

Democratizando o Acesso à IoT através da Reutilização Sustentável de TV Boxes

Ana Clara Custodio¹, André Luiz Vicente Silva¹, Andressa Francisco Vieira¹,
Marcos Paulo Lima Rezende², Matheus Martins de Sousa³,
Ruan Pablo De Assis Neres¹, Vinícius Oliveira Magalhães¹,
Lucas Souza Montanheiro⁴, Walteno Parreira Junior¹

¹ Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM)
Campus Uberlândia Centro – Uberlândia – MG – Brasil

²Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM)
Campus Uberlândia – Uberlândia – MG – Brasil

³Universidade de São Paulo (ESALQ/USP)
Piracicaba – SP – Brasil

⁴Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia – MG – Brasil

{ana.custodio, andre.silva, andressa.vieira, marcos.rezende,
ruan.neres, vinicius.magalhaes}@estudante.iftm.edu.br,
matheusnerdmartins@gmail.com, lucas.montanheiro@ufu.br,
waltenomartins@iftm.edu.br

Abstract. *This paper introduces a sustainable computing initiative focused on repurposing TV Box devices for Internet of Things (IoT) applications. By deploying an Armbian-based Linux distribution, these devices function as low-cost Data Processing Centers (DPC), fully integrated with an Amazon Web Services (AWS) cloud infrastructure. The proposed solution was validated through a series of performance tests, which confirmed the technical feasibility of the idea.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma iniciativa de computação sustentável que reutiliza dispositivos TV Box para aplicações de Internet das Coisas (IoT). Utilizando uma distribuição Linux, baseada em Armbian, os dispositivos atuam como centrais de tratamento de dados (CTD) de baixo custo, integradas a uma infraestrutura em nuvem na Amazon Web Services (AWS). A solução foi validada após testes de desempenho que evidenciaram a viabilidade técnica da ideia.*

1. Introdução

O avanço tecnológico impulsiona um ciclo contínuo de consumo e descarte de dispositivos eletrônicos, gerando um volume crescente de lixo (*e-waste*), um dos desafios ambientais mais significativos da atualidade [Franz e Silva 2022]. Paralelamente, a expansão de soluções de Internet das Coisas (IoT) em setores como a agricultura e a indústria é frequentemente limitada pelo alto custo do hardware especializado.

Nesse cenário, a Receita Federal do Brasil anualmente apreende e descarta milhares de dispositivos TV Box, equipamentos originalmente destinados ao acesso não autorizado a conteúdo de mídia. Apenas entre 2019 e 2020, mais de 97 mil unidades foram destruídas [Receita Federal 2021], gerando custos operacionais, desperdício de materiais, componentes eletrônicos valiosos e também contribuindo para a poluição ambiental.

O projeto desenvolvido em parceria com a Receita Federal através do programa “Além do Horizonte” [ANATEL 2023], surge como uma ponte entre esses dois problemas. A iniciativa propõe uma solução sustentável que transforma esse passivo em um ativo tecnológico: a reutilização das TV Boxes apreendidas, descaracterizando-as e convertendo-as em Centrais de Tratamento de Dados (CTD) de baixo custo. A CTD resultante é uma plataforma agnóstica, projetada para atuar como um *gateway* local que coleta, processa e envia dados de sensores para um *back-end* robusto na nuvem, fomentando a economia circular e a inovação social.

Dado o potencial de impacto ambiental, é importante tornar essa solução acessível à população, divulgando-a e, conseqüentemente, democratizando seu uso, com o objetivo de possibilitar que mais projetos sejam incorporados e impulsionados pela facilidade de envio de dados à nuvem. Ademais, a apresentação da solução em eventos de divulgação científica e tecnológica também contribui para despertar o interesse de estudantes e jovens pesquisadores, incentivando a criatividade, a inovação e o desenvolvimento de novas propostas capazes de enfrentar problemas reais por meio da tecnologia.

2. Metodologia

A metodologia deste trabalho é fundamentada na abordagem de *Design Science Research* (DSR), um paradigma de pesquisa amplamente difundido na Ciência da Computação para a criação e avaliação de artefatos tecnológicos que solucionem problemas do mundo real [Hevner e Chatterjee 2010].

