

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

ELEVANDO UMA SOLUÇÃO EM IOT PARA TRL 4: O CASO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE CONDICIONADORES DE AR SPLIT POR MEIO DE REDES DE COMPUTADORES

MARCO AURELIO MORAIS ALVES¹, OSVANDRE ALVES MARTINS²

¹ Aluno do curso de Bac. em Engenharia Elétrica, IFSP, Campus Votuporanga, marcoaureliomoraissalves12@gmail.com.

² Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, IFSP, Campus Votuporanga, osvandre@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.03.04.00-2 - Sistemas de Computação.

RESUMO: Diante de oportunidades de conexão abrangentes, proporcionadas pelas tecnologias da Internet das Coisas, iniciou-se em 2017 o desenvolvimento da **ControlAR**, uma solução tecnológica voltada a proporcionar o controle centralizado, remoto e, em alguns casos, simultâneo, de condicionadores de ar do tipo *split*, a partir das estações de uma rede de computadores. Os resultados obtidos até o ano de 2024 se referem a especificações, esboços e protótipos de componentes que possibilitam classificar a maturidade da solução no nível TRL (*Technology Readness Level*) 3. Neste, provas de conceito em laboratório, envolvendo análises experimentais de funções críticas dos componentes, foram realizadas, estrategicamente, sem se preocupar com aspectos de sua integração. Este documento apresenta informações acerca do andamento de esforços referentes a mais uma iteração de trabalhos, agora com foco na elevação da referida maturidade da solução para o nível TRL 4 em que se mostra, ainda em laboratório, que as partes são capazes de operar em conjunto. Para tanto, busca-se apoio em métodos, técnicas e ferramentas da engenharia de sistemas, bem como em modelos e tecnologias de comunicação em IoT, para colocar a ControlAR em condições de ser submetida a validação em ambiente relevante, requisito para se alcançar os próximos níveis da escala de maturidade tecnológica.

PALAVRAS-CHAVE: controle de condicionadores de ar; internet das coisas; tecnologias de comunicação; integração de sistemas; nível de maturidade tecnológica.

RAISING AN IOT SOLUTION TO TRL 4: THE CASE OF A SYSTEM FOR SPLIT AIR CONDITIONER CONTROL THROUGH COMPUTER NETWORKS

ABSTRACT: Given the broad connectivity opportunities afforded by Internet of Things technologies, in 2017 was started the development of the ControlAR, a technological solution designed to provide centralized, remote, and, in some cases, simultaneous control of split-system air conditioners from stations within a computer network. The results achieved through 2024 include specifications, sketches, and component prototypes that enable the solution to be classified as TRL (*Technology Readness Level*) 3. In this stage, laboratory proof-of-concepts, involving experimental analyses of critical component functions, were strategically performed without regard to integration aspects. This document presents progress information on another iteration of work, now focused on elevating the solution's readiness to TRL 4, demonstrating, still in laboratory, that the components

are capable of operating together. To this end, support is sought in systems engineering methods, techniques and tools, as well as in IoT communication models and technologies, to place ControlAR in a position to be subjected to validation in a relevant environment, a requirement to reach the next levels of the technological maturity scale.

KEYWORDS: air conditioning control; internet of things; communication technologies; systems integration; technology readiness level.

INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*), representa um fenômeno tecnológico emergente e transformador da vida das pessoas. Dele emergem oportunidades e desafios à área de TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação), favorecendo a criação de dispositivos de baixo custo capazes de coletar dados, interagir uns com os outros e tirar vantagem de serviços Web e do armazenamento de dados em nuvem. Diante disso, membros da comunidade *Maker* ao redor do mundo têm apresentado iniciativas fascinantes que transformam objetos do cotidiano em dispositivos ditos “inteligentes”, dotados de sensores e atuadores (Schwartz, 2016, p. V). Com base na comunicação entre esses dispositivos, por meio de uma ampla rede de computadores, produzem-se oportunidades de conexão e, logo, integração de tecnologias interativas, contribuindo para aumento da eficiência de trabalho e funcionalidades dos dispositivos (Morgan, 2014).

