

SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA

Julia Marcomini Fernandes ¹; Anai Floriano Vasconcelos ² & Maria Clara Fava ³

RESUMO – A expansão urbana causa alterações no ciclo hidrológico, aumentando a frequência de inundações, o escoamento superficial e o transporte de poluentes. Nesse cenário, técnicas compensatórias (TC) surgem como alternativas sustentáveis para o manejo das águas pluviais. O monitoramento sistemático e de longo prazo das TC é essencial para entender o seu desempenho ao longo de sua vida útil. Nesse contexto, este estudo objetiva apresentar o desenvolvimento de um sistema de monitoramento quali-quantitativo de baixo custo de TC. A metodologia consistiu na definição de parâmetros, levantamento bibliográfico e de mercado, seleção de sensores e desenvolvimento de um protótipo com a plataforma Arduino. Foram utilizados sensores de baixo custo para medição de nível da água, turbidez, cor, pH, temperatura e condutividade, integrados a um sistema de armazenamento dos dados. Quando comparado a sistemas convencionais de monitoramento, o sistema proposto apresenta vantagens importantes, como menor custo, facilidade de replicação e maior acessibilidade. Os resultados iniciais indicam que o sistema é aplicável e funcional com custo total aproximado de R\$600,00, o que demonstra sua viabilidade financeira em comparação aos sistemas de monitoramento tradicionais. Dessa maneira, o uso de tecnologias acessíveis é uma alternativa promissora para ampliar o monitoramento de TC, contribuindo para a gestão sustentável das águas urbanas e fornecendo suporte técnico para tomada de decisões.

Palavras-Chave – Técnicas Compensatórias; Arduino; Monitoramento Ambiental.

ABSTRACT – Urban expansion causes changes in the hydrological cycle, increasing the frequency of flooding, surface runoff, and pollutant transport. In this context, compensatory techniques (CT) emerge as sustainable alternatives for stormwater management. Systematic and long-term monitoring of CT is essential to understand the performance of these systems throughout their lifespan under different operational conditions. In this context, this study aims to present the development of low-cost qualitative and quantitative monitoring systems for CT, aiming to monitor their long-term performance. The methodology consisted of sequential steps, including parameter definition, literature and market review, sensor selection, and the development of a prototype using the Arduino platform. Low-cost sensors were used to measure water level, turbidity, color, pH, temperature, and conductivity, integrated into a data storage system. Compared to conventional monitoring systems, the proposed system presents important advantages, such as lower cost, ease of replication, and greater accessibility. Initial results indicate that the system is applicable and functional. Furthermore, the total cost of approximately R\$600.00 demonstrates its financial feasibility compared to traditional monitoring systems. Thus, the use of accessible technologies, such as Arduino, is a promising alternative to expand the monitoring of CT, contributing to sustainable urban water management and supporting decision-making.

Keywords – Compensatory Techniques; Arduino; Environmental Monitoring.

¹) Universidade Federal de São Carlos, juliamarcomini@estudante.ufscar.br

²) Universidade Federal de São Carlos, anai.vasconcelos@ufscar.br

³) Universidade Federal de São Carlos, mcfava@ufscar.br

INTRODUÇÃO

A expansão das cidades tem causado grandes mudanças nos eventos hidrológicos, como o aumento da frequência de inundações, a intensificação do transporte de poluentes e alterações na qualidade e quantidade da água (Tucci; Collischonn, 2002). A partir desse processo de ocupação, cada vez mais aumentam as áreas impermeáveis, que, somadas à falta de planejamento urbano e a grande densidade populacional, ocasionam o aumento do escoamento superficial e a antecipação dos picos de vazão no tempo, culminando no aumento das enchentes em áreas urbanas, que, consequentemente, comprometem a qualidade de vida da população urbana (Tucci, 2006).

