

SECA NO ESTADO DE SÃO PAULO
ASPECTOS GERAIS E EFEITOS AGRÍCOLAS
FUNDAÇÃO DE APOIO À PESQUISA AGRÍCOLA (FUNDAG);
Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO)
(Parceria - CATI, IAC, APTA Regional, APTA-SAA)

Orivaldo Brunini (FUNDAG); Antoniane Arantes de O. Roque (CATI/SAA);
Angélica Praelo Pantano (IAC/APTA/SAA); Gabriel C. Blain (IAC/APTA/SAA);
Paulo Cesar Reco (APTA Regional/SAA); Elizandra C. 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)

Resumo - Este relatório apresenta as características hídricas e regime térmico na safra agrícola 2023/2024 no Estado. Observa-se que as temperaturas médias máximas atingiram até 5 °C acima das médias históricas, enquanto o total mensal de precipitação foi abaixo do valor médio histórico. Estas condições agrometeorológicas adversas ocorrem em todo o Estado, sendo mais críticas nas regiões Norte, Noroeste e Oeste do Estado. O uso do Índice Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração (SPEI) mostrou ser adequado para avaliar a restrição hídrica. Esta restrição hídrica e seus efeitos nas culturas pode ser adequadamente avaliada pelo Índice de Satisfação Hídrica (CWDF). O prognóstico climático do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) indica que até dezembro os totais mensais de precipitação podem ser abaixo da média histórica, enquanto a temperatura do ar ser acima dos valores médios históricos.

DROUGHT IN THE STATE OF SÃO PAULO
GENERAL ASPECTS AND AGRICULTURAL EFFECTS

Abstract - This report presents the soil water availability and temperature regime in the 2023/2024 harvest period in the State. It is observed that the maximum average temperatures reached up to 5 °C above the historical averages, while the monthly precipitation total was below the historical average value. These adverse agrometeorological conditions occur throughout the State, being more critical in the North, Northwest and West regions of the State. The use of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) has shown to be adequate to assess water restriction. This water restriction and its effects on crops can be adequately assessed by the Water Satisfaction Index (CWDF). The climate forecast of the National Institute of Meteorology (INMET) indicates that until December the monthly precipitation totals may be below the historical average, while the air temperature will be above the historical average values.

SEQUIÁ EN EL ESTADO DE SÃO PAULO ASPECTOS GENERALES Y EFECTOS AGRÍCOLAS

Resumen - Este informe presenta la disponibilidad de agua del suelo y el régimen de temperatura en el período de cosecha 2023/2024 en el Estado. Se observa que las temperaturas máximas promedio alcanzaron hasta 5 °C por encima de los promedios históricos, mientras que la precipitación total mensual estuvo por debajo del valor promedio histórico. Estas condiciones agrometeorológicas adversas se presentan en todo el Estado, siendo más críticas en las regiones Norte, Noroeste y Oeste del Estado. El uso del Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI) resultó adecuado para evaluar la restricción hídrica. Esta restricción hídrica y sus efectos en los cultivos pueden evaluarse adecuadamente mediante el Índice de Satisfacción Hídrica (CWDF). El pronóstico climático del Instituto Nacional de Meteorología (INMET) indica que hasta diciembre las precipitaciones totales mensuales pueden estar por debajo del promedio histórico, mientras que las temperaturas del aire pueden estar por encima de los valores promedio históricos.

1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

O Estado de São Paulo tem apresentado uma alta variabilidade em seu padrão climático; variabilidade está em grande parte ocasionadas pelas mudanças climáticas. Embora ao longo dos anos tem sido observado episódios anomalias da temperatura do ar e longos períodos de estiagem e seca, a ocorrências destas anomalias tem aumentado consideravelmente nas últimas duas décadas, como pode ser destacado pela variação anual da temperatura média do ar (**Figura 1**) e pelo total de precipitação anual (**Figura 2**) observados para a localidade de Campinas (SP).

