

ELEMENTOS METEOROLÓGICOS E EFEITOS NA CRISE HÍDRICA EM SÃO PAULO - BRASIL

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

O presente documento foi preparado utilizando-se o banco de dados da rede meteorológica da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA), coordenada pelo Centro de Informações Agrometeorológicas (Ciiagro), conforme termo de parecer assinado entre a SAA, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA)/Instituto Agrônômico (IAC) e Diretoria de Assistência Técnica Integral (CATI). Tal rede abastece as análises e os acompanhamentos do clima de diferentes órgãos no cenário nacional.

A gravidade da estiagem prolongada que afeta o Estado de São Paulo pode ser evidenciada de forma crítica pelo monitoramento orbital do braço da represa Jaguari, um dos principais corpos d'água do Sistema Cantareira, situado entre os municípios de Joanópolis e Piracaia (**Figura 1**). A comparação temporal realizada com imagens pancromáticas do satélite CBERS-4 revela um recuo alarmante e severo do espelho d'água (identificado pela tonalidade escura) em um intervalo de pouco mais de um ano: enquanto em 15 de abril de 2025 o reservatório apresentava margens preenchidas e volume expressivo, a imagem de 05 de junho de 2026 expõe a retração drástica do leito inundado, dando lugar a extensas faixas de solo exposto e áreas de sedimentação visíveis no canal. Este cenário de exaustão hídrica em um ponto estratégico de captação reforça a urgência na manutenção de medidas restritivas de consumo, na otimização da gestão de vazões e no acionamento imediato de planos de contingência pelos comitês de bacia para mitigar o risco de desabastecimento nas regiões metropolitanas dependentes deste sistema, em pleno período de redução da precipitação.

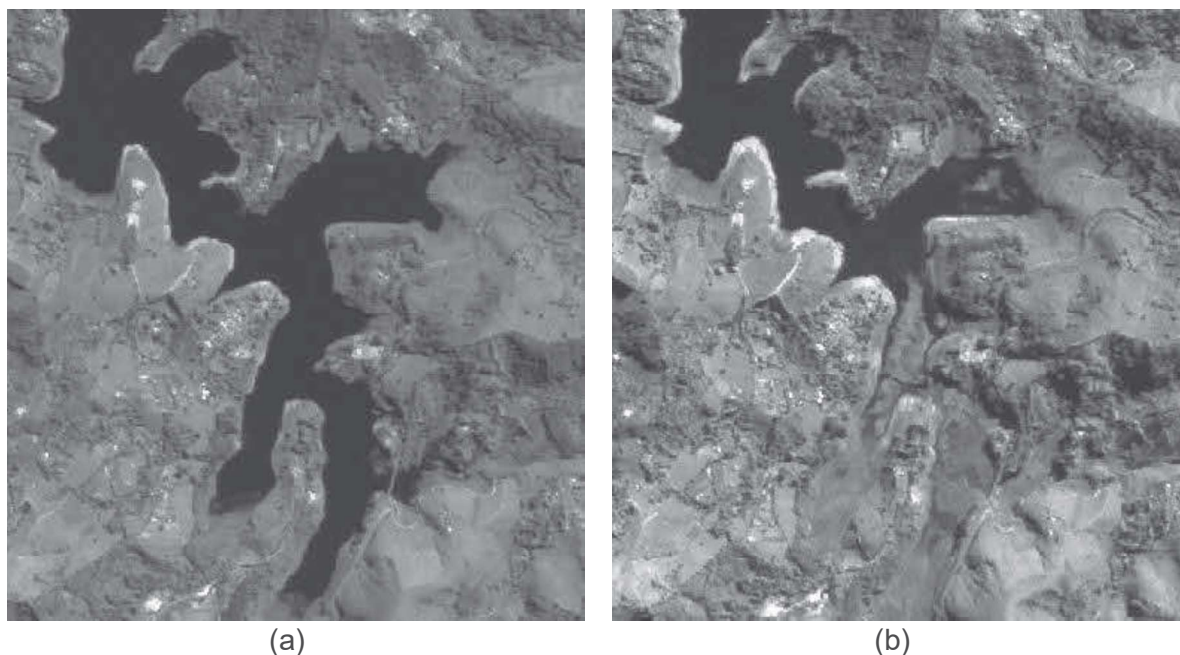


Figura 1 – Imagens do satélite CBERS 4 pancromáticas de braço da represa Jaguari entre os municípios de Joanópolis e Piracaia nas datas de 15 de abril de 2025 (a) e 05 de junho de 2026 (b), evidenciando-se na cor escura as águas do reservatório.