O objetivo é desenvolver um artefato inovador — a Central de Tratamento de Dados (CTD) — a partir do reaproveitamento de TV Boxes, endereçando os desafios de lixo eletrônico e democratização do acesso à IoT no contexto educacional. Ao reduzir drasticamente os custos de infraestrutura, a CTD viabiliza a implementação de laboratórios práticos de Internet das Coisas em escolas e instituições de ensino, atuando como uma ferramenta pedagógica acessível para o ensino de computação, programação e sustentabilidade ambiental.

As seções subsequentes detalham o processo de projeto, desenvolvimento e avaliação do artefato, em alinhamento com os ciclos de relevância, projeto e rigor propostos pela DSR, considerando sua aplicabilidade prática em ambientes de aprendizagem. O processo de conversão de uma TV Box em uma CTD funcional envolve uma seleção criteriosa de hardware e um procedimento técnico rigoroso de descaracterização, que formam a base tecnológica para viabilizar essa iniciativa educacional.

3. Hardware

O processo de conversão de uma TV Box em uma CTD funcional envolve uma seleção criteriosa de hardware e um procedimento técnico rigoroso de descaracterização, que é o núcleo desta pesquisa.

3.1. Seleção e Análise do Hardware

A diversidade de modelos de TV Box disponibilizados pela Receita Federal exigiu uma análise técnica. Foram realizados testes de estresse computacional para avaliar a estabilidade do processador, o gerenciamento de memória e a performance de rede sob carga. Os testes incluíram a execução de *benchmarks* sintéticos para CPU e memória, monitoramento

da temperatura do *System-on-a-Chip* (SoC) durante longos períodos de operação e testes de *throughput* de rede.

Os modelos TX6-p e TX9, foram selecionados por apresentarem o melhor equilíbrio entre capacidade computacional e eficiência energética. Ambos são equipados com o SoC Amlogic S905W, um processador *Quad-core* ARM Cortex-A53 e 2 GB de memória RAM. Essas especificações, embora modestas para computação de desktop, são mais do que adequadas para atuar como um orquestrador local de dados, capaz de gerenciar múltiplas conexões de sensores e manter a comunicação com a nuvem.

3.2. O Processo de Descaracterização

A descaracterização é um requisito obrigatório da Receita Federal e o coração técnico do projeto. Seu objetivo é garantir a remoção permanente do software de pirataria, adaptando o dispositivo para um novo propósito. O processo é dividido em etapas fundamentais, detalhadas a seguir.

A primeira etapa consiste em substituir o sistema Android nativo. Por isso, a distribuição Armbian, baseada em Debian Linux, foi escolhida por seu baixo uso de hardware, estabilidade e, principalmente, pelo robusto suporte da comunidade para a arquitetura ARM, incluindo os SoCs Amlogic. Foram selecionadas imagens específicas do sistema com versões de *kernel* customizadas (5.7.0 para o modelo TX6-p e 5.9.0 para o TX9), que continham os drivers necessários para componentes essenciais como a controladora de rede *Ethernet* e as portas USB, garantindo compatibilidade e desempenho.

A imagem do sistema foi gravada em um cartão microSD e, também foi incluído um *bootloader* personalizado (U-Boot), que é o primeiro software a ser executado quando o dispositivo é ligado. O U-Boot foi configurado para alterar a sequência de inicialização padrão do hardware, instruindo-o a carregar o sistema operacional a partir do cartão microSD em vez da memória flash interna, onde o Android original reside. Uma vez que o sistema está no ar, o acesso de superusuário (*root*) é obtido e o último passo adapta o sistema a partir da execução de um script de instalação (*install-aw.sh*).

Este script foi modificado para reconhecer o layout de partição da memória interna (eMMC) da TV Box e forçar a instalação do novo sistema operacional diretamente nela. O *script* automatiza o particionamento da eMMC para fazer a cópia do sistema de arquivos raiz (“rootfs”) do cartão para a nova partição e a instalação do *bootloader* na área de inicialização da memória interna. Este procedimento sobrescreve completamente o sistema Android original, finalizando o processo de descaracterização e consolidando a TV Box como um dispositivo computacional de propósito geral.