Os efeitos das mudanças climáticas vêm alterando a frequência e a intensidade de eventos extremos, evidenciando a necessidade de adoção de estratégias mais sustentáveis e integradas para a gestão das águas pluviais nas cidades, já que os sistemas convencionais de drenagem pluvial dão prioridade a rápida condução da água através de canalizações, promovem alterações no ciclo hidrológico natural e intensificam problemas como a poluição difusa e a degradação ambiental (Mendes; Santos, 2023).

Diante desse cenário, crescem os estudos sobre implementação de técnicas sustentáveis para manejo das águas pluviais, chamadas de técnicas compensatórias (TC), que integram a gestão da água ao planejamento urbano, promovendo a resiliência das cidades e contribuindo para a conservação da biodiversidade e melhoria da qualidade de vida (Barbassa; Ferreira; Moruzzi, 2018). Essas técnicas, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), visam transformar áreas impermeáveis em sistemas que favorecem infiltração e retenção de água.

Pesquisas iniciais apontam que as TC podem reduzir os efeitos das chuvas intensas e contribuir para a melhoria da qualidade da água (Baptista; Nascimento; Barraud, 2011). No entanto, sua eficácia depende fortemente das condições adequadas de operação e manutenção. Estudos práticos conduzidos em sistemas semelhantes, tanto no Brasil quanto no exterior, confirmam a viabilidade dessas soluções e evidenciam a importância de expandir os estudos nessa área (Almeida, 2014).

As TC em pequena escala têm ampla faixa de dimensões e características técnicas, que variam de acordo com as particularidades locais, tais como regime pluviométrico, características do solo, profundidade do lençol freático, aspectos legais e disponibilidade de espaço (Barbassa; Angelini Sobrinha; Moruzzi, 2014).

O monitoramento quali-quantitativo sistemático e de longo prazo das TC é essencial para entender a performance dos sistemas ao longo de sua vida útil, diante de diferentes condições operacionais. No entanto, o alto custo dos sensores para o monitoramento desses sistemas é uma

barreira para a sua implantação. Pesquisas recentes apontam o desenvolvimento de sensores de baixo custo como uma solução viável para ampliar a rede de monitoramento (Wang et al., 2024; Hamel et al., 2024; Brasil et al., 2021).

Com a evolução tecnológica, muito tem-se falado sobre a utilização de Arduino, um *hardware* de código aberto e multiplataforma criado a partir de uma placa simples de entrada/saída, que pode ser usada para desenvolver objetos interativos independentes. Devido a sua facilidade de integração, baixo custo e praticidade de manutenção, é comumente utilizado para o desenvolvimento de objetos interativos por meio de sensores (Banzi, 2011).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema de monitoramento quali-quantitativo de baixo custo para monitoramento contínuo de TC, descrevendo a seleção dos sensores, a integração dos componentes e a construção do protótipo baseado na plataforma Arduino.

METODOLOGIA

A metodologia do projeto foi dividida em passos estruturados de maneira sequencial para o desenvolvimento do protótipo (Figura 1). As etapas iniciais incluíram a definição dos indicadores quali-quantitativos de interesse, considerando as particularidades do local e o levantamento bibliográfico e de mercado, tendo em vista princípios de funcionamento, custo, integração e aplicabilidade de cada um dos sensores.

