

# Crise Hídrica no Estado de São Paulo

## Fatos e Dados

Orivaldo Brunini (FUNDAÇÃO); Antoniane Arantes de O. Roque (CATI/SAA); Angélica Praela Pantano (IAC/APTA/SAA); Gabriel C. Blain (IAC/APTA/SAA); Paulo Cesar Reco (APTA Regional/SAA); Elizandra C. Gomes (FUNDAÇÃO); Giselli A. Silva (FUNDAÇÃO); Ricardo Aguilera (FUNDAÇÃO); David Noortwick (FUNDAÇÃO); Andrew P. C. Brunini (FUNDAÇÃO); João P. de Carvalho (IAC/APTA); Marcelo Andriosi (FUNDAÇÃO); Romilson C. M. Yamamura (IAC/APTA)

### 1- Apresentação

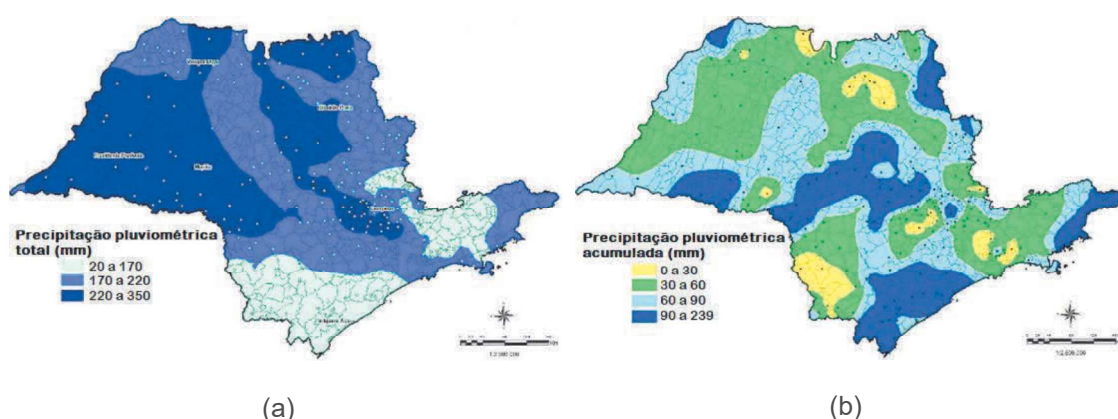
O Estado de São Paulo vêm sendo afetado por diversos períodos de seca ou estiagem prolongada, que têm ocasionado problemas econômicos ou mesmo sociais, afetando processos de irrigação, fornecimento de água para a população e animais, assim como, para atender outros setores da sociedade.

Embora esta situação não seja extemporânea e diversos boletins (CIIAGRO; AGROCLIMASP) enfatizaram este fenômeno, poucas ações efetivas foram realizadas. O objetivo deste boletim é apresentar a situação hídrica do Estado e os índices adequados para avaliar esta situação. Embora estejamos num período de razoável nível de precipitação registrada, os volumes auferidos não eliminaram a escassez ou mesmo restabeleceram o nível de reservatórios em todo o Estado, indicando que medidas efetivas de manejo e preservação dos recursos hídricos sejam efetuadas, de modo a evitar o problema ocorrido em 2014-2015.

### 2- Avaliação das condições atuais

#### 2-1 – Variabilidade espacial da precipitação

O total pluviométrico no Estado no mês de dezembro de 2025 e o registrado no período até 13 de janeiro de 2026 são apresentados nas Figuras 1.



**Figura 1-** Variabilidade espacial do índice pluviométrico total no mês de dezembro de 2025 (a), e o total registrado no período 1 a 13 de janeiro de 2026 (b).

#### 2-2 - Utilização de índices meteorológicos para quantificação da seca

No aspecto de mensuração da variabilidade da precipitação, os índices adotados foram: Índice Padronizado de Precipitação (SPI), e o Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI). Estes índices são

recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para a quantificação do fenômeno de seca sob o aspecto meteorológico e hidrológico.

### a- Índice Padronizado de Precipitação - SPI

O Índice Padronizado de Precipitação (SPI) é utilizado em programas estaduais e nacionais no monitoramento das condições de seca de diversas regiões brasileiras. Com base na hipótese de que a análise de longas séries temporais do SPI pode auxiliar a adoção de políticas de mitigação e combate a essa anomalia climática, com o objetivo de analisar a variabilidade do SPI mensal (estudo feito para a localidade de Campinas (SP), entre os anos de 1890 a 2007).