A retração drástica dos níveis de reservatórios estratégicos, como o Sistema Cantareira, impõe desafios severos ao setor agropecuário paulista, exigindo uma transição imediata para práticas sustentáveis de manejo dentro das propriedades rurais. A implementação de técnicas como o plantio direto, a rotação de culturas, o terraceamento e a preservação de Matas Ciliares e Áreas de Preservação Permanente (APPs) vai muito além da manutenção da produtividade do campo; ela é a chave para a segurança hídrica de toda a sociedade. Solos bem manejados e com cobertura vegetal adequada funcionam como verdadeiras esponjas, aumentando a infiltração da água da chuva, reabastecendo os lençóis freáticos e reduzindo drasticamente o assoreamento e o transporte de sedimentos e defensivos agrícolas para os rios. Dessa forma, as práticas de conservação adotadas pelo produtor rural cumprem um papel social essencial, regulando o ciclo hidrológico local e garantindo que a água chegue com maior qualidade e regularidade aos pontos de captação que abastecem as redes urbanas e os centros industriais do Estado.

O gráfico histórico da precipitação total no mês de junho em Campinas (**Figura 2**), abrangendo o período de 1890 a 2026, fornece um diagnóstico crucial para compreender a severidade da atual escassez hídrica. Como junho marca o início do inverno e o estabelecimento do período seco em São Paulo, o comportamento recente da linha de média móvel de dez anos, representada pela cor vermelha, indica uma tendência estrutural preocupante.

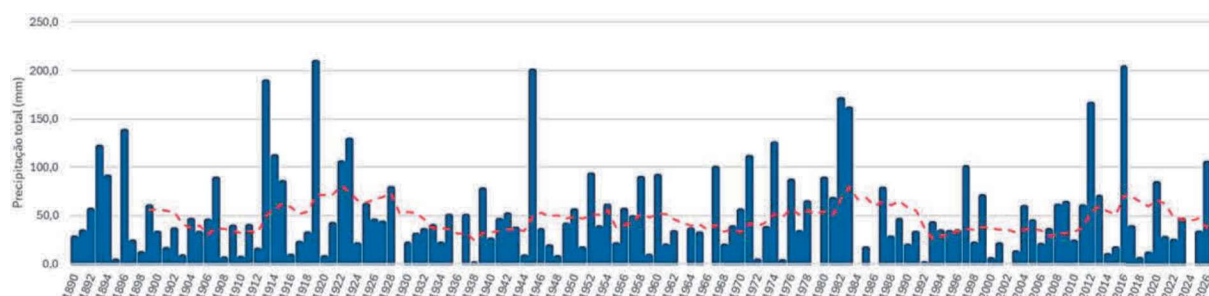


Figura 2 – Variação da precipitação no mês de junho em Campinas/SP de 1890 a 2026, com linha de média móvel de 10 anos na cor vermelha.

Após o último grande pico de chuva registrado por volta de 2016, quando a precipitação ultrapassou a marca histórica de 200 mm, a média móvel decenal iniciou uma trajetória de descenso contínuo e acentuado. Na última década, essa linha de tendência estabilizou-se em patamares baixos, flutuando abaixo da marca dos 50 mm. Esse comportamento demonstra que os episódios de seca em junho deixaram de ser anomalias anuais isoladas e passaram a configurar um padrão climático de menor disponibilidade hídrica sistemática na região.

A análise das colunas anuais revela um predomínio de volumes mensais drasticamente inferiores à média histórica no período posterior a 2016, com diversos anos registrando acumulados extremamente reduzidos. Embora o atual ano de 2026 apresente uma recuperação pontual, superando ligeiramente a marca de 100 mm, esse evento isolado mostra-se insuficiente para reverter o déficit acumulado no solo e nos mananciais. Uma precipitação atípica de inverno não altera a tendência de queda observada na média decenal de longo prazo.

Para as bacias hidrográficas que abastecem a região e os sistemas produtores associados, a consolidação de meses de junho com volumes historicamente baixos agrava o cenário de crise. Sem a infiltração adequada de água no início do inverno, as reservas subterrâneas e o escoamento de base não se sustentam, acelerando o esgotamento dos rios

e reservatórios durante o pico da estiagem nos meses seguintes. Esse cenário reforça a necessidade de manter alertas rígidos de gestão hídrica, uma vez que a resiliência climática regional opera em limites estreitos devido à redução persistente das chuvas de inverno ao longo dos últimos dez anos.

