

## Aplicando Sistemas Multi-agentes Embarcados no monitoramento de deslizamentos

Gabriel A. Klein, Matheus de S. P. Silva, Washington A. Pedro, Nilson M. Lazarin

Bacharelado em Engenharia Elétrica – Centro Federal de Educação Tecnológica  
Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ) – Nova Friburgo, RJ – Brasil

{washington.pedro, matheus.perdigao, gabriel.klein}@aluno.cefet-rj.br

**Abstract.** *Embedded Multi-agent Systems, based on the Belief-Desire-Intention model, have been consolidated recently. This paper explores its application in a landslide monitoring system without human intervention. To this end, a prototype capable of sending perceptions of the physical environment to the cognitive agent was built. Furthermore, through an Internet of Things (IoT) network, different SMAs are integrated, allowing propagation of alerts in risk situations.*

**Resumo.** *Sistemas Multi-agentes Embarcados, baseados no modelo belief-desire-intention (BDI), têm se consolidado nos últimos anos. Neste trabalho exploramos sua aplicação em um sistema de monitoramento de deslizamento, sem a intervenção humana. Para tal, foi construído um protótipo capaz de enviar ao agente cognitivo as percepções do ambiente físico. Além disso, por meio de uma rede de internet das coisas (IoT), diferentes SMAs são integrados, permitindo uma rápida propagação de alerta em situações de risco.*

### 1. Introdução

A Região Serrana do estado do Rio de Janeiro é formada por um relevo com colinas dissecadas, escarpas serranas e grande domínio montanhoso. Além de existir altos índices de chuvas fortes, a região acumula um histórico de grandes desastres ambientais, tal como o ocorrido na cidade de Nova Friburgo em 2011 que ocasionou centenas de mortes e teve milhares de feridos, além disso, esse desastre foi considerado pela ONU o 8º maior em número de deslizamentos ocorridos nos então últimos cem anos. Além disso, mais de 50% da área total do estado do Rio de Janeiro está sob risco de deslizamentos, com ocorrências constantes de deslizamentos durante períodos chuvosos. Este cenário alarmante destaca a importância de pesquisas que visem o desenvolvimento de tecnologias avançadas para o monitoramento de áreas de risco, visando à mitigação de desastres e à proteção das comunidades afetadas. [Marques and Baesso 2021, Filho et al. 2024].

Em [Leão and Souza 2018], é apresentado um sistema de inclinação e um data logger, cujo foi aplicado em uma universidade. O sistema utiliza apenas o monitoramento de inclinação por meio de acelerômetros e por meio de um módulo APC, realiza a transmissão dos dados via rádio. Em [Junior et al. 2016] a fibra óptica é utilizada como sensor. O sistema de monitoramento consiste em fixar a fibra óptica entre dois pontos. No intermédio são feitos laços de fibra, quando existe movimentação no solo a fibra se estica,

apertando o laço e ocasionando uma perda no sinal de luz. O sensor funciona realizando a medição da potência óptica que atravessa o percurso de fibra, onde existe um laser para emitir a luz e um receptor para recebê-la. Esse nível de potência é transmitido via rádio a uma unidade de coleta de dados remota, onde é analisado.

O que este trabalho se difere com maior expressividade em relação aos citados, se dá pela utilização de mais variáveis de monitoramento, pois utiliza dados de vibração do solo e também sua umidade. Além disso, o sistema proposto abre mão de um monitoramento humano, sendo capaz de analisar os dados de maneira automática e ainda realizar comunicação com os órgãos competentes para que medidas sejam tomadas. Ademais, a proposta em questão apresenta baixo custo e fácil instalação, permitindo maior abrangência de áreas de monitoramento. A implementação dessas tecnologias pode não apenas melhorar a precisão das previsões, mas também proporcionar uma base para o desenvolvimento de políticas públicas eficazes e estratégias de gestão de risco.

