

# Proposta de implantação de um sistema ciber-físico para um Smart Parking baseado em agentes inteligentes

Pedro W. Botelho<sup>1</sup>, André P. Borges<sup>1</sup>, Gleifer V. Alves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento Acadêmico de Informática – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Ponta Grossa – PR – Brasil

pbotelho@alunos.utfpr.edu.br, {apborges,gleifer}@utfpr.edu.br

**Abstract.** *Smart Parking systems are being used to manage and allocate parking lots in several cities. These systems aim to reduce urban traffic by helping drivers to find a place to park. To assist them with this task it is recommended to use intelligent agents, and in order to act and communicate with a cyberphysical system, these agents find it necessary to use boards and sensors to process information. This paper proposes an architecture that will use Raspberry Pi to embed agents in a Smart Parking and ESP-12e to capture information. As a result, the integration between agents developed in JADE framework and the studied cyberphysical system is expected.*

**Resumo.** *Sistemas para estacionamentos inteligentes estão sendo utilizados no gerenciamento e alocação de vagas em diversas cidades. Estes sistemas visam a redução do tráfego urbano auxiliando os motoristas na busca por vagas. Para auxiliar-los nesta tarefa é recomendado fazer o uso de agentes inteligentes e para que tais agentes possam atuar e se comunicar no sistema ciber-físico é necessário utilizar placas e sensores para processar informações. Neste trabalho é proposto uma arquitetura que utilizará Raspberry Pi na implantação dos agentes e ESP-12e para capturar as informações. Espera-se, como resultado a integração dos agentes desenvolvidos no framework JADE com o sistema ciber-físico estudado.*

## 1. Introdução

Um *smart parking* (em português, estacionamento inteligente) é um sistema de estacionamento que auxilia os motoristas a encontrar vagas para estacionar. Para isso, é necessário utilizar sensores que detectam se há ou não um veículo estacionado e, então, o sistema direciona o motorista para a vaga (Di Napoli et. al., 2015). Esse conceito vem de *smart cities* (em português, cidades inteligentes) que é uma cidade onde tecnologia da informação e comunicação são associadas com infraestruturas usando novas tecnologias (Batty et. al. 2012).

No projeto Smart Parking desenvolvido em parceria pelo IPB (Instituto Politécnico de Bragança) com a UTFPR-PG (Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa) estão sendo elaborados protocolos de comunicação e negociação entre agentes (Castro et. al., 2017) (Ducheiko et. al., 2018). Agentes são sistemas computacionais capazes de ações autônomas no ambiente que estão situados visando atingir seus objetivos propostos (Wooldridge, 2002).

Além disso, o projeto também considera a implantação de agentes em plataformas de hardware. O trabalho aqui apresentado está em fase inicial e tem como principal objetivo a implantação de agentes em um CPS (*Cyber-physical system*), em português sistemas ciber-físicos. CPS são elementos computacionais que oferecem comunicação com entidades físicas utilizando plataformas de hardware (Kaithan et. al. 2015). Permitindo assim, que o conceito de *smart parking* seja implantado num ambiente ciber-físico e, portanto, similar a um estacionamento urbano.

Avanços e inovações no campo da tecnologia, como a comunicação sem fio e os dispositivos móveis, permitiram possibilidades de transferir serviços de computadores convencionais para ambientes próximos ao ser humano, utilizando sistemas embarcados (Manogna et. al., 2016). Este trabalho propõe uma arquitetura embarcada que utiliza placas Raspberry Pi, contendo um agente em cada uma delas e componentes ESP-12e, os quais estarão conectados a sensores ultrassônicos de distância, distribuídos uniformemente conforme a quantidade de vagas.

Um *smart parking* utiliza sensores que detectam se há ou não um veículo estacionado, neste caso, um sensor ultrassônico de distância conectado ao ESP-12e. Após a leitura do sensor, o sistema deve informar o motorista qual vaga ele deve estacionar, ou seja, um agente será o sistema embarcado no Raspberry, que retornará ao motorista uma vaga requisitada previamente. Assim, esta arquitetura torna-se viável para o problema dos estacionamentos inteligentes pois é justamente de uma integração hardware e software que o sistema precisa.

