

Sistema Multiagente para Monitoramento e Controle Automatizado de Comportas em Represas

Guilherme Francisco de Oliveira Almeida¹, Lucas de Mendonça Cardoso¹,
Diego Cardoso Borda Castro¹, Heder Dorneles Soares², Carlos Eduardo Pantoja¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca

²Instituto Federal de São Paulo - Campos do Jordão

{guilherme.francisco, lucas.mendonca, diego.castro}@cefet-rj.br

heder.dorneles@ifsp.edu.br, carlos.pantoja@cefet-rj.br

Abstract. *Disordered urban growth and climate change have intensified the challenges in water resource management, increasing the risks of dam overflow and floods. This work presents a multi-agent system for automated monitoring and control of water levels in dams. The proposed architecture is composed of three agents: the centralAgent, which evaluates the water level and makes decisions about gate operations; the gate1, which executes opening and closing commands; and the SerialAgent, which connects the system to a physical device (Arduino). Developed on the Jason platform, the system was validated in a controlled environment and proved effective in regulating the dam's water level, preventing overflows. The presented solution contributes to the advancement of technologies applied to automated water management.*

Resumo. *O crescimento urbano desordenado e as mudanças climáticas intensificaram os desafios na gestão de recursos hídricos, aumentando os riscos de transbordamento de represas e inundações. Este trabalho apresenta um sistema multiagente para monitoramento e controle automatizado do nível da água em represas. A arquitetura proposta é composta por três agentes: o agenteCentral, que avalia o nível da água e toma decisões sobre a operação das comportas; o gate1, que executa as ordens de abertura e fechamento; e o agenteSerial, que comunica o sistema com um dispositivo físico (Arduino). Desenvolvido na plataforma Jason, o sistema foi validado em ambiente controlado e mostrou-se eficaz na regulação do nível da represa, evitando transbordamentos. A solução apresentada contribui para o avanço de tecnologias aplicadas ao gerenciamento hídrico automatizado.*

1. Introdução

A gestão eficiente do nível da água em represas é um desafio para a segurança hídrica e a prevenção de desastres como inundações e colapsos estruturais. A elevação excessiva do nível da água pode comprometer a integridade da represa e causar inundações, impactando comunidades próximas e ecossistemas. Métodos convencionais de controle de comportas muitas vezes dependem de intervenção manual, o que pode resultar em atrasos e falhas operacionais.

Nesse contexto, o uso de tecnologias inteligentes baseadas em agentes autônomos surge como uma solução promissora para a regulação automatizada do fluxo hídrico. Este trabalho apresenta um sistema multiagente desenvolvido para monitorar e regular automaticamente o nível da água em uma represa, garantindo a abertura das comportas quando valores críticos são atingidos. A arquitetura proposta é composta por três agentes principais: o agente Central, que coleta dados do ambiente, avalia o risco de transbordamento e toma decisões sobre a abertura das comportas; o **agent gate**, que executa as ordens do agente Central para abertura e fechamento das comportas, assegurando o controle do fluxo hídrico; e o agente Serial, que estabelece a comunicação entre o sistema multiagente e o ambiente físico, conectando-se ao Arduino por meio de uma interface serial.

O funcionamento do sistema baseia-se na coleta contínua de dados sobre o nível da água. O **agenteCentral** processa essas informações e decide dinamicamente a operação das comportas, assegurando uma resposta adaptativa e eficiente. O **gate1** recebe essas instruções e ajusta a abertura das comportas conforme necessário para evitar transbordamentos, enquanto o **agenteSerial** estabelece a comunicação com os dispositivos físicos, permitindo uma interação contínua e precisa.

O sistema foi desenvolvido utilizando a plataforma Jason [Bordini et al., 2007] para a modelagem e simulação dos agentes, permitindo uma interação descentralizada e autônoma entre os componentes do sistema. Essa abordagem viabiliza a integração da solução a infraestruturas de gerenciamento hídrico inteligente, garantindo um controle eficiente do fluxo de água e minimizando os impactos de eventos climáticos extremos.

