

**SISTEMA ELETRÔNICO DE
GESTÃO DE CONSUMO E
ACESSO À ÁGUA EM
RESIDÊNCIAS
PARTICULARES COM
COBRANÇA MENSAL FIXA
BASEADA EM TECNOLOGIA
RFID**

**ELECTRONIC SYSTEM FOR WATER CONSUMPTION MANAGEMENT AND
ACCESS IN PRIVATE RESIDENCES WITH FIXED MONTHLY BILLING BASED
ON RFID TECHNOLOGY**

Engenharias • 23/08/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/787431305](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/787431305)

Salomão Pahula Achite
Alegria Chiwave Isidro Chalo
Venceslau Pental Jerónimo
Hermenegildo Máquina
Eufrazio David
Janilson Romeu

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar um sistema eletrônico de gestão de consumo e acesso à água, baseado em tecnologia RFID (Radio Frequency Identification), para residências particulares do Bairro da Graça em Benguela (Angola). O problema central reside na ineficiência dos métodos manuais de controle e faturamento de água em comunidades urbanas com infraestrutura precária, que geram erros, desperdícios e conflitos entre consumidores e gestores do serviço. O objetivo geral consiste em desenvolver e validar um protótipo funcional que substitua tais métodos por uma solução automatizada de baixo custo, capaz de controlar o acesso à água mediante identificação por cartão RFID. A metodologia combinou pesquisa aplicada, experimental e descritiva, com testes realizados em residências e entrevistas junto a moradores. A arquitetura do protótipo integra um microcontrolador ESP32, um leitor RFID RC522, uma válvula solenoide e um módulo relé, complementados por um software de gestão centralizada com dashboard, módulos de pagamento, gestão de cartões e histórico de consumo. Os resultados demonstraram que o sistema é funcional, confiável e adequado ao contexto local, com tempo médio de resposta RFID-válvula de aproximadamente 1,5 segundos, alta taxa de leitura correta e funcionamento contínuo superior a 10 horas sem falhas. Conclui-se que a implementação dessa tecnologia moderniza a gestão hídrica urbana, promove equidade no abastecimento e reforça a transparência na cobrança mensal fixa, com forte potencial de expansão para outros bairros de Benguela e nas restantes províncias de Angola.

Palavras-chave: RFID; Gestão Hídrica; ESP32; Controle de Acesso; Benguela.