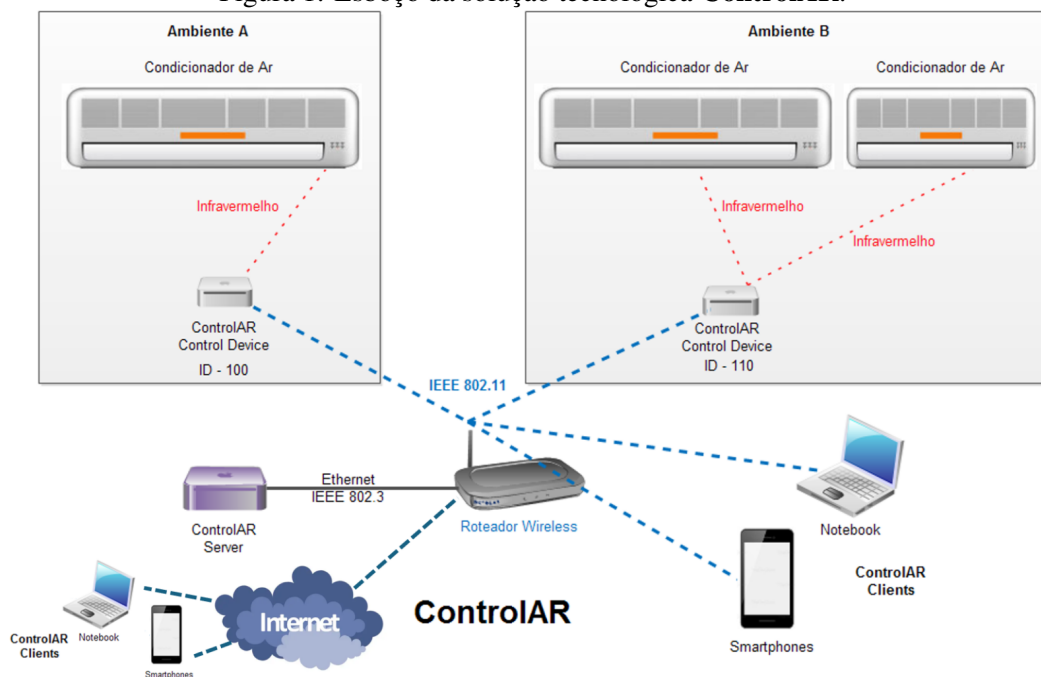
No contexto de possibilidades de integração de dispositivos, considere o caso de instalações residenciais, comerciais, industriais, escolas e repartições públicas de países com clima tropical, como o Brasil, em que é comum o uso de Condicionadores de Ar (CA) do tipo Split operáveis a partir de aparelhos de Controle Remoto (CR) específicos. Determinados casos compreendem uma variedade de marcas e modelos de CA em diferentes setores ou repartições e quando seus CR apresentam defeito ou não se mostram disponíveis, transtornos podem emergir, incluindo a impossibilidade de operação. Diante desses possíveis casos e de oportunidades de conexão pela IoT, iniciou-se em 2017 uma série de ações consecutivas ao desenvolvimento da **ControlAR**, uma solução tecnológica que visa proporcionar a operação de CA centralizada, à distância, por grupos e a partir de estações de trabalho ou outros dispositivos conectados a uma rede de computadores. O diagrama ilustrado na Figura 1 apresenta o esboço desta solução, possibilitando o entendimento de sua macroestrutura em termos de dispositivos, ligações e tecnologias fundamentais de conexão, bem como do seu funcionamento esperado.

Notem-se os ambientes A e B, sendo A equipado com um CA e B equipado com dois CA, podendo estes ser de diferentes marcas e modelos. Neste caso, um usuário, a partir de um **ControlAR Client** (computador pessoal, tablet ou smartphone), poderá comandar parte ou todos os CA por meio de uma única ação na **ControlAR** que se encarregará de hierarquizar/agrupar os ambientes, possibilitando o controle de grupos maiores ou menores de CA. Para tanto, percebe-se, em cada ambiente, a presença de dispositivos **ControlAR Control Devices (ControlAR CD)**, projetados para se conectar a uma rede de computadores por meio de tecnologias associadas aos padrões IEEE 802.3 (Ethernet) e IEEE 802.11 (WiFi) e aos aparelhos CA por meio da tecnologia infravermelho. Desta forma, os **ControlAR CD** representam *gateways* de comunicação entre a **ControlAR** e os CA presentes em determinado ambiente, podendo, mediante seleção de modo, a “aprendizagem” de comandos (leitura de sinais de CR específicos de CA, seguida da transmissão e catalogação no **ControlAR Server**) ou a transmissão de comandos para os CA.