Este artigo está dividido da seguinte forma: na Seção 2 serão apresentados os Trabalhos Relacionados, na Seção 3 uma breve fundamentação teórica é descrita. Já na Seção 4 e 5 são apresentados a proposta e a experimentação respectivamente. Por fim as conclusões e as referências são apresentadas.

2. Trabalhos Relacionados

Diversos estudos têm explorado a aplicação de sistemas multiagente e outras abordagens para a gestão eficiente de recursos hídricos. A seguir, são apresentados alguns trabalhos relevantes que contribuem para o entendimento e desenvolvimento de soluções nesse contexto:

Em [Leitzke et al., 2019], os autores exploram o uso de simulações multiagente para modelar e controlar a poluição hídrica. A técnica permite desenvolver sistemas virtuais que replicam a realidade, onde as ações dos agentes e suas consequências no ambiente podem ser analisadas. O estudo apresenta o sistema "Poluição X Drone", que analisa o impacto da poluição no ambiente e como tecnologias, como drones, podem auxiliar na diminuição e controle da poluição.

Em [Pantoja et al., 2018], os autores propõem uma arquitetura para sistemas de inteligência ambiental na qual cada nó da rede opera como um sistema multiagente embarcado, capaz de monitorar e controlar dispositivos físicos de forma autônoma. A solução combina a plataforma Jason com o middleware ContextNet para possibilitar comunicação descentralizada entre dispositivos móveis e microcontroladores, garantindo escalabilidade e flexibilidade na gestão de ambientes inteligentes. O trabalho demonstra a

viabilidade da integração entre agentes autônomos e hardware embarcado em cenários distribuídos. No trabalho de [de Oliveira Silva, 2019], é abordado o gerenciamento de recursos hídricos, estruturando ações para melhorar as formas de gerenciar sistemas terrestres e aquáticos e seus componentes biológicos, visando elevar a qualidade de vida.

Em [Javed et al.], os autores também propõem um modelo baseado em sistemas multiagentes para apoio ao monitoramento e controle de barragens. A solução inclui agentes responsáveis por fornecer informações sobre o nível da água e apoiar o operador na tomada de decisão sobre a operação das comportas, visando reduzir custos e melhorar a coordenação do processo de controle hídrico. Diferentemente do presente trabalho, o sistema proposto atua como suporte ao operador humano, enquanto a nossa proposta foca no controle das comportas de forma totalmente autônoma.

Em [Siddula et al., 2018], os autores propõem um sistema baseado em Internet das Coisas (IoT) para o monitoramento e controle em tempo real do nível da água em represas. A solução utiliza sensores para coleta de dados e tecnologias de comunicação como LPWAN e Thingspeak para acionar remotamente as comportas, permitindo o acompanhamento das condições do reservatório de forma contínua e distribuída. A proposta de Siddula et al. [2018] depende de conectividade em rede para o controle das comportas, enquanto a nossa arquitetura se propõe a operar com agentes autônomos capazes de tomar decisões locais de forma autônoma.

Esses trabalhos fornecem uma base teórica e prática para o desenvolvimento de sistemas inteligentes aplicados à gestão de recursos hídricos, destacando a importância de abordagens integradas e tecnológicas para enfrentar os desafios contemporâneos relacionados ao escoamento de água e à prevenção de enchentes.

3. Fundamentação Teórica

O desenvolvimento de sistemas multiagentes para o controle automatizado do nível da água em represas fundamenta-se em diversas áreas do conhecimento, incluindo inteligência artificial distribuída, automação, comunicação entre agentes e sensores físicos. A necessidade de um controle eficiente das comportas, garantindo a segurança da estrutura e prevenindo transbordamentos, reforça a importância do uso de abordagens inteligentes e descentralizadas. Nesta seção, são apresentados os principais conceitos teóricos que sustentam a construção do sistema proposto.

