

Gerenciamento Autônomo para Irrigação Utilizando Sistema Multiagente em uma Arquitetura IoT

Maria Alice Trinta, Fabian C. B. Manoel, Carlos Eduardo Pantoja

¹Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-RJ)
20785-220 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

maria.trinta@aluno.cefet-rj.br, fabiancpbm@gmail.com

pantoja@cefet-rj.br

Abstract. *Water is a vital and finite resource that has been used in an unbridled way by numerous sectors of society; An example of that is the agricultural sector needing increasingly solutions that make the consumption of hydric resources more sustainable. However, most proposals do not offer hardware-level autonomy, which can delay and turn crop management inaccurate. Therefore, this work aims to present a solution through devices composed of sensors, actuators, and an embedded SMA capable of performing an autonomous control of hydric resources of a crop. Inserted in a system that allows connection to an IoT network, the devices will share data and be controlled through a WEB page.*

Resumo. *A água é um recurso vital e finito que vem sendo utilizado de maneira desenfreada por inúmeros setores da sociedade, sendo o setor agrícola um exemplo que necessita de soluções de controle e monitoramento que tornem o consumo de recursos hídricos mais sustentável. No entanto, a maioria das propostas não oferecem autonomia em nível de hardware, o que pode atrasar e tornar imprecisa a administração do cultivo. Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma solução através de dispositivos compostos de sensores, atuadores e um SMA embarcado capazes de realizar o controle hídrico autônomo de um cultivo. Inseridos em um sistema que permite a conexão em uma rede IoT, os dispositivos irão compartilhar dados e poderão ser controlados através de uma página WEB.*

1. Introdução

Estima-se pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) [de SOUSA et al. 2011] que na agricultura cerca de sessenta por cento da água fornecida a projetos de irrigação no mundo se perdem por evaporação ou percolação. No Brasil, por exemplo, cerca de noventa e três por cento dos quase três milhões de hectares irrigados utilizam os métodos de irrigação menos eficazes do mundo em termos de economia de água como o espalhamento superficial, a aspersão convencional e o pivô central, sendo os dois últimos dependentes de uso intensivo de energia elétrica. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) uma redução em apenas dez por cento da água utilizada no meio agrícola já seria o suficiente para abastecer o dobro da população mundial [Rebouças 2003].

Sistemas inteligentes são candidatos a controlar e prover autonomia e proatividade no controle de recursos e ações em diversos domínios. Dentre as tecnologias

para desenvolvimento de tais sistemas pode-se destacar a abordagem de agentes que possibilita a adição de determinado nível de cognição à solução. Um Agente Inteligente pode ser definido como uma entidade autônoma capaz de analisar o ambiente e agir sobre ele, podendo ser este ambiente físico ou virtual. Já um Sistema Multiagente (SMA) é o conjunto de agentes inteligentes, organizados para cooperar ou competir a fim de atingir determinado objetivo [Wooldridge 2009].

Além da autonomia e proatividade, os sistemas inteligentes podem ser associados a tecnologias de gerenciamento remoto e transferência de informações, como por exemplo a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT). A IoT é uma rede que permite interligar objetos através de uma interação objeto-objeto e usuário-objeto e pode ser integrada aos sistemas inteligentes para cobrir grandes áreas e inserir cognição na ponta de sistemas cyberfísicos. Estender a internet ao mundo físico torna possível o gerenciamento remoto de qualquer objeto, o seu rastreamento através da internet, e o compartilhamento de informações [Zhang et al. 2012].

Portanto, ter um SMA em conjunto de uma rede IoT para gerenciar os recursos hídricos usados no tratamento de um cultivo pode contribuir na coleta de informações sobre a umidade do solo e o clima do local, e no gerenciamento à distância disponibilizados pelo SMA na IoT com auxílio de uma página *WEB*. Esta página *WEB* poderá então ser acessada pelo usuário a partir de qualquer lugar e a qualquer momento. Inicialmente, o sistema pode auxiliar pequenas hortas urbanas e cultivos residenciais, mas se aplicado em larga-escala pode levar à automatização da agricultura em grandes campos e latifúndios, elevando a produtividade e reduzindo a necessidade de intervenção humana.