Desenvolvido por MCKEE et al. (1993 e 1995) o SPI quantifica o déficit ou o excesso de precipitação em diferentes escalas de tempo. Essa característica torna esse índice uma valiosa ferramenta para todos os estudos de disponibilidade hídrica, sejam eles de curta ou longa duração (HAYES et al., 1999). Quando a escala de tempo utilizada (1, 2 ou 3 meses, por exemplo) é pequena, o SPI move-se frequentemente acima ou abaixo de zero. Conforme aumenta o período de análise (12 ou 24 meses, por exemplo) o SPI responde mais lentamente a mudanças na precipitação. Períodos com índices negativos tornam-se menores em número, porém, mais longos em duração (MCKEE et al., 1999). O primeiro passo para o cálculo do SPI é a determinação da probabilidade de distribuição de frequência de precipitação pluvial, a qual pode ser calculada por meio de diversas distribuições paramétricas sendo a gama de 2 parâmetros a mais utilizada. A função normal inversa (Gaussiana) é aplicada as probabilidades cumulativas calculadas por meio da distribuição selecionada, sendo o resultado o valor do SPI.

Segundo HAYES et al. (1999) por se ajustarem à distribuição normal, pode-se esperar, em uma longa série histórica, que 68% dos valores do SPI estejam entre 1 e -1, 95% dos valores estejam entre 2 e -2 e 99% dos valores estejam entre 3 e -3. Uma interpretação relacionada é que magnitudes do SPI menores que -1 ocorram dezesseis vezes em cem anos, magnitudes do SPI menores que -2 ocorram de duas a três vezes em cem anos e valores menores que -3 ocorram uma vez a cada duzentos anos. O evento seca começa quando o SPI se torna negativo e atinge o valor de -1 e termina quando este volta a apresentar valores positivos. Dentro de sua escala, magnitudes menores ou iguais a -2 indicam seca extrema, e maiores ou iguais a 2, umidade extrema, como pode ser visualizado no Quadro 1.

**Quadro 1.** Categorias de seca de acordo com o SPI.

SPI	CATEGORIA
0 a -0,99	Seca Incipiente
-1,00 a -1,49	Moderadamente Seco
-1,5 a -1,99	Severamente Seco
< -2,00	Extremamente Seco

O Índice Padronizado de Precipitação, SPI, quantifica o déficit ou o excesso de precipitação em diferentes escalas de tempo. Tal característica torna o SPI uma valiosa ferramenta nos diversos os estudos de disponibilidade hídrica seja de curta seja de longa duração (HAYES et al., 1999). O cálculo do índice inicia-se com a determinação da probabilidade de distribuição de frequência de

precipitação, a qual é calculada por meio da distribuição gama incompleta. A função normal inversa (Gaussiana) é aplicada a essa probabilidade. O resultado é o SPI. O evento seca começa quando o SPI se torna negativo e atinge o valor de -1 e termina quando volta a apresentar valores positivos.

O período de calibração do SPI é a série histórica usada para determinar os parâmetros alfa e beta, e a probabilidade de ocorrência de precipitação igual a zero, com a temporalidade explicada no Quadro 2.