4. Software

Uma vez descaracterizada, a CTD torna-se o núcleo de uma arquitetura de IoT distribuída, atuando como ponte entre o ambiente físico local e a nuvem.

4.1. Orquestrador de Dados Local

A CTD executa um ambiente de software estável para gerenciar a coleta e o envio de dados. O componente central é um servidor desenvolvido em *Python*, que utiliza o *framework FastAPI* para criar uma API local de gerenciamento. A principal responsabilidade

deste servidor é operar como um servidor web *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), o ponto central para toda a comunicação com os dispositivos de campo, como sensores e microcontroladores.

O HTTP é um protocolo de comunicação baseado no modelo de requisição e resposta (*request/response*), amplamente adotado por sua simplicidade e compatibilidade universal entre diferentes plataformas de hardware e software. A necessidade de uma interface HTTP no projeto é fundamental para padronizar a entrada de dados vinda dos microcontroladores (como ESP32 e ESP8266) [Melo e Vieira 2016].

Nesta arquitetura, os microcontroladores estabelecem uma comunicação direta com o servidor por meio de requisições HTTP. As leituras de telemetria são enviadas através de métodos *POST* para *endpoints* específicos da API `/device/actor-data`, permitindo que o sistema identifique e organize a origem de cada dado. O servidor, por sua vez, processa as requisições de forma síncrona ou assíncrona, garantindo a eficiência no recebimento e a imediata validação das informações antes da sua persistência no banco de dados.

Essa arquitetura torna o sistema organizado e de fácil integração. Novos sensores podem ser adicionados à rede simplesmente direcionando suas requisições para as rotas definidas no servidor. O servidor gerencia as requisições recebidas, garantindo o processamento das mensagens, que são padronizadas em formato *JavaScript Object Notation* (JSON).

Após receber os dados via HTTP, o servidor *Python* realiza a validação e o processamento das informações para, então, armazená-las temporariamente em um banco de dados PostgreSQL local. A escolha pelo PostgreSQL se deu por sua robustez e suporte a tipos de dados complexos, útil para dados de telemetria, além de ser de código aberto (*open source*).

Para garantir o isolamento e a portabilidade da aplicação, tanto o servidor Python quanto o banco de dados rodam em contêineres Docker. Essa abordagem simplifica a implantação da solução em diferentes TV Boxes descaracterizadas, gerenciando todas as dependências de software de forma contida e estável, sem interferir com o sistema operacional base. Essa arquitetura local é intrinsecamente agnóstica, podendo se conectar a qualquer tipo de sensor ou dispositivo que suporte comunicações via HTTP.

4.2. Integração Segura com a Nuvem AWS

A comunicação com o ambiente remoto foi projetada com foco em segurança e escalabilidade. Os dados consolidados localmente são enviados para um *back-end* hospedado na nuvem por meio de requisições HTTPS, assegurando a confidencialidade e integridade das informações durante o transporte. A autenticação é gerenciada por *tokens JSON Web Token* (JWT), um padrão amplamente utilizado para autenticação baseada em *tokens*. Nesse processo, a CTD autentica-se inicialmente no servidor utilizando suas credenciais e recebe um token de acesso de curta duração, que é posteriormente incluído no cabeçalho de todas as requisições subsequentes para o envio de dados.

A infraestrutura da nuvem, implementada na *Amazon Web Services* (AWS), utiliza uma abordagem *serverless*. Nesse modelo, as requisições enviadas pela CTD chegam inicialmente ao *AWS API Gateway*, que atua como um ponto de entrada seguro, realizando

a validação do token de autenticação. Em seguida, o *API Gateway* aciona uma função AWS Lambda responsável pelo processamento inicial da requisição. Para garantir maior resiliência e desacoplamento do sistema [Coulouris et al. 2000, Burns 2018], essa função Lambda não realiza a escrita direta no banco de dados; em vez disso, os dados são enviados para uma fila no *Amazon Simple Queue Service* (SQS). A partir da chegada de novas mensagens nesta fila, uma segunda função *Lambda* é acionada automaticamente para executar a lógica final de negócio e persistir os dados no *Amazon Relational Database Service* (RDS), que hospeda uma instância do PostgreSQL.

