

Farmer: Sistema Multiagente para a Manutenção Autônoma em uma Agricultura Utilizando IoT *Middleware* *

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. *the agricultural sector, the demand for increased productivity has resulted in problems such as scarcity and waste of natural resources. As a solution, technologies to control and monitor these resources have emerged to make their consumption sustainable. However, these tools still do not offer autonomy at the hardware level, which can delay decision-making about cultivation. The objective of this work is to present a system composed of devices with actuators, sensors, and an embedded SMA that performs autonomous control of resources used in a crop. Besides, this system allows you to connect the devices on an IoT network, and with that, the crop data is made available in real-time. Finally, a WEB page will request data from the IoT network and display it to the user.*

Resumo. *No setor agrícola, a demanda por aumento na produtividade resultou em problemas como escassez e desperdício de recursos naturais. Como solução, surgiram tecnologias de controle e monitoramento destes recursos com o objetivo de tornar seus consumos sustentáveis. Porém, estas ferramentas ainda não oferecem autonomia no nível de hardware, o que pode atrasar tomadas de decisão sobre o cultivo. O objetivo deste trabalho é apresentar um sistema composto de dispositivos com atuadores, sensores e um SMA embarcado que realiza o controle autônomo de um cultivo. Além disso, este sistema permite conectar os dispositivos em uma rede IoT, e com isso, os dados do cultivo são disponibilizados em tempo real. Por fim, uma página WEB irá requisitar os dados do vindos da rede IoT e exibir ao usuário.*

1. Introdução

A modernização da agricultura tem um de seus marcos durante os movimentos de urbanização das décadas de 1950, 1960 e 1970, onde o apelo por uma maior demanda de produção, levou à criação de tecnologias destinadas ao aumento de produtividade dos campos. Entretanto, a demanda excessiva de produção trouxe problemas como escassez e desperdício de recursos naturais, e como solução começaram a surgir tecnologias de controle de recursos utilizados pelo meio agrícola [Suzuki 2007].

*  O trabalho Farmer: Sistema Multiagente para a Manutenção Autônoma em uma Agricultura Utilizando IoT Middleware de Maria Alice Trinta, Carlos Eduardo Pantoja, Fabian Brandão está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Um Agente Inteligente pode ser descrito como uma entidade física ou virtual autônoma capaz de perceber o meio e agir sobre ele, buscando através de planos e ações, alcançar seus objetivos. Eles são considerados entidades inteligentes e autônomas pois são capazes de deliberar suas próprias ações e não necessitam de intervenção humana ou de outros sistemas [Chin et al. 2014]. Um Sistema Multiagente (SMA) é um conjunto de agentes inteligentes situados em um ambiente e organizados de modo a atingirem seus objetivos comuns ou competirem entre si [Wooldridge 2009]. Já a Internet das coisas (IoT) é uma rede que interliga objetos, permitindo a interação objeto-objeto e usuário-objeto. Ao estender a internet ao mundo físico é possível realizar o gerenciamento remoto de qualquer objeto, o rastreamento de objetos através da internet, e o compartilhamento de informações [Zhang et al. 2012].

A criação de um sistema hipotético que gerencie os recursos de uma agricultura utilizando a IoT e SMA, pode trazer consigo benefícios para um cultivo. Uma vez que a água e a luz são elementos básicos para a sobrevivência de uma planta, é possível designar a um SMA o gerenciamento autônomo considerando parâmetros essenciais como umidade do solo, incidência de luz e previsões climáticas, evitando assim o afogamento ou ressecamento do cultivo e evitando também a falta de luz solar sob as plantas. Com isso, o usuário, através da IoT, seria capaz também de acessar as informações sobre o cultivo de qualquer lugar. Inicialmente, este sistema pode auxiliar pequenos cultivos residenciais. No entanto, em larga-escala, este tipo de sistema poderia levar à automatização da agricultura em grandes campos, elevando a produção reduzindo a necessidade de interferência humana.