**Quadro 2- Explicação dos termos e variabilidade temporal**

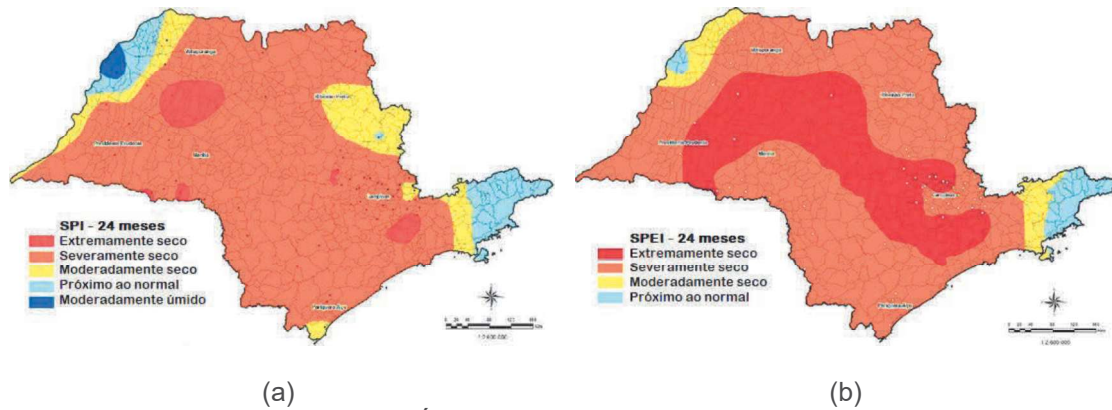
Período SPI	Explicação
1 mês	Indica o total de precipitação do mês em estudo comparado com a normal e com a distribuição normal de uma média histórica de 30 anos do mês em questão.
3 meses	Indica o total de precipitação de três meses consecutivos comparado com as normais e com a distribuição normal de uma média histórica de 30 anos dos meses em questão.
6 meses	Indica o total de precipitação de seis meses consecutivos comparado com as normais e com a distribuição normal de uma média histórica de 30 anos dos meses em questão.
9 meses	Indica o total de precipitação de nove meses consecutivos comparado com as normais e com a distribuição normal de uma média histórica de 30 anos dos meses em questão.
12 meses	Indica o total de precipitação de doze meses consecutivos comparado com as normais e com a distribuição normal de uma média histórica de 30 anos dos meses em questão.
24 meses	Indica o total de precipitação de vinte e quatro meses consecutivos comparado com as normais e com a distribuição normal de uma média histórica de 30 anos dos meses em questão.

#### **b- Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI)**

Este índice foi introduzido mais recentemente com a qualidade de incluir a Evapotranspiração Potencial. A relação Precipitação (P) subtraída a Evaporação (E) indica quanto da precipitação efetiva pode alimentar os lençóis freáticos. Além disso, permite também quantificar os efeitos de alterações do regime térmico e as variações pluviométricas no SPEI. O método estatístico do SPEI acompanha o mesmo do SPI. Como um índice derivado do SPI, as escalas temporais do SPEI acompanham o mesmo padrão do SPI conforme quadro, e os intervalos de tempo recorrentes indicados anteriormente.

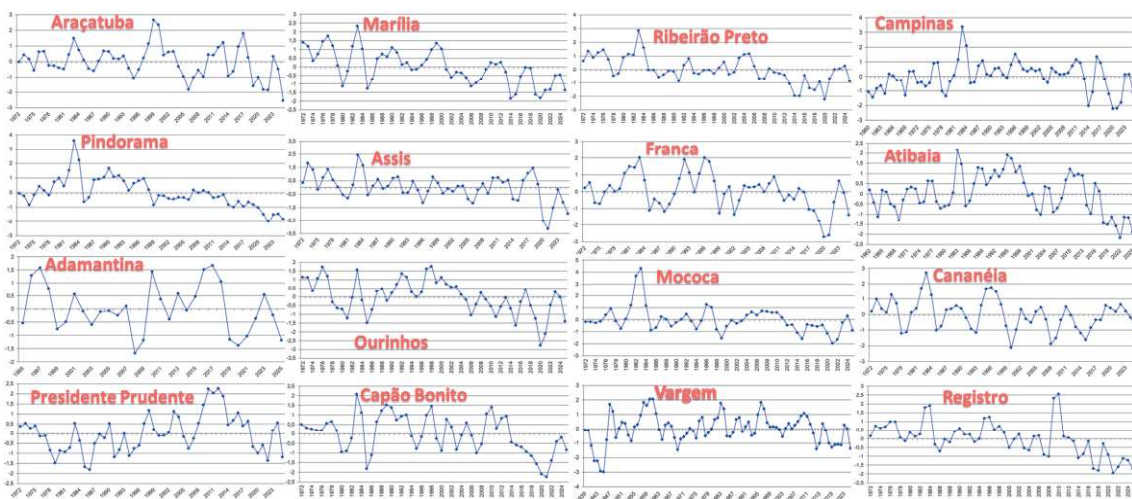
### **3- Situação hídrica no mês de dezembro**

A melhor quantificação da situação hídrica no mês de dezembro de 2025 é o efeito nos reservatórios pelo SPI e SPEI na escala de 24 meses (total). Destaca-se que, em ambos os índices as condições de seca no Estado, em grande parte, apresentam-se de moderado a extremamente seco. Por outro lado, uma análise recorrente deste ano, com retroativo de no mínimo 30 anos (Figuras 2), destaca a grave situação que já se configura há vários anos no Estado.