5. Resultados e Desafios Técnicos

Além dos aspectos técnicos relacionados à descaracterização e reaproveitamento de TV Boxes, o projeto foi concebido com o objetivo de ampliar o acesso a recursos computacionais para aplicações de Internet das Coisas (IoT). A utilização de tecnologias de código aberto, como o sistema operacional Armbian e o banco de dados PostgreSQL, reduz barreiras econômicas e técnicas, permitindo que estudantes, pesquisadores e instituições reproduzam a metodologia proposta sem custos de licenciamento.

A disseminação do projeto ocorre por meio da participação em feiras científicas, eventos acadêmicos e ações de extensão, onde são apresentados os procedimentos de descaracterização, a arquitetura da solução e os resultados obtidos. Essas atividades evidenciam o potencial de reutilização de equipamentos originalmente destinados ao consumo de mídia como plataformas computacionais para aplicações de IoT.

Ademais, o desenvolvimento da solução também promoveu a integração entre diferentes instituições de ensino e pesquisa, favorecendo a troca de conhecimentos em áreas como sistemas embarcados, computação em borda, sustentabilidade e inovação tecnológica.

Contudo, em consonância com os princípios da Ciência Aberta, todos os artefatos desenvolvidos foram disponibilizados publicamente, incluindo o código-fonte do orquestrador local, os scripts de descaracterização do hardware e os arquivos de modelagem tridimensional do gabinete. Essa disponibilização permite a reprodução dos experimentos e a validação dos resultados apresentados.

5.1. Validação Técnica da Infraestrutura

Conforme definido na metodologia, a validação da solução foi realizada por meio de testes de desempenho utilizando diferentes modelos de TV Box com arquiteturas ARM distintas e capacidades variadas de memória RAM, a fim de comprovar a eficácia da CTD como uma orquestradora local de IoT estável. Os experimentos foram conduzidos com a ferramenta K6 em conjunto com uma infraestrutura containerizada baseada em *Docker Compose*, simulando múltiplas requisições simultâneas ao *gateway IoT*. Foram definidos três cenários de operação: *smoke* (sanidade inicial), *carga nominal sustentada* e *stress* (saturação), utilizando respectivamente 4, 20 e 36 utilizadores virtuais (VUs) em todas as plataformas. As métricas analisadas incluíram vazão média (req/s), latências p50/p95/p99, taxa de erro, utilização média de CPU e consumo de memória RAM sob carga contínua. A Figura 1 apresenta um resumo comparativo dos resultados obtidos.

Os resultados demonstraram que, nos cenários de *smoke* e carga nominal, as plataformas apresentaram comportamento semelhante em vazão e latência, confirmando

