

# Explorando a Comunicação entre Sistemas Multi-Agentes Embarcados em Ambientes Inteligentes para IoT: Uma Proposta de Laboratório

Palloma da S. M. Nunes<sup>1,2</sup>, Igor M. de Almeida<sup>1</sup>, Thiago C. Picanço<sup>1</sup>, Carlos E. Pantoja<sup>1,2</sup>  
Leandro M. Samyn<sup>1</sup>, Vinicius S. de Jesus<sup>1</sup>, Fabian C. P. B. Manoel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ)  
Campus Maracanã – 20271-110 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Ciência da Computação  
Universidade Federal Fluminense (UFF)  
Campus Praia Vermelha – 24210-346 – Niterói – RJ – Brasil

{pallomapit, igor.m.almeida, thiagoc.picanco}@hotmail.com

{pantoja, leandro.samyn}@cefet-rj.br, {souza.vdj, fabiancpbm}@gmail.com,

**Abstract.** *This work aims to present an Intelligent Laboratory of Autonomous Systems (LISA), which consists in an Ambient Intelligence (AmI) system with devices connected to an Internet of Things (IoT) architecture and supported by the agents approach. Embedded Multi-Agent Systems are able to manage a laboratory in a cognitive way, controlling electronic devices and intelligent systems connected to each other through the IoT. The LISA uses the ContextNet middleware for the interconnection of embedded devices with SMA and other systems of the laboratory. The embedded devices uses Javino as the connection between the embedded multi-agent systems programmed in Jason with the electronic components of the device.*

**Resumo.** *Este trabalho tem como objetivo apresentar o Laboratório Inteligente de Sistemas Autônomos (LISA), que consiste de um Ambiente Inteligente (AmI) com dispositivos conectados à uma arquitetura da Internet das Coisas (IoT) e apoiado pela abordagem de agentes. Sistemas Multi-Agentes embarcados são capazes de gerenciar um laboratório de forma cognitiva, controlando dispositivos eletrônicos e sistemas inteligentes conectados entre si através da IoT. O LISA utiliza o middleware ContextNet para interconexão dos dispositivos embarcados com SMA e os demais sistemas do laboratório. Os dispositivos embarcados utilizam o Javino como conexão entre os sistemas multi-agentes embarcados programados em Jason com os componentes eletrônicos do dispositivo.*

## 1. Introdução

A Internet das Coisas — ou *Internet of Things* (IoT) [Zhang et al. 2012] — é um conceito relacionado à conexão de dispositivos eletrônicos utilizados no dia-a-dia à Internet e com capacidade computacional e autonomia para auxiliar pessoas. Os Ambientes Inteligentes — ou *Ambient Intelligence* (AmI) [Augusto Wrede et al. 2010] — são sistemas que utilizam técnicas computacionais para permitir o gerenciamento de um ambiente de forma pervasiva e pro-ativa. O AmI faz parte da área da computação Ubíqua [de Araujo 2003],

onde os usuários podem estar inseridos no ambiente sem que a tecnologia utilizada seja percebida por eles. Tais ambientes também podem ser construídos utilizando tecnologias para a IoT.

Diversos ambientes inteligentes utilizam técnicas de inteligência artificial em sua arquitetura, e dentro dessas técnicas, a abordagem de agentes tem sido explorada. Os agentes são entidades cognitivas capazes de se comunicar e agir pro-ativamente e estão inseridas em um ambiente que pode ser tanto simulado quanto real. Já, os Sistemas Multi-Agente (SMA) são um conjunto de agentes organizados de forma a interagirem para atingirem objetivos comuns ou conflitantes [Wooldridge 2009]. Dentre as diversas linguagens existentes para o desenvolvimento de SMA, é possível destacar o *framework* Jason [Bordini et al. 2007], que possui um interpretador para o o *AgentSpeak* [Rao 1996] baseados na arquitetura *Belief-Desire-Intention* (BDI).