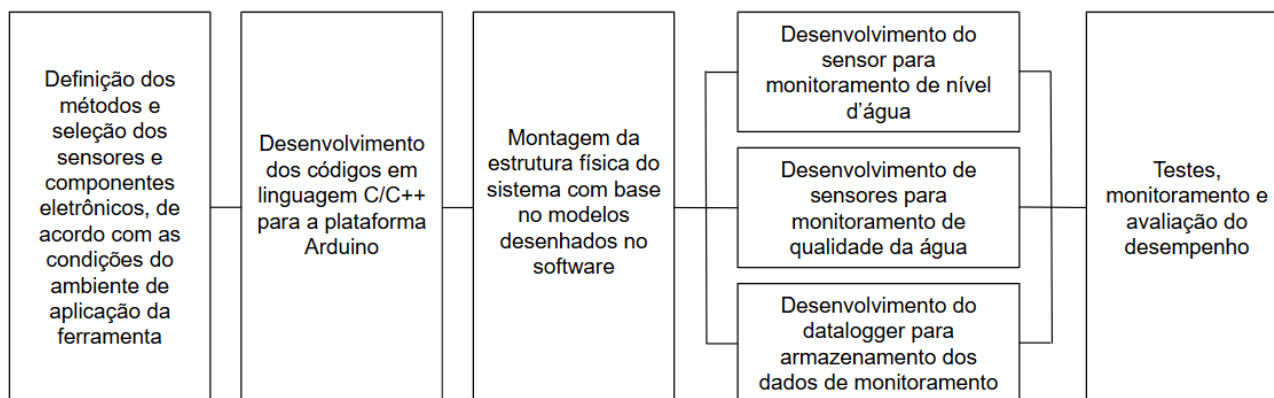


Figura 1 - Etapas para o desenvolvimento. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A definição dos critérios técnicos possibilitou a seleção dos componentes necessários para a construção da ferramenta. A partir disso, foi possível desenvolver a programação e montagem física dos sensores associados ao monitoramento dos parâmetros de qualidade e nível da água, a

integração desses componentes e a implementação do sistema de armazenamento de dados coletados.

Implementação com Arduíno

Foi utilizada a plataforma de computação embarcada - sistema que pode interagir com o ambiente por meio de *hardware* e *software* - programada para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados, conforme descrito por McRoberts (2015).

O *hardware* foi empregado como ferramenta de prototipagem dinâmica, com o objetivo de viabilizar o desenvolvimento das soluções eletrônicas de forma acessível, flexível e de baixo custo. A placa utilizada é baseada em microcontrolador da família Atmel AVR, que permite a execução de diferentes aplicações. Para o controle e integração da placa, foi utilizada a plataforma de Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment* - IDE), um ambiente gratuito desenvolvido para programar o microcontrolador. A partir desse *software*, foram escritos, compilados e transmitidos os códigos desenvolvidos na linguagem de programação C/C++ para o Arduíno, conforme apresentado por Banzi (2012).

Parâmetros Analisados e Sensores Utilizados

Os parâmetros a serem medidos contemplam aqueles para os quais há sensores de baixo custo disponíveis no mercado e que são importantes para o monitoramento das TC com vistas a compreender o seu desempenho quali-quantitativo. Os sensores selecionados através da pesquisa de mercado e levantamento bibliográfico são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Sensores utilizados no projeto

Sensor	Unidade de Medida	Função
Sensor de pH PH4502C	Escala de pH (0–14)	Mede a acidez ou alcalinidade da água
Sensor de cor TCS230	uH	Avalia a presença de substâncias dissolvidas
Sensor de turbidez ST100	NTU	Mede a presença de partículas em suspensão
Sensor de temperatura DS18B20	°C	Mede a temperatura da água
Sensor ultrassônico HC-SR04	cm, m	Mede o nível da água
Sensor de condutividade	µS/cm	Mede a concentração de íons dissolvidos

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Calibração e Integração

A calibração é uma etapa fundamental para garantir que dados fornecidos pelos sensores sejam precisos e confiáveis. Nesse contexto, todos os sensores passarão por testes e calibração antes do uso para garantir a acurácia dos dados coletados.

A integração dos sensores foi realizada considerando os diferentes modos de operação e especificações. O princípio básico de funcionamento considerado para conexão com a placa foi a forma de comunicação entre os componentes e o Arduino Uno e o tipo de sinal de saída: analógicos ou digitais. Os sensores com saída analógica foram conectados às portas de entrada analógica (A0–A5) da placa, o que permite a leitura contínua nas variações de tensão, convertidas em valores digitais através de um sistema integrado à placa. Os sensores com saída digital foram conectados às portas digitais e funcionam por meio de sinais elétricos em 0V ou 5V (níveis lógicos alto/baixo).

