CAMPUS TELEMETRY: UMA PLATAFORMA DE TELEMETRIA APLICADA À GERAÇÃO SOLAR NO IFSP CÂMPUS BOITUVA

Do monitoramento fotovoltaico à integração de dispositivos e sensores do câmpus

Trilha do Trabalho: ( ) Ensino ( ) Extensão (X) Pesquisa

Eric Miranda Sousa[1]
Daniel Cintra Cugler[2]

O acompanhamento da geração fotovoltaica no IFSP Câmpus Boituva exige reunir dados de equipamentos que utilizam formas distintas de comunicação e representação, dificultando a centralização das medições em uma plataforma única de monitoramento. Centralizar essas informações é importante para acompanhar a geração, manter um histórico das medições e facilitar a identificação de falhas ou interrupções no envio dos dados. Esse processo é desafiador porque os equipamentos podem utilizar diferentes protocolos, registradores, formas de endereçamento, escalas e representações dos dados. Para enfrentar esse problema, foi desenvolvido o Campus Telemetry, uma plataforma modular que utiliza adaptadores de software para encapsular as particularidades de cada equipamento e converter suas leituras para uma representação comum. As medições seguem um contrato comum e são transmitidas por MQTT, protocolo baseado no modelo de publicação e assinatura, para armazenamento em banco de dados PostgreSQL e visualização em dashboards. A plataforma combina cadastro automático de dispositivos e métricas com o armazenamento de medições estruturadas e das mensagens recebidas, permitindo que equipamentos com diferentes formas de comunicação compartilhem a mesma cadeia de ingestão e persistência. Também disponibiliza recursos de administração e geração de alertas. A validação combinou a operação real com cinco inversores de dois fabricantes, integrados por mecanismos de comunicação distintos, com dispositivos simulados em cenários de teste e verificações automatizadas de cadastro, persistência e tratamento de entradas inválidas. Os resultados demonstram que inversores com mecanismos distintos de comunicação podem compartilhar o mesmo fluxo de normalização, transmissão e armazenamento, fornecendo uma base para a incorporação de novos equipamentos do câmpus.

Palavras-chave: Telemetria. Internet das Coisas. Monitoramento fotovoltaico. MQTT. Integração de dispositivos.

INTRODUÇÃO

O monitoramento de equipamentos por meio da Internet das Coisas (IoT) permite reunir dados de diferentes fontes e construir históricos que apoiam o acompanhamento de recursos e a identificação de falhas. Barros et al. (2025), por exemplo, apresentam uma aplicação de monitoramento de energia e água em ambiente laboratorial. No IFSP Câmpus Boituva, a necessidade de acompanhar a geração da usina fotovoltaica motivou a criação do Campus Telemetry, com o objetivo de centralizar as medições e permitir sua consulta ao longo do tempo.

Essa integração é desafiadora porque equipamentos de diferentes fabricantes podem utilizar protocolos, registradores, formas de endereçamento e escalas distintas. Para evitar que essas particularidades se propaguem pelo restante do sistema, a plataforma utiliza adaptadores de software, responsáveis por interpretar a comunicação de cada equipamento e converter suas leituras para uma representação comum. Essa abordagem permite separar as particularidades da aquisição do restante do fluxo de telemetria.

Para a comunicação entre os componentes, adotou-se o protocolo MQTT, baseado no modelo de publicação e assinatura, que desacopla as aplicações responsáveis pelo envio e pelo recebimento das mensagens (MQTT.ORG, s.d.). D'Ortona, Tarchi e Raffaelli (2022) apresentam o uso desse protocolo na integração entre sensores e visualização em aplicações de IoT. No Campus Telemetry, essa comunicação é

[1] Instituto Federal de São Paulo Câmpus Boituva / Discente do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas. E-mail: eric.sousa@aluno.ifsp.edu.br

[2] Instituto Federal de São Paulo Câmpus Boituva / Docente na área de Ciência da Computação. E-mail: danielcugler@ifsp.edu.br

associada a um contrato comum de mensagens, cadastro automático de dispositivos e métricas bem como ao armazenamento compartilhado, buscando permitir que equipamentos com diferentes formas de comunicação utilizem a mesma cadeia de ingestão e persistência.

OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo principal desenvolver e implantar uma plataforma de telemetria para monitorar a geração solar no IFSP Câmpus Boituva, integrando inversores com diferentes protocolos e características de comunicação e permitindo a incorporação de outros equipamentos.