Os Sistemas Multi-Agentes (SMA) são sistemas formados por entidades de software que possuem capacidade de tomada de decisão segundo as percepções do ambiente em que estão inseridos; trabalham em conjunto, em função de realizar seus objetivos; e são programados utilizando uma linguagem de programação orientada a agentes [Bordini and Vieira 2003]. Nos últimos anos, o uso de agentes racionais embarcados em plataformas de hardware de baixo custo têm se consolidado [Oliveira et al. 2021, Vachtsevanou et al. 2023, Lazarin. et al. 2023]. Essa integração hardware-software permite que agentes cognitivos possam perceber e agir no ambiente físico, de forma descentralizada, reduzindo a dependência de conectividade, realizando a tomada de decisão diretamente na *edge computing* [Pantoja et al. 2023]. A linguagem AgentSpeak(L) permite a criação de agentes racionais, através do modelo de cognição Belief-Desire-intention (BDI), que é estruturado, resumidamente, da seguinte forma: “*As crenças representam aquilo que o agente sabe sobre o estado do ambiente e dos agentes naquele ambiente (inclusive sobre si mesmo). Os desejos representam estados do mundo que o agente quer atingir (dito de outra forma, são representações daquilo que ele quer que passe a ser verdadeiro no ambiente) [...]. As intenções representam sequências de ações específicas que um agente se compromete a executar para atingir determinados objetivos*” [Bordini and Vieira 2003].

Na construção de um SMA, podem ser empregados agentes de diferentes arquiteturas para realização de tarefas específicas. Um agente Jason [Hübner et al. 2004] é um agente comum que desenvolve seu processo de raciocínio com base em informações que o ambiente provê, seus desejos e crenças, e mensagens recebidas de outros agentes. Um agente Comunicador [de Jesus et al. 2019] é uma extensão de um agente Jason, com a capacidade de se comunicar com agentes de outros SMAs externos, além de se locomover para outros SMAs, através de uma rede IoT. Um agente ARGO [Pantoja et al. 2016], por sua vez, possui a capacidade de se manifestar no meio físico, perceber informações e modificá-lo, via sensores e atuadores conectados a um microcontrolador.

Este trabalho visa explorar a aplicação dessas diferentes arquiteturas de agentes cognitivos, na construção de SMAs Embarcados, que de forma independente de ação humana, conseguem monitorar e informar em tempo real diferentes variáveis do solo e clima, alertando a população sobre a necessidade de evadirem locais em risco.

## 2. Monitoramento de área de risco com Sistemas Multi-agente

Este trabalho explora a utilização de Sistemas Multi-agente (SMA) em três diferentes camadas computacionais para automatizar o monitoramento de áreas de risco. Na borda computacional (*edge computing*) são utilizados SMAs Embarcados que percebem e atuam no ambiente físico. Na névoa computacional (*fog computing*) são utilizados SMAs que filtram as percepções recebidas de cada ponto de monitoramento e coordenam as ações de atuação de toda uma área de monitoramento. Por fim, na nuvem computacional (*cloud computing*) é utilizado um SMA que registra todas as ocorrências e coordena diversas áreas de monitoramento. Na Figura 1a é apresentada a arquitetura da proposta.

Os pontos de monitoramento estão conectados a uma rede sem fio até suas respectivas estações de monitoramento. Cada estação, por sua vez, está conectada através da internet até a autoridade responsável. No ponto de monitoramento são empregados dois agentes: um *Argo* que realiza a percepção e atuação no ambiente físico, por meio de dois sensores e atuadores acoplados em um microcontrolador, sendo eles um sensor o qual retorna um valor percentual da umidade do solo (0 – 100%) e um de inclinação à base de mercúrio que fornece um valor binário (*true|false*); e um *Comunicador*, que realiza a comunicação entre o ponto de monitoramento e a próxima camada, enviando as percepções do ambiente e recebendo as ordens de atuação. Em cada estação de monitoramento são empregados dois agentes *Comunicadores*: um que gerencia a comunicação com os diversos pontos de monitoramento e outro que gerencia a comunicação com a camada superior. Por fim, na autoridade de monitoramento são empregados dois agentes: um *Comunicador* que gerencia a comunicação com todas as áreas de monitoramento e um agente *Jason* que recebe todos os eventos, decide e emite os alertas de atuação.