Além dos sensores, o sistema conta com o *datalogger*, um módulo de armazenamento de dados responsável pelo registro contínuo das informações coletadas. Essa estrutura é composta por um módulo de cartão SD, utilizado para o armazenamento dos dados e por um módulo de relógio de tempo real (RTC DS3231), que fornece informações detalhadas de data e hora do registro dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de baixo custo para coleta de dados quali-quantitativos de água em TC apresentado neste trabalho é capaz de monitorar nível da água, turbidez, cor aparente, pH, condutividade e temperatura.

O sensor de nível d'água foi o primeiro a ser montado e testado, devido a sua facilidade de execução e implementação em comparação com os outros componentes (Figura 2). Os testes preliminares apontam um funcionamento estável, com aquisição dos dados e comunicação adequada com a plataforma *Arduino*. Para validar os valores, os dados obtidos pelo sensor foram comparados com medições realizadas com trena e apontaram concordância entre os resultados.

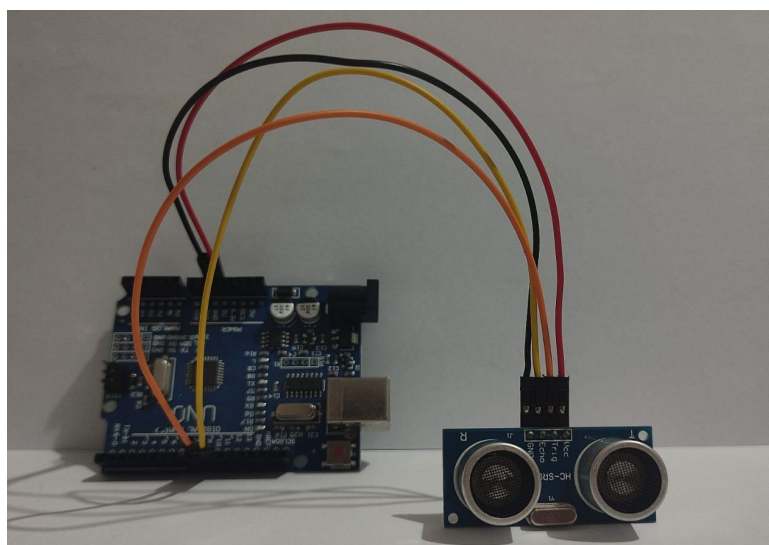


Figura 2 - Sensor de nível da água. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os componentes utilizados no desenvolvimento do sistema de monitoramento estão apresentados nas Figuras 3 a 10. O sensor de nível da água (Figura 3), funciona através do módulo ultrassônico HC-SR04, permitindo a medição da distância entre o sensor e a superfície da água e definição do nível em tempo real. O sensor de cor TCS230 (Figura 4) é utilizado para análise da cor aparente da água, porque converte a cor da luz em frequência. O sensor de turbidez (Figura 5) mede a presença de partículas em suspensão. A temperatura da água é monitorada pelo sensor DS18B20 (Figura 6), que apresenta boa precisão e estabilidade para aplicações ambientais. O sensor de pH PH-4502C (Figura 7) permite a determinação da acidez ou alcalinidade da água e o sensor de condutividade elétrica (Figura 8) fornece informações sobre a concentração de íons dissolvidos.

Além dos sensores, o *datalogger* é composto pelo módulo de cartão Micro SD (Figura 9), responsável pelo armazenamento dos dados coletados e pelo módulo RTC DS3231 (Figura 10), que registra data e hora das medições, permitindo a organização das informações ao longo do tempo.



Figura 3 - Sensor de nível d'água HC-SR04
Fonte: UsinaInfo (2026).



Figura 4 - Sensor de cor TCS230
Fonte: UsinaInfo (2026).



Figura 5 - Sensor de turbidez ST100
Fonte: UsinaInfo (2026).

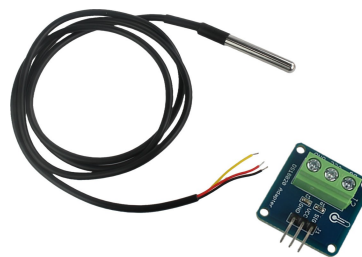


Figura 6 - Sensor de temperatura DS18B20
Fonte: UsinaInfo (2026).