Existem trabalhos que desenvolveram soluções para o gerenciamento de recursos em agriculturas, como por exemplo o [Salazar et al. 2013] que apresenta um controle de irrigação autônomo a partir de um SMA e um Arduino. No entanto, o trabalho apresenta uma dependência de periféricos, uma vez que as informações só serão processadas com auxílio de um computador. Um outro trabalho [Jin et al. 2018] retrata o desenvolvimento de uma rede de comunicação baseada em um protocolo para compartilhamento de informações sobre um cultivo, mas deixa o gerenciamento dos recursos a serviço do usuário, limitando a autonomia. Por último, o [Shi 2014] retrata a construção de um sistema de manutenção que recolhe, transmite e entrega os dados de um cultivo ao usuário, mas não apresenta autonomia para o gerenciamento do cultivo e de seus recursos.

O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de um dispositivo controlado por um SMA embarcado para fazer o controle autônomo dos recursos utilizados em um cultivo conforme as condições do ambiente, e simultaneamente disponibilizar em tempo real o status do cultivo para o usuário. Para isso, será criado um dispositivo composto por uma *raspberry* e um Arduino. Já para a comunicação entre os controladores e o SMA será utilizada a arquitetura ARGO [Pantoja et al. 2016] que permite a comunicação entre o framework Jason [Bordini et al. 2007] e microcontroladores. O SMA embarcado irá, por meio de crenças capturadas por sensores observar e ponderar se agirá, por meio de atuadores, ou não sobre o ambiente para benefício do cultivo. Para a ligação entre os dispositivos e a camada de gerenciamento dos recursos será utilizado o *middleware* ContextNet, que permitirá aos dispositivos disponibilizarem todas as informações do ambiente em tempo real para o usuário através de uma página *WEB*.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na segunda seção o referencial

teórico, na terceira seção os trabalhos relacionadas, na quarta seção a metodologia, na quinta seção as avaliações experimentais, na sexta seção as considerações finais, e por fim as referências utilizadas.

2. Referencial Teórico

Nesta seção será apresentado o referencial teórico que contém as definições e as tecnologias utilizadas nas seções posteriores para o detalhamento do desenvolvimento do trabalho, suas funções e seu funcionamento.

Um sistema embarcado é a união entre partes de software e hardware responsável por originar dispositivos independentes para atender a somente uma aplicação. Uma vantagem sobre o uso de sistemas embarcados é a possibilidade de criação de dispositivos que independem de qualquer outro tipo de componente externo, tendo todo o necessário para seu funcionamento disponível em um só aparato [Peckol 2019]. No âmbito deste artigo, há a criação de dispositivos que integram software, pois abrigam um SMA, e hardware, através do uso de um Arduino para captação de dados do ambiente. Além disso, todos os dados recebidos poderão ser enviados ao usuário, permitindo a interação entre SMA e usuário. Para isso, há a necessidade de um agente capaz de se comunicar com uma camada de gerenciamento dos recursos, e um agente capaz de se comunicar com o microcontrolador para recolher as informações dos sensores.

Um agente ARGO é uma arquitetura Jason personalizada que tem por finalidade possibilitar a programação de agentes robóticos que são capazes de acessar hardware. O agente é capaz de decidir quando parar ou iniciar o fluxo de percepções vinda dos sensores e definir um intervalo fixo entre cada percepção, para controlar o comportamento perceptivo de um agente. O ARGO utiliza o *middleware* Javino [Lazarin and Pantoja 2015], para possibilitar a troca de informações entre a linguagem Java (alto nível) e a do Arduino (baixo nível), trabalhando como uma via de mão dupla através de uma comunicação serial segura contra perda de informações.

A Internet das Coisas — *Internet of Things* (IoT) — é uma rede que interliga dispositivos físicos para compartilhamento de informações e controles remotos. Neste trabalho, a rede IoT será disponibilizada através do *middleware* ContextNet, que possibilita interligar dispositivos móveis oferecendo o compartilhamento de informações em larga escala [Endler et al. 2011].