ABSTRACT

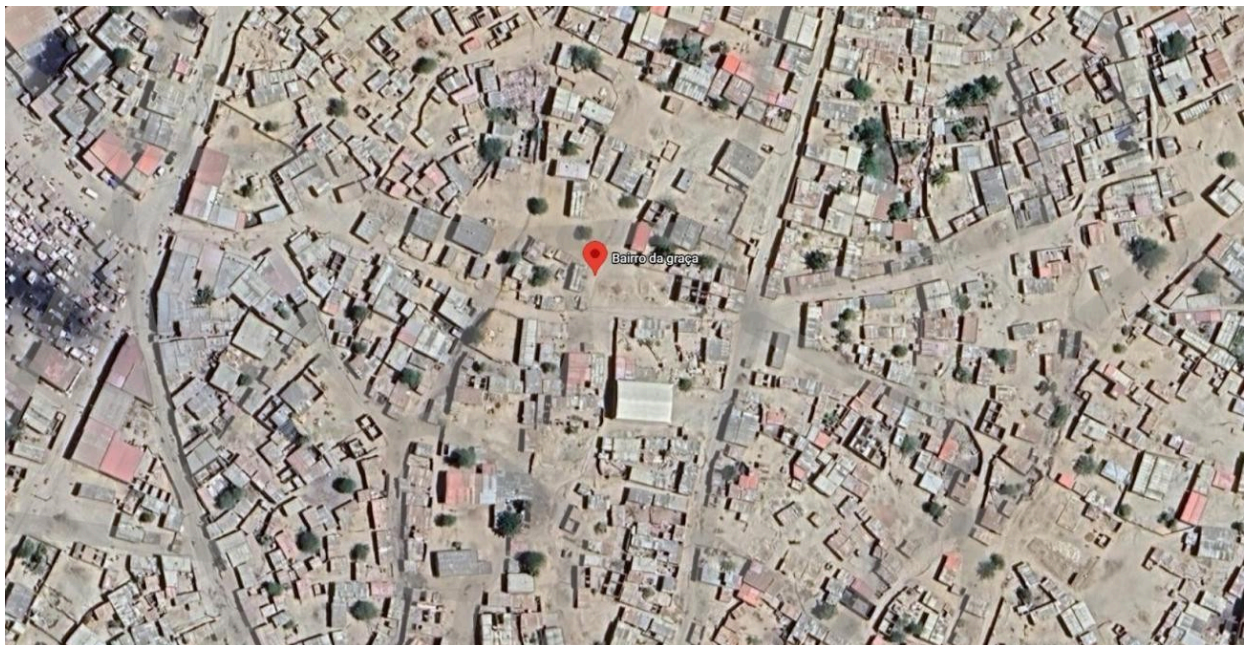
This study aims to develop and evaluate an electronic system for managing water consumption and access, based on RFID (Radio Frequency Identification) technology, for private households in the Graça neighbourhood of Benguela, Angola. The central problem lies in the inefficiency of manual water control and billing methods in urban communities with precarious infrastructure, which generate errors, waste, and conflicts between consumers and service providers. The general objective is to develop and validate a functional, low-cost prototype that replaces such methods with an automated solution capable of controlling water access through RFID card identification. The methodology combined applied, experimental, and descriptive research, with residential testing and resident interviews. The prototype architecture integrates an ESP32 microcontroller, an RC522 RFID reader, a solenoid valve, and a relay module, complemented by centralised management software featuring a dashboard, payment modules, card management, and consumption history. Results demonstrated that the system is functional, reliable, and well-suited to the local context, with an average RFID-to-valve response time of approximately 1.5 seconds, high correct-reading rates, and continuous operation exceeding 10 hours without failure. The study concludes that implementing this technology modernises urban water management, promotes equitable supply distribution, and enhances transparency in fixed monthly billing, with strong potential for expansion to other neighborhoods in Benguela and in the remaining provinces of Angola.

Keywords: RFID; Water Management; ESP32; Access Control; Benguela.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável à vida humana e às atividades domésticas, industriais e agrícolas. Apesar de sua importância, a gestão da água enfrenta desafios significativos em diversas áreas urbanas de Angola, especialmente em regiões densamente povoadas, onde a infraestrutura existente frequentemente não consegue atender à demanda de forma eficiente e justa (FAO, 2017). No Bairro da Graça, em Benguela (ver afigura 1), moradores enfrentam irregularidades na distribuição de água, dificuldades em controlar o consumo individual e problemas recorrentes na cobrança mensal, situação que provoca desperdício de recursos, conflitos entre consumidores e gestores do serviço e afeta negativamente a sustentabilidade do sistema (Gomes & Silva, 2018).

Figura 1. Traçado urbano do bairro da Graça.



Fonte: Google Maps (2026)

Os métodos tradicionais de medição e cobrança, baseados em leituras manuais ou estimativas, apresentam limitações de precisão e confiabilidade, o que contribui para atrasos administrativos, discrepâncias nos registros e perda de informação essencial (Silva &

Baptista, 2019). A ausência de mecanismos automáticos de monitoramento impede que os consumidores tenham consciência real do seu consumo e dificulta a detecção de desperdícios, vazamentos e ligações irregulares.

A tecnologia RFID tem se destacado como solução promissora para modernizar a gestão de recursos, permitindo a identificação e o registro automático de dados de forma rápida, segura e eficiente. No setor de água, essa tecnologia possibilita monitorar o consumo em tempo real, controlar o fornecimento e implementar mecanismos de cobrança mais transparentes (Kumar & Lee, 2020). Diante desse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema eletrônico de gestão de consumo e acesso à água baseado em tecnologia RFID, visando melhorar a eficiência, a transparência e a sustentabilidade da distribuição de água em residências particulares do Bairro da Graça.

