



# SISTEMA RFID PARA RASTREAMENTO DE PROVAS FORENSES: Desenvolvimento e validação de um protótipo de alta acurácia

Vinicius Schineider Januário Viana<sup>1</sup>; Pedro Fernandes Bahury<sup>2</sup>; Victor Hugo Moraes Santos<sup>3</sup>; Gabriel Vieira Lima<sup>4</sup>;  
Daniel Duarte Costa<sup>5</sup>; Simone Azevedo Bandeira de Melo Aquino<sup>6</sup>

## Resumo

A integridade da cadeia de custódia é um requisito fundamental para a validade de provas em investigações criminais. Contudo, processos manuais são suscetíveis a falhas operacionais e lentidão, comprometendo a rastreabilidade. Este artigo apresenta o desenvolvimento e a validação de um protótipo tecnológico para o rastreamento automatizado de provas forenses utilizando Identificação por Radiofrequência (RFID). A metodologia incluiu a construção de uma solução integrada, composta por hardware (Raspberry Pi 4 e Antena RFID UHF), uma API backend (Node.js, PostgreSQL, MQTT) e um painel de gerenciamento web (Next.js). O sistema foi submetido a um piloto em ambiente de laboratório, onde, após refinamentos na infraestrutura de rede e no algoritmo de software, alcançou uma taxa de acurácia de 95% na detecção e registro de movimentações. Conclui-se que o protótipo é uma ferramenta tecnicamente viável e eficaz, com potencial para modernizar, agilizar e fortalecer a segurança dos processos de custódia no Instituto de Criminalística de Imperatriz (ICRIM).

**Palavras-chave:** RFID. Cadeia de Custódia. Rastreabilidade. Prova Forense. IoT.

**Financiamento:** O presente projeto foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA.

## Introdução

A cadeia de custódia é definida como o conjunto de procedimentos que garante a

---

<sup>1</sup> Discente, Ciência da Computação, Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Imperatriz, [viniciusschneider@acad.ifma.edu.br](mailto:viniciusschneider@acad.ifma.edu.br)

<sup>2</sup> Discente, Ciência da Computação, Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Imperatriz, [pedro.f@acad.ifma.edu.br](mailto:pedro.f@acad.ifma.edu.br)

<sup>3</sup> Discente, Ciência da Computação, Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Imperatriz, [hugo.victor@acad.ifma.edu.br](mailto:hugo.victor@acad.ifma.edu.br)

<sup>4</sup> Discente, Ciência da Computação, Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Imperatriz, [gabrielvieira@acad.ifma.edu.br](mailto:gabrielvieira@acad.ifma.edu.br)

<sup>5</sup> Dr. em Biotecnologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Imperatriz, Ciência da Computação, [daniel.costa@ifma.edu.br](mailto:daniel.costa@ifma.edu.br)

<sup>6</sup> Mrª. em Engenharia de Eletricidade, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Imperatriz, Ciência da Computação, [simonebandeira@ifma.edu.br](mailto:simonebandeira@ifma.edu.br)



idoneidade de um vestígio desde sua coleta até o descarte, sendo um pilar fundamental da persecução penal. Conforme destacam Menezes, Borri e Soares (2018), a quebra nesse processo pode comprometer irremediavelmente a validade de uma prova. No Instituto de Criminalística de Imperatriz (ICRIM), a gestão de provas é realizada de forma predominantemente manual, gerando desafios como morosidade na localização de itens, ausência de um histórico auditável em tempo real e o risco de falhas humanas (CORRÊA; BARONE, 2022).

Nesse contexto, a tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) emerge como uma solução promissora. Iniciativas acadêmicas como o LANDMARC SYSTEM, que utiliza tags RFID ativas para localização (LI; XU; LI, 2020), e o sistema INEXT, que emprega tags passivas para gerenciamento de ativos (SOUSA et al., 2023), demonstram a eficácia da tecnologia em ambientes controlados. Inspirado por esses trabalhos, mas com foco em uma solução de baixo custo e alta aplicabilidade para a realidade de instituições de segurança pública, este projeto propõe uma arquitetura customizada. Diferentemente do LANDMARC, optou-se por tags passivas para reduzir custos e complexidade, e, em contraste com abordagens puramente teóricas, desenvolveu-se uma solução *end-to-end*, incluindo hardware, software e interface de gerenciamento, visando a validação em um cenário prático. O objetivo geral, portanto, foi desenvolver e validar um protótipo de sistema RFID para o rastreamento de provas forenses, visando aprimorar a eficiência, a confiabilidade e a transparência da cadeia de custódia.