A lógica do trabalho proposto possui um ciclo de atuação no qual os pontos de monitoramento registram e enviam constantemente os valores observados de umidade e de inclinação do solo. Ao final da comunicação entre agentes, estas percepções são analisadas pelo agente Jason localizado na autoridade de monitoramento que, a partir de critérios previamente estabelecidos, decidirá se a percepções recebidas apresentam um cenário de normalidade; de risco de deslizamento ou de perigo iminente. Nos dois últimos casos, o mesmo fará automaticamente um chamado ao corpo de bombeiros, como retornará uma ordem ao SMA localizado na região perigosa para acionar o alarme de evacuação.

Além disso, foi construído um protótipo de *recurso* (*hardware capaz de manifestar as capacidades do agente no ambiente exógeno* [Lazarin. et al. 2023]) para ser conectado ao SMA Embarcado do ponto de monitoramento. Para atuar no ambiente foi utilizado um *buzzer* ativo. Esses sensores e atuadores foram conectados a

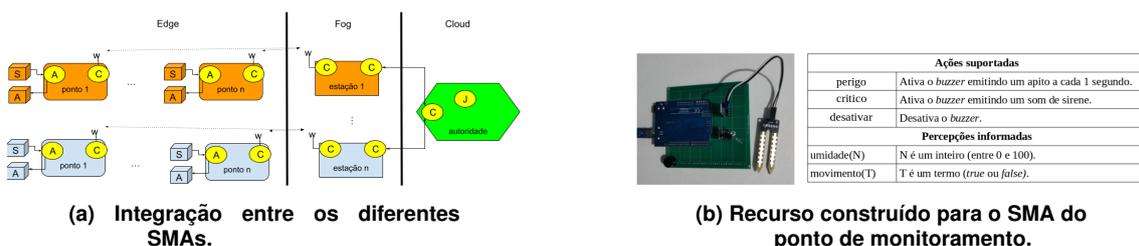


Figura 1. Integração entre os SMAs e o recurso construído.

uma plataforma Arduino. Por fim, o firmware foi programado usando a biblioteca Javino [Lazarin and Pantoja 2015] para receber os comandos de atuação enviados pelo agente *Argo* e enviar as percepções do ambiente sobre umidade e movimento, conforme apresentado na Figura 1b.

### 3. Prova de conceito

Buscando avaliar o uso de agentes BDI, foi realizada uma etapa de teste. O ponto de monitoramento nesse teste foi simulado com um pequeno recipiente contendo areia e terra, onde os sensores foram inseridos. No decorrer do teste foi-se injetando água no recipiente, fazendo com que a umidade no local aumentasse. Foram também causadas vibrações manualmente no recipiente a fim de ativar o sensor de inclinação.

Para embarcar o SMA no ponto de monitoramento, foi utilizada uma Raspberry Pi Zero W (1GHz, single-core CPU, com 512MB RAM) executando o chonOS [Lazarin et al. 2023]. Neste SMA, o agente *Argo* percebe o ambiente continuamente e envia uma mensagem ao agente *Comunicador*, informando as alterações nas percepções de umidade e inclinação do solo no ambiente. Este agente, por sua vez, envia essas percepções para o SMA em execução numa estação próxima, por uma rede sem fio. Para executar o SMA da estação foi utilizada uma Raspberry Pi 3 Model B (1.2GHz, quad core, com 1GB RAM), também executando o chonOS. Neste SMA, um agente *Comunicador* lida com os diversos pontos de monitoramento na rede sem fio, recebendo todos os dados referentes à umidade e à inclinação do solo de cada ponto, e encaminha as mensagens recebidas para outro agente *Comunicador* dentro do SMA. Este agente, por sua vez, está conectado à internet e encaminha essas percepções para o agente *Comunicador* do SMA da autoridade de monitoramento, em execução na nuvem.