O agravamento da escassez hídrica ganha contornos ainda mais severos quando analisado sob a ótica do balanço hídrico climatológico, expresso pelo índice de seca que calcula a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração ($P - ETP$) para o mês de junho em Campinas (**Figura 3**). O histórico recente aponta que as barras de balanço hídrico negativo se tornaram recorrentes na última década, demonstrando que o volume de água que retorna à atmosfera por evaporação e transpiração vegetal frequentemente supera a escassa lâmina de chuva que atinge o solo neste período do ano. Embora o mês de junho de 2026 registre uma recuperação isolada e atípica no índice de balanço positivo, aproximando-se de patamares observados em anos de maior umidade, essa oscilação momentânea não é capaz de estancar a tendência de declínio dos grandes sistemas de abastecimento, uma vez que o solo vinha de uma sequência prolongada de forte déficit hídrico acumulado.

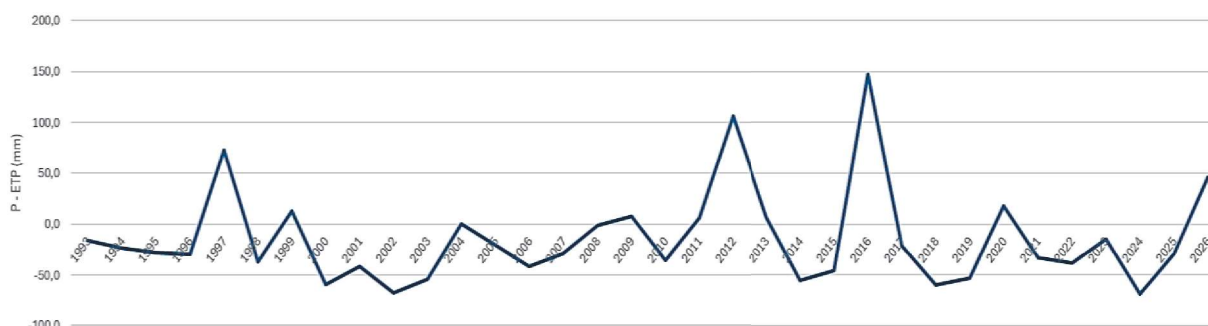


Figura 2 – Índice de seca (precipitação menos evapotranspiração) no mês de junho em Campinas/SP de 1993 a 2026.

Refletindo fielmente esse balanço desfavorável na cabeceira dos mananciais, o Sistema Cantareira entrou oficialmente em um novo patamar de aperto operacional nas últimas semanas. No fechamento do mês passado, a Agência de Águas do Estado de São Paulo (SP Águas) determinou que o Cantareira passasse a operar na chamada Faixa de Alerta. Esse reenquadramento é consequência direta de um desempenho hidrológico inferior ao esperado, que forçou o acionamento de regras de outorga mais rígidas, reduzindo o teto de captação máxima permitido para a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). Para tentar mitigar a retração contínua e garantir a segurança do abastecimento dos mais de 9 milhões de dependentes do sistema na Região Metropolitana, medidas extraordinárias de engenharia começaram a ser executadas, incluindo a captação emergencial de águas de reservatórios que originalmente atendem ao Estado do Rio de Janeiro para reforçar o balanço do Cantareira. O cenário atual evidencia que, mesmo com pequenas janelas de alívio meteorológico local, a infraestrutura hídrica estadual opera sob severa pressão e dependência de intervenções estruturais complexas para evitar o desabastecimento.

Essa pressão sobre os mananciais e a instabilidade no balanço hídrico ganham um agravante crítico quando analisadas as condições térmicas que atingiram o Estado de São Paulo no mês de junho de 2026. Os mapas de variação espacial da temperatura máxima média (**Figura 3a**) e da temperatura máxima absoluta do ar (**Figura 3b**) revelam que o inverno paulista se iniciou sob o impacto de calor excessivo, com médias máximas dominando quase todo o território na faixa de 23°C a 27°C e picos absolutos alarmantes de 30°C a 34°C nas

principais regiões produtoras do centro, norte e oeste paulista. Essa combinação de solo desidratado e forte calor acelera as taxas de evapotranspiração, desestruturando o calendário agrícola e penalizando diretamente o setor agropecuário.