3.1. Sistemas Multiagentes

Os sistemas multiagentes (MAS) são uma abordagem da inteligência artificial distribuída em que múltiplos agentes interagem para resolver problemas complexos. Cada agente é uma entidade autônoma que pode perceber o ambiente, processar informações e tomar decisões de forma independente ou colaborativa [Wooldridge, 2009].

3.2. Plataforma Jason e Linguagem AgentSpeak

A plataforma **Jason** é um framework baseado na linguagem **AgentSpeak**, voltado para a implementação de sistemas multiagentes. O **AgentSpeak** é uma linguagem de programação inspirada no modelo BDI (*Belief-Desire-Intention*), que permite definir crenças, objetivos e planos de ação para os agentes [Ramos and Dimuro, 2009]

Neste trabalho, o **Jason** foi empregado para modelar três agentes principais:

- **agenteCentral:** Avalia o nível da água e toma decisões sobre a operação das comportas.
- **gate1:** Executa os comandos do **agenteCentral**, realizando a abertura e fechamento das comportas.
- **agenteSerial:** Responsável pela comunicação entre os agentes e o Arduino.

A escolha do **Jason** se deve à sua flexibilidade na modelagem de agentes autônomos e à sua capacidade de simulação de interações em ambientes distribuídos.

3.3. Comunicação entre Agentes e Hardware

A comunicação eficiente entre agentes de software e dispositivos físicos é um fator crítico para o sucesso de sistemas inteligentes. No presente trabalho, foi utilizada a biblioteca Javino, que permite a troca de informações entre o Jason e o Arduino via comunicação serial [Lazarin and Pantoja, 2015]. O Arduino desempenha o papel de sensor físico, coletando dados sobre o nível da água e transmitindo-os ao sistema multiagente. Essa integração garante que as decisões tomadas pelos agentes tenham efeito direto no ambiente real.

3.4. Monitoramento e Controle do Nível da Água

A gestão do nível da água em represas é um fator crítico para garantir a segurança estrutural e prevenir transbordamentos que possam causar impactos ambientais e sociais. Métodos tradicionais de controle de comportas frequentemente dependem da intervenção humana, o que pode levar a atrasos na resposta e aumentar os riscos operacionais. Sistemas automatizados, como o proposto neste trabalho, oferecem uma solução eficiente para o controle em tempo real, garantindo uma regulação contínua do fluxo de água.

A utilização de sensores físicos permite a obtenção de medições contínuas do nível da água na represa, possibilitando a tomada de decisões autônomas sobre a abertura e fechamento das comportas. O modelo desenvolvido integra essa funcionalidade ao sistema multiagente, permitindo uma resposta rápida e adaptativa às variações ambientais. Assim, o sistema reduz a necessidade de monitoramento manual e aumenta a eficiência da gestão hídrica, contribuindo para um controle mais seguro e confiável da represa.

4. Proposta

A crescente preocupação com a segurança de represas e o risco de transbordamentos devido ao aumento das chuvas intensas evidencia a necessidade de soluções inteligentes para o gerenciamento do nível da água. Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema baseado em sistemas multiagentes para o monitoramento e controle dinâmico da vazão hídrica, utilizando tecnologias como a plataforma Jason e dispositivos físicos, como o Arduino.

A proposta também prevê a possibilidade de expansão do sistema para um contexto de infraestrutura hídrica inteligente, onde a solução pode ser integrada a redes de sensores ambientais e sistemas de previsão meteorológica. Além disso, futuras melhorias podem incorporar algoritmos de aprendizado de máquina para prever tendências de elevação do nível da água e ajustar as ações dos agentes de forma mais eficiente. Com essa abordagem, o sistema visa não apenas otimizar o controle do fluxo hídrico em represas, mas também fornecer uma ferramenta escalável e adaptável para a gestão segura e sustentável dos recursos hídricos.