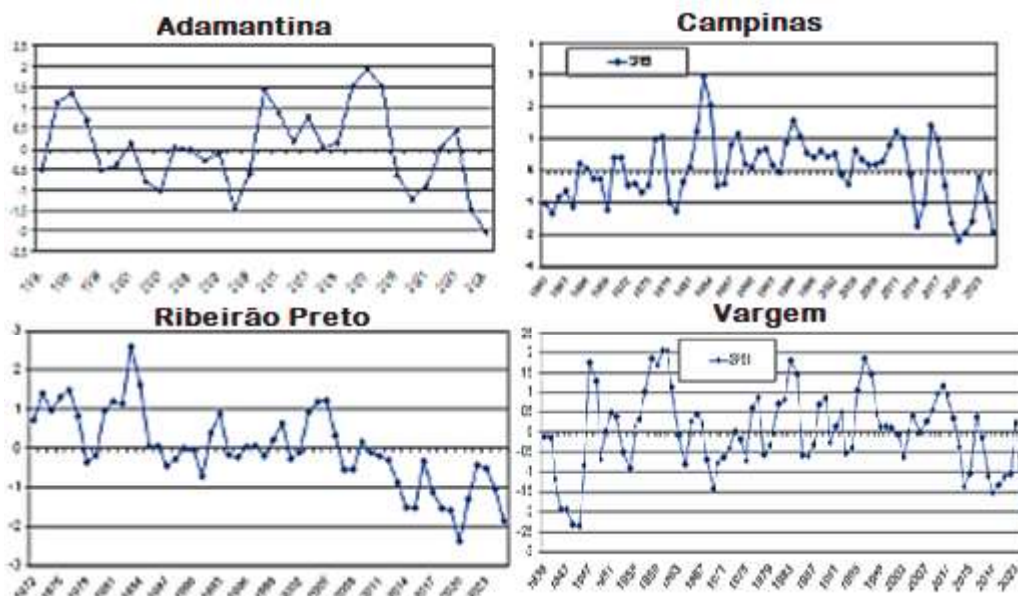
**Figura 2-** Variabilidade espacial do Índice padronizado de precipitação em escala de 24 meses (a), e Índice padronizado de precipitação e evapotranspiração em escala 24 meses (b), ambos para o mês de dezembro de 2025.

Ressalta-se que a análise comparativa do SPI e SPEI (Figura 3) para determinadas localidades, evidencia o fator térmico, que afeta diretamente a evapotranspiração nos valores dos últimos 48 meses. Observa-se que há uma concordância dos índices.



**Figura 3-** Análise recorrente do SPI em escala de 24 meses para distintas localidades do Estado de São Paulo.

Porém, nos últimos anos, onde se registrou aquecimento (aumento da temperatura do ar) e conseqüente aumento da evapotranspiração, os valores de SPEI foram diretamente afetados (Figura 4).



**Figura 4-** Análise recorrente do SPEI em escala de 24 meses para distintas localidades do Estado de São Paulo.

Os gráficos apresentam os valores do SPI em escala bienal para diferentes localidades paulistas. A seca avaliada por meio do **SPI (Índice Padronizado de Precipitação - Standardized Precipitation Index)** constitui uma das abordagens mais consolidadas para o monitoramento e a classificação de condições de seca meteorológica, uma vez que se baseia exclusivamente em anomalias de precipitação em relação a um regime climatológico de longo prazo. Neste estudo, foi adotada a escala temporal de 24 meses (SPI-24), que é particularmente adequada para a investigação de secas de caráter prolongado, uma vez que incorpora os efeitos acumulados da precipitação ao longo de dois anos consecutivos.

Assim, o SPI-24 está mais diretamente relacionado a impactos de médio e longo prazo, como a redução dos níveis de reservatórios, a diminuição da vazão de rios, a recarga insuficiente de aquíferos e a persistência de estresse hídrico em sistemas agrícolas e urbanos. O cálculo do SPI-24 foi realizado utilizando uma janela móvel de 24 meses, de modo que cada valor do índice representa o desvio padronizado da precipitação acumulada nesse intervalo em relação à climatologia de referência. Por exemplo, o valor de SPI-24 associado a janeiro de 2026 considera o total de precipitação acumulado entre fevereiro de 2024 e janeiro de 2026.