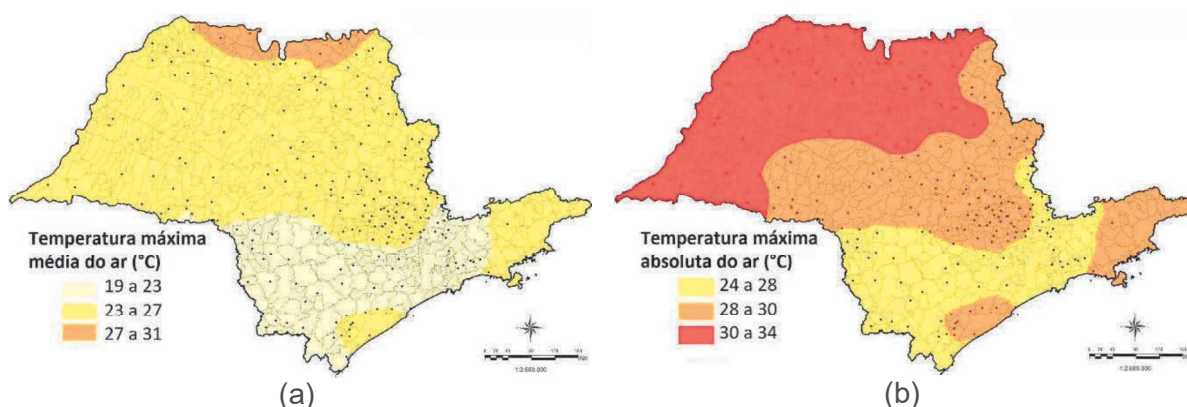


Figura 3 – Variação espacial da (a) temperatura máxima média do ar, e (b) temperatura máxima absoluta do ar, ambas referentes ao mês de junho de 2026.

Para as culturas de inverno e as safras em andamento, como o milho safrinha e as lavouras cafeeiras regionais, esse estresse térmico e hídrico simultâneos representa uma ameaça direta ao rendimento final no campo. O calor extremo atípico acelera o ciclo das plantas antes do pleno desenvolvimento e aborta flores e frutos, enquanto a falta de umidade profunda no solo restringe a absorção de nutrientes essenciais. Na pecuária, as pastagens sofrem uma degradação precoce devido à perda rápida de umidade sob máximas de até 34°C, o que reduz a disponibilidade de forragem de qualidade para o gado, eleva os custos com suplementação e pressiona as margens financeiras do produtor rural.

Diante desse cenário de extremos, a adoção em larga escala de práticas consolidadas de conservação de solo e água deixa de ser uma escolha técnica para se tornar uma estratégia de sobrevivência econômica e social. Sistemas que priorizam a cobertura permanente do solo, o terraceamento em nível e o enriquecimento de matéria orgânica criam uma barreira física contra o calor irradiado, reduzindo a temperatura da superfície terrestre e preservando a pouca umidade disponível na zona radicular das plantas. Ao segurar a água na propriedade e mitigar os efeitos dessas ondas de calor sazonais, o produtor não apenas protege sua produtividade imediata, mas também atua como um regulador vital do fluxo dos mananciais, garantindo a sustentabilidade dos rios que abastecem as redes urbanas em tempos de grave crise climática.

A ilusão de recuperação trazida por oscilações úmidas de curto prazo é definitivamente desfeita ao analisar o Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizado (SPEI), conforme **Figuras 4**, na escala bianual de 24 meses, referente a junho de 2026. Enquanto as escalas mensais e semestrais registram anomalias úmidas momentâneas decorrentes de frentes frias recentes, o indicador de longo prazo expõe a radiografia real e profunda de uma crise hídrica estrutural que vem se acumulando nos últimos dois anos. Praticamente todo o mapa do Estado de São Paulo encontra-se dominado por tonalidades de estresse hídrico crônico, divididas entre as classificações de moderadamente seco e severamente seco.

Uma extensa e alarmante faixa centralizada na cor laranja corta o território paulista de oeste a leste, revelando que importantes polos econômicos e agrícolas, como Presidente Prudente, Bauru e Limeira, enfrentam uma condição severamente seca no acumulado de 24 meses. Esse déficit hídrico prolongado também atinge de forma crítica o extremo sul do Estado, na região do Vale do Ribeira. Mesmo áreas importantes como Votuporanga, Ribeirão

Preto, Avaré e Itapetininga, que aparecem sob a classificação de moderadamente seco, sofrem as consequências dessa escassez persistente que exaure os lençóis freáticos mais profundos e compromete o fluxo de base dos rios.

Embora a região de Campinas apresente uma pequena mancha isolada classificada como próximo ao normal, essa condição local reflete apenas eventos de chuva muito recentes e superficiais, sendo incapaz de blindar a região do colapso sistêmico ao seu redor. O SPEI bianual deixa claro que a crise hídrica atual não é um fenômeno passageiro de inverno, mas sim o resultado de dois anos contínuos em que a perda de água por evapotranspiração superou severamente as precipitações registradas. Esse cenário crônico exige a manutenção rigorosa de políticas de contingenciamento, pois os reservatórios e aquíferos estaduais continuam operando sob forte desabastecimento de longo prazo, demandando muito mais do que chuvas sazonais para alcançar uma verdadeira recuperação.

