

Autonomous irrigation: How can intelligent agents contribute to plant care?

**Willian Araújo, Pedro Schualwb, Rafael Mello,
Bruno Freitas, Gleyson Piazza e Nilson Lazzarin**

Bachelor's Degree in Electrical Engineering – Federal Center for Technological Education Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ) – Nova Friburgo, RJ – Brasil

willian.araujo@aluno.cefet-rj.br

Abstract. *This work presented the development of an autonomous irrigation system based on artificial agents for monitoring and controlling vegetable gardens. The proposal integrates soil moisture, flow, and water level sensors, as well as Arduino Nano and Raspberry Pi Zero 2W for data acquisition and processing. The architecture uses Multi-Agent Systems with Jason and Javino, allowing continuous monitoring and automatic irrigation decisions. Laboratory tests demonstrated correct identification of moisture conditions and an appropriate response to water needs. Safety mechanisms prevented pump activation failures, demonstrating greater autonomy, efficiency, and reliability of the system.*

Resumo. *Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de irrigação autônoma baseado em agentes artificiais para monitoramento e controle de hortas. A proposta integra sensores de umidade do solo, fluxo e nível de água, além de Arduino Nano e Raspberry Pi Zero 2W para aquisição e processamento de dados. A arquitetura utiliza um agente ARGO, permitindo monitoramento contínuo e decisões automáticas de irrigação. Os testes em laboratório demonstraram identificação correta das condições de umidade e resposta adequada às necessidades hídricas. Mecanismos de segurança evitaram falhas no acionamento da bomba, evidenciando maior autonomia, eficiência e confiabilidade do sistema.*

1. Introdução

A irrigação dificilmente é lembrada como uma importante inovação nos dias atuais, mesmo sendo uma das tecnologias mais importantes quando o assunto é desenvolvimento da agricultura e a produção sustentável de alimentos (Rodrigues 2022). No contexto atual de mudanças climáticas, responsáveis por impactos na temperatura e no regime de chuvas, essa tecnologia assume um papel vital. Ao disponibilizar água de forma controlada, ela assegura que a umidade no solo seja ideal, auxiliando na absorção de nutrientes e no crescimento das plantas. Dessa forma, suas contribuições são fundamentais e abrangem desde a redução da fome e a geração de empregos até o desenvolvimento social e econômico.

Após breve detalhamento sobre a irrigação, é válido destacar o setor de agricultura familiar, que está fortemente atrelado à irrigação, destacando-se na produção de milho, mandioca, feijão, arroz, café, fruticulturas e hortaliças. De acordo com os dados do Censo

Agropecuário de 2017, descobriu-se que 77% dos estabelecimentos agrícolas do país são classificados como agricultura familiar e, além disso, 90% dos municípios brasileiros com até 20 mil habitantes têm nesse setor sua base econômica (Embrapa 2019).

A agricultura familiar é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico, sendo responsável pela maior parte dos empregos gerados no campo e pela permanência do trabalhador através do manejo de terra. Somado a isso, o setor garante a qualidade de sua produção através da sustentabilidade ambiental e da preservação de práticas tradicionais de cultivo (Embrapa 2019). O cultivo de hortas é uma das principais atividades desenvolvidas pela agricultura familiar. Sendo muito utilizada para o cultivo de hortaliças, legumes, temperos e ervas medicinais, seja para o consumo próprio ou para o comércio local. Podem ser frequentemente encontradas em residências, comunidades e até nas escolas, contribuindo diretamente no incentivo da alimentação saudável e no comportamento sustentável. Com o objetivo de assegurar o crescimento e desenvolvimento adequados das plantas, o ambiente precisa estar em condições de cultivo favoráveis. Nesse sentido, a irrigação possui forte influência nesse processo, juntamente com outros fatores como a disponibilidade de nutrientes e a incidência solar, que contribuem para um aumento de produtividade e qualidade dos alimentos.

1.1. Definição do problema

Embora a irrigação proporcione diversos benefícios, muitos sistemas ainda enfrentam desafios que tornam essa tecnologia limitante para hortas e pequenas propriedades. Entre eles destacam-se a dependência da intervenção humana, a necessidade de monitoramento contínuo da umidade do solo, a utilização de regras estáticas sobre quando deve-se irrigar e a desinformação sobre as condições meteorológicas.