Esse procedimento permite captar de forma robusta a persistência das condições secas, reduzindo a influência de flutuações sazonais ou eventos isolados de chuva intensa. Os gráficos evidenciam de forma consistente que o estado de **São Paulo vem enfrentando um evento de seca expressivo e generalizado**. Observa-se que todas as regiões analisadas apresentam valores negativos de SPI-24, indicando déficit pluviométrico acumulado em escala estadual.

Além disso, grande parte do território paulista encontra-se classificada sob condições de seca severa ou extrema, o que reforça o caráter espacialmente abrangente e temporalmente persistente desse evento. Esses resultados sugerem um cenário de elevada pressão sobre os recursos hídricos do estado, com potenciais repercussões para o abastecimento de água, a geração de

energia hidrelétrica e a produção agropecuária, ressaltando a importância do monitoramento contínuo e do planejamento adaptativo frente a eventos climáticos extremos.

A melhor quantificação da situação hídrica no mês de dezembro de 2025 é o efeito nos reservatórios pelo SPI e SPEI na escala de 24 meses (total). Destaca-se que, em ambos os índices as condições de seca no Estado, em grande parte, apresentam-se de moderado a extremamente seco. Por outro lado, uma análise recorrente deste ano, com retroativo de no mínimo 10 anos (Figura 5), destaca a grave situação que já se configura há vários anos no Estado.

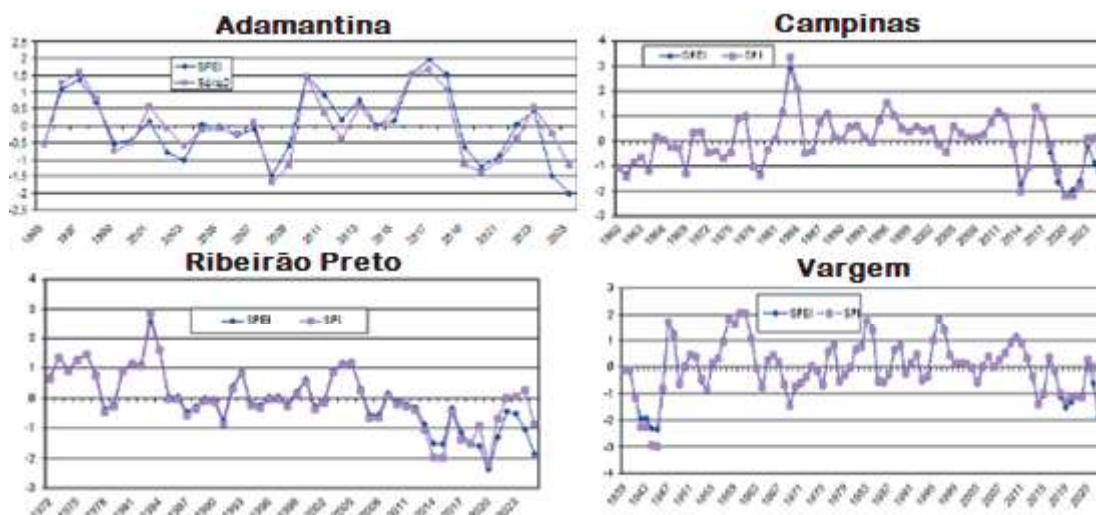


Figura 5 - Análise recorrente do SPI e SPEI em escala 24 meses para distintas localidades do Estado de São Paulo

Ressalta-se que, a análise comparativa do SPI e SPEI (Figura 5) evidencia o fator térmico, que afeta diretamente a evapotranspiração nos valores dos últimos 48 meses. Observa-se que há uma concordância dos índices, porém, nos últimos anos, onde se registrou aquecimento (aumento da temperatura do ar) e conseqüente aumento da evapotranspiração, os valores de SPEI foram diretamente mais agravantes.

#### 4- Conclusão

Os resultados apresentados evidenciam a restrição hídrica a que o Estado está sendo submetido, e esta restrição é mais evidente na última década, onde além da redução do índice pluviométrico, houve também aumento da evapotranspiração potencial devido ao acréscimo de temperatura.