3. Sistema de Gerenciamento e Dispositivos *Farmer*

O trabalho propõe uma arquitetura capaz de gerenciar uma plantação de forma autônoma através da criação de um dispositivo embarcado com um SMA capaz de realizar a manutenção dos recursos e informar em tempo real o status do cultivo ao usuário. Nesta seção será descrita toda a metodologia por trás do desenvolvimento do trabalho, que será dividida por camadas, especificando desde a criação do dispositivo e seu funcionamento, até sua aplicação em conjunto com outras tecnologias responsáveis pela virtualização dos dispositivos.

Na Figura 1, a solução proposta está organizada de maneira a por o dispositivo fixado no chão da horta, de onde serão recolhidos os dados sobre umidade do solo e luminosidade para que sejam processados pelo SMA embarcado no dispositivo e utilizados

como base para qualquer gerenciamento feito na horta, como por exemplo o fornecimento de água ou o alerta para se o cultivo recebe ou não luz o suficiente. Os dados recolhidos serão repassados ao usuário através da rede IoT para uma página *WEB*, que terá acesso ao status do cultivo de qualquer lugar.

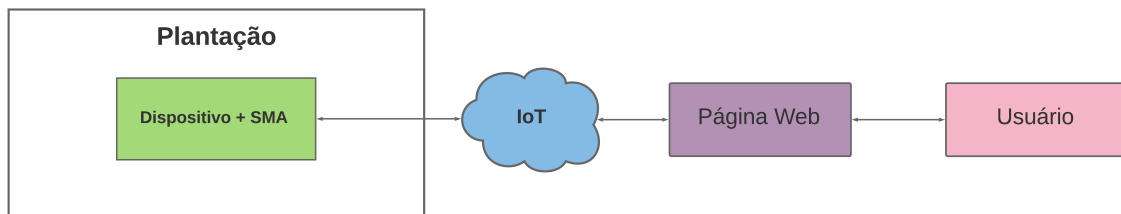


Figura 1. A arquitetura do projeto de gerenciamento autônomo de um cultivo.

Em uma horta pode-se encontrar diversos tipos de plantas, cada uma com necessidades específicas que devem ser levadas em conta, contudo uma planta precisa essencialmente de água e luz para sobreviver, mas para que o cultivo como um todo atinja um alto nível de produtividade é necessário que os recursos essenciais sejam devidamente gerenciados, considerando as especificidades de cada espécie. Logo, o responsável pela horta tem de permanecer atento aos níveis de umidade do solo e de incidência solar, pois caso não haja atenção ao gerenciar estes recursos, problemas como seca ou afogamento podem comprometer o desenvolvimento e levar o cultivo a morte.

No entanto, este responsável pode nem sempre estar disponível para cuidar do cultivo, ou devido a uma falta de experiência o indivíduo pode fracassar e desistir da atividade. Visando uma tecnologia capaz de gerenciar uma plantação sem necessidade de intervenção humana, os dispositivos *Farmer* auxiliarão, de forma autônoma, estes indivíduos a realizar tarefas agrícolas.

Um dispositivo contém sensores capazes de recolher informações sobre a umidade do solo e o índice de luminosidade. A partir destas informações e das necessidades específicas da plantação, os agentes do SMA embarcado serão capazes de gerenciar o acionamento de irrigadores e informar ao usuário caso o cultivo esteja recebendo luz o suficiente ou não. Cada dispositivo *Farmer* possui a função de obtenção de dados externos sobre o clima se conectado a internet para evitar o acionamento de irrigadores caso o local da plantação esteja propício a temporais. Se por acaso uma plantação esteja afogada, muito seca ou não esteja em contato com a luz os agentes do SMA embarcado no dispositivo irão detectar e informar ao usuário através das páginas *WEB*, onde o usuário pode ter acesso ao status do plantio.