Para viabilizar a comunicação entre os dispositivos da **ControlAR (ControlAR Server, ControlAR Devices e ControlAR CD)** e se for o caso com a Internet, note-se a presença de um Roteador Wireless como parte de uma infraestrutura de rede de computadores convencional.

O desenvolvimento da **ControlAR** envolve uma série de desafios interdisciplinares que vêm sendo vencidos

Figura 1: Esboço da solução tecnológica **ControlAR**.



desde 2017 e contaram até então com os trabalhos de Oliveira, Souza e Martins (2017), Silva e Martins (2018) e Reis e Martins (2021). Os resultados anteriores tornam possível enquadrar a maturidade da solução no nível 3 da escala TRL (*Technology Readness Levels*), apresentada por Mankins (1995), uma vez que experimentos analíticos e provas de conceitos de características de seus componentes foram realizadas em ambiente de laboratório, visando a verificação e a validação de seus projetos, sem se preocupar, ainda, com questões de integração, o próximo passo esperado para evolução na escala TRL.

Dando continuidade aos desenvolvimentos, neste ano de 2025 encontra-se em andamento mais uma iteração, agora com foco exclusivo na progressão da maturidade da **ControlAR** para nível TRL 4 em que, segundo Mankins (1995), os elementos tecnológicos da solução devem ser efetivamente integrados, viabilizando, finalmente, a execução de ações pertinentes ao alcance do nível TRL 5 que se refere a validação em ambiente relevante. Neste caso, um forte candidato é o ambiente de um dos Campus do IFSP. Neste sentido, figuram entre os objetivos específicos obter versões atualizadas de artefatos de especificação e de desenho, conceber um projeto de comunicação baseado em tecnologias da IoT, evoluir os protótipos do **ControlAR CD** e do **ControlAR Server** e obter indícios do seu funcionamento efetivamente integrado.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de execução do projeto considera a aplicação conjunta de conceitos, métodos, técnicas e ferramentas de **Engenharia de Sistemas**, aliados às da **Metodologia do Trabalho Científico** e da **Gestão Ágil de Projetos**. A aplicação da **Metodologia do Trabalho Científico** se ampara nas definições e técnicas relatadas por Prodanov e Freitas (2013) e por Severino (2002). No tocante a **Gestão Ágil de Projetos**, considera-se a aplicação da metodologia SCRUM (SCRUMSTUDY, 2022). Quanto a **Engenharia de Sistemas** no contexto de soluções em IoT envolvendo *hardware* e *software* específicos, conta-se com o suporte das obras de Lacamera (2018), para questões de arquitetura de solução e Douglass (2004) para questões de modelagem de sistemas com a UML (*Unified Modeling Language*).

As técnicas de pesquisa científica possuem atenção e permeiam a execução das atividades, seguindo também orientações provenientes de um processo de desenvolvimento de sistemas que preza pelo trabalho iterativo e

incremental, no caso o RUP, descrito, por exemplo, por Kroll e Kruchten (2003). Salienta-se o emprego do RUP se reduz a referencial teórico, influenciando algumas práticas e a produção de artefatos.

Quanto aos aspectos de solução em IoT a produção vem se apoiando nas obras de Oner (2021), Waher (2018) e Schwartz (2016). Quanto a modelos e tecnologias de comunicação de dados, considera-se a aplicação do protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), contando com o suporte das obras de Parikh (2022) e Pulver (2019). Ainda no tocante à comunicação de dados, porém no contexto de comandos de CA, estudos e explorações sobre a comunicação por infravermelho vêm sendo conduzidos com base nos trabalhos correlatos de Wang (2019), ANALYSIR (2014) e Calixto ([s.d.]).

Os protótipos e os artefatos produzidos na iterações anteriores vêm sendo explorados, principalmente os documentos de definição e os códigos de programação das porções de software do ControlAR Server e do ControlAR CD. Nestes casos diante da necessidade de lidar com programação para Web e programação de software embarcado em *Single Board Microcontroller* (SBM), as obras de Nixon (2021) e Oliveira (2021) têm oferecido suporte inicial.

Por fim, apresenta-se uma abordagem baseada em fases de processo de desenvolvimento de sistemas que vem sendo empregada para aplicar os métodos, as técnicas e os materiais citados, definindo focos em momentos específicos. Esta abordagem considera atividades de: **Iniciação** ao projeto (ambientação da equipe de trabalho); **Especificação** da integração a ser realizada; **Desenho** técnico de aplicação de tecnologias em IoT; **Prototipagens** relativas à integração dos componentes **ControlAR CD** e **ControlAR Server**; e **Conclusão** dos trabalhos por meio de análise de resultados das prototipagens e produção de documentação técnica.

