SISTEMA MULTIAGENTE BASEADO NO PARADIGMA REACT PARA AUTOMAÇÃO DA ANÁLISE DE SECAS E CHEIAS EM RESERVATÓRIOS

Caline Cecília Oliveira Leite [1]; Marcos Roberto Benso [2] & Alexandre Cláudio Botazzo Delbem [3]

Palavras-Chave – *ReAct*, armazenamento em reservatórios, gestão hídrica.

INTRODUÇÃO

Reservatórios exercem papel estratégico na regularização da disponibilidade hídrica, permitindo o armazenamento de água para usos múltiplos, como abastecimento humano, irrigação e geração hidrelétrica, especialmente em períodos de estiagem (Yu et al., 2021). Em cenários de maior variabilidade climática e pressão sobre os usos da água, o monitoramento contínuo do armazenamento torna-se essencial para apoiar decisões operacionais, antecipar situações críticas e reduzir impactos associados a secas e cheias (Meira Neto et al., 2024).

Uma alternativa para a caracterização dessas condições é o uso de índices padronizados, como o *Standardized Reservoir Storage Index* (SRSI), que avalia anomalias de armazenamento em reservatórios a partir de séries temporais mensais (Schilstra et al., 2024). Tais dados podem ser encontrados no Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2025). Entretanto, a aplicação operacional do SRSI exige uma sequência de etapas sucessivas, incluindo aquisição dos dados, verificação de falhas, agregação temporal, ajuste de distribuições de probabilidade, teste de aderência e classificação da severidade do evento (Svensson; Hannaford; Prosdocimi, 2017; Schilstra et al., 2024). Quando executado manualmente ou por pipelines rígidos, esse processo pode ser demorado, pouco rastreável e limitado na adaptação a séries com diferentes níveis de completude.

Nesse contexto, este trabalho propõe e implementa um sistema multiagente baseado no paradigma *Reasoning and Acting* (*ReAct*), no qual um modelo de linguagem de grande porte atua como agente controlador para orquestrar, de forma adaptativa (Yao et al., 2023), o fluxo de análise do SRSI. A contribuição principal está na integração entre agentes especializados, ferramentas computacionais e raciocínio orientado por contexto para automatizar a análise de secas em reservatórios, com registro das decisões executadas e geração de resultados interpretáveis para apoio à gestão de recursos hídricos.

METODOLOGIA

O sistema foi desenvolvido em *TypeScript*, com interface em *React*/*Vite* e execução em Node.js. A arquitetura segue o paradigma *ReAct* (Yao et al., 2023), no qual um modelo de linguagem de grande porte atua como agente controlador, alternando etapas de raciocínio, acionamento de ferramentas computacionais e incorporação das observações retornadas. O fluxo é composto por quatro agentes especializados: aquisição de dados, pré-processamento, análise estatística e visualização dos resultados (Figura 1).

1) Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, calineleit@usp.br
2) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, marcosbenso@usp.br
3) Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, acbd@icmc.usp.br

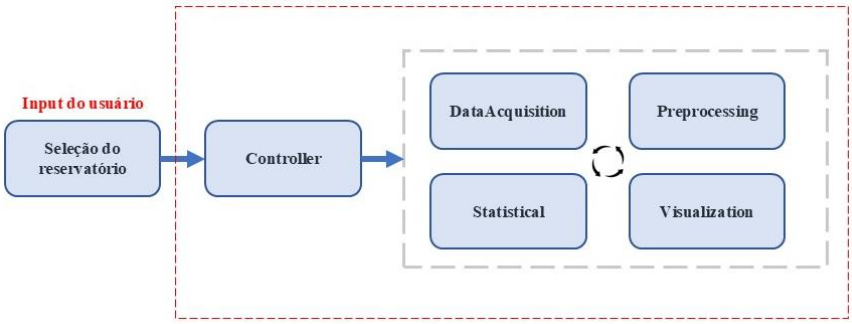


Figura 1. Fluxo de Análise

O agente de aquisição consulta automaticamente os dados disponíveis no SAR (ANA, 2025), obtendo séries históricas de volume útil percentual e metadados associados ao reservatório selecionado. O sistema integra tanto reservatórios do SIN (Sistema Interligado Nacional), quanto do Nordeste e Semiárido. Em seguida, o agente de pré-processamento organiza os registros diários, descarta o primeiro ano de operação, agrega os dados em escala mensal, identifica falhas e seleciona a maior sequência contínua disponível, sem preenchimento artificial de dados ausentes.