O trabalho justifica-se pela necessidade real de modernização dos serviços básicos no contexto angolano e pela pertinência da tecnologia RFID como solução acessível e adaptável a comunidades urbanas com recursos limitados. O problema de pesquisa centra-se em: como um sistema eletrônico baseado em tecnologia RFID pode melhorar o monitoramento, o controle e a cobrança mensal fixa de água nas residências do Bairro da Graça? O objetivo geral é desenvolver e avaliar um sistema eletrônico de gestão de consumo e acesso à água baseado em tecnologia RFID que melhore o controle e a cobrança mensal fixa em residências particulares do Bairro da Graça. Os objetivos específicos consistem em: (i) conceber um protótipo funcional que utilize tecnologia RFID para registro e controle do consumo; (ii) testar o desempenho do sistema no contexto real do bairro; e (iii) analisar o impacto do sistema na

melhoria da organização do faturamento e na redução de desperdícios.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A gestão de recursos hídricos representa um dos maiores desafios enfrentados pelas cidades africanas em crescimento acelerado. Em Angola, esse processo se intensificou após o fim do conflito armado, com a migração de populações para centros urbanos e a consequente expansão desordenada de bairros periurbanos, que exercem pressão significativa sobre as infraestruturas de abastecimento de água (Tvedten, Jenkins & Monteiro, 2020). A literatura evidencia que a incapacidade das redes de água em acompanhar o ritmo de urbanização conduz a problemas recorrentes, como distribuição irregular, interrupções frequentes, ligações clandestinas e perdas significativas na rede (World Bank, 2017).

A modernização tecnológica tem sido amplamente identificada como mecanismo central para a melhoria da eficiência operacional em serviços públicos essenciais. A introdução de tecnologias digitais — incluindo sensores, medidores inteligentes e plataformas eletrônicas de gestão — permite automatizar processos que, no modelo tradicional, exigiam intervenção humana constante (Van den Berg & Danilenko, 2017). Experiências em países africanos e asiáticos demonstram que a automatização reduz custos operacionais, melhora a confiabilidade dos dados e aumenta a transparência na relação entre fornecedores e consumidores (Smith, 2018).

A tecnologia RFID consiste em um método de identificação automática que utiliza ondas de rádio para transmitir dados entre uma etiqueta (tag) e um dispositivo leitor, sem necessidade de contato físico direto (Finkenzeller, 2010). Entre suas principais características destacam-se a identificação rápida à distância, a capacidade de armazenar dados básicos do usuário, o funcionamento sem contato e a redução de erros associados ao registro manual. No setor de água, o RFID tem sido utilizado para controlar o acesso a pontos de abastecimento comunitário, monitorar consumos individuais e facilitar processos de cobrança (Rahman et al., 2021).

O modelo de cobrança mensal fixa é amplamente adotado em contextos onde a leitura individualizada do consumo é difícil ou tecnicamente inviável, oferecendo previsibilidade financeira aos moradores e reduzindo conflitos frequentes (McDonald, 2012). Contudo, quando implementado sem mecanismos de controle adequados, pode resultar em consumos excessivos e ligações irregulares. A integração da tecnologia RFID nesse modelo permite identificar usuários autorizados de forma automática, impedir consumos abusivos e garantir transparência no processo de cobrança (Mugabi & Kayaga, 2010). A digitalização dos processos de controle de água deve, portanto, ser vista como requisito estratégico para a sustentabilidade de longo prazo dos sistemas de abastecimento (UN Water, 2022).

3. METODOLOGIA

O estudo adotou uma abordagem metodológica tripartida, combinando pesquisa aplicada, experimental e descritiva, em consonância com a natureza tecnológica e social do problema. A