Para executar o SMA da autoridade de monitoramento, foi utilizado um *container* com a chonIDE [Souza de Jesus et al. 2023] instalada. Neste SMA, o agente *Comunicador* recebe e encaminha ao agente *Jason* todas as percepções recebidas. O agente *Jason* analisa as informações e toma suas decisões com base em quatro cenários: caso o agente receba um valor de umidade entre 60 – 90%, entenderá que o ponto de monitoramento se encontra em uma situação de perigo, e emitirá um alerta para todos os pontos de monitoramento conectados à área da qual os dados foram enviados. O segundo cenário ocorre quando o valor de umidade recebida excede os 90%, e o terceiro cenário é caso o agente receba a informação que o solo vibrou, nestes, o agente entenderá que o risco de deslizamento é iminente, então emitirá um alerta de evacuação. Por fim, o quarto cenário é aquele em que nenhuma destas condições são atendidas (umidade  $\leq 60\%$  e movimento = false), neste caso, o agente não envia o comando, cancelando o alerta.

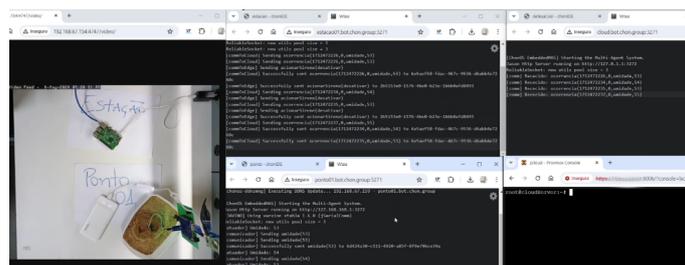


Figura 2. Aplicando Sistemas Multi-agente no monitoramento de área de risco.

No início do teste, ilustrado na Figura 2, foi-se adicionando água ao recipiente até que a umidade ultrapassasse 60%, nesse ponto o SMA da autoridade de monitoramento entendeu que a atual situação era de perigo e emitiu um alerta de perigo (intermitente) ao ponto de monitoramento. Em seguida foi causada uma vibração ao sensor de inclinação para simular uma movimentação do solo, ao receber a informação, a autoridade de monitoramento emitiu um alerta de evacuação (contínuo) para o SMA embarcado. Por fim, foi-se injetando mais água até o ponto em que a umidade ultrapassasse 90%, fazendo com que o SMA da autoridade emitisse novamente o alerta de evacuação. Os alertas foram emitidos corretamente de acordo com cada situação, fazendo do teste um sucesso. Os códigos da camada de raciocínio dos agentes e da camada de firmware do recurso construído, além do esquemático da camada de hardware e o vídeo do teste realizado, estão disponíveis na página de reprodutibilidade<sup>1</sup> deste trabalho.

#### 4. Conclusão

Este trabalho apresentou e explorou a possibilidade de aplicação de SMAs Embarcados para o monitoramento de áreas de risco de deslizamento, apresentando um protótipo de baixo custo que pode ser implementado em diferentes pontos de monitoramento e integrados via estações conectadas à internet que encaminham as percepções do ambiente físico para um sistema multi-agente em uma nuvem computacional. O protótipo proposto, foi capaz de emitir alertas nos casos de alta umidade do solo e captura de movimento do solo de maneira eficaz, sendo considerado um sucesso. Ainda que a precisão dos dados de vibração seja baixa, em decorrência da ocasionalidade de descargas atmosféricas e tráfego de veículos de grande porte, os resultados foram satisfatórios demonstrando eficácia na transmissão de informações e emissão de alertas, vale ressaltar que trata-se de um projeto piloto de baixo custo.

Desse modo, trabalhos futuros podem se propor a aperfeiçoar a captação e análise de vibrações, não contendo apenas valor lógico mas sim analógico. Para tal, um giroscópio como o MPU-6050 torna-se eficaz, pois possui três eixos com seis graus de liberdade. Ademais, pluviômetros podem ser integrados às estações (utilizando sensores FD-10), de maneira a ser possível monitorar os níveis de precipitações e relacionar com as demais variáveis presentes nos pontos de monitoramento. Outrossim, mais elementos de notificações de alerta podem ser adicionados, impulsionando a comunicação com a população, à exemplo o uso de agentes Mailer [De Souza 2023], a fim de enviar e-mail e/ou SMS para que assim a população tenha ciência dos riscos por diferentes meios.