O objetivo deste trabalho é propor o desenvolvimento de um ambiente inteligente explorando a utilização das tecnologias de SMA e da IoT para prover um ambiente aberto onde possam existir dispositivos inteligentes embarcados com SMA, além de dispositivos móveis, como *smartphones*, não inteligentes ou sem SMA, os quais estarão interconectados através da infraestrutura de IoT (um servidor *gateway*). No caso da infraestrutura não estar disponível, os SMA embarcados poderão funcionar autonomamente. A infraestrutura suportará diferentes SMA, os quais são capazes de controlar um laboratório de ensino e pesquisa visando auxiliar seus frequentadores, fazendo com que estes possuam mais conforto e segurança ao utilizar o laboratório.

Para o desenvolvimento dos SMA será utilizado o Jason, por já existir soluções que permitem a integração com *hardware* [Pantoja et al. 2016b]. Contudo essa integração não permite a comunicação entre *hardwares* diferentes. Para isso, o *middleware* para IoT ContextNet [Endler et al. 2011], é utilizado pois é capaz de realizar a comunicação dos dispositivos inteligentes através da rede *wireless* provendo um ambiente aberto para os SMA. Será apresentada uma prova de conceito simples com os agentes para provar a comunicação em um ambiente com IoT, tendo-os como uma alternativa a dispositivos que são apenas repetidores de informações, buscando possibilitar uma maior autonomia aos mesmos.

Na próxima seção serão mostrados os trabalhos relacionados; na terceira seção, a metodologia do projeto; na quarta seção, informações sobre o Laboratório Inteligente de Sistemas Autônomos; na quinta seção, os testes e resultados realizados no laboratório; já na sexta seção será mostrada a conclusão do trabalho e; em seguida, as referências utilizadas neste artigo.

## 2. Trabalhos Relacionados

Existem trabalhos na literatura que aplicam SMA em ambientes ubíquos e pervasivos, porém não focam na possibilidade de existir diversos dispositivos embarcados gerenciados cada um por um SMA e que são capazes de se comunicar entre si. Uma abordagem de interação entre o meio físico (*hardware*) e o meio cognitivo (*software*) explorando o pior caso no que diz respeito a disposição de uma capacidade limitada de controladores (apenas um) em um banheiro inteligente foi proposta, porém, o SMA é limitado ao protótipo desenvolvido e não é escalável [Brandao et al. 2017], ou seja, não permitindo a entrada de novos dispositivos sem ter que reprogramar o sistema.

Igualmente, a utilização de SMA em AmI pode ser visto em um modelo de *Smart Home* [Pantoja et al. 2016a], que é gerenciado por um SMA fechado, portanto, sem uso de meios de comunicação entre eventuais SMA ou dispositivos que venham a estar presentes neste ambiente. Também existem trabalhos voltados *Smart Homes* como em [Andrade et al. 2016], porém este utiliza um ambiente simulado e não faz menção ao uso e emprego de *middlewares* específicos para IoT. Além disso, a solução é fechada, visto que novos dispositivos não podem entrar ou sair do ambiente sem que haja uma alteração no projeto do SMA.

### 3. O Laboratório Proposto

O Laboratório Inteligente de Sistemas Autônomos (LISA) é um laboratório inteligente construído com base em AmI e IoT que pretende possibilitar a recepção de pessoas de forma autônoma, de modo que, os usuários (previamente cadastrados) tenham seu acesso permitido através de um cartão o qual contém um identificador. Uma vez consentida a entrada, o ambiente será capaz de se adaptar ao usuário liberando algumas funcionalidades para que ele possa interagir com os dispositivos ali presentes como: porta, luz e ar condicionado, bem como os sensores de luminosidade, temperatura e RFID, que estarão interligados no laboratório. Em vista disso, cada dispositivo inteligente será embarcado com um SMA autônomo e serão capazes de trocar informações necessárias com outros SMA através de um *middleware* para IoT.

Estas ações serão escolhidas de acordo com as preferências dos usuários que tiveram o acesso permitido à sala. Por exemplo, se o usuário tem preferência por temperaturas baixas e o sensor presente no ambiente detecta uma alta temperatura, o ar condicionado, se desligado, deve ligar para resfriar o ambiente. Vale lembrar que situações conflituosas de preferência podem ocorrer e, para isso, poderão ser adotadas diferentes soluções como a hierarquia (professor e aluno) dando prioridade ao desejo do professor; já a segunda utiliza o quantitativo como prioridade, ou seja, se mais usuários desejam determinada faixa de temperatura, por exemplo, o ambiente reagirá para atender tal demanda.