Em sistemas convencionais de irrigação, para que o cultivo ocorra de forma eficiente, é preciso que o agricultor acompanhe constantemente as condições em que o solo e as plantas se encontram para determinar o momento adequado para realizar o processo de irrigação. Entretanto, essa abordagem pode apresentar falhas, como avaliações imprecisas das necessidades hídricas e distrações que podem levar ao esquecimento ou a indisponibilidade do usuário. Para que o solo esteja idealmente úmido, o monitoramento contínuo é de vital importância. No entanto, esse processo costuma ser feito de forma manual, na maioria das vezes na observação visual empírica, acarretando em imprecisões que por sua vez originarão situações de irrigação excessiva ou insuficiente. Outras variáveis como as suscetíveis mudanças nas condições climáticas e na temperatura ambiente são fatores preponderantes que nem sempre estão a par do usuário.

Alguns sistemas de irrigação (na maioria das vezes automatizados) possuem regras estáticas para definir os melhores horários, dias e o volume de água necessário para que o crescimento da planta ocorra de forma eficaz. Essa abordagem é baseada em parâmetros previamente calculados para determinar o uso correto e adequado dos recursos hídricos, um exemplo é a lâmina de água (mm/dia), que é definida com base na evapotranspiração média. Inclusive, dependendo da tipologia da planta, a irrigação pode demorar até 3 dias para ocorrer novamente (de Albuquerque 2010). Esse método apresenta vantagens por não necessitar de constante intervenção humana, já que para sistemas autônomos, a irrigação ocorre de forma predeterminada. Todavia, esse modelo estático não considera fenômenos climáticos, que podem alterar os valores calculados de

evapotranspiração do dia. Também a má administração da água no solo, pode favorecer o surgimento de ervas daninhas e outras doenças, além de causar degradação do solo (Regaber 2022).

1.1.1. Previsão do tempo

Outro fator relevante são os fenômenos climáticos. Um dos maiores desafios enfrentados por sistemas de irrigação é a desinformação desses acontecimentos que comprometem o bom funcionamento do sistema (Maria Emília Borges Alves 2024). Entretanto, o conhecimento adequado deste tema, pode contribuir para uma redução considerável dessa instabilidade, permitindo criar sistemas autônomos com base em agentes que buscam por dados relacionados a previsão do tempo (IDR-Paraná 2025).

Lazarin et al. (2024) propõem um modelo descentralizado que se baseia em agentes artificiais sendo utilizados para o gerenciamento de eventos de crise, utilizando agentes na integração de informações fornecidas por meio do ambiente e na tomada de decisões. Dessa maneira, o trabalho mostra a aplicação desse método em um cenário com dispositivos físicos e registros meteorológicos, destacando a capacidade de agentes artificiais embarcados para atuar em ambientes dinâmicos.

1.2. Agentes artificiais aplicados à automação da irrigação

Perante os problemas apresentados, sugere-se como alternativa para melhorar a autonomia e a inteligência dos sistemas de irrigação a utilização de agentes artificiais. Um agente pode ser definido como uma entidade capaz de perceber seu ambiente por meio de sensores e de interagir sobre ele através de atuadores, assim cumprindo determinados objetivos (Russell and Norvig 2013).

No contexto da irrigação, a interação humano-agente é decorrente da cooperação entre o usuário e o sistema inteligente. O usuário é responsável por definir os parâmetros de funcionamento do sistema, enquanto o agente artificial é responsável pela percepção e monitoramento do ambiente, coletando e interpretando as informações coletadas e tomando decisões em relação ao acionamento (ou não acionamento) do sistema de irrigação. Esse método contribui muito com o bom funcionamento do sistema, pois garante monitoramento contínuo do ambiente e rápida resposta às variações registradas pelos sensores. Dessa forma, ao utilizar agentes artificiais embarcados é possível integrar dispositivos físicos e mecanismos de decisão autônoma, permitindo que os agentes obtenham informações do ambiente e usem tais informações para conduzir ações sobre o meio físico (Lazarin et al. 2024).

Nesse contexto, uma abordagem similar pode ser aplicada no cenário de cultivo automatizado, empregando sensores para coleta de informações a respeito das condições do solo e agentes artificiais para tomar decisões sobre a necessidade de irrigação.