O agente estatístico calcula o SRSI nas escalas de 3, 6 e 12 meses. Para cada escala, são geradas séries acumuladas móveis, ajustadas distribuições de probabilidade candidatas e aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1951), adotando-se nível de significância de 5%. A distribuição aceita com melhor aderência é utilizada para estimar as probabilidades acumuladas, posteriormente transformadas em valores padronizados.

Por fim, o agente de visualização classifica os valores de SRSI em categorias de severidade, gera séries temporais interativas e consolida um relatório de auditoria contendo decisões executadas, completude da série, parâmetros das distribuições ajustadas e resultados dos testes estatísticos. A rastreabilidade do processo é garantida pelo registro sequencial das ações pelo agente controlador.

RESULTADOS

A aplicação do sistema demonstrou a viabilidade da arquitetura proposta para automatizar o fluxo de análise do SRSI em reservatórios com diferentes condições de disponibilidade de dados. O agente controlador foi capaz de acionar sequencialmente os módulos de aquisição, pré-processamento, análise estatística e visualização, registrando as entradas, saídas e decisões associadas a cada etapa. Esse registro permitiu auditar o processo analítico, incluindo a identificação de falhas na série, a seleção do período contínuo válido, os ajustes probabilísticos realizados e a classificação final das condições de seca.

No exemplo apresentado para o reservatório Queimado (Figura 2a), o sistema retornou a série temporal do SRSI em múltiplas escalas, os parâmetros das distribuições ajustadas, os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov e a classificação das condições de armazenamento (Figura 2c). A interface também apresentou o log de execução dos agentes (Figura 2b), permitindo acompanhar como o resultado final foi produzido a partir dos dados obtidos no SAR.

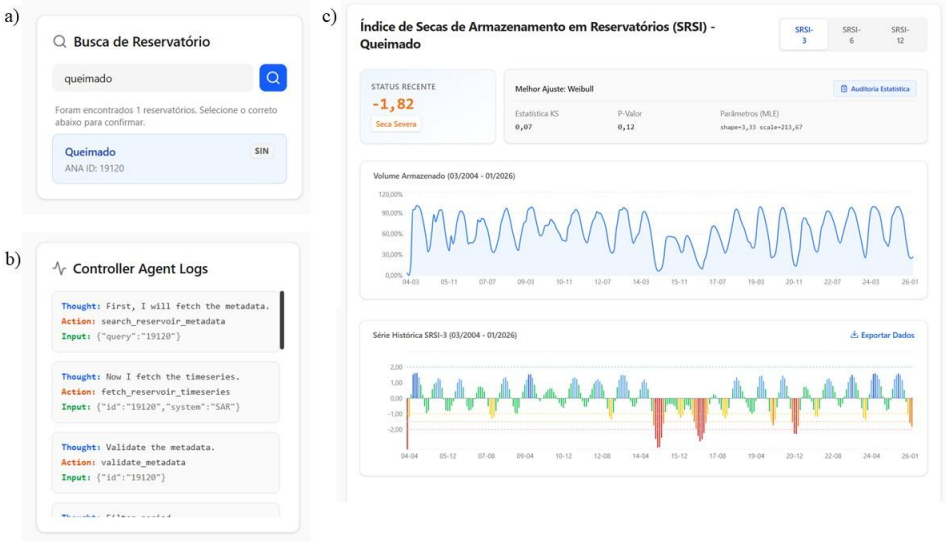


Figura 2. Interface do aplicativo de monitoramento de secas em reservatórios: Exemplo do reservatório Queimado. a) balão de busca do reservatório como input do usuário; b) visualização do funcionamento do log de agentes e; c) resultados para o reservatório selecionado.