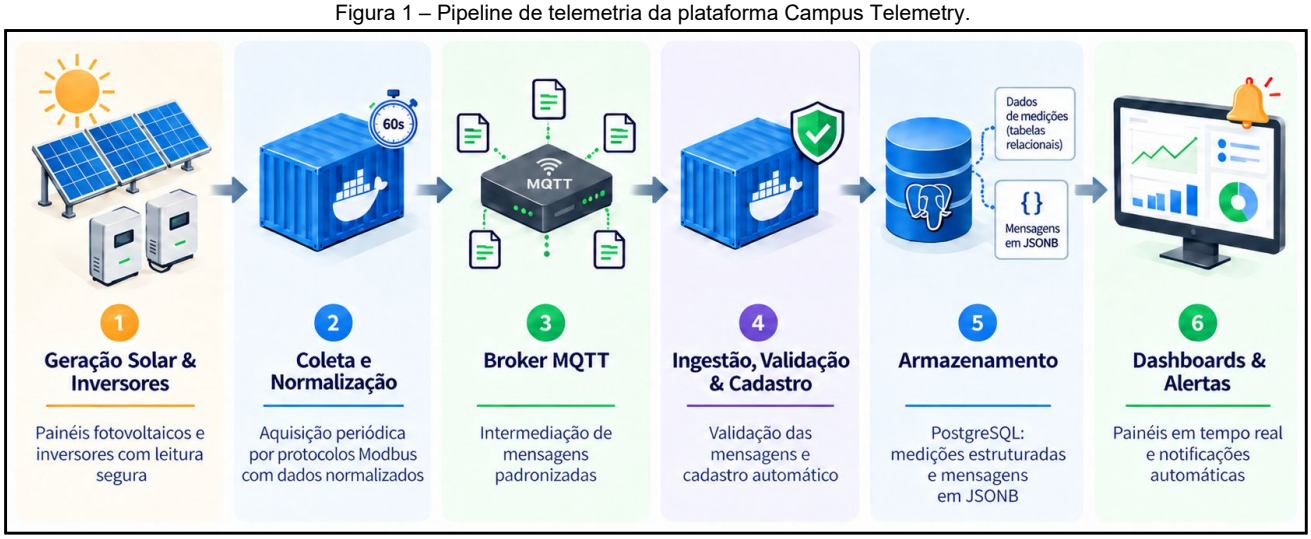
De forma específica, busca-se normalizar as leituras por meio de adaptadores de software, organizar a comunicação a partir de um contrato comum, cadastrar automaticamente dispositivos e métricas, armazenar suas medições e disponibilizar recursos de administração, visualização em dashboards e geração de alertas.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento foi organizado em um monorepo, que reúne os aplicativos de coleta (inverter-to-mqtt), persistência (mqtt-to-db), administração (admin) e simulação (mqtt-device-simulator). Os módulos utilizam Node.js e TypeScript e compartilham bibliotecas do contrato MQTT e de acesso ao banco de dados. Para implantação, utilizou-se Docker Compose, ferramenta para definição e execução de aplicações com múltiplos containers (DOCKER, s.d.), mantendo separados os aplicativos e os serviços Mosquitto MQTT, PostgreSQL e Grafana.

No aplicativo de coleta, adaptadores de software encapsulam as particularidades de comunicação de cada tipo de inversor e convertem suas leituras para uma representação comum. Nos inversores Solis, requisições Modbus RTU são encapsuladas pelo protocolo proprietário Solarman V5 e transportadas via TCP, utilizando uma biblioteca de código aberto baseada na implementação comunitária do protocolo (MCCROHAN, 2024). Nos inversores SAJ, a comunicação ocorre diretamente por Modbus TCP. O protocolo Modbus é utilizado na comunicação entre dispositivos de automação (MODBUS ORGANIZATION, 2012), enquanto os adaptadores tratam registradores, endereços de registradores, fatores de escala e composição de valores. As leituras são então convertidas em métricas padronizadas de potência, energia, tensão, corrente, temperatura e estado. Assim, equipamentos com mecanismos distintos de comunicação convergem para a mesma interface utilizada pelo restante do coletor. A Figura 1 apresenta o fluxo geral de dados entre os principais componentes da plataforma.

Figura 1 – Pipeline de telemetria da plataforma Campus Telemetry.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

As mensagens são publicadas no Mosquitto MQTT, broker que intermedia a comunicação entre o aplicativo de coleta e o serviço de persistência. O consumidor verifica o contrato e, na primeira mensagem válida, cadastra automaticamente o dispositivo e as métricas ainda desconhecidas. Nos envios seguintes,

associa as medições ao cadastro existente. Dessa forma, novos dispositivos compatíveis podem utilizar a mesma lógica de persistência sem alterações específicas no consumidor.

O banco de dados PostgreSQL combina armazenamento relacional com o tipo JSONB, recurso nativo que permite armazenar documentos JSON e consultar seus campos em conjunto com dados estruturados por meio de SQL. Dispositivos, métricas e medições são mantidos de forma relacional para consultas recorrentes dos dashboards, enquanto as mensagens recebidas são preservadas em JSONB para inspeção e análise.