5. Experimentos

5.1. Agente da Comporta

O primeiro módulo do sistema **gate1** é responsável pelo controle da comporta e pela comunicação com o **Arduino**. Esse agente recebe comandos do agente central para abrir e fechar as comportas, influenciando diretamente no nível da água.

```
1 +abrir_comporta <-
2   .print("Gate1 abrindo comporta. Pedindo ajuste de -5 no nível...");
3   .send(agenteSerial, tell, ajustar_nivel(5));
4   -abrir_comporta[source(agenteCentral)].
```

5.2. Agente Serial

O agente **agenteSerial** é responsável pela comunicação com o **Arduino**. Ele interpreta os comandos enviados pelo agente **gate1** e os repassa ao firmware do microcontrolador. Além disso, ele recebe as percepções do Arduino e as transmite para o agente central.

```
1 // Define a porta serial real
2 serialPort(ttyUSB0).
3 !iniciar.
4
5 +!iniciar
6 : serialPort(Porta) <-
7   .print("Iniciando agenteSerial na porta:", Porta);
8   .argo.port(Porta);
9   .argo.percepts(open);
10  .argo.limit(1000).
11
12 -!iniciar <-
13   .print("Falha ao iniciar agenteSerial. Verifique a porta.").
14
15 +ajustar_nivel(X) <-
16   .print("Enviando ao Arduino: ajustar_nivel(", X, ")");
17   .argo.act(ajustar_nivel(X));
18   -ajustar_nivel(X)[source(gate1)].
19
20 // Quando o Arduino manda "waterLevel(Nivel)", agenteSerial repassa \\
21 para o agenteCentral
22 +waterLevel(Nivel) <-
23   .print("Percepção do Arduino: waterLevel(", Nivel, ")");
24   .send(agenteCentral, tell, waterLevel(Nivel)).
```

5.3. Agente Central

O agente **agenteCentral** representa o núcleo de decisão do sistema multiagente. É responsável por processar as informações recebidas sobre o nível da água e avaliar o risco de transbordamento da represa, com base em critérios previamente definidos. A partir dessa análise, ele decide se é necessário acionar a abertura da comporta para reduzir o

nível da água, buscando evitar situações críticas que possam comprometer a segurança da estrutura.

```
1 // Objetivo inicial
2 +!iniciar <-
3     .print("agenteCentral iniciado.").
4
5 // Recebendo a percepção do nível da água
6 +waterLevel(Nivel) <-
7     !avaliar_nivel(Nivel).
8
9 // Avaliação do nível
10 +!avaliar_nivel(Nivel): Nivel > 69 <-
11     .print("Nível crítico:", Nivel, ". Acionando gate1...");
12     .send(gate1, tell, abrir_comporta).
13
14 +!avaliar_nivel(Nivel): Nivel <= 70 <-
15     .print("Nível dentro do normal:", Nivel).
```

5.4. Firmware do Arduino

O código abaixo corresponde ao firmware do **Arduino**, responsável por simular o comportamento do rio, monitorar o nível da água e receber comandos dos agentes para ajustar o fluxo da comporta.

Pseudocódigo 1 Funções do Arduino para Controle do Nível da Água

```
function ENVIARPERCEPCAO
2:   Criar string no formato waterLevel (N) ;
   Enviar string pela serial
4: end function
function ATUALIZARDISPLAY
6:   Limpar display
   Exibir texto “Nível do rio”
8:   Exibir valor atual do nível
end function
10: function LERBOTAO
   Ler valor analógico da entrada
12:   Identificar botão com base no valor
   Retornar código do botão
14: end function
```