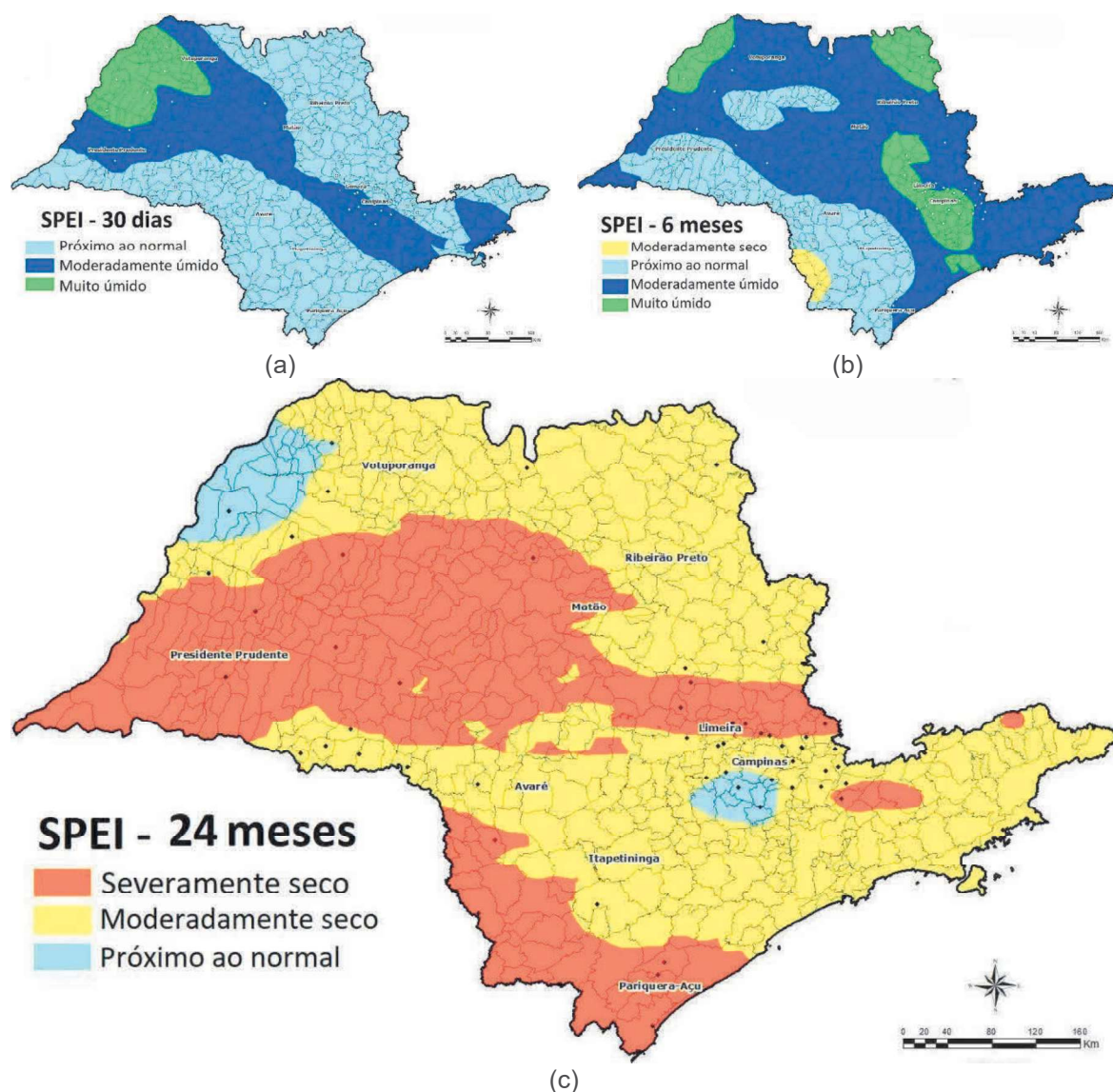


Figura 4 – Variação espacial do (a) SPEI em escala mensal, do (b) SPEI em escala semestral, e (c) em escala bianual, todas referentes ao mês de junho de 2026.

A análise espacial de junho de 2026 expõe o contraste geográfico imediato que mascara a crise de longo prazo, impulsionado diretamente pela passagem consecutiva de frentes frias atípicas para o período de inverno. Esse avanço de sistemas frontais pelo

território paulista quebrou o padrão de bloqueios atmosféricos quentes, gerando uma forte cobertura de nuvens e um resfriamento acentuado nas máximas do ar, conforme evidenciado no mapa de Variação espacial da anomalia de temperatura máxima do ar (**Figura 5a**), com desvios que atingiram marcas abaixo de $-2,0^{\circ}\text{C}$ no extremo oeste paulista. Esse mesmo dinamismo frontal foi responsável por volumes de chuva superiores à média climatológica do mês, resultando em um balanço hídrico predominantemente positivo apresentado no mapa do Índice de seca de Precipitação menos Evapotranspiração (**Figura 5b**), com ganhos entre 0 mm e 40 mm na maior parte do Estado e acumulados expressivos superando 80 mm nas franjas do extremo norte e leste. A única exceção ao impacto dessas frentes frias concentrou-se no extremo nordeste, região que permaneceu sob a influência da massa de ar seco e registrou déficit imediato na faixa de -40 mm a 0 mm.