O LISA funcionará com o uso de SMA embarcados em dispositivos para controle pró-ativo das partes eletro-eletrônicas. O uso dos SMA embarcados será relacionada aos dispositivos eletro-eletrônicos presentes no ambiente, como circuitos controladores contendo dispositivos como relé, contatora e microcontrolador ATMEGA que serão montados para possibilitar os acionamentos; e a que utiliza um banco de dados relacional, que armazenará as informações de cadastro dos usuários e suas preferências.

Vale ressaltar que os SMA embarcados receberão dados dos sensores do laboratório (1 responsável por um RFID — que controla a entrada de pessoas, outro responsável pela luminosidade e temperatura) e existirão SMA que serão responsáveis por enviar comandos aos atuadores (1 SMA para a porta, 1 SMA para lâmpadas e ar condicionado). Além disso, os SMA que recebem informações dos sensores avaliarão os dados recebidos da camada física do ambiente e as informações cadastradas no banco de dados, para tomar decisões e enviar os comandos aos SMA ligados aos atuadores, através da comunicação entre diferentes SMA.

#### 3.1. Comunicação entre SMA Embarcados

O fluxo de comunicação entre os SMA embarcados se dará da seguinte maneira: os SMA ligados aos sensores serão os responsáveis por enviar as mensagens de acionamento aos

SMA ligados aos atuadores. Para a comunicação entre os controladores e o SMA será utilizada uma arquitetura customizada chamada ARGO [Pantoja et al. 2016b], que faz uso do Javino [Lazarin and Pantoja 2015] para possibilitar a comunicação entre uma linguagem de alto nível a um controlador com linguagem de baixo nível utilizando a porta serial; essa arquitetura consiste em uma arquitetura customizada de agentes. Já para a comunicação entre diferentes SMA, é proposta uma arquitetura customizada responsável pela criação de agentes Comunicadores, que utilizam o *middleware* ContextNet para viabilizar a troca de dados entre diferentes SMA embarcados em um mesmo ambiente. Na Figura 1, é exemplificado o uso dos agentes ARGOS e de agentes Comunicadores na arquitetura de um ambiente inteligente.

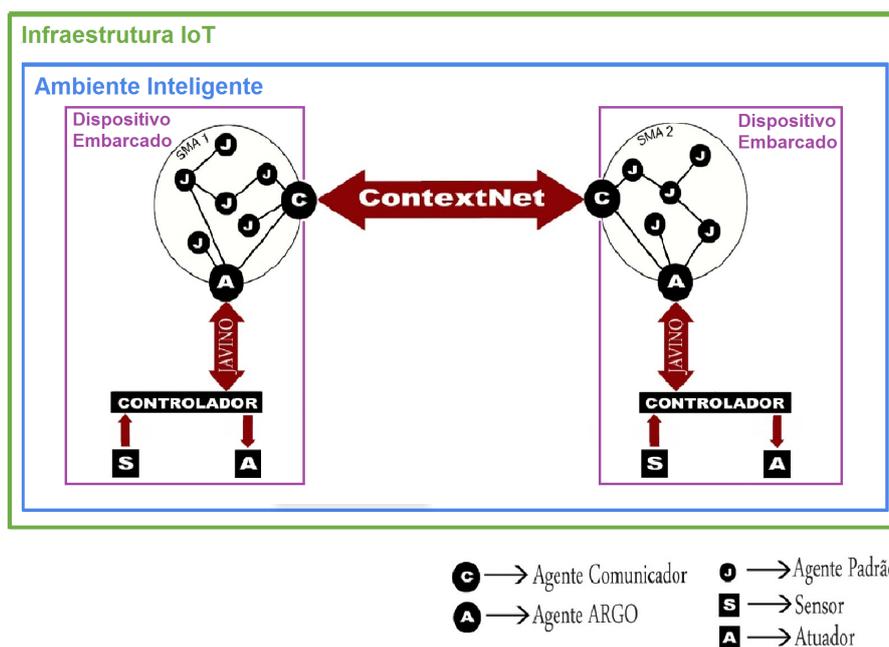


Figura 1. A arquitetura conceitual da comunicação entre dois SMA distintos em um ambiente inteligente utilizando a proposta deste trabalho.