Figura 7 - Sensor de pH PH-4502C
Fonte: UsinaInfo (2026).

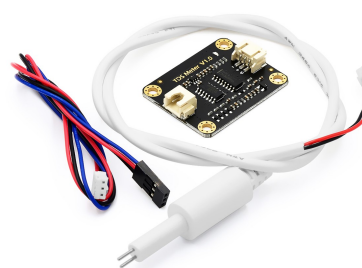


Figura 8 - Sensor de condutividade da água
Fonte: UsinaInfo (2026).



Figura 9 - Módulo Cartão Micro SD
Fonte: Eletrogate (2026).



Figura 10 - Módulo RTC DS3231
Fonte: Eletrogate (2026).

A Figura 11 apresenta o desenho esquemático do sistema de monitoramento. Essa configuração permite o monitoramento contínuo e automatizado dos parâmetros, com potencial para aplicação em campo. Apesar de a configuração ser apresentada de forma conjunta, devido ao consumo combinado de energia de todos os componentes do sistema, haverá necessidade de montar dois sistemas separados, com duas placas Arduino. O custo total do sistema apresentado à época da compra dos componentes para sua montagem (fevereiro de 2026) foi de aproximadamente R\$600,00.

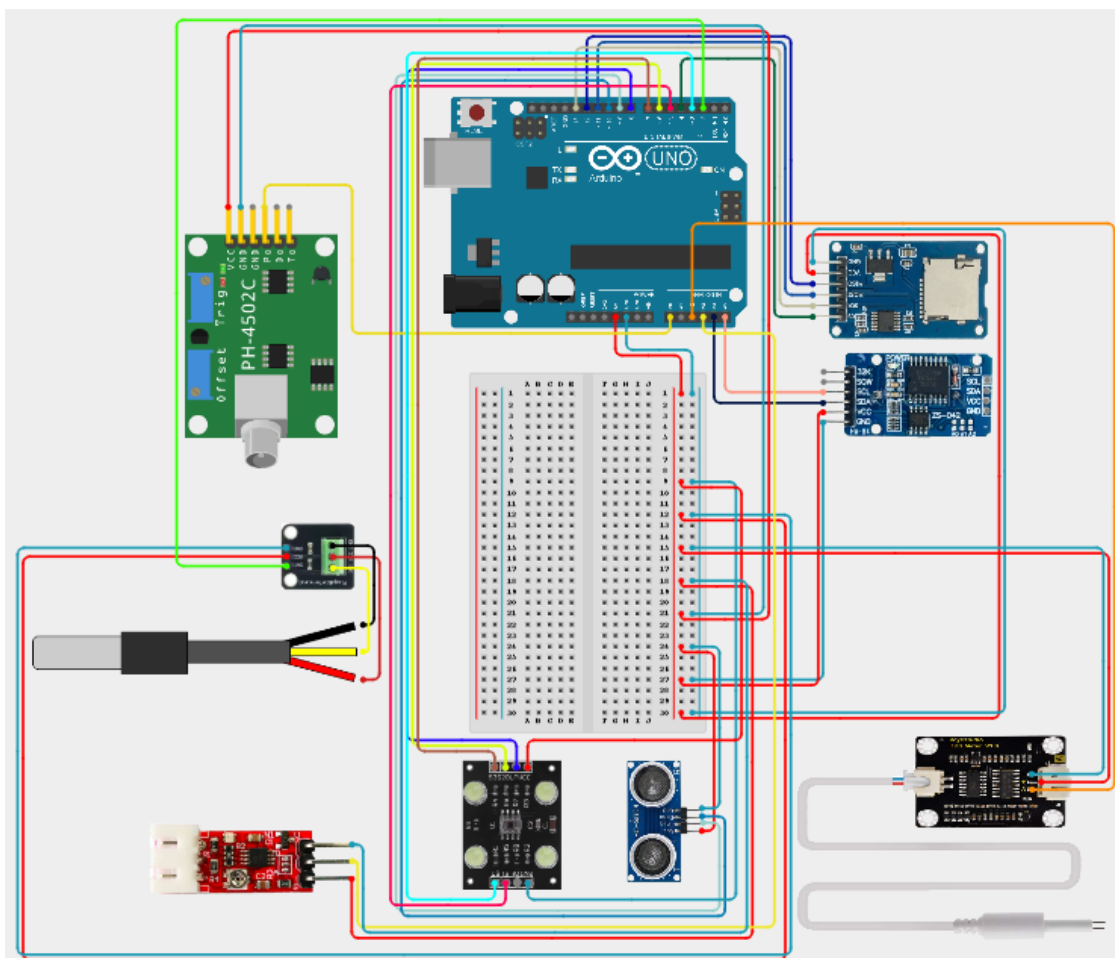


Figura 11 - Esquema de montagem do sistema de monitoramento com Arduino, sensores e *datalogger*. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Quando comparado a sistemas convencionais de monitoramento, o sistema proposto apresenta vantagens importantes, como menor custo, facilidade de replicação e maior acessibilidade, o que favorece sua aplicação em diferentes contextos. Dessa forma, a utilização de plataformas abertas, como o Arduino, se torna uma alternativa para ampliação das redes de monitoramento ambiental e, consequentemente, para o aumento da disponibilidade de dados quali-quantitativos de TC durante a sua operação, informações essenciais para o conhecimento de seu desempenho ao longo da vida útil e a ampliação de sua utilização em larga escala.