Apesar desse alívio térmico e hídrico pontual trazido pela atividade frontal na superfície, o cenário consolidado de escassez permanece crítico. Diante do déficit profundo acumulado nos últimos 24 meses, esse excedente de umidade de curto prazo é absorvido rapidamente pelas camadas superficiais do solo e pelas culturas agrícolas necessitadas, sem força para gerar escoamento subterrâneo significativo. Para o Sistema Cantareira e as bacias hidrográficas estaduais, a trégua meteorológica recente trazida pelas frentes frias ajuda a desacelerar o ritmo de esvaziamento das calhas, mas não reverte a classificação de alerta nem dispensa a manutenção de práticas rigorosas de manejo e conservação de água nas propriedades rurais.

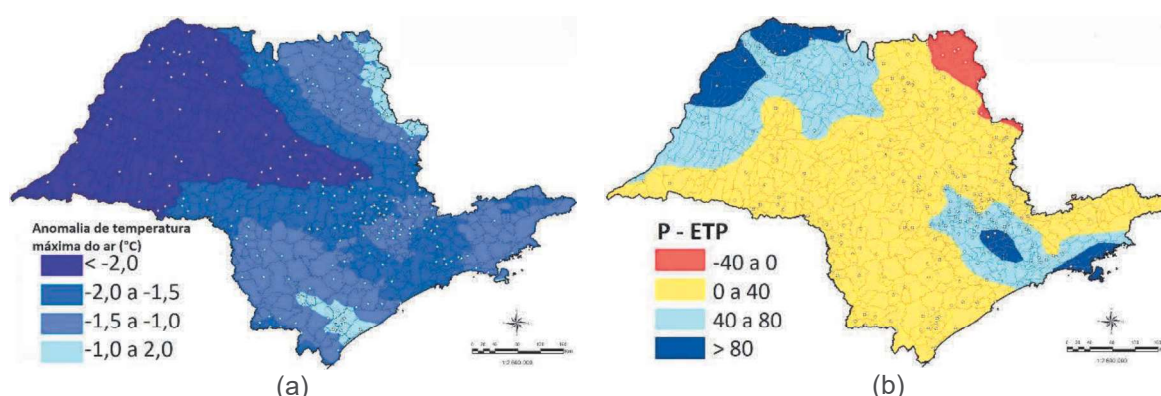


Figura 5 – Variação espacial da anomalia de temperatura máxima do ar (a), e do índice de seca Precipitação menos Evapotranspiração (b), referentes ao mês de junho de 2026.

Esse comportamento de contrastes regionais e tréguas momentâneas insere-se diretamente em um contexto global de intensificação dos extremos climáticos e de aquecimento planetário. A série histórica de Variabilidade da temperatura mínima e máxima do ar para o mês de junho em Campinas (**Figuras 6**) ilustra com clareza o padrão de desregulamento térmico nas últimas décadas. No gráfico das temperaturas mínimas (**Figura 6a**), observa-se uma flutuação cada vez mais errática da temperatura mínima absoluta (linha rosa), que alterna picos de inverno atipicamente quentes (próximos a 12°C) com quedas abruptas, evidenciando uma perda de linearidade sazonal. Simultaneamente, o patamar da temperatura mínima média (linha azul superior) mantém-se persistentemente elevado na maior parte do período recente, reduzindo a ocorrência de noites frias contínuas que historicamente caracterizavam o inverno do interior paulista.

O reflexo mais evidente do aquecimento global consolida-se no monitoramento das temperaturas máximas (**Figura 6b**), onde a linha de máxima absoluta (linha vermelha) demonstra uma clara tendência de elevação ao longo dos anos, rompendo com frequência a

barreira dos 30°C em pleno mês de junho. Esse aquecimento de fundo também é sustentado pela trajetória da temperatura máxima média (linha azul inferior), que passou a registrar patamares elevados com maior regularidade na última década.

Esses indicadores térmicos locais traduzem a dinâmica das mudanças climáticas globais, nas quais a atmosfera aquecida retém mais energia e altera a circulação dos ventos. O resultado é a ampliação dos extremos: episódios de calor histórico passam a conviver com quebras bruscas de temperatura provocadas por sistemas frontais intensos. Para a gestão da crise hídrica e para o setor produtivo, essa gangorra térmica desestabiliza completamente a previsão de demanda e o balanço evaporativo dos mananciais, confirmando que o aquecimento global se manifesta não apenas pelo aumento das médias, mas pela imprevisibilidade e violência de seus picos extremos.