Em um cenário onde existem dois *Farmers*, um cuidando de uma plantação de manjeriço e outro de uma plantação de babosas, o *Farmer* do manjeriço irá exigir mais água do que o *Farmer* da babosa, logo cada dispositivo irá funcionar de forma que as necessidades específicas de cada plantio sejam atendidas. Em caso de chuvas no ambiente, o acionamento da irrigação será controlado para benefício do plantio. Caso por exemplo, o solo da plantação de manjeriço esteja com umidade excessiva a qual o *Farmer* não consiga regular, o dispositivo informará o problema ao usuário para que seja resolvido.

3.1. O dispositivo *Farmer*

Para criar um dispositivo que controle os recursos básicos utilizados em um cultivo de forma autônoma, e fazer com que os dados recolhidos sobre o ambiente cheguem até o usuário é preciso atuadores e sensores capazes de coletar dados e atuar sobre o ambiente, um modelo cognitivo para avaliar e agir sobre esses dados e, por fim, um meio que possibilite a transmissão e visualização dos dados recolhidos.

O dispositivo é composto de um microcontrolador Arduino para permitir o controle dos sensores e dos atuadores, um mini-computador *Raspberry* para abrigar os agentes cognitivos e uma rede IoT criada com o *middleware* ContextNet para a comunicação com uma aplicação WEB.

É possível observar a arquitetura dos dispositivos na Figura 2, onde o Arduino controla os sensores de umidade do solo e de luminosidade que são utilizados para verificar se o plantio está recebendo todos os elementos necessários para sua sobrevivência. O Arduino controla também o irrigador, que nesse caso faz papel de atuador, sendo acionado somente quando necessário.

A decisão sobre o acionamento do irrigador vem após o recolhimento e processamento das informações feito pelo SMA embarcado na *raspberry*. Para fazer a interação entre o microcontrolador e o mini-computador, foram utilizados nos SMA agentes ARGO, capazes de fazer a captação dos dados recolhidos pelo Arduino, possibilitando o processamento das informações, o envio para a camada IoT e a devolução de ações de acionamento de atuadores ao Arduino.

Para que as informações sejam enviadas ao usuário, foi necessária a criação de uma rede IoT através do *middleware* ContextNet, originando assim, a camada de gerenciamento de recursos, uma arquitetura voltada para o gerenciamento de objetos IoT que permite armazenar informações recolhidas pelo dispositivo em um banco de dados onde os mesmos são registrados, cada um possuindo uma identificação única, possibilitando também o gerenciamento manual a distância permitindo o acionamento ou desligamento de irrigadores.

3.2. SMA, RML e aplicação WEB

Cada dispositivo *Farmer* contém um SMA composto por dois agentes capazes de fazer o controle de suas funções. O primeiro agente, chamado controlador, é uma arquitetura ARGO que recebe crenças baseadas no que se observa através dos sensores e o segundo agente, chamado mediador, é uma arquitetura jason padrão que recebe as crenças do controlador, retorna ordens e envia as informações através do *middleware* ContextNet para a camada de gerenciamento de recursos, onde o dispositivo é cadastrado e suas informações são salvas em um banco de dados.

A camada de gerenciamento de recursos (Resource Management Layer - RML)[Pantoja et al. 2019] é uma arquitetura que possibilita a organização dos objetos IoT de um ambiente. Este recurso estabelecido pelo *middleware* ContextNet é uma aplicação servidor que permite armazenar informações sobre objetos IoT em um banco de dados para que os mesmos sejam registrados e possam ser gerenciados. A utilização da RML permite que sejam criadas aplicações móveis que possibilitam a visualização dos dados destes objetos a partir de qualquer lugar, a qualquer momento.