Existem trabalhos que também oferecem soluções para o desperdício de recursos hídricos na agricultura como um sistema que apresenta um controle de irrigação autônomo a partir de um SMA e um Arduino [Salazar et al. 2013], mas depende de um computador disponível para o processamento de informações. Um segundo trabalho retrata o desenvolvimento de uma rede de comunicação baseada em um protocolo para compartilhamento de informações sobre um cultivo, mas deixando o gerenciamento por conta do usuário [Jin et al. 2018]. Por fim, a construção de um sistema de manutenção que recolhe, transmite e entrega os dados de um cultivo ao usuário, mas que não apresenta autonomia ou cognição nas tomadas de decisões sendo esta dependente de ações do usuário [Shi 2014].

O objetivo deste trabalho [Trinta et al. 2020] é apresentar um sistema composto por dispositivos controlados por um SMA capaz de administrar o consumo hídrico de cuidado de um cultivo, de forma a torná-lo mais sustentável. Além disso, busca-se o compartilhamento dos dados do cultivo em uma rede IoT para serem consumidas por clientes desta rede através de uma página *WEB*.

Este trabalho é uma extensão de um trabalho anterior escolhido como *Best Paper* no *14th Workshop-School on Software Agents, Environments and Their Applications (WESAAC)* que foi reescrito, adicionando novas discussões em cada seção, com novas figuras que ressaltam a separação da ideia da implementação, apresentando também o fluxo de raciocínio do SMA através de um diagrama.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na segunda Seção encontra-se o referencial teórico, na terceira Seção os trabalhos relacionados, na quarta Seção a me-

metodologia, na quinta Seção as avaliações experimentais, na sexta Seção as considerações finais, e por último as Referências Bibliográficas adotadas.

2. Referencial Teórico

Nesta seção, alguns conceitos teóricos serão apresentados para fundamentar a ideia do sistema de dispositivos e a tecnologia utilizada para a sua implementação. O primeiro deles é o Sistema Embarcado, que pode ser definido como uma união entre partes de software e hardware responsável por originar dispositivos que atendem a somente uma aplicação. A vantagem está na possibilidade de criação de dispositivos que têm todo o necessário para seu funcionamento disponível em seu corpo [Peckol 2019]. Um sistema embarcado pode também compor na sua camada de software um agente inteligente capaz de deliberar e tomar decisões sobre o ambiente físico. Ao se estender o conceito para SMA embarcados, tem-se um sistema com múltiplos agentes cooperando para gerenciar as partes físicas, coletar informações e realizar ações em um ambiente físico através de atuadores, com agentes deliberando para que o SMA embarcado atinja seu objetivo.

Para que um agente possa se comunicar diretamente com o meio físico, uma das soluções que pode ser usada é o ARGO, uma arquitetura de agentes customizada para o Jason [Bordini et al. 2007] que possibilita a programação de agentes robóticos capazes de acessar sensores e atuadores [Pantoja et al. 2016]. O Agente então passa a ter funções que possibilitam a recepção de percepções vindas dos sensores, e interações com atuadores. Isso se dá pois o ARGO utiliza a interface serial Javino [Lazarin and Pantoja 2015], que possibilita a troca de informações entre as linguagens JAVA — linguagem base do Jason — e Arduino, atuando como uma via de mão dupla através de uma comunicação serial validável contra perdas de informações.

Além da comunicação do sistema embarcado com o meio físico, é possível que este sistema se comunique utilizando a IoT. A Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) é uma rede que interliga objetos físicos, possibilitando o controle remoto e o compartilhamento de informações a distância. Existe ainda uma arquitetura em camadas desacopladas chamada *Resource Management Architecture* (RMA) [Pantoja et al. 2019], que é responsável por compartilhar recursos de objetos na IoT, como sensores e atuadores, para serem consumidos por clientes. Esta arquitetura possui 3 camadas: camada de Dispositivos (onde está o sistema embarcado gerenciador do cultivo); Gerenciamento de Recursos (onde os dados de dispositivo são distribuídos); e Aplicação ou Usuário (onde os dados são consumidos por meio de aplicações *WEB*, *Mobile*, etc). A rede IoT para esta arquitetura é provida pelo *middleware ContextNet*, que interligará os dispositivos embarcados com SMA com as demais camadas da arquitetura para que seja possível não só adicionar autonomia aos dispositivos, mas também permitir que usuários acessem e interajam com os recursos disponíveis do dispositivo para controle de uma horta caseira.

3. Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão discutidos alguns trabalhos relacionados para o gerenciamento sustentável dos recursos utilizados durante o cuidado de um plantio. O primeiro trabalho [Salazar et al. 2013] desenvolve uma proposta de gerenciamento de irrigação utilizando um Arduino para controle de sensores e atuadores e um SMA para o processamento de informações e tomadas de decisão. O sistema possui certa autonomia, uma vez

que utiliza um SMA para agir por meio de atuadores com base nas informações captadas pelos sensores. Entretanto, o SMA não é embarcado, o que o torna dependente de uma tecnologia centralizadora para o processamento.

O segundo trabalho [Jin et al. 2018] descreve o desenvolvimento de uma rede baseada nos protocolos LoRa, que é um transceptor que permite a transmissão e recepção de dados por longas distâncias. Se trata de uma rede IoT desenvolvida para dispositivos que coletam informações sobre um cultivo estabelecendo uma rede de compartilhamento de informações para monitoramento de grandes agriculturas. Porém, não se relata utilização de elementos inteligentes, sem propostas para a automação do gerenciamento, sendo somente um apoio ao monitoramento de cultivos.

Um outro trabalho [Shi 2014] cria um sistema de manutenção baseado em uma rede IoT que tem por finalidade possibilitar o controle de inúmeros equipamentos da indústria agrícola. Através da exploração de ferramentas e *frameworks* para a *WEB*, softwares e dispositivos, são apresentadas possibilidades para o controle remoto do cultivo. Todavia, o trabalho não apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta específica, sendo no geral apenas um estudo sobre ferramentas que podem ajudar essa parte da indústria. Neste trabalho, os dispositivos embarcados com SMA buscam oferecer uma solução autônoma e independente, que possa gerir um cultivo sem a necessidade de intervenção humana totalmente, e que também possa ser controlado a distância de acordo com as preferências do usuário utilizando uma rede IoT.

4. A Arquitetura do Sistema de Cultivo

Em um cultivo, é indispensável o consumo adequado de água e luz. Pois, a ausência de manutenção pode comprometer o crescimento e a produtividade das plantas, podendo, inclusive, levá-las à morte. Os dispositivos com SMA embarcado auxiliam o usuário a atender todas as necessidades do plantio, informando-o sempre sobre a situação atual do ambiente do cultivo, permitindo ações remotas e agindo pro-ativamente no que for possível.

Neste trabalho, é proposto a criação de um dispositivo com um SMA embarcado que se comunica com um microcontrolador e coleta dados através de sensores para processamento e deliberação de agentes inteligentes presentes no SMA. Com o SMA embarcado, além do dispositivo ser capaz de gerenciar o cultivo de maneira autônoma, ainda é possível que este sistema se conecte na IoT para compartilhar informações e interagir com outros dispositivos ou usuários conectados na mesma rede.

Cada dispositivo contém sensores capazes de recolher informações sobre o ambiente, e atuadores capazes de provocar as mudanças necessárias no ambiente. Ambos serão controlados pelo SMA com o objetivo de manter o cultivo saudável e atender as demandas. Por exemplo, se o solo do cultivo está seco, o irrigador será ligado, a não ser que haja uma incidência próxima de chuva no local. Todas as informações coletadas, processadas e ações tomadas serão repassadas — através de uma rede IoT — para a camada de gerenciamento, que irá repassar ao usuário através de uma página *WEB*. Cada dispositivo pode ser configurado pelo desenvolvedor para atender às necessidades específicas de uma espécie, por exemplo, o manjeriço exige mais água do que uma babosa, ou um cacto.

A Figura 1 apresenta dispositivos no solo do cultivo, de onde será possível coletar as informações sobre o solo, luminosidade e clima que serão processadas pelo SMA em-

barcado em cada dispositivo e utilizadas como fonte para uma possível tomada de decisão na ponta sem a necessidade de aguardar intervenção das camadas superiores (gerenciamento de recursos e usuários), como por exemplo acionar os atuadores de irrigação caso seja percebido que o solo esteja seco. Ademais, todos os dados recolhidos pelo dispositivo são passados através da rede IoT para a camada de Gerenciamento de Recursos que então irá repassar os dados para a camada do Usuário onde será possível visualizá-los por meio de uma página *WEB*.