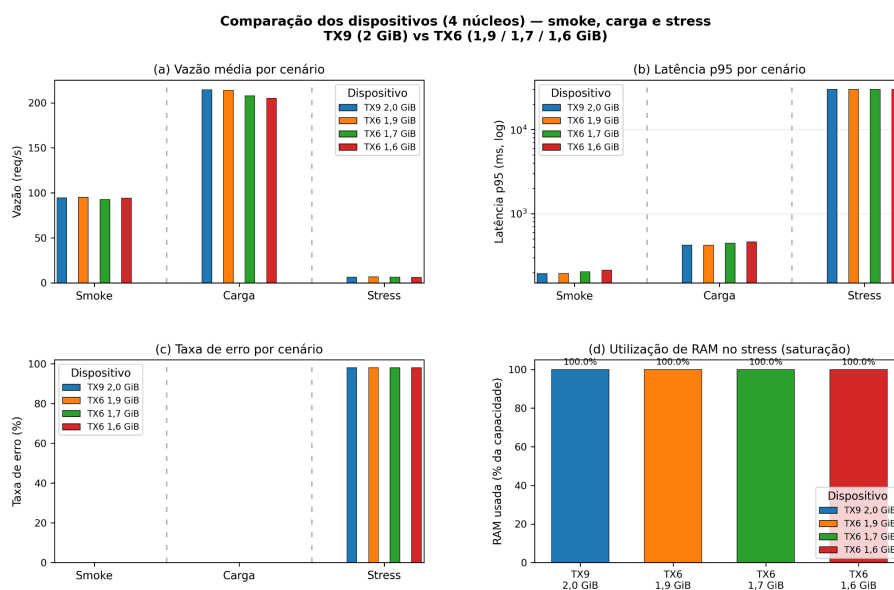


Figura 1. Prancha de testes de smoke, carga e stress em diferentes modelos de TVbox

a viabilidade das TV Boxes como centrais de tratamento de dados para aplicações IoT. Entretanto, dispositivos com menor quantidade de RAM apresentaram degradação gradual de desempenho com o aumento da concorrência e, no cenário de *stress*, observou-se saturação da memória, aumento expressivo da latência e elevada taxa de erro, evidenciando o limite operacional das plataformas. A representação da latência p95 em escala logarítmica facilitou a visualização das diferenças entre os cenários moderados e o estado de saturação.

Entre os principais desafios técnicos destacou-se a heterogeneidade dos modelos de TV Box, dificultando a obtenção de imagens Armbian e kernels compatíveis com determinados SoCs Amlogic. Problemas como ausência de drivers, superaquecimento e instabilidades exigiram testes com diferentes versões de kernel e compilação manual de drivers.

5.2. Resultados Emergentes na Educação Básica

A adoção da filosofia *open source* também proporcionou resultados emergentes provenientes do cenário educacional. Uma vez posta, a plataforma desenvolvida pelo projeto passou a ser utilizada como infraestrutura de apoio para prototipagem escolar. Dentre os principais casos de validação, destaca-se o emprego da tecnologia disponível nos repositórios públicos previamente mencionados em prol de uma nova solução proposta por alunos da educação básica.

Tal iniciativa pôde ser desenvolvida após estudantes participarem de capacitações práticas promovidas por este projeto em eventos de cunho tecnológico dentro de escolas. Na ocasião, os alunos vivenciaram a primeira experiência de simular/construir circuitos eletrônicos simples com o intuito de captar dados do ambiente para cuidar de uma flor. Como resultado, no decorrer do ano, o grupo concebeu, de forma autônoma, uma estação de monitoramento microclimático focada na prevenção de queimadas no Cerrado.

Para isso, o projeto exigiu o uso de um microcontrolador integrado a sensores ambientais (como temperatura e umidade do ar), que enviavam os dados para o servidor da plataforma. Assim, os estudantes conseguiram ter acesso remoto e em tempo real a cada leitura realizada pelo protótipo. Nesse ponto, a abstração da complexidade de *back-end*

proporcionada pela central foi fundamental para o êxito pedagógico fazendo com que a equipe focasse na lógica de funcionamento do hardware local.