Por meio dos detalhes da metodologia apresentada, percebe-se que a iniciativa em andamento envolve atividades de cunho técnico e científico incluindo pesquisas bibliográficas, especificação de sistema, estudos, explorações de tecnologias, desenhos técnicos de sistemas em hardware e em software, prototipagens, testes e análise de resultados. Tais atividades se alinham a pesquisas que se classificam como aplicadas, exploratórias e de estudo de caso, voltadas ao desenvolvimento de possíveis soluções inovadoras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as fases de processo descritas anteriormente e o andamento de atividades relativas a estas fases, citam-se resultados parciais referentes à iniciação, a especificação e o desenho da solução de integração pretendida para os componentes da ControlAR.

Em termos de **Iniciação**, destaca-se o levantamento das informações, por meio de revisão bibliográfica de artefatos relativos ao histórico de desenvolvimento da ControlAR, sobre as abordagens, as ferramentas, as tecnologias e os resultados das iterações anteriores, tomando ciência do estado da arte ou da técnica de seu desenvolvimento.

Por meio da realização de testes funcionais das versões mais recentes dos protótipos de componentes da **ControlAR** em nível TRL 3, produziu-se um levantamento de defeitos, incompletudes e necessidades de melhorias em aspectos de hardware e de software embarcado no **ControlAR CD** e nas porções *front-end* (interfaces de usuário) e *back-end* (implementação de serviços Web e modelagem de Banco de Dados) do **ControlAR Server**. Na ocasião, pequenos ajustes foram realizados corrigindo alguns defeitos e produzindo versões funcionais ligeiramente melhoradas e já envolvendo avanços rumo à integração dos componentes, contudo, mantendo as características estruturais e tecnológicas estabelecidas nas iterações anteriores, em outras palavras, sem a aplicação de modelos e tecnologias que favoreçam questões como robustez e segurança, por exemplo. Este contato e a identificação de defeitos e incompletudes, favoreceram a produção de artefatos de **Especificação** da **ControlAR** em nível TRL 4, direcionando estudos que seriam iniciados, em sequência, para viabilizar o desenho

dos aspectos de integração.

Deu-se início, portanto, a fase **Desenho** envolvendo pesquisas e estudos acerca de modelos e tecnologias de comunicação em IoT. Neste sentido, obteve-se conhecimento de conceitos inerentes ao protocolo MQTT, seguido da sua exploração por meio da ferramenta Eclipse Mosquitto, contando com o suporte das obras de Parikh (2022) e Pulver (2019). Destacam-se, neste sentido, o conhecimento de detalhes do modelo de comunicação *Publish/Subscriber* e os principais elementos envolvidos em sua implementação como os *brokers*, responsáveis por receber mensagens produzidas pelos dispositivos declarados como *publishers* e distribuí-las aos dispositivos declarados como *subscribers*, conforme tópicos (*topics*) pré-definidos e de interesse destes. Assim, os trabalhos de desenho continuam no sentido de evoluir os componentes do **ControlAR CD** e do **ControlAR Server** absorvendo este modelo e outras melhorias em termos de usabilidade, confiabilidade e novas funcionalidades.

Como próximos passos citam-se implementações dos desenhos trabalhados, produzindo protótipos funcionais, capazes de serem submetidos e a testes de integração efetiva. Por fim, citam-se providências futuras quanto a conclusão da documentação necessária a futuras iterações de desenvolvimento da solução ControlAR, no sentido de conduzi-la aos próximos níveis da escala TRL.

CONCLUSÕES

Este documento buscou apresentar indícios da realização de pesquisas, estudos, explorações e atividades de desenvolvimento tecnológico capazes de elevar a maturidade da solução tecnológica ControlAR, voltada a proporcionar o controle integrado e facilitado de conjuntos de condicionadores de ar do tipo Split, para o nível TRL 4 que preza pelo funcionamento integrado das partes que a compõem. Destacam-se a obtenção de conhecimentos fundamentais à concepção do projeto de comunicação entre os componentes desta solução, bem como a produção de especificações e desenhos importantes aos próximos passos da trajetória planejada. Ademais, acredita-se, por meios dos ajustes realizados em versões de software produzidas nas iterações anteriores, durante o levantamento do estado da técnica da ControlAR, e que resultaram em comunicações iniciais entre os componentes, que se esteja em caminho promissor rumo o alcance dos objetivos determinados.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

O.A.M. contribuiu com a definição do tema e do escopo, bem como com a orientação do trabalho. M.A.M.A. se encarregou da realização das atividades de pesquisa, estudo, exploração, registros, análises e produção de relatos associados. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao IFSP pelo suporte aos trabalhos por meio do PIBIFSP.