2. Trabalhos relacionados

A automação de hortas e sistemas de irrigação tem sido amplamente explorada na literatura devido à crescente necessidade de otimizar o uso de recursos hídricos, reduzir custos operacionais e aumentar a produtividade agrícola. O avanço das plataformas embarcadas de baixo custo, especialmente o Arduino, possibilitou o desenvolvimento de

diversas soluções voltadas ao monitoramento ambiental e ao controle automatizado da irrigação, tornando essas tecnologias acessíveis tanto para aplicações acadêmicas quanto para pequenos produtores e hortas domésticas.

Lino et al. (Lino et al. 2017) desenvolveram um sistema de irrigação automatizada para a horta didática da Universidade Federal do Ceará utilizando a plataforma Arduino e sensores para monitoramento das condições do cultivo. O sistema realiza o acionamento automático da irrigação de acordo com parâmetros previamente estabelecidos, contribuindo para a economia de água e redução da intervenção humana. Assim como a proposta deste trabalho, os autores utilizam sensores para monitorar o ambiente e automatizar o processo de irrigação. Entretanto, a solução apresentada é baseada em uma arquitetura centralizada, sem o emprego de sistemas multiagentes ou mecanismos de tomada de decisão distribuída. Além disso, o trabalho não contempla a utilização de agentes inteligentes para coordenação das ações do sistema.

Ishikawa et al. (Ishikawa et al. 2016) propuseram um sistema de irrigação automática utilizando Arduino e sensores de umidade do solo para controlar o acionamento de uma bomba d'água. O objetivo principal foi oferecer uma solução de baixo custo para hortas domésticas e pequenos cultivos, permitindo que a irrigação ocorra apenas quando necessária. A proposta possui semelhanças com este trabalho por utilizar sensores para monitoramento da umidade do solo e controle automatizado da irrigação. Contudo, a tomada de decisão é realizada por meio de regras simples implementadas diretamente no microcontrolador, não existindo comunicação entre agentes ou distribuição das responsabilidades de monitoramento e controle.

Almeida et al. (Almeida et al. 2025) apresentaram uma solução para automatização de hortas caseiras baseada em Arduino ESP32, sensores ambientais e tecnologias de Internet das Coisas (IoT). O sistema permite o monitoramento remoto das condições da horta por meio de uma interface web, além de controlar automaticamente a irrigação. Entre as principais semelhanças com o presente trabalho destacam-se o monitoramento remoto, a coleta de dados ambientais em tempo real e a automação do processo de irrigação. Entretanto, a arquitetura proposta pelos autores permanece centralizada, sendo toda a lógica de controle executada por um único dispositivo. Diferentemente da abordagem desenvolvida neste trabalho, não são utilizados sistemas multiagentes nem mecanismos de comunicação entre agentes para tomada de decisão colaborativa.

Os trabalhos analisados demonstram a eficácia da utilização de sensores e plataformas embarcadas na automação de hortas e sistemas de irrigação. Contudo, todos adotam abordagens centralizadas para o gerenciamento dos dispositivos e das decisões do sistema. A principal contribuição da proposta desenvolvida neste trabalho está na utilização de Sistemas Multiagentes por meio das ferramentas Jason e Javino, permitindo que agentes especializados realizem de forma distribuída tarefas de monitoramento, análise e controle da irrigação. Além disso, o sistema incorpora monitoramento remoto em tempo real, proporcionando maior flexibilidade, modularidade e escalabilidade quando comparado às soluções encontradas na literatura.

3. Proposta

Ao compreender os benefícios que agentes artificiais podem trazer para diversos sistemas, incluindo o de irrigação automatizada. Este projeto almeja demonstrar de forma prática,

essa interação e contribuição, provando que agentes podem monitorar e tomar decisões a respeito do nível de umidade contido no solo, acionando o sistema de irrigação caso seja necessário.

A estrutura do sistema é composta por um Arduino Nano V3, um Raspberry Pi Zero 2W (com chonOS (Lazarin et al. 2026) instalado), sensores de monitoramento e uma bomba hidráulica que opera por meio de um circuito de potência baseado em um transistor e um relé eletromecânico (Figura 1). A interação entre o Arduino Nano e o Raspberry ocorre por meio de uma conexão USB, para que a troca de informações ocorra de forma eficiente e simplificada.

