inteligentes: Inovações e Tecnologias Emergentes para Sustentabilidade e Resiliência Urbana**. 2023. Disponível em: <<https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/download/8287>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

RIBEIRO, H.; SILVA, R. R. **Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano**. Sociedade e Natureza, v. 32, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63717>>. Acesso em 22 abr. 2025.

RUDYK, A. et al. **Influence of Environmental Factors on the Accuracy of the Ultrasonic Rangefinder in a Mobile Robotic Technical Vision System**. Electronics, v. 14, n. 7, p. 1393, 2025. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2079-9292/14/7/1393>>. Acesso em: 22 abr. 2025.

TEIXEIRA, M. A. S. et al. **Monitoramento de nível de rio utilizando microcomputador, sensor ultrassônico e comunicação celular**. Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia, 2017. Disponível em: <https://www.udesc.br/arquivos/ceplan/id_cpmenu/1593/6720170906VF_16681135209965_1593.pdf>. Acesso em 13 mai. 2025.

TRATA BRASIL. **Estudo sobre o setor de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Brasil**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2025. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2025/04/Estudo-Estudo-sobre-o-setor-d-e-drenagem-e-manejo-de-aguas-pluviais-urbanas-no-Brasil.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2025.