## **Metodologia**

O desenvolvimento do projeto seguiu um ciclo iterativo de pesquisa e desenvolvimento, estruturado em fases sequenciais que abrangeram desde a concepção da arquitetura até a validação do protótipo em ambiente de laboratório. A metodologia adotada permitiu a identificação e a solução de desafios técnicos de forma progressiva.

### **Fase 1: Concepção da Arquitetura de Hardware**

Com base em uma revisão de requisitos e entrevistas com a equipe do ICRIM, a arquitetura de hardware foi projetada de forma modular para otimizar as operações de detecção e cadastramento. Os componentes são:

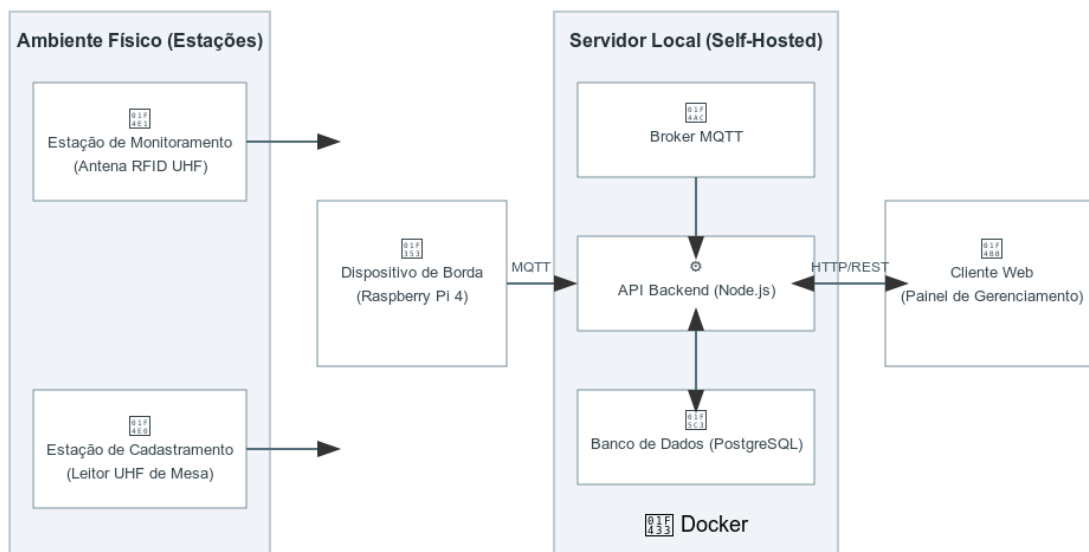
- **Estação de Monitoramento:** Composta por uma Antena RFID UHF de médio alcance, responsável pela detecção contínua e em tempo real das tags na área de



cobertura.

- **Dispositivo de Borda (Edge Device):** Um microcomputador **Raspberry Pi 4**, que processa os dados brutos da antena de monitoramento e os envia para o servidor.
- **Estação de Cadastramento:** Um leitor RFID UHF de mesa (860-960Mhz), conectado ao Raspberry Pi, utilizado especificamente para o registro inicial de novas tags e sua associação unívoca a provas forenses.
- **Servidor Local (Self-hosted):** Um computador dedicado que hospeda os serviços da aplicação, centralizando a comunicação e o armazenamento dos dados.

**Figura 1** – Arquitetura Geral do Sistema Proposto



Fonte: Autoria própria (2025).