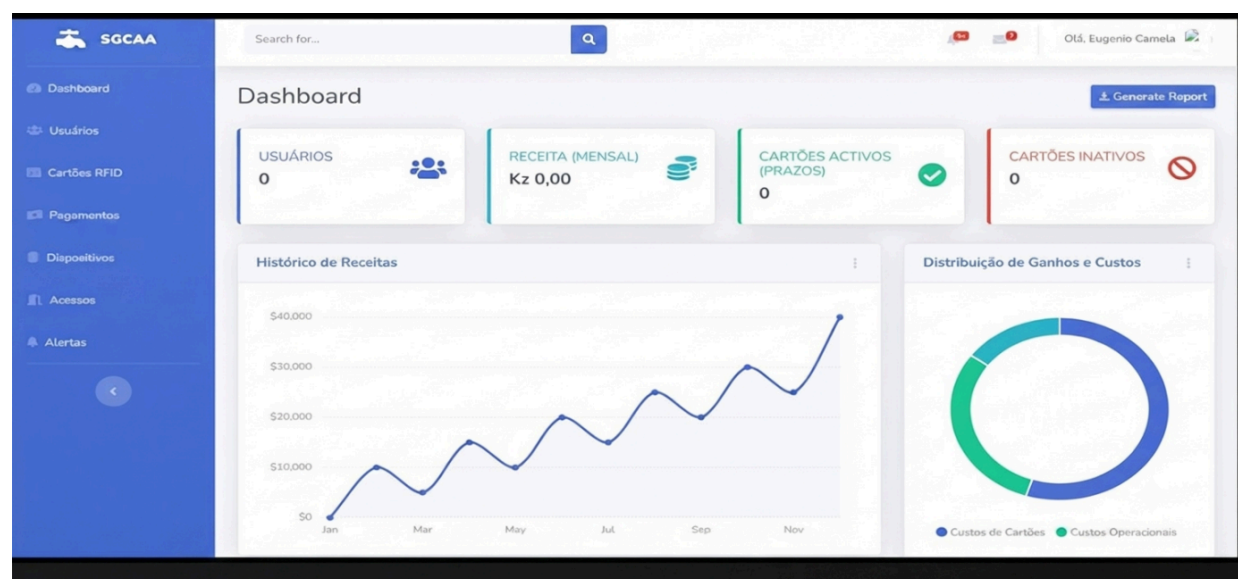
pesquisa aplicada orientou o desenvolvimento do protótipo como resposta direta a uma necessidade concreta da comunidade do Bairro da Graça, conforme preconizado por Creswell (2014). O componente experimental materializou-se na montagem e no teste do sistema físico, enquanto a vertente descritiva permitiu compreender as rotinas de consumo, os padrões de compartilhamento de água e as percepções dos moradores sobre o processo de cobrança.

A população do estudo corresponde ao total de residências do Bairro da Graça, estimada entre 2.500 e 4.000 unidades com base em análise de imagens de satélite assistida por inteligência artificial, sendo o valor mais provável próximo de 3.000 residências. A amostra foi composta por 50 residências (1,66% da população estimada), selecionadas de forma a abranger diferentes zonas e tipos de habitação do bairro. A coleta de dados recorreu a entrevistas presenciais com responsáveis pelas residências, questionários estruturados e observação direta antes e durante a instalação do protótipo.

Do ponto de vista técnico, o sistema foi desenvolvido com base nos seguintes componentes principais: o microcontrolador ESP32, escolhido pela sua versatilidade em projetos IoT, conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrados e baixo consumo energético (Espressif Systems, 2018); o módulo RFID RC522, operando a 13,56 MHz com interface SPI, compatível com cartões MIFARE; uma válvula solenoide de ação direta, responsável pela abertura e pelo fechamento do fluxo de água em função dos comandos do microcontrolador; e um módulo relé de dois canais, garantindo o isolamento elétrico entre o circuito de controle de baixa tensão e o circuito de potência que aciona a válvula.

O software embarcado foi desenvolvido no ambiente Arduino IDE, estruturado em duas funções principais: Setup(), responsável pela inicialização dos módulos e pela conexão à rede Wi-Fi; e Loop(), que executa continuamente as tarefas de leitura de etiqueta RFID, envio do código ao servidor remoto por requisição HTTP e controle do relé em função da resposta recebida. O software de gestão centralizado — denominado SECAA (Sistema Eletrônico de Controle de Acesso à Água)— foi desenvolvido como aplicação web com módulos de dashboard, gestão de usuários, gestão de cartões RFID, controle de pagamentos e registro de acessos. A figura 2, se observa a tela principal do sistema SECAA.

Figura 2. Dashboard (tela principal do sistema).



Fonte: Autor, 2026

4. RESULTADOS

O protótipo eletrônico desenvolvido demonstrou plena capacidade de cumprir as funções essenciais de identificação, controle de acesso e atuação sobre o fornecimento de água. A arquitetura adotada segue o modelo clássico de sistemas embarcados com três camadas: identificação (módulo RFID RC522), processamento

(microcontrolador ESP32) e atuação (módulo relé + válvula solenoide). O usuário aproxima a etiqueta RFID ao leitor, o código é transmitido ao microcontrolador via interface SPI, verificado junto ao servidor remoto por requisição HTTP e, caso autorizado, o relé é ativado permitindo a passagem de água.