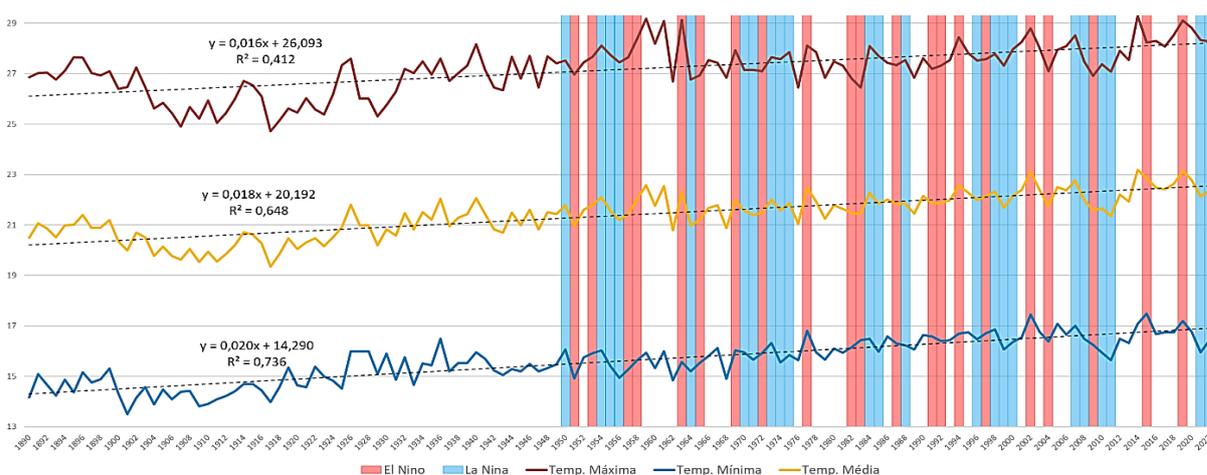


Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima na estação Campinas, com linha de tendência de cada uma das distribuições e ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

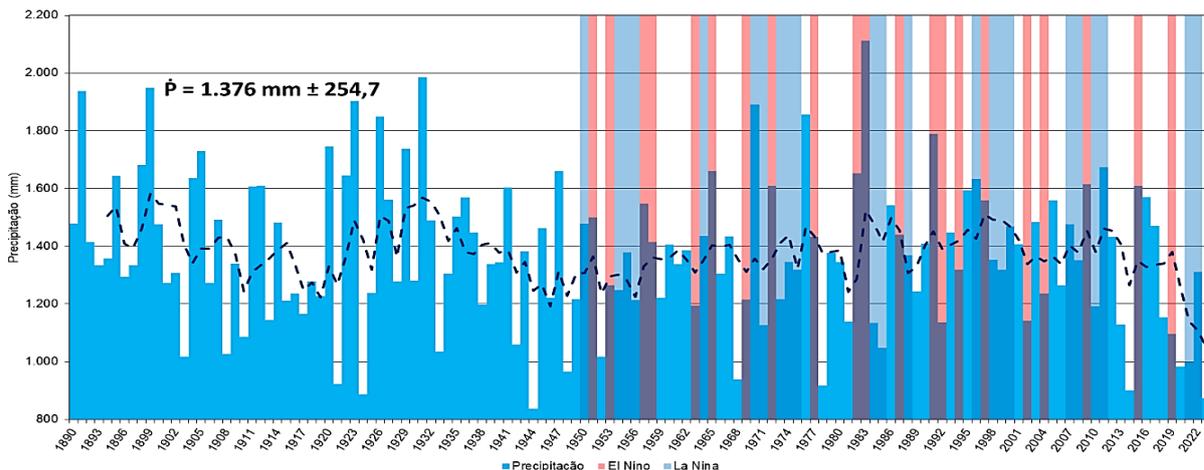
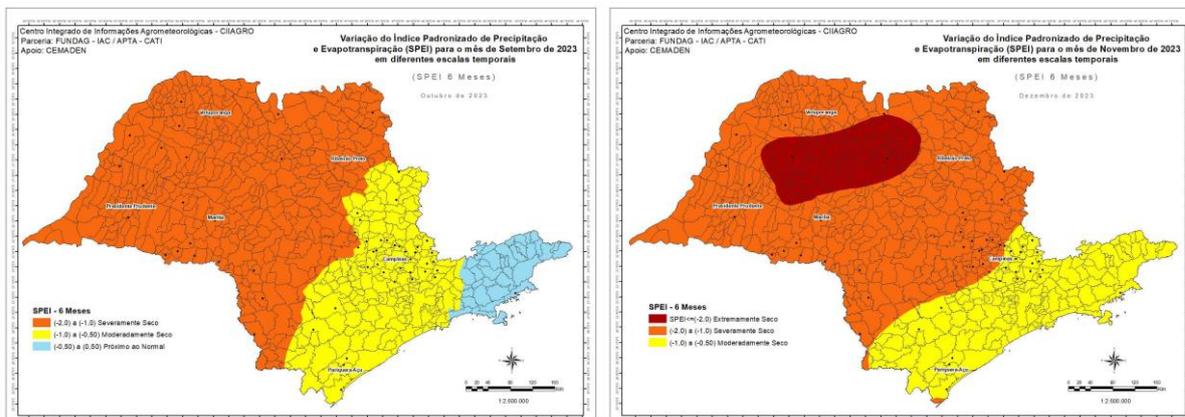