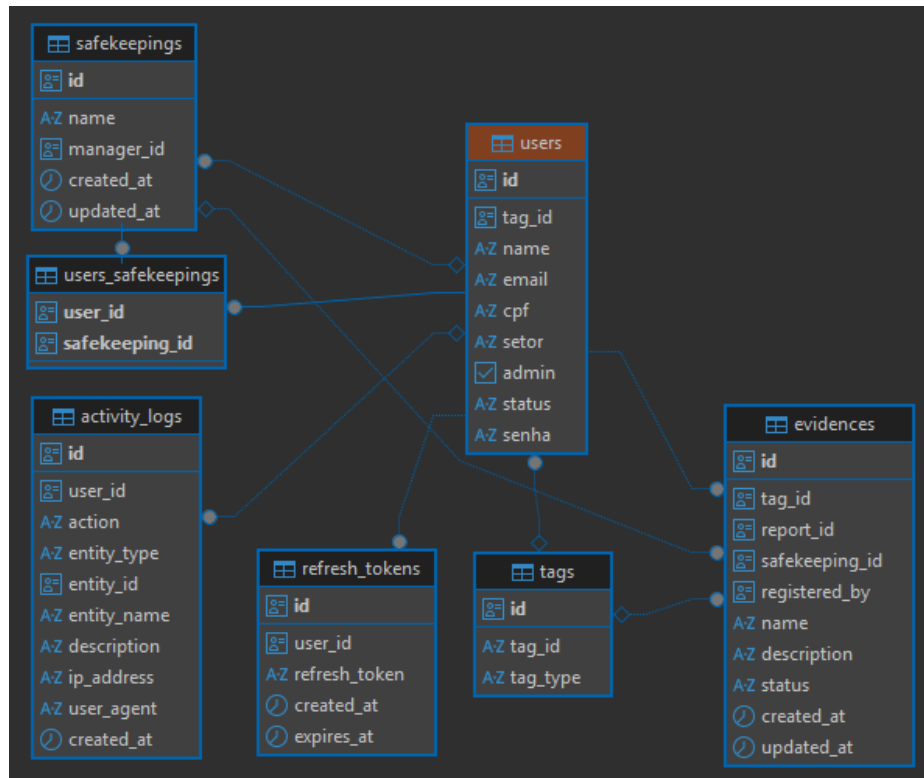
## Fase 2: Desenvolvimento da Infraestrutura de Software

A infraestrutura de software foi desenvolvida com foco em robustez e escalabilidade. Foi implementada uma API backend utilizando Node.js (NODE.JS FOUNDATION, 2025) com o framework Express.js (EXPRESSJS, 2025), escolhidos por sua natureza assíncrona, ideal para lidar com as múltiplas leituras simultâneas do RFID. Para a persistência dos dados, foi utilizado um banco de dados relacional PostgreSQL (POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP, 2025), selecionado por sua confiabilidade e suporte a transações ACID. A comunicação em tempo real entre o hardware e o servidor foi implementada com o protocolo MQTT (MQTT, 2019), utilizando o broker Eclipse Mosquitto. O MQTT foi escolhido por sua leveza em cenários de Internet das Coisas (IoT). Para a segurança, foi implementado um sistema de autenticação via token JWT. Todo o ambiente de serviços foi containerizado com Docker



(DOCKER, 2025), abstraindo as dependências de sistema operacional.

Figura 2 – Diagrama Entidade-Relacional do Banco de Dados



Fonte: Autoria própria (2025).

### Fase 3: Desenvolvimento da Interface e Protocolo de Testes

Para a interação do usuário, foi desenvolvido um **Painel de Gerenciamento Web** com **Next.js** (VERCEL, 2025) e **React** (META, 2025), tecnologias escolhidas pela alta performance e pela componentização. A validação final ocorreu através de um piloto executado na Fábrica de Inovação do IFMA.

Para quantificar o desempenho do sistema, foi estabelecido um protocolo de testes. Utilizaram-se 10 provas com tags RFID únicas. O experimento consistiu em múltiplos ciclos, envolvendo: (1) posicionamento de todas as 10 provas na área de cobertura; (2) verificação da detecção de todas as provas (Verdadeiros Positivos - VP); (3) remoção aleatória de um subconjunto de provas; (4) verificação do registro correto da ausência das provas removidas (Verdadeiros Negativos - VN) e da permanência das restantes. A métrica de acurácia foi calculada pela fórmula:  $Acurácia = (VP + VN) / (VP + VN + FP + FN)$ , onde FP representa os Falsos Positivos e FN os Falsos Negativos.