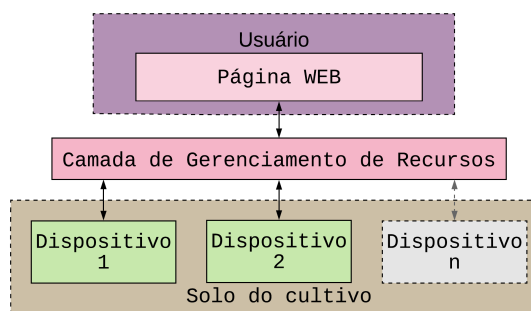


Figura 1. A arquitetura do projeto de Sistema Autônomo de Gerenciamento Sustentável.

4.1. Implementação do Sistema de Cultivo na RMA

Cada dispositivo é composto por uma *Raspberry Pi*, onde foi embarcado o SMA, e um Arduino. Para a comunicação entre o controlador e o SMA foi utilizada a arquitetura de agentes ARGO [Pantoja et al. 2016]. Para que todas as informações sejam passadas ao usuário, o *middleware ContextNet* [Endler et al. 2011] irá permitir que o dispositivo se conecte, receba e transfira dados da camada de Gerenciamento de Recursos — *Resource Management Layer* (RML) —, onde os dados serão tratados para consumo de clientes.

Cada SMA embarcado em um dispositivo é composto por dois agentes. O primeiro agente é responsável por realizar a interface com o Hardware para colher os dados brutos dos sensores e transformá-los em percepções diretamente no ciclo de raciocínio de forma que fique disponível em sua base de crenças para serem utilizadas em deliberações futuras ou repassadas a outros agentes. A Figura 2 exemplifica o fluxo do raciocínio do agente para as tomadas de decisão, onde através das informações recolhidas é chegada a conclusão sobre ativar ou não o atuador de irrigação. Caso a decisão seja por ativação ou desativação de um atuador, é necessário encaminhar uma intenção ao agente ARGO, responsável pela interface com o hardware, visto que este é único capaz de controlar atuadores e ler os sensores. Por fim, o terceiro agente, chamado de Comunicador, é responsável pelo envio dos dados dos sensores para a camada de Gerenciamento de Recursos e do recebimento dos comandos enviados pelo usuário para serem executados no dispositivo. O agente Comunicador é responsável por se conectar com a rede IoT, mantida pelo *middleware ContextNet*, e enviar as informações recebidas pelo agente Mediador para a camada de Gerenciamento de Recursos.

Na RML, todos os dados recebidos dos dispositivos são armazenados em um banco de dados chamado de *Virtualized Components DataBase* (VCDB). Este banco de dados é responsável por manter virtualizados todas as informações dos dispositivos conectados a rede IoT. A RML também irá atender aos requisitos feitos através da aplicação

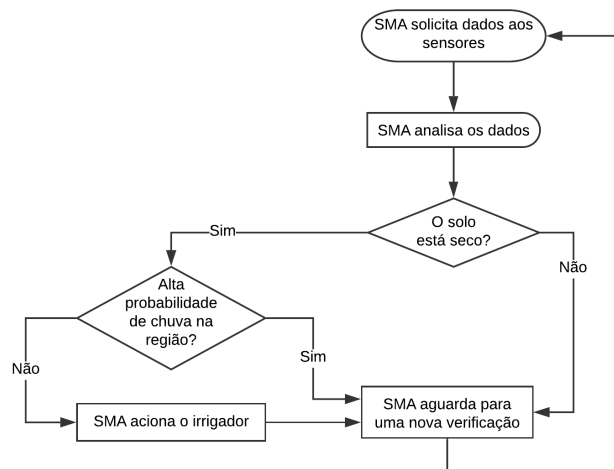


Figura 2. Fluxo de raciocínio do SMA.

WEB pelo usuário, pois é também nessa camada onde são processadas as ordens de acionamento de atuadores e de dispositivos, identificando o dispositivo correspondente e enviando a ordem através da rede IoT.

Por fim, uma aplicação *WEB* foi construída com intuito de prover ao usuário uma interface para interagir com o sistema. Através dela é possível visualizar o status do cultivo em termos de umidade do solo, incidência luminosa e clima. Também é possibilitado ao usuário interagir com o sistema ao ligar ou desligar atuadores e dispositivos, conseguindo gerenciar os dispositivos do cultivo de qualquer lugar e a qualquer momento. É importante ressaltar que a possibilidade de controle pelo usuário não retira a autonomia e a pro-atividade do SMA Embarcado, visto que este atuará independentemente das requisições do usuário caso perceba uma situação onde o cultivo esteja fora do esperado e não tenha havido interferência de terceiros (humana, por exemplo). Pode-se ter uma visão detalhada dos componentes da arquitetura na Figura 3.