Figura 2. Precipitação pluviométrica anual da estação Campinas. Valor médio dos últimos 133 anos e seu desvio padrão, bem como a média móvel (período de cinco anos) e ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña.

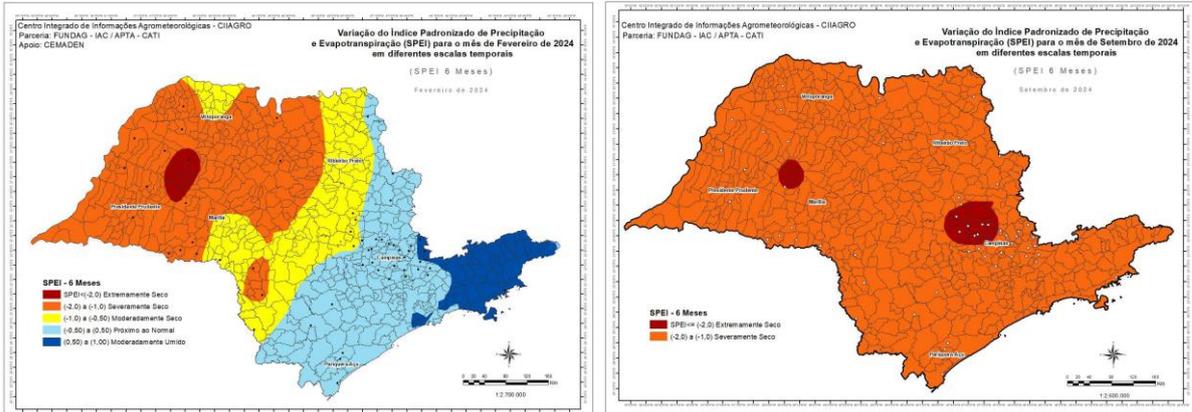
Observa-se que no último ano agrícola 2023-2024, estas anomalias tem sido ainda mais acentuadas afetando diversos setores da sociedade e em especial as atividades agrícolas. Como exemplo da variabilidade climática, destacamos os mapas do **Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI)** em escala semestral. Este índice agrega o balanço mensal das diferenças entre precipitação e evapotranspiração potencial (P-ETP) em uma janela temporal móvel de seis meses (**SPEI-6**). Observa-se uma grande anomalia negativa deste índice, conforme indicado na **Figura 3**.