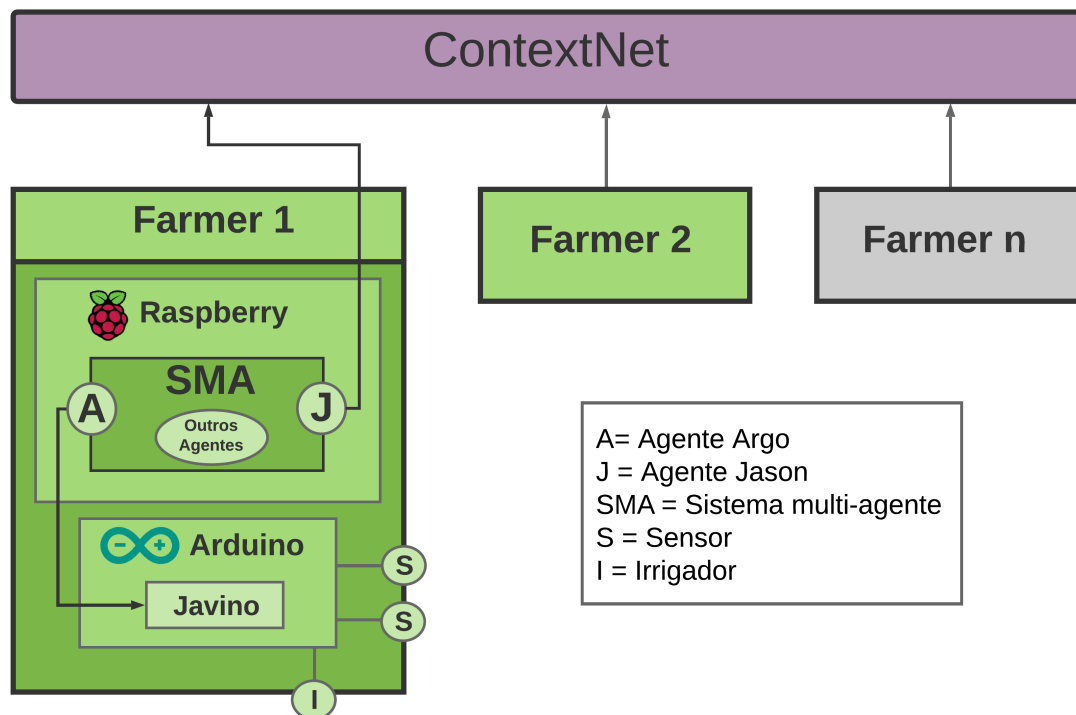


Figura 2. Comunicação entre o dispositivo e a camada ContextNet / gerenciamento de recursos.

O agente controlador por ser uma arquitetura ARGO, possui funções que em conjunto do *middleware* javino possibilitam a extração de dados sobre umidade e incidência luminosa do ambiente do cultivo, estes dados passam a ser crenças e estas crenças são compartilhadas com o agente mediador. As informações são extraídas a partir de um plano onde o comando *.port* sinaliza a porta referente ao arduino e o comando *.percepts(open/block)* permite a passagem das informações pela porta. O agente mediador ao receber estas crenças, devolve ao controlador ordens de acordo com suas crenças e executa duas ações internas, uma referente à uma busca por incidência de chuvas na região e outra responsável pela comunicação com a RML passando todas as informações sobre o cultivo. O agente mediador através de suas crenças e através de sua ação interna que verifica incidência de chuva, vai devolver ao controlador especificamente ordens sobre o acionamento ou não do sistema de irrigação.

Devida a utilização da RML foi possibilitado ao usuário visualizar as informações a cerca da horta a partir de qualquer lugar através de uma aplicação *WEB*. Assim que a RML recebe as informações sobre o dispositivo, suas características e funções são cadastrados em um banco de dados. Logo, foi criada uma página *WEB* (Figura 3) onde o usuário pode visualizar as informações coletadas pelos sensores dos dispositivos *Farmer*.