O software do sistema foi desenvolvido com base no conceito de Sistemas Multi-agentes (SMA), porém nele utilizou-se somente um agente do tipo ARGO (Pantoja et al. 2023). O ambiente físico é composto por todos os sensores e atuadores que interagem com o processo de irrigação, sobre o qual atua o agente artificial ARGO, que utiliza a interface de comunicação serial Javino para estabelecer a comunicação com os dispositivos físicos. Assim, quando a troca de informações entre o Arduino Nano e o Raspberry ocorre, o agente recebe as informações de todos os sensores, analisa e toma as decisões sobre o acionamento do sistema de irrigação automatizado.

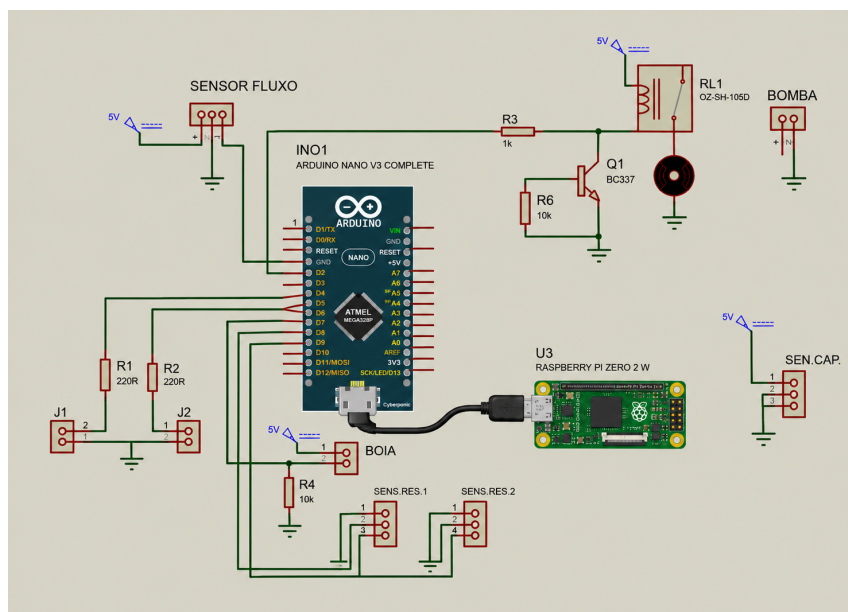


Figura 1. Esquemático do sistema de irrigação autônomo.

4. Prova de conceito

Por meio desta seção, serão demonstrados os resultados obtidos por meio do desenvolvimento do sistema de irrigação autônomo baseado em agentes artificiais, mais especificamente no agente artificial ARGO. O objetivo principal deste projeto foi elaborar e construir um protótipo para demonstrar na prática como agentes podem monitorar continuamente a umidade do solo e decidir se a irrigação deve ser acionada. Dessa forma, colaborando para a redução da necessidade de intervenção humana no processo de irrigação.

Para ratificar a ideia proposta, foi utilizado um pequeno canteiro experimental contendo dois sensores de umidade resistivos para realizar o monitoramento do solo e um

sensor de umidade capacitivo para leituras mais precisas e análises. O sistema também é composto por um pequeno galão com água que contém uma mini bomba d'água que fica submersa e um sensor de nível tipo boia. A água bombeada passa por um sensor de fluxo que verifica se os pulsos estão normais, detectando se a bomba está funcionando adequadamente, ou se existe algum problema impedindo o fluxo de água.

Todo esse sistema está conectado a um microcontrolador Arduino Nano, responsável pelo processamento dos dados entre componentes físicos e, acoplado a ele, um Raspberry encarregado de realizar a comunicação entre o Arduino Nano com os agentes artificiais. A seguir, no Arduino, implementou-se um código responsável pela comunicação entre sensores e atuadores, utilizando um mecanismo de comunicação serial baseado em Javino. Após isso, as informações obtidas pelo Arduino foram recebidas pelo agente ARGO denominado de “Chico” e incorporadas à sua mente, e por meio dessas crenças, elaborou-se um código de monitoramento para o sistema, demonstrando portanto que a teoria funciona na prática. A Figura 2 apresenta a estrutura física montada em laboratório.