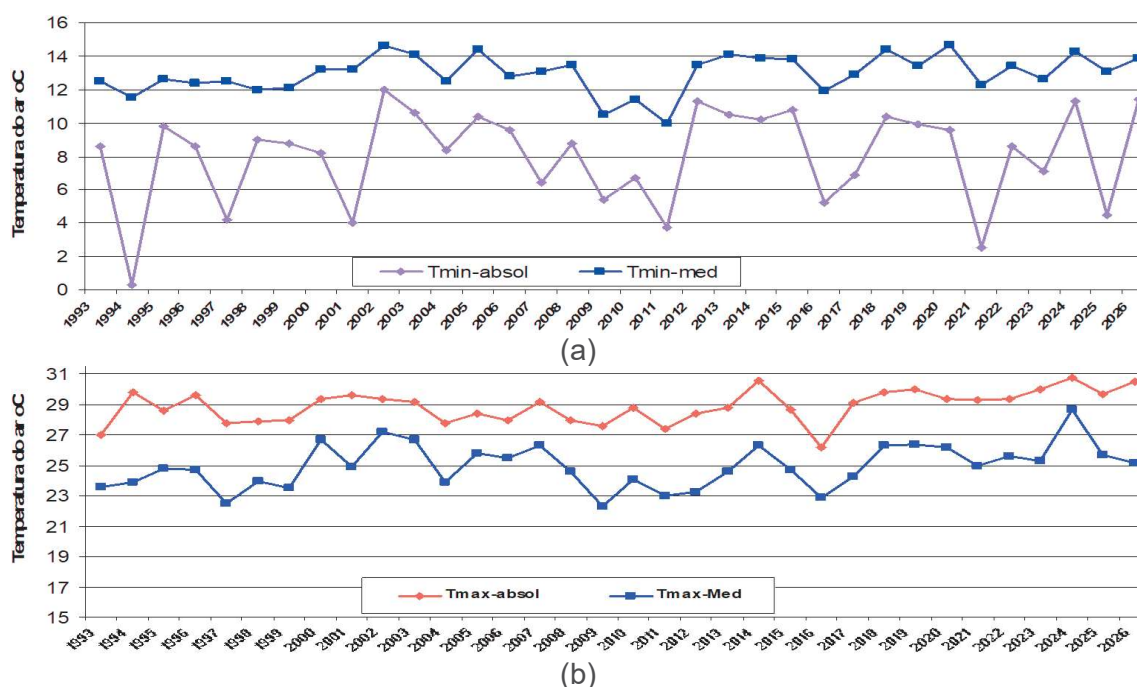


Figura 6 – Variabilidade da temperatura mínima do ar (a), e da temperatura máxima do ar (b), ambos referentes ao mês de junho em Campinas/SP de 1993 a 2026.

Para compreender os desdobramentos de longo prazo dessas oscilações hídricas e térmicas, torna-se essencial avaliar o panorama global delineado pelo El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Conforme apontam as Probabilidades de intensidade do ENSO para junho de 2026 (**Figura 7a**), as projeções indicam uma transição gradual e consistente para a fase quente do fenômeno ao longo dos próximos trimestres móveis. Embora o gráfico mostre que a chance percentual de um evento de intensidade forte ou muito forte cresce significativamente nos períodos de fim de ano (como Outubro-Novembro-Dezembro e Novembro-Dezembro-Janeiro), o próprio relatório pondera que eventos mais fortes não significam necessariamente impactos climáticos proporcionalmente maiores.

O Histórico de anomalias de temperatura e fenômenos La Niña e El Niño (**Figura 7b**) reforça essa visão de que a atmosfera responde de forma complexa, mostrando que o planeta já passou por múltiplos ciclos de forte aquecimento equatorial (como em 1982-1983, 1997-1998 e 2015-2016) e encontrou caminhos de reequilíbrio subsequentes, servindo como um indicativo de que o setor produtivo possui capacidade de adaptação quando amparado por informações robustas, soluções adaptativas, e políticas públicas de suporte e mitigação de impactos.