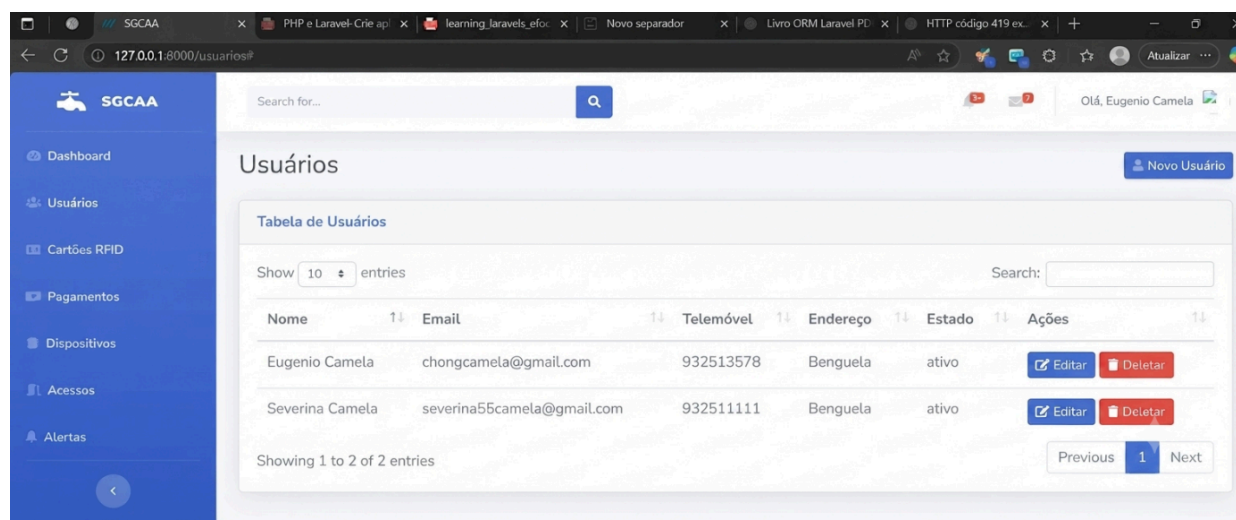
Os testes realizados em contexto residencial produziram os seguintes resultados quantitativos: tempo médio de resposta RFID-válvula de aproximadamente 1,5 segundos; taxa de leitura correta das etiquetas classificada como elevada; funcionamento contínuo superior a 10 horas sem falhas registradas; e ocorrência de falhas classificada como baixa. Esses indicadores confirmam a viabilidade técnica do sistema para aplicação em ambientes residenciais.

O sistema demonstrou igualmente um comportamento funcional adequado no contexto residencial. Quando o cartão RFID não está presente junto ao leitor, a válvula solenoide permanece fechada mesmo com a torneira mecanicamente aberta, impedindo o fluxo não autorizado de água. Quando o cartão autorizado é aproximado, a válvula abre imediatamente e permanece ativa enquanto a etiqueta estiver presente; a remoção do cartão provoca o fechamento imediato da válvula, garantindo um controle rigoroso do consumo.

O software de gestão SECAA apresentou interfaces funcionais para cadastro e autenticação de usuários, dashboard com visão geral da operação (usuários cadastrados, receita mensal, cartões ativos e inativos, histórico de receitas e distribuição de custos), gestão de cartões RFID com possibilidade de ativação e desativação, módulo de pagamentos com registro de faturas e histórico financeiro, e registro automático de acessos. Cada leitura de cartão, horário de

utilização e estado da válvula é enviada em tempo real ao software central, que atualiza automaticamente o banco de dados. A figura 3, mostra a gestão de usuários, onde podem editar seus dados.

Figura 3. Tela de gestão de usuários.