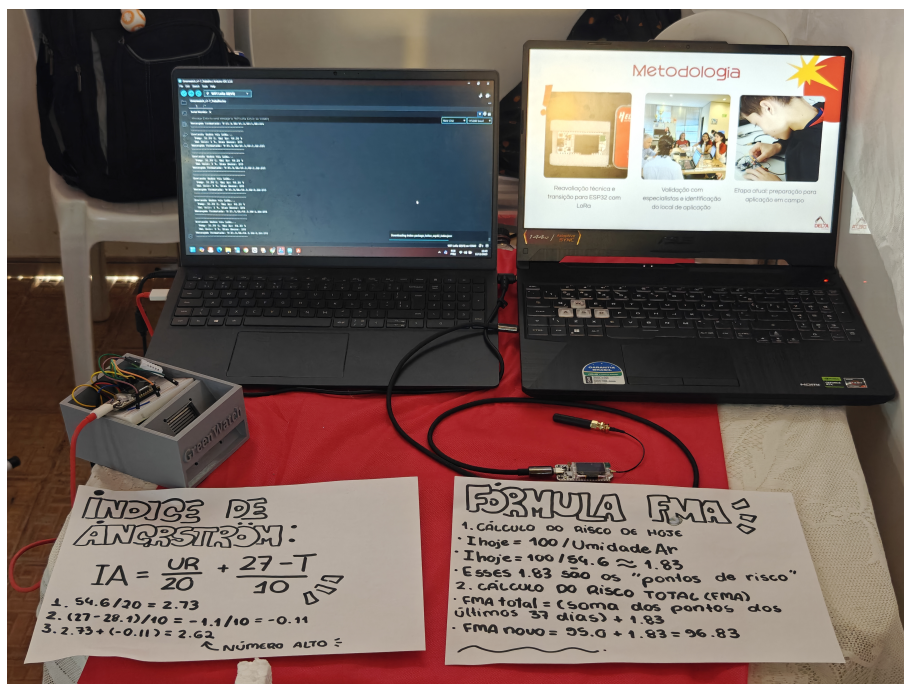


Figura 2. Apresentação dos estudantes em evento científico

6. Conclusão

O projeto demonstra a viabilidade técnica de transformar lixo eletrônico em soluções tecnológicas funcionais e de baixo custo, reutilizando TV Boxes como Centrais de Tratamento de Dados. A arquitetura híbrida entre processamento local e serviços em nuvem mostrou-se eficaz e escalável, reforçando o potencial da iniciativa para a democratização da tecnologia IoT e promoção da economia circular, abrindo um precedente para o reaproveitamento inteligente de dispositivos eletrônicos em larga escala. Futuramente, pretende-se validar a solução em ambientes reais, apoiando a implantação em campo dos protótipos desenvolvidos pelos próprios estudantes, comparando a eficácia dessa infraestrutura acessível com hardwares comerciais.

Além dos benefícios técnicos e ambientais, o projeto também contribuiu para a formação de estudantes e para a popularização do conhecimento em tecnologia. A utilização de equipamentos reaproveitados e de ferramentas de código aberto torna a solução acessível para escolas, instituições de ensino e projetos de extensão. As experiências realizadas com estudantes da educação básica evidenciam como iniciativas dessa natureza podem estimular a curiosidade científica, a criatividade e o desenvolvimento de soluções para problemas reais, ampliando as possibilidades de aprendizagem prática.

Disponibilidade de Artefatos

Os artefatos desenvolvidos neste trabalho estão disponíveis publicamente para fins de reprodutibilidade e reutilização¹.

¹<https://github.com/uaipy/artigos-uaipy/tree/main/sociedade-brasileira-de-computacao/sbie/2026>

Referências

- ANATEL (2023). Anatel colabora com Receita Federal no programa Além do Horizonte — Agência Nacional de Telecomunicações. <https://www.gov.br>. Acesso em: ago. 2023.
- Burns, B. (2018). *Designing Distributed Systems*. O'Reilly Media. 162 p.
- Coulouris, G., Dollimore, J., e Kindberg, T. (2000). *Distributed Systems: Concepts and Design*. Addison-Wesley, 3 edition.
- Franz, N. M. e Silva, C. L. (2022). Waste electrical and electronic equipment (WEEE): global and contemporary challenge to production chains and the urban environment. *Gestão & Produção*, 29:e6621.
- Hevner, A. e Chatterjee, S. (2010). Design science research in information systems. In *Design research in information systems: theory and practice*, pages 9–22. Springer US, Boston, MA.
- Melo, A. B. e Vieira, J. (2016). Desenvolvimento de uma plataforma de comunicação para ambientes IoT. In *XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT 2016)*.
- Receita Federal (2021). Destroem mais de 97 mil aparelhos de TV Box piratas no Rio de Janeiro. <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/noticias/2021/maio/receita-federal-e-associacao-brasileira-de-televisao-por-assinatura-destroem-mais-de-97-mil-aparelhos-de-tv-box-piratas-no-rio-de-janeiro>. Acesso em: ago. 2023.