Pode-se então ver a arquitetura completa do trabalho na Figura 4, que vai desde os dispositivos *Farmer*, seus sensores e seu SMA, até a camada RML onde há um banco de dados (Virtualized Components DataBase - VCDB) para o cadastro dos dispositivos e dos dados recolhidos e por fim a conexão desse banco de dados com a camada *WEB*, onde foi criada uma aplicação em *Java Server Pages* (JSP) para que todas as informações

Tabela 1. Design do caso de estudo

Design	Descrição
Objetivo	Analisar o funcionamento do dispositivo <i>Farmer</i> , bem como o sistema em geral.
Caso	Foram comparados dois vasos de planta, um gerenciado pelo sistema e outro por um voluntário.
Questões	O sistema funciona como planejado? É uma ferramenta que facilita a prática da agricultura? É tão eficiente quanto um ser humano ou mais? É possível designar a função de cuidar de um cultivo a este sistema ao invés de um ser humano?
Método	Método de observação.

coletadas cheguem ao usuário.



Figura 3. Página WEB do Sistema de Gerenciamento.

4. Avaliação Experimental

Após a criação do dispositivo foram feitos testes referentes às funções do sistema no meio prático. Foi constatado através de experimentos que, o solo onde ficou instalado o dispositivo estava sempre hidratado adequadamente, enquanto o solo que não era regido pelo sistema ficava em constante seca. Na Tabela 1, pode-se ver como foi montado e em que se baseou o caso de estudo.

Os testes que duraram duas semanas consistiram em um cenário onde se encontravam dois vasos de plantas, um com o dispositivo e outro sem, colocados em condições onde um voluntário regava o vaso de planta sem o dispositivo sempre que possível. Em Figura 5, pode-se ver a esquerda da imagem o vaso gerenciado pelo sistema, com o dispositivo ao lado recolhendo informações e uma válvula solenoide que permite a passagem de água se necessário para irrigação, e a direita da imagem o vaso gerenciado pelo voluntário. Na Tabela 2, pode-se ver quais foram os resultados obtidos durante o período de observação.

Sistemas multiagentes para a manutenção em uma agricultura domiciliar utilizando IoT