Para que isso seja possível, os agentes devem ser implementados em uma determinada linguagem de agentes e então embarcados no hardware. O JADE é um framework para o desenvolvimento de agentes inteligentes totalmente implementado em Java (Greenwood et. al. 2004). Portanto, será utilizado como linguagem de implementação do agente nesta arquitetura pois, como o Raspberry é um microprocessador, é possível executar uma aplicação Java nele.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na seção 2 são descritos alguns trabalhos relacionados ao tema de agentes embarcados em plataformas de hardware e soluções para *smart parking*. Na seção 3, tem-se a descrição da arquitetura proposta no artigo, como ela funcionará e uma descrição das tecnologias envolvidas. Por fim, a seção 4 apresenta as considerações finais a respeito do desenvolvimento do trabalho.

## 2. Trabalhos Relacionados

Nesta seção descreve-se brevemente alguns trabalhos que apresentam soluções de estacionamentos inteligentes presentes na literatura e trabalhos que utilizam as plataformas de hardware escolhidas para este trabalho, o Raspberry Pi e o ESP-12e.

Em (Khanna, 2016) é proposto um estacionamento inteligente baseado em Internet das Coisas que utiliza o Raspberry como uma unidade processadora, agindo como um intermediário entre os sensores e a *cloud*. Essa arquitetura tem algumas similaridades com o trabalho apresentado aqui, porém não faz uso de agentes inteligentes. O Raspberry é conectado aos sensores e apenas envia quais vagas estão disponíveis, não passando por nenhum processo de negociação de vagas.

Em (Mann, et. al. 2017) é feito um comparativo de dispositivos a serem usados pelo lado do cliente e de baixo custo, como o ESP-12e, Arduino com um módulo de Wi-Fi e um Raspberry Pi. Foi concluído que o uso de um sistema baseado em ESP-12e é a melhor opção para captar informações e enviar para um servidor.

Em (Bensag et. al., 2015) é proposto um agente JADE embarcado em um Raspberry Pi especialmente programado para segmentação por ressonância magnética cardíaca. No artigo, o autor cita que “o Raspberry fornece alta velocidade, melhor precisão, boa flexibilidade e ainda possui um baixo custo para o desenvolvimento de sistemas embarcados”.

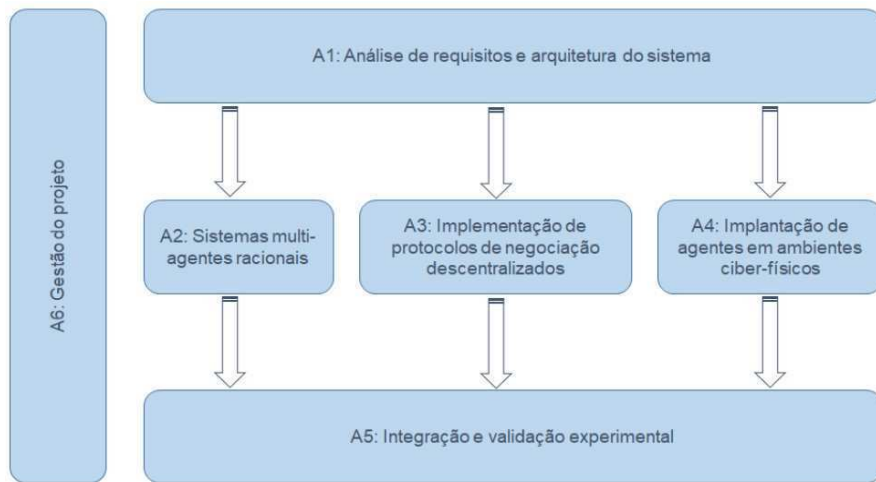
Em (Thangam, et. al. 2018) é proposto um sistema de reservas para um *smart parking* utilizando o reconhecimento óptico de caracteres e o reconhecimento facial para fornecer segurança com um Raspberry Pi. O trabalho tem algumas similaridades com a arquitetura proposta neste artigo, pois utiliza tecnologias de Internet das Coisas (IoT), um servidor e um aplicativo, mas também não faz uso de agentes inteligentes.