Entretanto, para que o sistema proposto se torne viável para monitoramento contínuo de TC em operação, algumas etapas ainda são necessárias. A primeira delas é a verificação de seu funcionamento adequado nas condições reais das TC, como em ambientes escuros e profundos. Os sensores devem ser calibrados e validados para estas condições. Posteriormente, o sistema deve ser alocado em local seguro e acessível para protegê-los das intempéries e outros riscos do entorno, mas garantindo o seu funcionamento. Por fim, deve-se pensar na facilidade de acesso aos dados, com um sistema de coleta prático e eficaz e, eventualmente, um sistema de transmissão de dados em tempo real. Esses aspectos indicam a necessidade de aprimoramentos futuros e testes em condições reais de operação, os quais serão realizados nas próximas etapas do projeto.

CONCLUSÃO

A construção do protótipo teve resultados positivos, que reforçam a ideia de utilização de dispositivos de baixo custo e fácil acesso no monitoramento quali-quantitativo de TC. Os testes preliminares indicaram o funcionamento do sistema em nível de protótipo, sendo necessárias as etapas de calibração, validação e aplicação em campo para avaliar seu desempenho e confiabilidade.

O sistema apresentado possibilita o monitoramento das TC com baixos investimentos em equipamentos e contribui para a tomada de decisões quanto à necessidade de operação e manutenção desses locais, levando a melhor desempenho a longo prazo. Além disso, o sistema poderá oferecer subsídios para a formulação de legislações específicas sobre essas soluções no Brasil e exterior, assegurando sua adequada implementação, operação e manutenção em diferentes contextos.

De maneira geral, os resultados obtidos até o momento atenderam aos objetivos e expectativas para esta etapa do projeto. Nas próximas etapas, os demais protótipos - além do medidor de nível - serão testados por meio de comparação com sensores de referência. Adicionalmente, os principais desafios estão associados a como integrar todos os sensores e as