A aplicação do sistema ao reservatório Queimado resultou em uma série contínua válida de 265 meses. No cálculo do SRSI, a distribuição de Weibull apresentou o melhor ajuste pelo teste de Kolmogorov-Smirnov nas três escalas analisadas (SRSI-3, SRSI-6 e SRSI-12). Na escala anual (SRSI-12), foram obtidos 254 meses agregados, com 22 meses classificados como seca extrema, 10 como seca severa e 13 como seca moderada. Esses diagnósticos permitem identificar automaticamente reservatórios sob condição crítica de armazenamento, oferecendo suporte inicial à priorização de ações de monitoramento, contingência e alerta.

Embora índices padronizados sejam preferencialmente estimados com séries mensais de 30 anos, essa extensão nem sempre está disponível em registros operacionais de armazenamento de reservatórios. Por isso, o sistema permite o cálculo com séries mais curtas, desde que suas limitações sejam explicitadas e a interpretação seja feita conforme o contexto de aplicação. Para o reservatório Queimado, os resultados obtidos foram compatíveis com o comportamento dos índices de seca observado em análise independente anterior (Leite, 2026).

A abordagem baseada em *ReAct* mostrou-se útil principalmente em situações de séries incompletas, nas quais o agente controlador pôde avaliar a qualidade dos dados antes de prosseguir para a etapa estatística. Quando a sequência contínua válida foi insuficiente para o cálculo do índice, o sistema interrompeu o fluxo e retornou um diagnóstico de inviabilidade, evitando a geração de resultados estatisticamente inconsistentes.

CONCLUSÕES

O sistema proposto demonstrou o potencial de arquiteturas multiagente baseadas em *ReAct* para automatizar fluxos analíticos aplicados ao monitoramento de extremos hidrológicos em reservatórios. A integração entre um agente controlador baseado em LLM e agentes especializados permitiu organizar, processar e auditar etapas sucessivas do cálculo do SRSI, desde a aquisição dos dados até a classificação das condições de armazenamento.

A principal contribuição do trabalho está na incorporação de raciocínio orientado por contexto ao processo de análise, permitindo que o sistema adapte a execução conforme a disponibilidade e a qualidade das séries temporais. No contexto da gestão de desastres, essa abordagem pode apoiar a

identificação precoce de déficits críticos de armazenamento, aumentar a rastreabilidade dos diagnósticos e reduzir o tempo entre a obtenção dos dados e a produção de informação útil para tomada de decisão.

Como etapas futuras, recomenda-se ampliar a validação para diferentes reservatórios brasileiros, comparar os resultados com rotinas independentes de cálculo do SRSI e integrar módulos preditivos para apoio a sistemas de alerta antecipado.

REFERÊNCIAS

ANA. **SAR - Sistema de Acompanhamento de Reservatórios**. , 2025. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin>

LEITE, Caline Cecília Oliveira. **Propagação de secas em bacias hidrográficas regularizadas de diferentes biomas brasileiros**. Mestrado em Hidráulica e Saneamento—São Carlos: Universidade de São Paulo, 20 fev. 2026.

MASSEY, Frank J. The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. **Journal of the American Statistical Association**, v. 46, n. 253, p. 68–78, mar. 1951.

MEIRA NETO, Antônio Alves *et al.* Evolution of Drought Mitigation and Water Security Through 100 Years of Reservoir Expansion in Semi-Arid Brazil. **Water Resources Research**, v. 60, n. 9, p. e2023WR036411, 2024.

SCHILSTRA, Marco *et al.* The effects of reservoir storage and water use on the upstream–downstream drought propagation. **Journal of Hydrology**, v. 631, p. 130668, mar. 2024.

SVENSSON, Cecilia; HANNAFORD, Jamie; PROSDOCIMI, Ilaria. Statistical distributions for monthly aggregations of precipitation and streamflow in drought indicator applications. **Water Resources Research**, v. 53, n. 2, p. 999–1018, fev. 2017.

W, Yu *et al.* **Storing water: a new integrated approach for resilient development**. *[S.l.]*: Stockholm, Sweden: Global Water Partnership (GWP) Colombo, Sri Lanka; International Water Management Institute (IWMI)., 2021.

YAO, Shunyu *et al.* **ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models**. arXiv, , 10 mar. 2023. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2210.03629>. Acesso em: 20 jun. 2026

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).