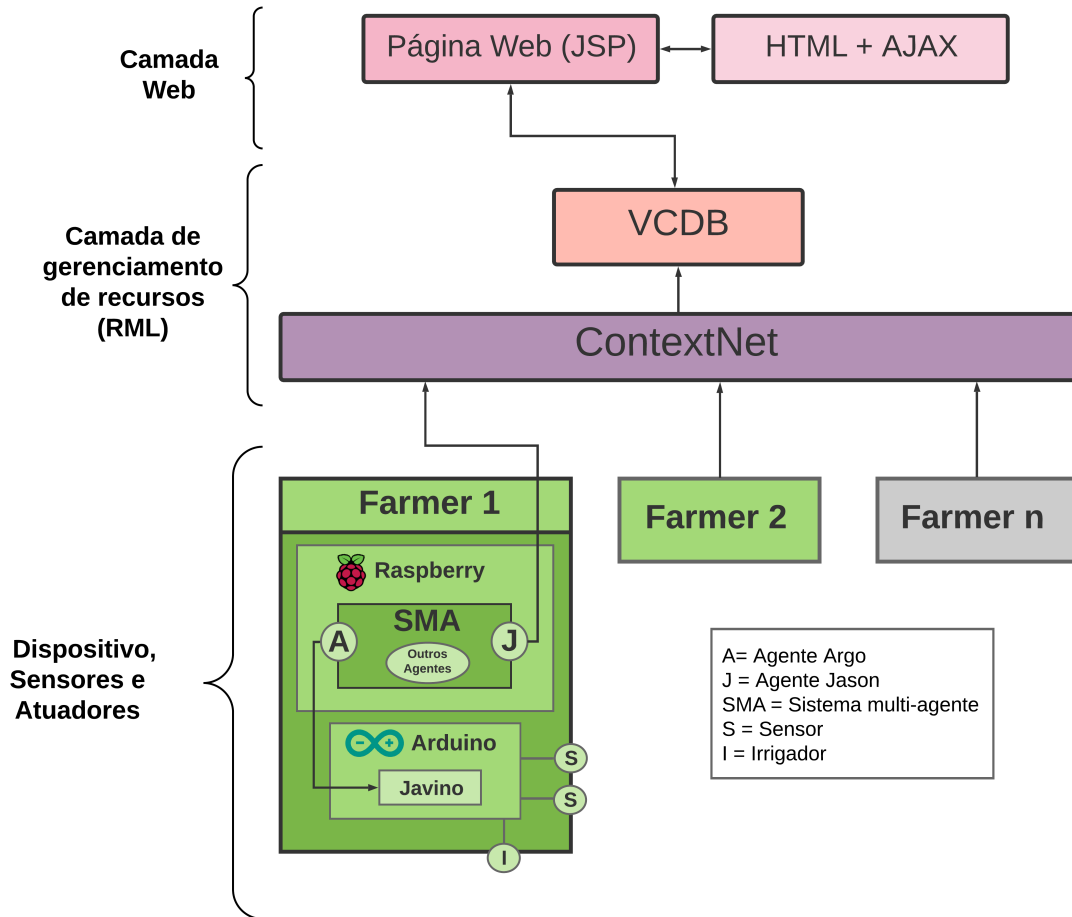


Figura 4. Arquitetura completa do trabalho.

Foram observados ao longo do período de testes alguns eventos que serviram de base para as constatações anteriores, o primeiro foi a falta de irrigação constante causada pelo esquecimento após uma longa jornada de trabalho, ou rotina exaustiva, fazendo com que a irrigação da planta pelo voluntário acontecesse nenhuma, uma ou duas vezes ao dia. Em um outro momento, o voluntário regou a planta e logo em seguida ocorreram chuvas, o que alagou o cultivo. Em comparação, o *Farmer* manteve uma irrigação regular de duas vezes ao dia, em dias de baixa incidência solar, e em dias muito quentes até três se necessário, e evitou também o afogamento do cultivo no dia em que ocorreram as chuvas.

Através das imagens, é possível concluir o melhor desenvolvimento do vaso gerenciado pelo dispositivo, em contrapartida o vaso gerenciado pelo voluntário não conseguiu se desenvolver pois a falta de irrigação constante gradativamente o levou a seca. Durante o período de testes, o sensor de luminosidade se manteve funcional informando constantemente se o cultivo estava recebendo luz ou não.

Tabela 2. Resultados obtidos

Teste	Descrição	Resultado
Comunicação entre o microcontrolador e o microcomputador.	Porcentagem de sucesso (%) quando há troca de dados entre o SMA e o Arduíno.	100%
Comunicação entre o SMA e a RML.	Porcentagem de sucesso (%) quando há troca de dados entre o SMA e a RML através da ContextNET.	100%
Verificar se a planta do FARMER dura mais tempo do que se fosse gerenciada por um humano.	Análise feita a partir da Figura 5, comparando a planta gerenciada pelo sistema e a planta gerenciada pelo voluntário.	Sim

5. Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão explorados os trabalhos que partilham do objetivo de criar tecnologias inteligentes para a manutenção sustentável e autônoma de uma agricultura.

O primeiro trabalho [Salazar et al. 2013] apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle de irrigação a partir de um SMA e um Arduino, que recolhe a informação dos sensores e as envia a um computador para que essas informações sejam processadas pelo SMA e exibidas ao usuário por meio de uma ferramenta gráfica. O trabalho possui autonomia, pois os agentes conduzem as operações a partir das informações processadas, no entanto acaba sendo dependente de periféricos, uma vez que há a necessidade de um computador para abrigar o SMA.

No segundo trabalho [Jin et al. 2018] é descrito o desenvolvimento de uma rede baseada nos protocolos LoRa (Long Range) [Bor et al. 2016] um transceptor desenvolvido pela Samtech que permite a transmissão e recepção de dados por longas distâncias. O trabalho desenvolve uma ferramenta IoT para dispositivos que coletam informações sobre uma plantação, proporcionando o compartilhamento de dados por longas distâncias. Porém, não há presença de nenhuma inteligência capaz de gerenciar a partir do processamento dessas informações, fazendo com que o trabalho seja mais uma ferramenta de apoio a manutenção do que uma ferramenta para a manutenção propriamente dita.