possíveis dificuldades de implementação no campo devido à profundidade e ao formato das TC, além de sua alocação segura e prática.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.F. (2014). “*Aplicação de técnicas compensatórias na drenagem urbana, sob a ótica dos usuários do espaço: estudo de caso em São Carlos - SP*”. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 152 p.
- BANZI, M. (2011). *Getting Started with Arduino*. O’Reilly, Sebastopol, 130 p.
- NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; BARRAUD, Sylvie (autor). Técnicas compensatórias em drenagem urbana. 2. ed. rev. Porto Alegre: ABRH, 2015. 318 p.
- BARBASSA, A.P.; ANGELINI SOBRINHA, L.; MORUZZI, R.B. (2014). “*Poço de infiltração para controle de enchentes na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção*”. Ambiente Construído 14(2), pp. 91–107.
- FERREIRA, T.S.; BARBASSA, A.P.; MORUZZI, R.B. (2018). “*Controle de enchentes no lote por poço de infiltração de água pluvial sob nova concepção*”. Engenharia Sanitária e Ambiental 23(3), pp. 437–446.
- MCROBERTS, M. (2015). *Arduino Básico*. 2. ed., Novatec, São Paulo.
- ONU (2015). *Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br>.
- Philippe Hamel; DING, N.; CHERQUI, F.; ZHU, Q.; WALCKER, N.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J.-L.; CHAMPRASERT, P.; FLETCHER, T.D.; MCCARTHY, D.T.; NAVRATIL, O.; SHI, B. (2024). “Low-cost monitoring systems for urban water management: lessons from the field”. *Water Research* X 22, pp. 100212. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914724000021>. Acesso em: 27 abr. 2026.
- TUCCI, C.E.M. (2006). *Gestão de águas pluviais urbanas*. Ministério das Cidades, Brasília, 194 p.
- TUCCI, C.E.M; COLLISCHONN, W. (1998). “Drenagem urbana e controle de erosão” in *Anais do VI Simpósio Nacional de Controle da Erosão*, Presidente Prudente, 1998, pp. 1–16.
- USINAINFO. Sensor ultrassônico de distância HC-SR04. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-ultrassonico/sensor-ultrassonico-de-distancia-hc-sr04-2295.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.
- USINAINFO. Sensor de cor TCS3200 TCS230. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-cor/sensor-de-cor-tcs3200-tcs230-2810.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.
- USINAINFO. Sensor de turbidez para Arduino ST100 módulo de leitura original. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores/sensor-de-turbidez-para-arduino-st100-modulo-de-leitura-original-4539.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.
- USINAINFO. Sensor de temperatura DS18B20 à prova d’água com adaptador. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-temperatura/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-d-agua-1m-com-adaptador-8687.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.

USINAINFO. Sensor de pH para Arduino módulo de leitura BNC PH4502C. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores/sensor-de-ph-para-arduino-modulo-de-leitura-bnc-ph-4502c-5316.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.

USINAINFO. Medidor de TDS sensor de condutividade da água analógico. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores/medidor-de-tds-sensor-de-condutividade-da-agua-analogico-8184.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.

USINAINFO. Leitor micro SD card para Arduino. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/outros-modulos-arduino/sd-card-para-arduino-leitor-micro-sd-card-2637.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.

USINAINFO. Módulo relógio tempo real RTC DS3231 com sensor de temperatura. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/rtc-arduino/modulo-relogio-tempo-real-rtc-com-sensor-de-temperatura-ds3231-4674.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.

WANG, M.; SHI, B.; CATSAMAS, S.; KOLOTELO, P.; MCCARTHY, D. (2024). “A compact, low-cost, and low-power turbidity sensor for continuous in situ stormwater monitoring”. *Sensors* 24, art. 3926.

AGRADECIMENTOS - Este estudo contou com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio dos projetos “Avaliação de ferramentas de modelagem hidrológica de diferentes complexidades para mapeamento de áreas de inundação de bacias rurais com dados escassos.” (processo CNPq nº 409527/2021-1) e “Benefícios da implementação técnicas compensatórias na mitigação dos problemas causados pelas mudanças climáticas, através da gestão dos aspectos quali-quantitativos da drenagem urbana no Município de Curitiba, Paraná - Brasil” (processo CNPq nº 406770/2022-0) e da concessão de bolsa de iniciação tecnológica e industrial (processo nº 180162/2026-8).