#### Referências

- Bordini, R. H. and Vieira, R. (2003). Linguagens de Programação Orientadas a Agentes: Uma Introdução Baseada em AgentSpeak(L). *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 10(1):7–38.
- de Jesus, V. S., Manoel, F. C. P., and Pantoja, C. E. (2019). Protocolo de Interação Entre SMA Embarcados Bio-Inspirado na Relação de Predatismo. In *Proceedings WESAAC 2019*, pages 95–106, Florianópolis.

---

<sup>1</sup><https://papers.chon.group/WESAAC/2024/monitoriamentoAreaRisco/>

- De Souza, J. P. B. (2023). *Comunicação entre SMA Embarcados: Uma Arquitetura Baseada em Protocolos da Camada de Aplicação*. Bacharelado em Sistemas de Informação, Cefet/RJ, Rio de Janeiro.
- Filho, E. R. d. O., Silva, M. C. d., Abreu, M. R. d., and Júnior, L. F. M. (2024). A RELAÇÃO ENTRE A ENGENHARIA CIVIL E OS DESASTRES NATURAIS NO BRASIL. *Revista Científica Doctum Multidisciplinar*, 4(11).
- Hübner, J. F., Bordini, R. H., and Vieira, R. (2004). Introdução ao desenvolvimento de sistemas multiagentes com Jason. In *Anais da XII Escola de Informática da SBC*.
- Junior, I. F. d. F., Filho, G. B., and Celaschi, S. (2016). Monitoramento de Deslizamento de Terra Usando Sensor Simples de Fibra Óptica. In *SBrT2016*.
- Lazarin, N., Pantoja, C., and Viterbo, J. (2023). Swapping Physical Resources at Runtime in Embedded MultiAgent Systems. In *Proceedings of the 15th International Conference on Agents and Artificial Intelligence - Volume 1: ICAART*. SciTePress.
- Lazarin, N., Pantoja, C., and Viterbo, J. (2023). Towards a Toolkit for Teaching AI Supported by Robotic-agents: Proposal and First Impressions. In *Anais do XXXI Workshop sobre Educação em Computação*, pages 20–29, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Lazarin, N. M. and Pantoja, C. E. (2015). A Robotic-agent Platform for Embedding Software Agents Using Raspberry Pi and Arduino Boards. In *Proceedings WESAAC 2015*, pages 13–20, Niteroi. UFF.
- Leão, J. C. and Souza, P. H. D. (2018). Sistema inteligente de monitoramento de deslizamento de solos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7:508.
- Marques, C. and Baesso, D. C. (2021). Desastres e vulnerabilidade na região serrana do Rio de Janeiro (RSRJ). *Ideias*, 12(00):e021019.
- Oliveira, P. F., Novais, P., and Matos, P. (2021). Using Jason Framework to Develop a Multi-agent System to Manage Users and Spaces in an Adaptive Environment System. In *Ambient Intelligence – Software and Applications*, pages 137–145, Cham. Springer.
- 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 Naldi, M. C. and Bianchi, R. A. C., editors, *Intelligent Systems*, pages 382–396, Cham. Springer Nature.
- 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 *Engineering Multi-Agent Systems*, pages 136–155, Cham. Springer.
- 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 *Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Cognitive Mimetics. The PAAMS Collection*, pages 346–358, Cham. Springer.
- Vachtsevanou, D., William, J., dos Santos, M. M., de Brito, M., Hübner, J. F., Mayer, S., and Gomez, A. (2023). Embedding Autonomous Agents into Low-Power Wireless Sensor Networks. In *Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Cognitive Mimetics. The PAAMS Collection*, Cham. Springer.