5. Avaliação Experimental

Para avaliar o sistema, um experimento foi feito comparando dois solos com as mesmas espécies de plantas durante duas semanas: um sendo gerenciado pelo sistema, e o outro por um voluntário, onde este foi instruído a cuidar do cultivo quando achar necessário. Na Figura 4, é possível ver à esquerda o vaso onde se encontra o dispositivo, e à direita o vaso gerenciado pelo voluntário. Passadas as duas semanas, foi notado que o solo não gerenciado pelo sistema passava por períodos constantes de seca. Na Tabela 1 estão os resultados obtidos durante e após o período de testes.

Durante o período de testes, dois eventos foram significantes para a conclusão e apresentação dos resultados: o primeiro foi a falta de uma irrigação mais frequente por parte do voluntário, justificada por uma falta de experiência e tempo; o segundo foram dias chuvosos que alagaram o cultivo durante a parte da manhã em um dia que, antes de sair para a jornada de trabalho, o voluntário regou o vaso com a justificativa de que poderia esquecer ou estar indisponível posteriormente. Em comparação, o dispositivo manteve uma irrigação constante de em média duas vezes ao dia, com exceção dos dias

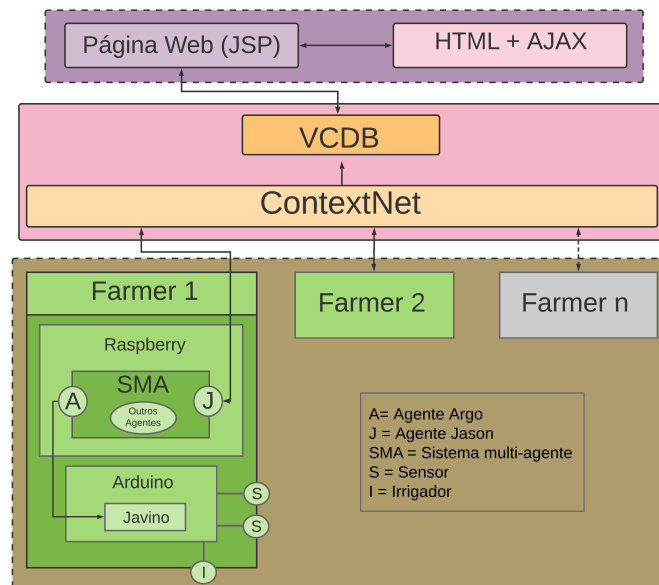


Figura 3. Arquitetura completa do trabalho.

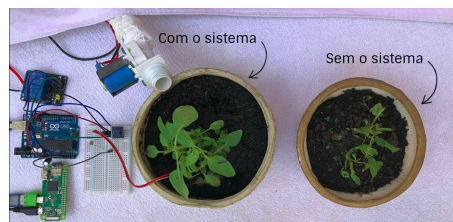


Figura 4. Avaliação experimental.

de chuva, momentos antecipados pelo sistema onde não houve irrigação. Já o voluntario regou uma vez ao dia, sem conseguir antecipar a ocorrência de chuvas, alagando o cultivo.

Através dos resultados dos experimentos é possível concluir que o dispositivo conseguiu manter uma irrigação constante levando em consideração as necessidades do cultivo, evitando secas e alagamentos. Bem como o sensor de luminosidade, que informou continuamente se o cultivo estava recebendo luz o suficiente. É importante ressaltar que para os testes, o dispositivo recebeu energia constante para precaver imprevistos, embora seja possível conectar o arduíno e a raspberry à uma fonte de energia móvel.

6. Conclusão

Este trabalho apresentou um sistema de gerenciamento sustentável e autônomo que utiliza SMA Embarcado para gerenciar o cultivo utilizando a abordagem de agentes para agregar em autonomia e a IoT para promover o monitoramento por parte do usuário. No estudo de caso, foi concluído que a abordagem usando SMA oferece inteligência e autonomia na ponta da arquitetura IoT, e isso melhora a manutenção do cultivo quando comparado com o gerenciamento humano.