Conforme observou-se nos trabalhos destacados nesta seção, a utilização dos componentes, Raspberry Pi e ESP-12e são uma alternativa adequada para um ambiente ciber-físico. A partir disso visa-se a criação de um CPS para um estacionamento inteligente.

### 3. Arquitetura proposta

No estado atual do projeto de pesquisa ao qual este trabalho está associado, estão sendo desenvolvidos paralelamente a implementação de protocolos de negociação descentralizados (atividade A3 da Figura 1) e a análise de requisitos e arquitetura do sistema (atividade A1 da Figura 1) já foi concluída por outro membro do projeto.

Durante o desenvolvimento dos protocolos, os testes estão sendo realizados em um ambiente de simulação e, como a finalidade do projeto Smart Parking é a integração de agentes no hardware, tais protocolos precisam ser testados em um ambiente ciber-físico (atividade A4 da Figura 1).



**Figura 1: Relações de precedência entre as atividades previstas no projeto.**

Considerando este cenário das atividades do projeto de pesquisa, é notória a relevância da arquitetura proposta neste artigo, para que o projeto atinja o último estágio, que é a integração e validação experimental (atividade A5 da Figura 1), para então ser implantada em um estacionamento de fato.

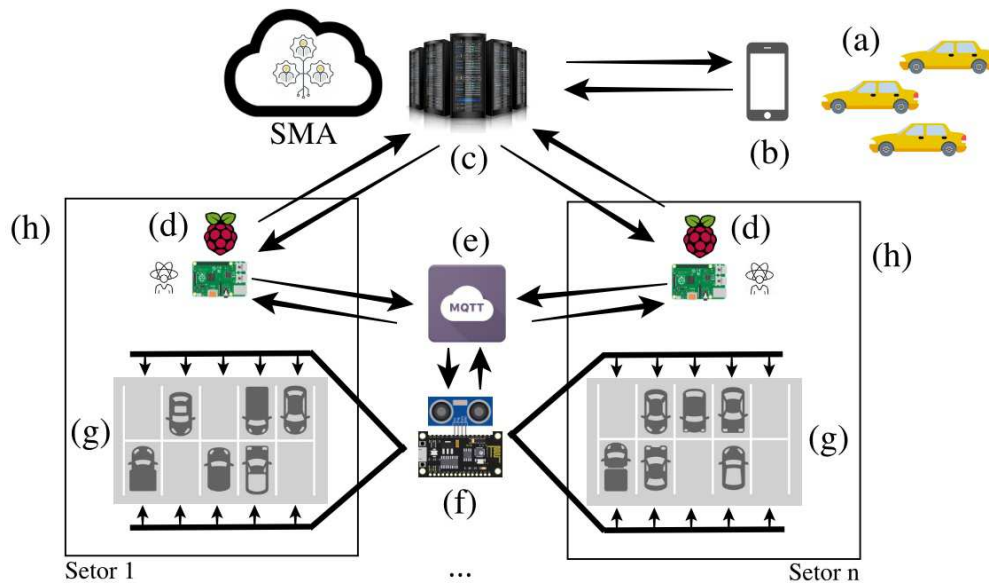
A implantação e validação das atividades dar-se-á em uma arquitetura proposta conforme a Figura 2, sendo composta de:

- (a): os motoristas, os quais possuem a intenção de estacionar os seus veículos;
- (b): o aplicativo (móvel ou web) que fará a comunicação entre os motoristas e o SMA (Sistema Multi-Agente) presente no servidor;
- (c): o servidor *cloud* do aplicativo que possui o SMA e será comunicado com o agente no Raspberry Pi sob demanda;
- (d): o Raspberry Pi, contendo um agente desenvolvido em JADE que gerenciará as vagas do estacionamento. Neste agente serão integrados os resultados das atividades A2 e A3 da Figura 1, como por exemplo os protocolos de negociação das vagas;
- (e): o protocolo MQTT (Mqtt.org, 2019) que comunica via WiFi o Raspberry Pi com o ESP-12e para que o agente no Raspberry Pi (d) tenha conhecimento das vagas livres e ocupadas;

(f): o ESP-12e conectado a um sensor ultrassônico de distância monitorando se uma vaga está disponível ou não;

(g): as vagas de estacionamento contendo um ESP-12e conectado a um sensor (f) em cada vaga;

(h): um setor do estacionamento.