Fonte: Autor, 2026

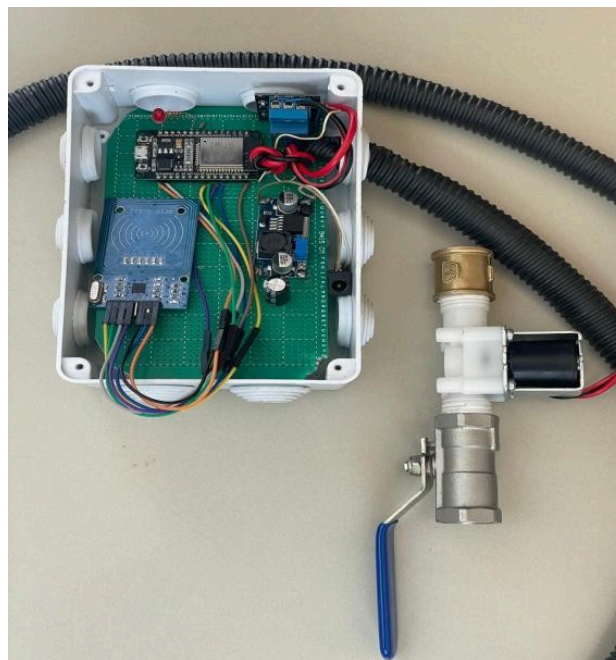
5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos validam a hipótese inicial, confirmando que a utilização da tecnologia RFID melhora significativamente o controle do acesso à água e apoia o modelo de cobrança mensal fixa. A identificação automática elimina a necessidade de vigilância humana constante e reduz os erros associados a registros manuais, corroborando os achados de Rahman et al. (2021) sobre a eficácia do RFID em sistemas de utilidade pública.

Do ponto de vista da Engenharia Eletrônica, a utilização do ESP32 como unidade central mostrou-se adequada, uma vez que sua capacidade de processamento dual-core, as interfaces de comunicação disponíveis (SPI para o módulo RFID, GPIO para o relé, Wi-Fi para a comunicação com o servidor) e sua estabilidade operacional atenderam plenamente às exigências do sistema. A

arquitetura adotada é escalável e permite a futura integração de sensores de medição volumétrica, o que representa uma evolução natural em direção a um sistema de cobrança baseado no consumo efetivo, e não apenas no controle de acesso. Na figura 4, se pode observar O protótipo eletrônico desenvolvido integrado todos os módulos descritos nas seções anteriores, demonstrando de forma física a arquitetura do sistema. A sua montagem evidencia a interligação correta entre o microcontrolador ESP32, o módulo RFID RC522, o módulo relé e a válvula solenoide.

Figura 4. Protótipo eletrônico completo do sistema.



Fonte: Autor, 2026

No contexto específico do Bairro da Graça, o sistema demonstrou potencial para reduzir conflitos entre moradores e gestores, dado que apenas usuários autorizados e com pagamento em dia conseguem acessar a água. Esse mecanismo promove maior equidade e transparência, alinhando-se às recomendações da OECD (2021) sobre a necessidade de modernização tecnológica para garantir sustentabilidade, equidade e eficiência na gestão hídrica em contextos africanos. A integração com o software de gestão

centralizado acrescenta uma camada de rastreabilidade que fortalece a confiança entre prestadores e consumidores, aspecto crítico em comunidades com histórico de conflitos no faturamento (Silva & Baptista, 2019).

Comparativamente a experiências internacionais, o modelo adotado apresenta semelhanças com os sistemas de medição inteligente implementados na África do Sul (Smith, 2018) e com projetos de monitoramento automático na Índia (Gupta & Kulkarni, 2019), diferenciando-se pela sua adequação a um contexto de recursos limitados, com componentes de baixo custo e de fácil manutenção. As principais limitações identificadas residem na dependência de energia elétrica contínua para o funcionamento da válvula solenoide e do microcontrolador — o que pode ser problemático em contextos com interrupções frequentes de fornecimento elétrico — e na ausência de medição volumétrica exata do consumo, que limita a possibilidade de uma cobrança proporcional ao uso efetivo. Essas limitações apontam caminhos para trabalhos futuros. A figura acima mostra o sistema acionado e a válvula aberta, permitindo a passagem da água. Na figura 5, observa-se o cartão RFID aproximado do leitor localizado na parte superior da caixa de controlo do protótipo. Nesta condição, o sistema reconhece o cartão de forma contínua, activando a válvula solenóide ligada à torneira. Com a válvula aberta, a água passa a circular normalmente sempre que a torneira é aberta mecanicamente (figura a esquerda) pelo utilizador, evidenciando o correcto funcionamento do sistema de gestão e controlo do fornecimento de água.