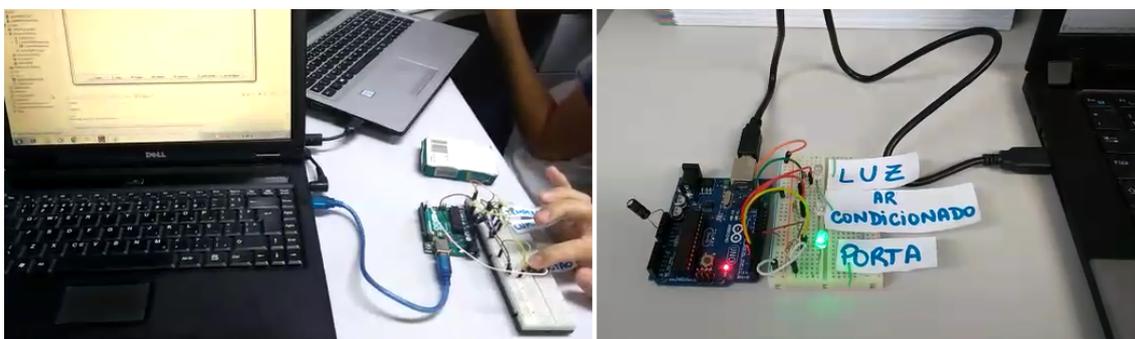
### 3.2. Testes e Resultados

Para avaliar a possibilidade da criação do LISA, alguns testes foram realizados, como a tentativa de realizar a comunicação entre dois SMA ligados a computadores distintos, sem nenhuma conexão física entre eles e com *hardware* (sensores e atuadores) dedicados a estes SMA. Para efetivar a comunicação entre um SMA remetente e um SMA destinatário, em cada um existiam dois agentes criados através das arquiteturas *ARGO* e *Communicator*. O *agenteARGO* do SMA remetente possuía planos para verificar as percepções recebidas dos sensores e, de acordo com estas, enviar mensagens para o *agenteRemetente* presente no mesmo SMA. Já este *agenteRemetente* (arquitetura *Communicator*), por sua vez, enviava - através da ação interna customizada *sendOut* - uma mensagem para o *agenteDestinatario*, localizado em um SMA distinto e embarcado em outro dispositivo.

O *agenteDestinatario*, também criado com a arquitetura *Communicator*, possui planos feitos de acordo com as possíveis mensagens que poderiam ser recebidas. A cada plano ativado, este agente comunicador envia uma determinada mensagem para um *agenteARGO* do SMA destinatário, que é responsável por enviar os comandos aos atuadores

(LEDs) de seu SMA. Vale lembrar que entre os sensores e o SMA Remetente e entre os atuadores e o SMA Destinatário existem microcontroladores ATMEGA como intermediário para essa comunicação e que nas arquiteturas *ARGO* e *Communicator* foram usados, respectivamente, o Javino e o ContextNet.

Como resultados iniciais, pode-se observar que, quando o sensor de temperatura detectava uma temperatura pré-definida como alta, o LED representativo do atuador ar condicionado acendia. O exemplo anterior foi também aplicado aos demais sensores (luminosidade e botões de acionamentos), como mostra a Figura 2, que apresenta (na parte esquerda) o botão sendo acionado e (na parte direita) o LED correspondente à porta sendo aceso.



**Figura 2. Exemplo de funcionamento utilizando a conexão entre SMA distintos localizados em notebooks também distintos**

Dados os resultados, pretende-se fazer outros testes: o primeiro, realizando interações entre os SMA e o banco de dados, fazendo uso de uma ação interna customizada para acesso às preferências dos usuários. Já o segundo, realizando interações entre os SMA e a camada física do laboratório, através da confecção de circuitos eletro-eletrônicos, que possibilitará o acionamento dos dispositivos mais robustos (como ar condicionado) da sala. Além destes, propõe-se testes de performance mais específicos: como testes relacionados à tomada de decisões avaliando mais cuidadosamente o que deve ser acionado, para evitar que dispositivos eletro-eletrônicos não danifiquem pelo ligamento e desligamento contínuo. Para tais testes, será preciso tratar o envio de comandos dos agentes aos microcontroladores de modo a tornar o agente mais cognitivo do que reativo.