A plataforma também dispõe de um painel administrativo autenticado para consulta e gerenciamento básico de dispositivos, métricas e configurações. O Grafana consulta as medições para apresentar a geração solar em dashboards e emitir alertas automáticos sobre condições anômalas identificadas no fluxo de telemetria.

Para os testes, utilizou-se o aplicativo mqtt-device-simulator, responsável por publicar leituras fictícias de dispositivos e permitir a avaliação do cadastro e da persistência independentemente dos inversores reais. Seu uso considera as limitações próprias de cenários simulados em IoT (Almutairi; Bergami; Morgan, 2024). Testes automatizados complementares verificam mensagens JSON inválidas, tópicos fora do padrão, métricas e valores incompatíveis, persistência e retomada após desconexões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A plataforma encontra-se em operação no servidor do câmpus, realizando atualmente a coleta de cinco inversores de dois fabricantes. Embora esses equipamentos utilizem mecanismos distintos de comunicação, seus dados são normalizados e seguem o mesmo fluxo de transmissão via MQTT, persistência em PostgreSQL e visualização no Grafana. Os dashboards apresentam atualmente potência, energia registrada no dia, evolução da potência e última atualização dos equipamentos monitorados. Os alertas também foram verificados em ensaios locais, incluindo disparo, recuperação e envio de notificações por e-mail.

A integração do segundo tipo de inversor permitiu avaliar a organização por adaptadores em condições reais. Apesar das diferenças na aquisição dos dados, ambos os tipos de equipamento convergem para a mesma representação de telemetria. A nova integração exigiu adaptações na camada de coleta, mas não demandou lógica específica no consumidor MQTT nem alterações na estrutura de armazenamento do PostgreSQL. Esse resultado reforça a separação entre as particularidades dos equipamentos e as demais etapas do fluxo de telemetria.

O cadastro automático também foi verificado com dispositivos simulados, cujas métricas foram incorporadas ao armazenamento e associadas aos envios posteriores sem alterações específicas no consumidor. A combinação entre o armazenamento relacional das medições e a preservação das mensagens em JSONB mantém os dados estruturados disponíveis para os dashboards e, simultaneamente, permite a inspeção das mensagens recebidas. Nos testes automatizados, entradas inválidas foram rejeitadas sem comprometer o processamento das mensagens válidas posteriores.

Os resultados demonstram o funcionamento da arquitetura proposta com equipamentos que apresentam características distintas de comunicação. Entretanto, a avaliação de disponibilidade, desempenho e perdas em operação prolongada permanece como etapa futura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Campus Telemetry demonstrou a viabilidade de uma arquitetura modular de telemetria, tendo como primeira aplicação o monitoramento da geração solar no IFSP Câmpus Boituva. A integração de inversores com diferentes características de comunicação confirmou a utilidade dos adaptadores de software e do contrato comum de mensagens para normalizar e encaminhar as medições por um mesmo fluxo de armazenamento e visualização.

Como continuidade, prevê-se incorporar novos equipamentos, ampliar os critérios de alerta e aprofundar a análise do histórico de operação. Essas etapas permitirão ampliar a aplicação da plataforma e avaliar seu comportamento em diferentes condições de operação.

REFERÊNCIAS

ALMUTAIRI, Reham; BERGAMI, Giacomo; MORGAN, Graham. Advancements and challenges in IoT simulators: a comprehensive review. *Sensors*, v. 24, n. 5, art. 1511, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/s24051511.

BARROS, Natália Nakamura; DIAS, Aran Montalvão; RUSCHEL, Regina Coeli; XIMENES, Talía Simões dos Santos. Monitoramento por IoT para avaliação de consumo de energia e água de ambiente laboratorial. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 25, e138018, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212025000100843.

D'ORTONA, Cristian; TARCHI, Daniele; RAFFAELLI, Carla. Open-source MQTT-based end-to-end IoT system for smart city scenarios. *Future Internet*, v. 14, n. 2, art. 57, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/fi14020057.

DOCKER. Docker Compose. Docker Docs. Disponível em: https://docs.docker.com/compose/. Acesso em: 14 set. 2026.

MCCROHAN, Jonathan. Solarman V5 Protocol. *pysolarmanv5 documentation*, 2024. Disponível em: https://pysolarmanv5.readthedocs.io/en/stable/solarmanv5_protocol.html. Acesso em: 14 set. 2026.

MODBUS ORGANIZATION. MODBUS Application Protocol Specification V1.1b3. 26 abr. 2012. Disponível em: https://www.modbus.org/modbus-specifications. Acesso em: 14 set. 2026.

MQTT.ORG. MQTT: The Standard for IoT Messaging. Disponível em: https://mqtt.org/. Acesso em: 14 set. 2026.