Pseudocódigo 2 Firmware do Arduino para Controle do Nível da Água

```

1: Iniciar LCD
2: Iniciar comunicação serial com Javino
3: Exibir nível inicial da água no display
4: while verdadeiro do
5:   if botão "Up" pressionado then
6:     Aumentar nível da água
7:     Atualizar display
8:     Enviar percepção atual ao agente
9:   else if botão "Down" pressionado then
10:    Diminuir nível da água
11:    Atualizar display
12:    Enviar percepção atual ao agente
13:  end if
14:  if chegou mensagem completa pela serial then
15:    Obter mensagem
16:    if mensagem = "getPercepts" then
17:      Enviar percepção atual ao agente
18:    else if mensagem inicia com "ajustar_nivel(X)" then
19:      Extrair valor X
20:      Diminuir nível da água em X unidades
21:      Atualizar display
22:      Enviar percepção atual ao agente
23:    end if
24:  end if
25:  Aguardar pequeno período (debounce)
26: end while
  
```

5.5. Explicação do Funcionamento

O sistema multiagente desenvolvido tem como objetivo monitorar e controlar o nível da água em uma represa, garantindo a abertura e fechamento das comportas de forma automática e inteligente para evitar transbordamentos. Ele é composto por três agentes principais e um firmware no Arduino, que trabalham juntos para monitorar o nível da água e realizar ações corretivas.

- **Agente Central (agenteCentral):** Responsável por processar as informações sobre o nível da água e tomar decisões sobre a abertura e fechamento das comportas.
- **Agente da Comporta (gate1):** Atende às ordens do agente central, enviando comandos para abrir a comporta caso o nível da água atinja um valor crítico.
- **Agente Serial (agenteSerial):** Realiza a comunicação entre os agentes do sistema e o **Arduino**, garantindo a interação entre o software e o hardware.
- **Firmware do Arduino:** Responsável por monitorar continuamente o nível da água e executar comandos para ajuste da vazão hídrica.

O fluxo de funcionamento do sistema ocorre da seguinte forma:

1. O **Arduino** monitora o nível da água na represa e envia essa informação ao **agenteSerial**.
2. O **agenteSerial** recebe essa percepção e a repassa para o **agenteCentral**.
3. O **agenteCentral** avalia o nível da água e decide se é necessário abrir a comporta para liberar o excesso de água.
4. Se necessário, o **agenteCentral** envia um comando ao **gate1** para abrir a comporta.
5. O **gate1** comunica-se com o **agenteSerial** para garantir que a abertura foi executada corretamente.
6. O **Arduino** executa o ajuste da comporta e informa o novo nível da água ao sistema, reiniciando o ciclo de monitoramento.

Após a implementação e execução do sistema multiagente, os testes realizados demonstraram que o monitoramento do nível da água pelo **Arduino** ocorreu conforme esperado. O **agenteCentral** processou corretamente os dados recebidos e tomou decisões eficazes sobre a abertura e fechamento das comportas, garantindo um controle preciso da vazão de água e evitando riscos de transbordamento.

A comunicação entre os agentes foi bem-sucedida, com o **agenteSerial** intermediando a transmissão de informações entre o hardware e o software de maneira eficiente (Figura 1). O **gate1** respondeu adequadamente aos comandos, realizando as operações de abertura e fechamento conforme necessário.



Figura 1. Monitoramento do nível da represa pelo Arduino.

Os resultados obtidos validam a eficácia do sistema para o gerenciamento automatizado do nível da água em represas, indicando que a solução pode ser aplicada em cenários reais para otimizar a gestão hídrica e minimizar os riscos associados a elevações críticas do nível da água. Futuras melhorias poderão incluir a incorporação de sensores adicionais e técnicas de aprendizado de máquina para tornar o sistema ainda mais eficiente e preditivo.

6. Conclusão

O modelo implementado integra simulação computacional e hardware embarcado para criar um sistema funcional de controle automatizado de comportas em uma represa. A utilização do Arduino, Jason e Javino permitiu o desenvolvimento de um ambiente interativo no qual decisões inteligentes são tomadas com base em percepções do ambiente, garantindo um controle dinâmico e adaptativo do nível da água. Os testes realizados

demonstraram que o sistema é capaz de monitorar continuamente o nível da represa e tomar decisões precisas sobre a abertura e fechamento das comportas, evitando transbordamentos e otimizando a vazão hídrica. A comunicação eficiente entre os agentes do sistema garantiu a sincronização adequada das ações, tornando o processo confiável e automatizado.