**Figura 2: Arquitetura ciber-física proposta.**

A estrutura (h) proposta pode ser vista como apenas uma parte de um estacionamento, denominado setor. Contudo, espera-se ser possível replicar tal estrutura, escalando a quantidade dos elementos (d), (f) e (g) de acordo com a necessidade do local. Neste caso, a comunicação entre tais estruturas será de responsabilidade dos Raspberry Pi (d) com os ESP-12e (f).

O Raspberry Pi é um computador de baixo tamanho e custo com grande capacidade de processamento e comunicação que pode ser utilizado por qualquer pessoa para aprender a programar e interagir com o mundo físico (Raspberrypi.org, 2019). Como dito anteriormente, o Raspberry Pi é um microprocessador e portando, pode-se rodar uma aplicação Java. Deste modo, o agente embarcado nele recebe as requisições do motorista e, através dos protocolos de negociação de vagas contidas no agente, busca a melhor para aquele motorista.

O ESP-12e é um módulo Wi-Fi de baixo custo e com um baixo consumo de energia, feito especialmente para dispositivos e aplicações IoT (Zhang, et. al 2015). Os módulos ESP podem ser programados na IDE do Arduino, por isso serão conectados a um sensor ultrassônico modelo HC-SR04, que é um módulo muito usado em projetos Arduino, facilitando a programação.

Por ser um módulo Wi-Fi, a placa ESP pode ser conectada a internet e pode se comunicar com o Raspberry Pi via protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*). Este protocolo foi desenvolvido pela empresa IBM e é um protocolo de troca de mensagens projetado para ser leve e ideal para conexões máquina-máquina (Mqtt.org, 2019).

Faz-se necessário destacar que o trabalho aqui apresentado tem como escopo a camada ciber-física, portanto, a implementação dos protocolos de negociação de vagas é

desenvolvida em outra camada do projeto Smart Parking, conforme ilustrado previamente na Figura 1.

Por meio da arquitetura proposta, pretende-se que o sistema funcione, da seguinte forma:

1. O motorista (a), a partir de um aplicativo (b), solicitará uma vaga de estacionamento;
2. A requisição será atendida pelo servidor *cloud* (c) e a partir dessa requisição, o SMA irá executar as respectivas negociações para atendê-la;
3. O agente SMA, que possui as requisições do motorista, se comunica com o agente no Raspberry Pi (d) enviando seus critérios, por exemplo, o preço da vaga desejada, o local, a distância do motorista até ela, etc.;
4. Neste passo, o agente no Raspberry Pi (d) terá a informação da vaga solicitada pelo motorista e buscará uma vaga exatamente igual. Se não houver nenhuma vaga que atenda o critério, o agente (d) buscará encontrar a vaga mais similar;
5. Cada placa ESP-12e (f) estará conectada a um sensor ultrassônico de distância situado em cada vaga do estacionamento, que faz a leitura da disponibilidade dela. Para que o Raspberry Pi saiba se a vaga está disponível, é feita a comunicação dele via MQTT (e) com a placa (f);
6. Em seguida, o agente no Raspberry Pi (d) enviará ao servidor (c) o local da vaga obtida através dos critérios e o mesmo enviará a vaga para o aplicativo (b);
7. De posse desta, o aplicativo (b) repassará esta vaga ao motorista (a) para que possa estacionar.

Uma possível vantagem desta arquitetura é o baixo custo de instalação, visto que as placas de maior custo são utilizadas apenas sob demanda do estacionamento, ou seja, quanto maior o estacionamento, mais placas serão necessárias. Outra possível vantagem é a autonomia que os agentes possuem, ou seja, uma vez embarcados, eles farão o trabalho de maneira autônoma, sem a necessidade de intervenção humana. Com isso, a manutenibilidade também terá um baixo custo, visto que será feita apenas em casos de falha técnica em uma placa ou um sensor.

Além da mobilidade que os agentes possuem, podendo ir de um setor do estacionamento para o outro, a rapidez de resposta do sistema também é uma possível vantagem, pois o Raspberry Pi possui um poder de processamento satisfatório para o estudo de caso aqui descrito, dando assim uma rápida resposta ao motorista.