Figura 5. Sistema em funcionamento



Fonte: Autor, 2026

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou que é tecnicamente viável desenvolver um sistema eletrônico de gestão de consumo e acesso à água baseado em tecnologia RFID, adequado ao contexto residencial do Bairro da Graça, em Benguela. O protótipo desenvolvido — integrando microcontrolador ESP32, módulo RFID RC522, válvula solenoide e módulo relé, complementado por software de gestão centralizado — cumpriu os objetivos de controle de acesso, redução de desperdícios e apoio à cobrança mensal fixa com desempenho funcional e confiável.

As principais contribuições do estudo são: (i) a demonstração da aplicabilidade de tecnologias IoT de baixo custo na resolução de problemas de gestão hídrica em comunidades urbanas angolanas; (ii) o desenvolvimento de uma solução integrada hardware-software com potencial de replicabilidade para outros bairros com características semelhantes; e (iii) a evidência empírica de que o controle eletrônico de acesso à água por RFID reduz significativamente o risco de ligações clandestinas, consumos abusivos e erros de faturamento, promovendo equidade e transparência no abastecimento.

Como limitações, o sistema ainda não realiza medição volumétrica exata do consumo e depende de fornecimento elétrico contínuo.

Recomenda-se, como trabalhos futuros, a integração de sensores de vazão para cobrança proporcional ao consumo efetivo, a implementação de sistemas de alimentação por energia solar para contextos com instabilidade elétrica e a expansão do estudo para uma amostra mais representativa do bairro, visando à validação em larga escala.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, L. Gestão inteligente de energia e modernização de redes urbanas no Brasil. São Paulo: Blucher, 2020.

CRESWELL, J. W. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4.ed.[S.l.]:SAGE,2014

ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32-WROOM-32 datasheet. Versão 2.4. [S.l.]: Espressif Systems, 2018. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentacion/esp32_datasheet en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentacion/esp32_datasheet_en.pdf)

FAO. Water for sustainable food and agriculture. Roma: FAO, 2017.

FINKENZELLER, K. RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication. 3. ed. [S.l.]: Wiley, 2010.

GOMES, R.; SILVA, P. Desafios da gestão hídrica em bairros periurbanos de Angola. Revista Africana de Desenvolvimento Sustentável, v. 5, n. 2, p. 34-50, 2018.

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions.

Future Generation Computer Systems, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013.
Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.

GUPTA, A.; KULKARNI, S. Smart water systems in India: challenges and opportunities. Journal of Water Resources Management, v. 33, n. 12, p. 4231-4245, 2019.

KUMAR, R.; LEE, S. RFID-based water monitoring systems for smart cities. International Journal of IoT Applications, v. 4, n. 1, p. 12-24, 2020.

MCDONALD, D. Rethinking corporatization and public services in the global South. London: Zed Books, 2012.

MUGALI, J.; KAYAGA, S. Tariff structures and affordability in urban water supply. International Water Association Journal, v. 8, n. 4, p. 273-282, 2010.

OECD. Improving water governance in African cities. Paris: OECD Publishing, 2021.

RAHMAN, M.; CHOWDHURY, S.; HOQUE, M. Application of RFID in utility management systems. International Journal of Advanced Engineering Research, v. 9, n. 2, p. 44-52, 2021.

SILVA, A.; BAPTISTA, J. Gestão de recursos hídricos em cidades africanas em expansão. Revista de Estudos Urbanos e Regionais, n. 3, p. 87-105, 2019.

SMITH, L. Smart metering and water demand management in South Africa. Water SA, v. 44, n. 2, p. 231-243, 2018.

TVEDTEN, I.; JENKINS, P.; MONTEIRO, T. Urban poverty and inequality in Angola. Bergen: Chr. Michelsen Institute, 2020.

UN WATER. The United Nations world water development report: groundwater – making the invisible visible. Paris: UNESCO, 2022.

VAN DEN BERG, C.; DANILENKO, A. Performance of water utilities in Africa. Washington, DC: World Bank, 2017.

WORLD BANK. Water supply and sanitation in Sub-Saharan Africa: service delivery assessment. Washington, DC: World Bank Publications, 2017.