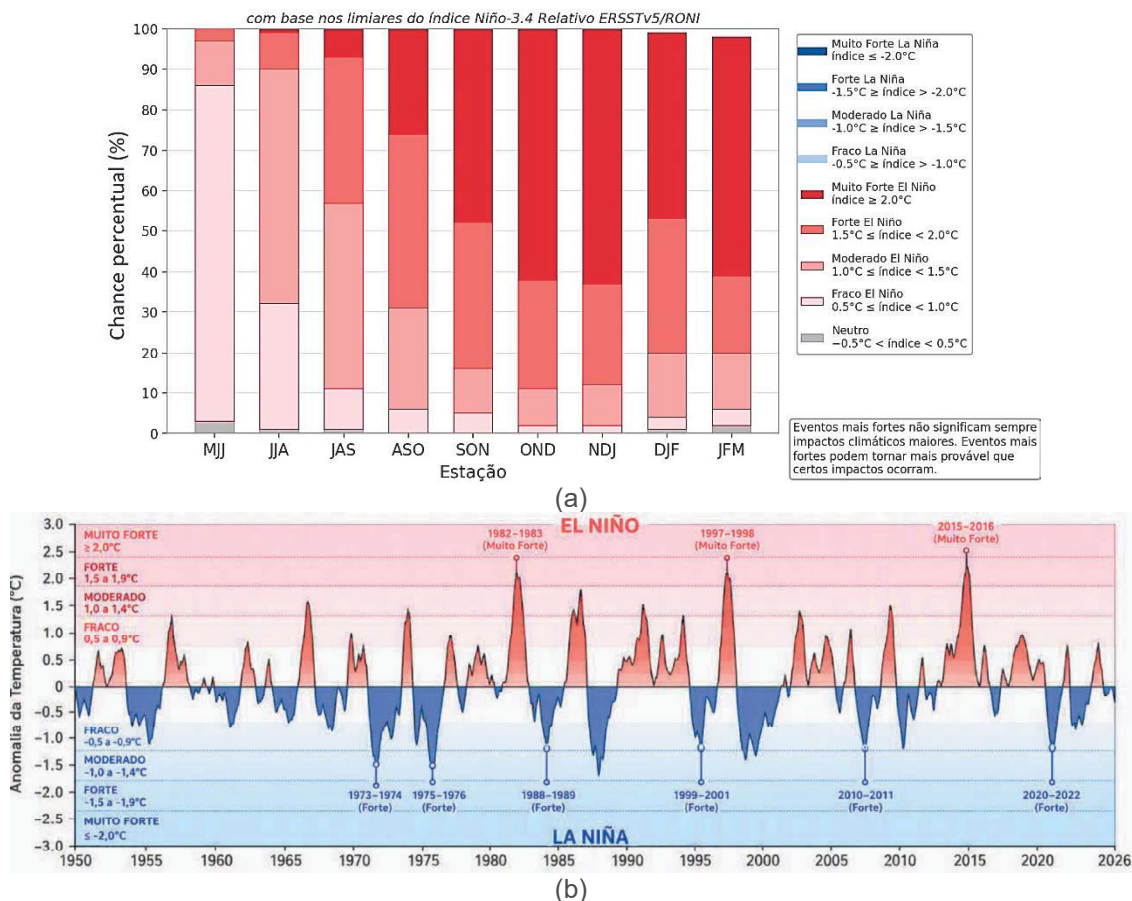


Figura 7 – Probabilidades de intensidade do ENSO (El Niño-Oscilação Sul) segundo o Centro de Previsão Climática da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) em junho de 2026 (a), e histórico de anomalias de temperatura e fenômenos La Niña e El Niño (b).

Diante dessa tendência de aquecimento no Pacífico e da variabilidade local observada, a existência de uma rede de estações meteorológicas bem estruturada e capilarizada pelo território paulista consolida-se como uma ferramenta de soberania estratégica. É essa infraestrutura de monitoramento de campo que permite decodificar como os macrofenômenos globais se traduzem nas microbacias hidrográficas e nas diferentes zonas de produção do âmbito paulista. Para o setor agropecuário, a perspectiva futura baseada nas tendências dos gráficos históricos exige a substituição do amadorismo climático pelo planejamento baseado em dados de curto e longo prazo. Compreender os ciclos de balanço hídrico negativo e as janelas de extremos térmicos capacita o produtor a ajustar épocas de semeadura, escolher variedades mais resilientes, otimizar sistemas de irrigação e adotar manejos conservacionistas de solo com precisão e técnica.

Como suporte fundamental a essa modernização do campo, o site AgroClimaSP (<http://agroclimasp.ciiagro.org.br/>) desempenha um papel indispensável ao democratizar o acesso a diagnósticos climáticos e inteligência agrometeorológica operacional. As ferramentas disponíveis na plataforma estão em constante evolução e desenvolvimento tecnológico, gerando modelos preditivos, gestão de risco e balanços hídricos regionais cada vez mais precisos. O uso ativo e cotidiano dessas tecnologias pelos produtores rurais, técnicos e gestores públicos é o que transforma o monitoramento científico em tomadas de decisão práticas, garantindo a sustentabilidade da produção de alimentos, a proteção dos recursos naturais e a resiliência socioeconômica de São Paulo frente aos desafios do clima do século XXI.