#### **4. Considerações finais**

Nos últimos anos, os avanços nos estudos em sistemas ciber-físicos e em IoT tornaram o conceito de cidades inteligentes cada vez mais próximo da realidade. Este trabalho apresentou uma proposta de arquitetura ciber-física que conecta Agentes Inteligentes com IoT visando a construção de um estacionamento inteligente. Este sistema fornece um SMA capaz de utilizar protocolos de negociação para gerenciamento e alocação de vagas no *smart parking*.

Este trabalho está em fase inicial, portanto ainda serão avaliados alguns critérios, como a percepção de falhas das placas, a diferença entre sensores falhos e vagas ocupadas, se o tempo de resposta dos sensores e das placas é o desejado, assim como um gargalo que pode ser provocado por muitos agentes trocando mensagens ao mesmo tempo, etc.

Como continuidade imediata deste trabalho, pretende-se implantar a arquitetura proposta neste artigo usando as ferramentas já mencionadas. A partir disso, será executada uma quantidade significativa de diferentes experimentos, os quais possam evidenciar não apenas a robustez, a eficiência, e a aplicabilidade da arquitetura, mas também a evidência de eventuais falhas, e como as mesmas podem ser contornadas no sistema.

## Referências

- Batty, M., Axhausen, K., et al. “Smart Cities of the Futures”, UCL Working Papers Series, Londres - Inglaterra, v. 188, out. 2012.
- Bellifemini, F., Caire, G., Greenwood, D. (2004). *Developing Multi-Agent Systems with JADE*. John Wiley and Sons, London.
- Bensag, H., Youssfi, M., Bouattane, O. (2015). “Embedded agent for medical image segmentation”. In *Proceedings of 27th International Conference on Microelectronics: ICM'15, Casablanca, Morocco*.
- Castro, L.F., Alves, G.V., Borges, A.P. Using trust degree for agents in order to assign spots in a Smart Parking. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal* 6, 45–55. <https://doi.org/10.14201/ADCAIJ207624555>. 2017.
- Di Napoli, C., Di Nocera, D., Rossi, S. (2014). “A Social-Aware Smart Parking Application”. In *Proceedings of 15th Workshop “From Objects to Agents”, Catania, Italy*.
- Ducheiko, F.F., André, P.B., Gleifer, V.A. Implementação de Modelo de Raciocínio e Protocolo de Negociação para um Estacionamento Inteligente com Mecanismo de Negociação Descentralizado. *REVISTA JUNIOR - ICCEEg* 1, 25–32. 2018.
- Kaithan, S.K., McKalley, J.D. (2014). “Design Techniques and Applications of Cyberphysical Systems: A Survey”. In *IEEE Systems Journal*, p. 1-16, jun. 2015.
- Khanna, A. “IoT based Smart Parking System”. In *IOTA: International Conference on Internet of Things and Applications*, p. 266-270, Jan, 2016.
- Mann, G., Iqbal, T., Jayasinghe, S. “Low-Cost and Open Source SCADA Options for Remote Control and Monitoring of Inverters”. In *CCECE: Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, p. 1-4, 2017.
- Manogna, S., Dakannagari, H.R. (2016). “Internet of Things”. In *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, p. 1567-1570. 2016.
- Mqtt.org. “Frequently Asked Questions”, <http://mqtt.org>, Abril 2019.
- RaspberryPi.org. “What is Raspberry Pi?”, <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi>, Março 2019.
- Thangam, E. C., Mohan, M., Ganesh, J. Suresh, C.V. “Internet of Things (IoT) based Smart Parking Reservation System using Raspberry-Pi”. In *ISSN: International Journal of Applied Engineering Research*, p. 5759-5765. 2018.
- Wooldridge, M. “An Introduction to Multi-Agent Systems”, 2nd. Ed. [S.1.]: Wiley Publishing, 2009.
- Zhang, Y. P., Liu, T. Yang, Z. X. Mou, Y., Wei Y. H., Chen, D. “Design of Remote Control Plug”. In *International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices*, p. 29-30, nov. 2015.