REFERÊNCIAS

ANALYSIR. Blog, **Air Conditioners: Recording long Infrared Remote control signals with Arduino**. 2014. Disponível em: <<https://www.analysir.com/blog/2014/03/19/air-conditioners-problems-recording-long-infrared-remote-control-signals-arduino/>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

CALIXTO, D. Fórum, **Ar Condicionado Controlado Por Arduino, Via Infravermelho E Com Medição De Temperatura**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.instructables.com/id/Ar-Condicionado-controlado-por-Arduino-via-infrave/>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

- DOUGLASS, B. P. **Real time UML: advances in the UML for real-time systems**. 3. ed. Boston: Pearson Education, 2004.
- KROLL, P.; KRUCHTEN, P. **The Rational Unified Process Made Easy: A Practitioner's Guide to the RUP**. Boston, MA: Addison-Wesley Professional, 2003.
- LACAMERA, D. **Embedded Systems Architecture: Explore architectural concepts, pragmatic design patterns, and best practices to produce robust systems**. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2018.
- MANKINS, J. C. **Technology Readiness Levels**. [S.l.]: Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, NASA, 1995.
- MORGAN, J. **A simple explanation of the Internet of Things**. 2014. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyone-can-understand/>>. Acesso em: 1 jul. 2024.
- NIXON, R. **Learning PHP, MySQL & JavaScript**. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2021. ISBN 978-1-4920-9379-4.
- OLIVEIRA, C. R.; SOUZA, J. V. A.; MARTINS, O. A. Controlar: um sistema controle de condicionadores de ar a partir de dispositivos de redes de computadores. In: . Cubatão-SP: IFSP, 2017. Disponível em: <<http://ocs.ifsp.edu.br/index.php/conict/8cic/paper/view/2776/170>>. Acesso em: 1 ago. 2025.
- OLIVEIRA, S. d. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi - 2ª edição**. São Paulo: Novatec Editora, 2021. ISBN 978-65-86057-35-5.
- ONER, V. O. **Developing IoT Projects with ESP32: Automate Your Home Or Business with Inexpensive Wi-Fi Devices**. [S.l.]: Packt Publishing 2021, 2021.
- PARIKH, D. **Raspberry Pi and MQTT Essentials: A complete guide to helping you build innovative full-scale prototype projects using Raspberry Pi and MQTT protocol**. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2022.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- PULVER, T. **Hands-On Internet of Things with MQTT: Build connected IoT devices with Arduino and MQ Telemetry Transport (MQTT)**. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2019.
- REIS, N. B. D.; MARTINS, O. A. **Avanços no desenvolvimento do ControlAR-CD: O dispositivo de interface de uma solução em IoT para controle integrado de conjuntos de condicionadores de ar do tipo Split**. 2021. Disponível em: <<https://ocs.ifsp.edu.br/conict/xiiconict/paper/view/7485/2479>>. Acesso em: 12 set. 2025.
- SCHWARTZ, M. **Internet of Thing with Arduino Cookbook**. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2016.
- SCRUMSTUDY. **Um guia para o conhecimento em Scrum (Guia SBOK)**. 4. ed. Avondale: VMEdU, 2022. Disponível em: <<http://www.scrumstudy.com>>. Acesso em: 6 agosto, 2025.
- SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2002.
- SILVA, R. A.; MARTINS, O. A. **Aprimoramento e evolução da Interface Humano-Computador e da porção servidora do ControlAR - uma solução em Internet das coisas para controle de condicionadores de ar**. Boituva: [s.n.], 2018. Disponível em: <<http://ocs.ifsp.edu.br/index.php/conict/9-conict>>. Acesso em: 1 ago. 2025.
- WAHER, P. **Mastering Internet of Things: Design and create your own IoT applications using Raspberry Pi 3**. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2018.
- WANG, K. **Indoor Infrared Optical Wireless Communications: Systems and Integration**. Boca Raton: CRC Press, 2019. ISBN 1-000-76573-3 978-1-000-76573-1.