#### 4. Conclusão

Este trabalho apresentou uma proposta de ambiente inteligente, que utiliza diferentes SMA embarcados se comunicando entre si, utilizando o *middleware* ContextNet para IoT. A solução proposta neste trabalho permite que sistemas embarcados com SMA utilizando o Jason, *ARGO* e agentes Comunicadores possam interagir com outros sistemas embarcados presentes em Ambientes Inteligentes distintos. A maioria dos *frameworks* para desenvolvimento de soluções para agentes não contam com uma abordagem preparada para ser escalável e direcionada para a Internet das Coisas, e as que possuem alguma forma de comunicação, utilizam a atual infraestrutura de rede para comunicação e não oferecem uma interface nativa para controladores com sensores e atuadores.

Pode-se destacar também que esta abordagem é aplicável a diversos domínios de aplicação pois se baseiam em arquiteturas customizáveis e não em soluções específicas

e direcionadas. Utilizando a arquitetura customizada proposta, é possível fazer com que diferentes *Smart Homes* e Ambientes Inteligentes consigam interagir entre si. Como trabalhos futuros pretende-se criar modelos para organizações sociais de agentes físicos, visando a possibilidade de obtenção de sistemas organizacionais de dispositivos inteligentes em uma rede IoT.

## Referências

- Andrade, J. P. B., Oliveira, M., Gonçalves, E. J. T., and Maia, M. E. F. (2016). Uma abordagem com sistemas multiagentes para controle autônomo de casas inteligentes. *XIII Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional (ENIAC)*.
- Augusto Wrede, J., Nakashima, H., and Aghajan, H. (2010). Ambient intelligence and smart environments: A state of the art. pages 3–31.
- Bordini, R. H., Hübner, J. F., and Wooldridge, M. (2007). *Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason*. Wiley Series in Agent Technology. John Wiley & Sons Ltd.
- Brandao, F., Nunes, P., de Jesus, V. S., Pantoja, C. E., and Viterbo, J. (2017). Managing natural resources in a smart bathroom using a ubiquitous multi-agent system.
- de Araujo, R. B. (2003). Computação ubíqua: Princípios, tecnologias e desafios. In *XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, volume 8, pages 11–13.
- Endler, M., Baptista, G., Silva, L., Vasconcelos, R., Malcher, M., Pantoja, V., Pinheiro, V., and Viterbo, J. (2011). Contextnet: context reasoning and sharing middleware for large-scale pervasive collaboration and social networking. In *Proceedings of the Workshop on Posters and Demos Track*, page 2. ACM.
- Lazarin, N. M. and Pantoja, C. E. (2015). A Robotic-Agent Platform for Embedding Software Agents using Raspberry Pi and Arduino Boards. In *9<sup>th</sup> Software Agents, Environments and Applications School*.
- Pantoja, C. E., de Jesus, V. S., and Filho, J. V. (2016a). Aplicando sistemas multi-agentes ubíquos em um modelo de smart home usando o framework jason.
- Pantoja, C. E., Stabile, M. F., Lazarin, N. M., and Sichman, J. S. (2016b). ARGO: An extended jason architecture that facilitates embedded robotic agents programming. In Baldoni, M., Müller, J. P., Nunes, I., and Zalila-Wenkstern, R., editors, *Engineering Multi-Agent Systems: 4th International Workshop, EMAS 2016*, pages 136–155. Springer.
- Rao, A. S. (1996). AgentSpeak(L): BDI Agents Speak Out in a Logical Computable Language. In de Velde, W. V. and Perram, J. W., editors, *Proceedings of the 7th European workshop on Modelling autonomous agents in a multi-agent world (MAAMAW'96)*, volume 1038 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 42–55, USA. Springer-Verlag.
- Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to Multi-Agent Systems*. Wiley.
- Zhang, D., Ning, H., Xu, K. S., Lin, F., and Yang, L. T. (2012). Internet of things. *J. UCS*, 18:1069–1071.