Os resultados obtidos validam a viabilidade da abordagem multiagente para a gestão hídrica, demonstrando que a solução pode ser aplicada em cenários reais para aprimorar o controle operacional de represas. Como trabalhos futuros, destacam-se a integração de sensores meteorológicos, a incorporação de algoritmos de aprendizado de máquina e o desenvolvimento de interfaces gráficas para monitoramento remoto. Tais melhorias podem tornar o sistema ainda mais eficiente, preditivo e aplicável a cenários reais de gestão de recursos hídricos.

Embora o sistema multiagente desenvolvido cumpra seu objetivo principal de monitoramento e controle do nível da água em uma represa, algumas melhorias e expansões podem ser implementadas para aumentar sua eficiência, precisão e aplicabilidade em cenários reais. Algumas sugestões para trabalhos futuros incluem: Integração com Sensores Adicionais, Otimização do Algoritmo de Tomada de Decisão, Comunicação em Rede e Monitoramento Remoto, Simulação e Validação em Ambientes Reais e Interface Gráfica para Monitoramento e Controle. Essas melhorias podem tornar o sistema mais eficiente, escalável e confiável, possibilitando sua aplicação em cenários reais de gestão de recursos hídricos e contribuindo para a segurança operacional de represas.

Referências

- Rafael H. Bordini, Jomi Fred Hübner, and Michael J. Wooldridge. *Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason*. Wiley series in agent technology. Wiley, Chichester, 2007. ISBN 978-0-470-02900-8.
- José Irivaldo Alves de Oliveira Silva, editor. *Gestão e Governança da Água sob Múltiplas Visões e Casos*. Editora FEIS, 2019. URL https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/gestao-e-governanca-da-agua_e-book.pdf.
- Muhammad Javed, Shakeel Ahmad, Bashir Ahmad, Manzoor Elahi, Allah Nawaz, and Ihsan Ullah. Multi-agent systems for control and monitoring of dams.
- Nilson Lazarin and Carlos Pantoja. A Robotic-agent Platform For Embedding Software Agents using Raspberry Pi and Arduino Boards. In *Anais do IX Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações*, pages 13–20, Porto Alegre, RS, Brasil, 2015. SBC. URL <https://sol.sbc.org.br/index.php/wesaac/article/view/33308>. ISSN: 2326-5434 event-place: Niterói/RJ.
- Felipe Leitzke, Rafael de Oliveira, Rodrigo de Oliveira, and Sandro de Oliveira. Simulação multiagente para controle de poluição na Água. *Anais do Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional (ENIAC)*, 2019. URL <https://sol.sbc.org.br/index.php/eniac/article/view/9279>.
- Carlos Eduardo Pantoja, Heder Dorneles Soares, José Viterbo, and Amal El-Fallah Seghrouchni. An architecture for the development of ambient intelligence systems managed by embedded agents. In *Proceedings of the 30th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE)*, pages 214–219, 2018.

- Jerônimo Ramos and Graçaliz Dimuro. Desenvolvendo uma aplicação de sistemas multiagentes na plataforma de agentes jason. In *Anais do III Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações*, pages 126–129, Porto Alegre, RS, Brasil, 2009. SBC. doi: 10.5753/wesaac.2009.33106. URL <https://sol.sbc.org.br/index.php/wesaac/article/view/33106>.
- Sai Sreekar Siddula, PC Jain, and Madhur Deo Upadhayay. Real time monitoring and controlling of water level in dams using iot. In *2018 IEEE 8th International Advance Computing Conference (IACC)*, pages 14–19. IEEE, 2018.
- Michael J. Wooldridge. *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, Chichester, U.K, 2nd ed edition, 2009. ISBN 9780470519462.