Inicialmente, o sistema foi ligado com o Arduino Nano e o Raspberry recebendo alimentação da tomada, enquanto o sistema recebia energia de uma bateria. Essa lógica foi utilizada, devido a bomba precisar dessa bateria para ser acionada e ter um funcionamento efetivo. Logo após, os dados foram enviados para a mente do agente Chico (Figura 3), responsável pelo monitoramento constante da umidade do solo e do sistema de irrigação.

As crenças armazenadas na mente do agente Chico são apresentadas na Figura 3. O desenvolvimento e a configuração do agente e dos componentes do sistema foram efetivados por meio de um ambiente de desenvolvimento com foco em sistemas multi-agente embarcados, a ChonIDE (Souza de Jesus et al. 2023). Dessa forma, para averiguar o funcionamento do sistema de irrigação, foram realizados testes em diferentes situações de umidade do solo.

Assim, notou-se que quando o solo estava úmido o agente Chico era capaz de identificar claramente o solo na condição de úmido, e como resposta não acionava a bomba, mas mantinha o estado contínuo de observação. Todavia, quando um dos sensores resistivos de umidade foi posto em um recipiente com terra seca, o agente identificou que o solo estava seco, assim Chico interpretou que o solo necessitava de umidade, e rapida-

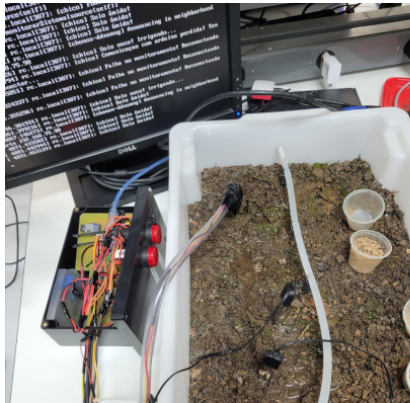


Figura 2. Protótipo.

Inspection of agent chico

- Beliefs

fluxoAgua(erro)[source(percept)]

ledStatus(off)[source(percept)]

nivelReservatorio(ok)[source(percept)]

port(ttyUSB0,on)[source(percept)]

sensorCapacitivo(75)[source(percept)]

serialPort(ttyUSB0)[source(self)]

umidadeAnalog1(63)[source(percept)]

umidadeAnalog2(64)[source(percept)]

- Intentions

Sel	Id	Pen	Intended	Means	Stack (hide details)
	4		+!monitorarSolo[source(self)]		
<- ... !!monitorarSolo { A1 =					

Figura 3. Mente do agente Chico durante a execução.

mente ordenou o acionamento da bomba, e novamente observou o nível de umidade do solo.

Por fim, realizando mais testes, notou-se que o sistema também não era acionado quando existia erro de fluxo no sensor ou nível baixo no reservatório. Algo esperado segundo a lógica programada no código. Portanto, os testes realizados em laboratório demonstraram que o sistema foi capaz de responder corretamente às mudanças observadas nas condições do ambiente. A Figura 3 apresenta a visualização da mente do agente artificial Chico, demonstrando suas crenças e intenções relacionadas às condições identificadas. Por intermédio dessas informações fornecidas pelos sensores, o agente Chico foi capaz de identificar as condições do solo e acionou, ou manteve desligado, o sistema de irrigação, respeitando os estados do solo e de segurança estabelecidas no código. Demonstrando que é possível reduzir a necessidade de monitoramento constante e intervenção do ser humano utilizando agentes artificiais em aplicações de irrigação automatizada. Os códigos estão disponíveis em <https://github.com/LabRedesCefetRJ/araujo2026>.

5. Conclusão

O desenvolvimento deste trabalho permitiu demonstrar a viabilidade da utilização de agentes artificiais em sistemas de irrigação automatizada voltados para hortas e pequenos cultivos. A integração entre sensores, dispositivos embarcados e o agente artificial possibilitou o monitoramento contínuo das condições do solo e a tomada de decisões em tempo real. Os experimentos realizados comprovaram que o sistema foi capaz de identificar corretamente diferentes estados de umidade e acionar a irrigação apenas quando necessário. Além disso, as rotinas de segurança implementadas contribuíram para aumentar a confiabilidade da solução, evitando acionamentos indevidos em situações de falha operacional.