Por último temos o [Shi 2014], trabalho que apresenta um sistema de manutenção para uma agricultura baseado em uma rede IoT que possibilite o controle de informações e equipamentos da indústria agrária. O trabalho explora ferramentas *WEB* e diversos *frameworks*, dispositivos e softwares como modos de acesso a informação e controle remoto de uma agricultura. Todavia, o trabalho acaba apresentando uma proposta de sistema que não define uma ferramenta específica, fazendo um estudo sobre possíveis ferramentas para cuidar de um plantio que utilizem de uma rede IoT para controle de recursos.

O presente trabalho oferece um dispositivo IoT que independente de periféricos, pois todos os softwares são abrigados em um dispositivo embarcado, que seja autônomo, pois possui um SMA capaz de gerenciar o cultivo sem necessidade de intervenção humana, e que contém uma camada *WEB* estabelecida para que o usuário tenha acesso a



Figura 5. Avaliação experimental.

todas as informações sobre o cultivo em tempo real, trazendo uma implementação real, e não apenas propostas.

6. Considerações finais

O trabalho apresentou uma solução autônoma e sustentável utilizando um SMA embarcado que permite o gerenciamento para evitar tanto o desperdício de recursos hídricos quanto o afogamento do cultivo, sendo a abordagem de agentes central no desenvolvimento deste trabalho. O trabalho se provou funcional através da experimentação proposta onde o dispositivo foi inserido na prática para cuidar e gerenciar os recursos de uma planta, executando todas as funções propostas.

As contribuições que este trabalho pretende trazer são para a área de agentes, expandindo suas funcionalidades e explorando suas utilidades no meio prático, para a área da IoT, expandindo suas possibilidades de uso ao designa-la para auxílio no gerenciamento de uma horta, e também para atividades agrícolas de um modo geral, uma vez que o principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma solução para o gerenciamento autônomo que evite o desperdício de recursos.

Para trabalhos futuros pretende-se inserir o sistema em uma horta de ensino, encarregando os cuidados de um ambiente real ao sistema, e também fazer mais testes comparativos entre um cultivo com o sistema e um sem o sistema, fazendo um acompanhamento do nascimento à morte da plantação. Além disso, é preciso permitir com que os SMA presentes em cada dispositivo se comuniquem para cuidar de cultivos cada vez maiores e

mais diversificados, compartilhando informações e atuando para que todo o campo obtenha a melhor produtividade possível de forma autônoma. Também é desejado desenvolver um aplicativo *Android* capaz de exercer as mesmas funções da página *WEB*, expandindo as possibilidades de supervisão a distância para outras plataformas e adicionar um sensor de temperatura, para melhorar a qualidade do diagnóstico ao tentar manter as condições de temperatura estáveis.

Referências

- Bor, M., Vidler, J. E., and Roedig, U. (2016). Lora for the internet of things.
- Bordini, R. H., Hübner, J. F., and Wooldridge, M. (2007). Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason. John Wiley & Sons Ltd.
- Chin, K. O., Gan, K. S., Alfred, R., Anthony, P., and Lukose, D. (2014). Agent architecture: An overview. Transactions on science and technology, 1(1):18–35.
- 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.
- Pantoja, C., Dorneles Soares, H., Viterbo, J., Alexandre, T., Seghrouchni, A., and Casals, A. (2019). Exposing iot objects in the internet using the resource management architecture. International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 29:1703–1725.
- Pantoja, C. E., Stabile Jr, M. F., Lazarin, N. M., and Sichman, J. S. (2016). ARGO: A customized jason architecture for programming embedded robotic agents. Fourth International Workshop on Engineering Multi-Agent Systems (EMAS 2016).
- Peckol, J. K. (2019). Embedded systems: a contemporary design tool. John Wiley & Sons.
- 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.
- Suzuki, J. C. (2007). Modernização, território e relação campo-cidade: uma outra leitura da modernização da agricultura. Agrária (São Paulo. Online), (6):83–95.
- 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.