Para trabalhos futuros, pretende-se aplicar o sistema em uma horta de ensino para gerenciamento de um ambiente real, possibilitando uma comparação entre um cultivo com o sistema e outro sem, acompanhando os níveis de crescimento e produtividade desde

Tabela 1. Resultados obtidos

| Teste | Descrição | Resultado |
|--|--|-----------|
| Comunicação entre o microcontrolador e o micro-computador. | Porcentagem de sucesso (%) quando há troca de dados entre o SMA e o Arduino. | 100% |
| Comunicação entre o SMA e a RML. | Porcentagem de sucesso (%) quando há troca de dados entre o SMA e a RML através da <i>ContextNet</i> . | 100% |
| Verificar se a planta do FARMER dura mais tempo do que se fosse gerenciada por um humano. | Análise feita a partir da Figura 4, comparando a planta gerenciada pelo sistema e a planta gerenciada pelo voluntário. | Sim |

novas mudas até fases mais maduras. Além disso, deseja-se permitir a comunicação entre os SMA contidos em diferentes dispositivos, formando uma rede de comunicação capaz de gerenciar cultivos maiores. Outra proposta é a criação de uma aplicação *Android* para o controle e supervisão via *smartphones*, bem como a adição de mais sensores e atuadores, para que o sistema fique cada vez mais apurado e ofereça um diagnóstico mais completo. E por fim, deseja-se ampliar a possibilidade de integração entre o SMA e o hardware para utilizar, além de agentes ARGO, Artefatos Físicos [Manoel et al. 2020]. Com isso, os agentes do sistema podem ter seu ciclo de raciocínio preservado para tomadas de decisão.

Referências

- Bordini, R. H., Hübner, J. F., and Wooldridge, M. (2007). Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason. John Wiley & Sons Ltd.
- de SOUSA, C. F., NOGUEIRA, E. W., PEREIRA, L. A., de SOUZA, R. M., and de Souza FERRARESE, A. (2011). Organização das nações unidas para agricultura e alimentação. ANAIS DO FÓRUM DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO UNIFUNEC, 2(2).
- 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.
- Jin, J., Ma, Y., Zhang, Y., and Huang, Q. (2018). Design and implementation of an agricultural iot based on lora. In MATEC Web of Conferences, volume 189, page 04011. EDP Sciences.
- Lazarin, N. M. and Pantoja, C. E. (2015). A robotic-agent platform for embedding software agents using raspberry pi and arduino boards. In 9th Software Agents, Environments and Applications School (WESAAC).
- Manoel, F. C. P. B., Pantoja, C. E., Samyn, L. M., and de Jesus, V. S. (2020). Physical Artifacts for Agents in a Cyber-Physical System: A Case Study in Oil & Gas Scenario

- (EEAS). In Proceedings of the 32nd International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, SEKE 2020, pages 55–60.
- Pantoja, C. E., Soares, H. D., Viterbo, J., Alexandre, T., Seghrouchni, A. E.-F., and Casals, A. (2019). Exposing iot objects in the internet using the resource management architecture. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 29(11n12):1703–1725.
- Pantoja, C. E., Stabile, M. F., Lazarin, N. M., and Sichman, J. S. (2016). Argo: An extended jason architecture that facilitates embedded robotic agents programming. In International Workshop on Engineering Multi-Agent Systems, pages 136–155. Springer.
- Peckol, J. K. (2019). Embedded systems: a contemporary design tool. John Wiley & Sons.
- Rebouças, A. d. C. (2003). Água no brasil: abundância, desperdício e escassez. Bahia análise & dados, 13:341–345.
- Salazar, R., Rangel, J. C., Pinzón, C., and Rodríguez, A. (2013). Irrigation system through intelligent agents implemented with arduino technology.
- Shi, D. L. (2014). Research and design of intelligent agriculture management system based on the internet of things. In Applied Mechanics and Materials, volume 687, pages 1868–1871. Trans Tech Publ.
- Trinta, A., Manoel, F. C. B., and Pantoja, C. E. (2020). Farmer: Sistema Multiagente para a Manutenção Autônoma em uma Agricultura Utilizando um IoT Middleware. In 14th Software Agents, Environments and Applications School (WESAAC).
- 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 special issue. Journal of Universal Computer Science, 18(9):1069–1071.