Os resultados obtidos indicam que a aplicação de Sistemas Multiagentes representa uma alternativa promissora para o gerenciamento inteligente de recursos hídricos na agricultura. A arquitetura proposta apresentou características importantes, como modularidade, escalabilidade e capacidade de adaptação às mudanças do ambiente. Como trabalhos futuros, pretende-se incorporar informações provenientes de serviços de previsão meteorológica, ampliar a quantidade de sensores monitorados e desenvolver mecanismos mais sofisticados de tomada de decisão. Dessa forma, espera-se aumentar ainda mais a autonomia do sistema e contribuir para práticas agrícolas mais eficientes, sustentáveis e alinhadas aos princípios da agricultura inteligente.

References

- Almeida, S. S. d. et al. (2025). Automatização de hortas caseiras: sistema inteligente de irrigação com arduino. *Caderno Pedagógico*, 22(8). DOI: 10.54033/cadpedv22n8-326.
- de Albuquerque, P. E. P. (2010). Estratégias de manejo de irrigação: Exemplos de cálculo. *Circular Técnica*. Acesso em: 10 de junho de 2026. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/865592>.
- Embrapa (2019). Agricultura familiar. Acesso em: 25 de maio de 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar>.
- IDR-Paraná (2025). Protótipo de sistema de irrigação inteligente melhora o manejo de água. Acesso em: 10 de junho de 2026.

- Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/Prototipo-de-sistema-de-irrigacao-inteligente-melhora-o-manejo-de%2Dagua>.
- Ishikawa, R. H. et al. (2016). Sistema de irrigação automática com arduino. *Revista Univap*, 22(40). DOI: 10.18066/revistaunivap.v22i40.1054.
- Lazarin, N., Pantoja, C., and Viterbo, J. (2026). An Operating-System Infrastructure for Embedded BDI-Based Multi-agent Systems. In *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2026*, Cham. Springer. DOI: 10.1007/978-3-032-30494-0_37.
- Lazarin, N. M., Alexandre, T., de Paiva, M. M., Pantoja, C. E., Viterbo, J., and Bernardini, F. (2024). A Decentralized Agent-Based Model for Crisis Events Using Embedded Systems. In *Proceedings of PAAMS 2024*, page 159–171, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. DOI: 10.1007/978-3-031-70415-4_14.
- Lino, D. R. et al. (2017). Irrigação automatizada com plataforma de desenvolvimento arduino na horta didática da universidade federal do ceará. *Irriga*, 1(1):85–93. DOI: 10.15809/irriga.2017v1n1p85-93, Acesso em: 11 de junho de 2026. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2803>.
- Maria Emília Borges Alves (2024). Influência do clima na agricultura. Acesso em: 16 de junho de 2025. Disponível em: <https://wikirriga.com.br/influencia-do-clima-na-agricultura/>.
- Pantoja, C. E., Jesus, V. S. d., Lazarin, N. M., and Viterbo, J. (2023). A Spin-off Version of Jason for IoT and Embedded Multi-Agent Systems. In *Intelligent Systems*, pages 382–396, Cham. Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-45368-7_25.
- Regaber (2022). Tipos de irrigação: vantagens e desvantagens de seu uso no campo. Acesso em: 10 de junho de 2026. Disponível em: <https://regaber.com/pt/blog/tipos-riego-ventajas-desventajas/>.
- Rodrigues, L. N. (2022). Agricultura irrigada e sua importância na produção de alimento: nexos água-alimento. *Embrapa*. Acesso em: 09 de junho de 2026. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71510678/artigo-agricultura-irrigada-e-sua-importancia-na-producao-de%2Dalimento-nexo-agua-alimento>.
- Russell, S. and Norvig, P. (2013). *Inteligência Artificial*. Elsevier Editora Ltda.
- Souza de Jesus, V., Mori Lazarin, N., Pantoja, C. E., Vaz Alves, G., Ramos Alves de Lima, G., and Viterbo, J. (2023). An IDE to Support the Development of Embedded Multi-Agent Systems. In *Proceedings of PAAMS 2023*, pages 346–358, Cham. Springer Nature Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-031-37616-0_29.