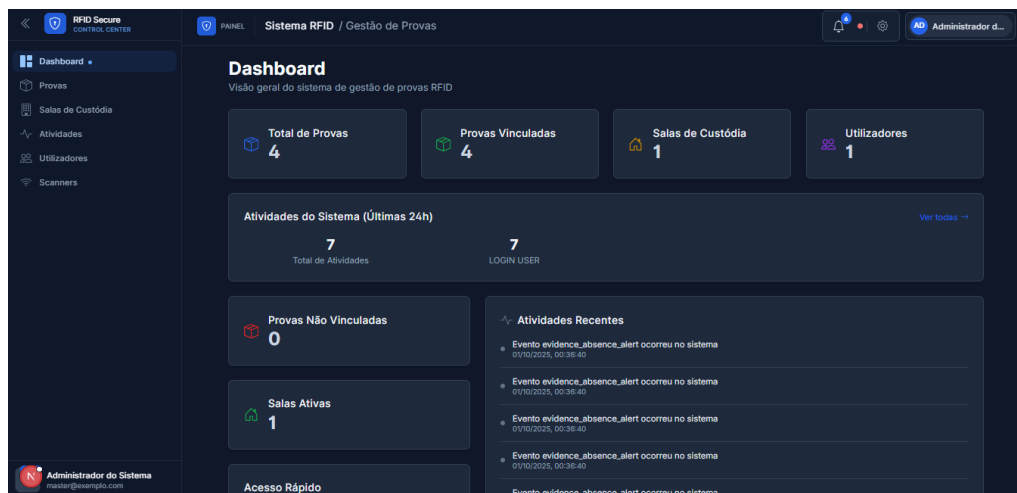
### Resultados e Discussão



O projeto resultou em um protótipo integrado e funcional. Nos testes iniciais, o sistema apresentou uma acurácia de 70%, limitada por instabilidades na comunicação. A reestruturação da infraestrutura de rede e a implementação do broker MQTT foram fundamentais para eliminar esses gargalos. Com a comunicação estabilizada, foi possível diagnosticar que o principal desafio remanescente era a ocorrência de "falsos positivos".

A fase de piloto foi crucial para a validação da solução. Os testes permitiram identificar que os falsos positivos eram causados por um atraso na atualização de status no software. Um ajuste no algoritmo, reduzindo o tempo de reação do sistema para registrar a ausência de uma tag, mitigou significativamente o problema. Ao final do piloto, o sistema alcançou uma **taxa de acurácia de 95%**.

Figura 3 – Dashboard principal do Painel de Monitoramento Web



Fonte: Autoria própria (2025).

A acurácia de 95% indica que a solução é tecnicamente viável para implementação real. Os 5% de imprecisão residual são atribuídos, hipoteticamente, a fatores como a sobreposição de sinais de RF em ambientes com alta densidade de tags, indicando um caminho para otimizações futuras. A arquitetura modular e o uso de tecnologias abertas validam a proposta e abrem caminho para futuras expansões. Adicionalmente, discute-se a possibilidade de disponibilizar o código-fonte do projeto como *open source*, o que poderia acelerar a adoção de tecnologias similares em outras instituições forenses.

## Conclusões

O objetivo de desenvolver e validar um protótipo para o rastreamento de provas forenses com tecnologia RFID foi alcançado com sucesso. O sistema integrado demonstrou ser uma ferramenta eficaz, atingindo 95% de acurácia em ambiente de laboratório. Conclui-



se que a tecnologia proposta representa um avanço significativo em relação aos processos manuais, oferecendo potencial para aumentar a segurança e a agilidade na gestão da cadeia de custódia. Os próximos passos incluem o refinamento do algoritmo e a implementação de um piloto no ambiente real do ICRIM.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) pelo suporte estrutural e científico, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo fomento que viabilizou a execução deste projeto.

### **Referências**

CORRÊA, B. G. A.; BARONE, M. L. Cadeia De Custódia E Sua Relevância Na Persecução Penal. **Revista Jurídica Da Escola Superior Do Ministério Público De São Paulo**, v. 22, p. 22-48, 30 jun. 2023.

DOCKER. **Docker Documentation**. 2025. Disponível em: <https://docs.docker.com/>. Acesso em: 1 out. 2025.

EXPRESSJS. **Express - Node.js web application framework**. 2025. Disponível em: <https://expressjs.com/>. Acesso em: 1 out. 2025.

LI, Y.; XU, H.; LI, P. RFID-Based WIMEC-LANDMARC Indoor Location Algorithm. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERNET OF THINGS (ITHINGS)*, 2020, Rhodes. **Anais... IEEE**, 2020. p. 1-6.

MENEZES, I. A. de; BORRI, L. A.; SOARES, R. J. A quebra da cadeia de custódia da prova e seus desdobramentos no processo penal brasileiro. **Revista Brasileira de Direito Processual Penal**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 277-300, 2018.

META. **React Documentation**. 2025. Disponível em: <https://react.dev/>. Acesso em: 1 out. 2025.

MQTT. **MQTT Version 5.0**. OASIS Standard, 2019. Disponível em: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/os/mqtt-v5.0-os.html>. Acesso em: 1 out. 2025.

NODE.JS FOUNDATION. **Node.js Documentation**. 2025. Disponível em: <https://nodejs.org/en/docs>. Acesso em: 1 out. 2025.

POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP. **PostgreSQL: Documentation**. 2025. Disponível em: <https://www.postgresql.org/docs/>. Acesso em: 1 out. 2025.

SOUSA, L. et al. INEXT: A Computer System for Indoor Object Location using RFID.



In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais (SBESC), 2023.**