(a)

(b)

Figura 3a. Variabilidade temporal do Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração em escala semestral (SPEI-6) em diversas escalas de tempo no Estado de São Paulo. a) outubro 2023; b) dezembro 2023;

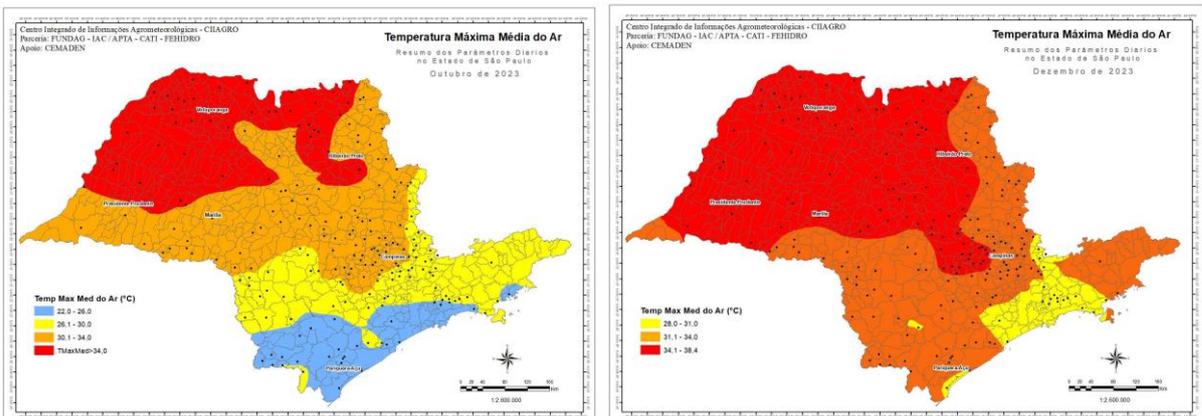


(c)

(d)

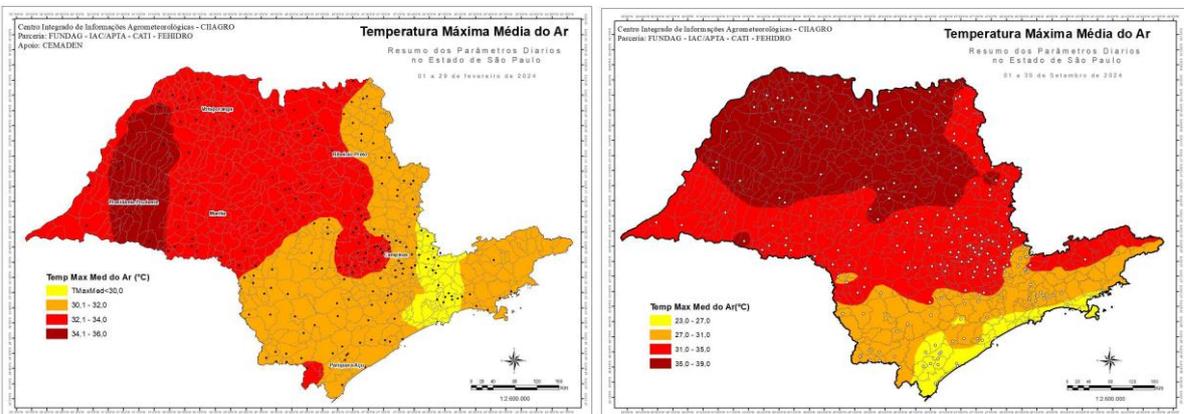
Figura 3b. Variabilidade temporal do Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração em escala semestral (SPEI-6) em diversas escalas de tempo no Estado de São Paulo. c) fevereiro 2024, d) setembro 2024.

Do mesmo modo as características térmicas, em especial a temperatura máxima média do ar e absoluta, foram em até 5 °C superiores às médias históricas, conforme **Figuras 4 a 6**.



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 4. Variação espacial da temperatura máxima média do ar para os meses de a) outubro de 2023; b) dezembro de 2023; c) fevereiro de 2024; d) setembro de 2024 no Estado de São Paulo.

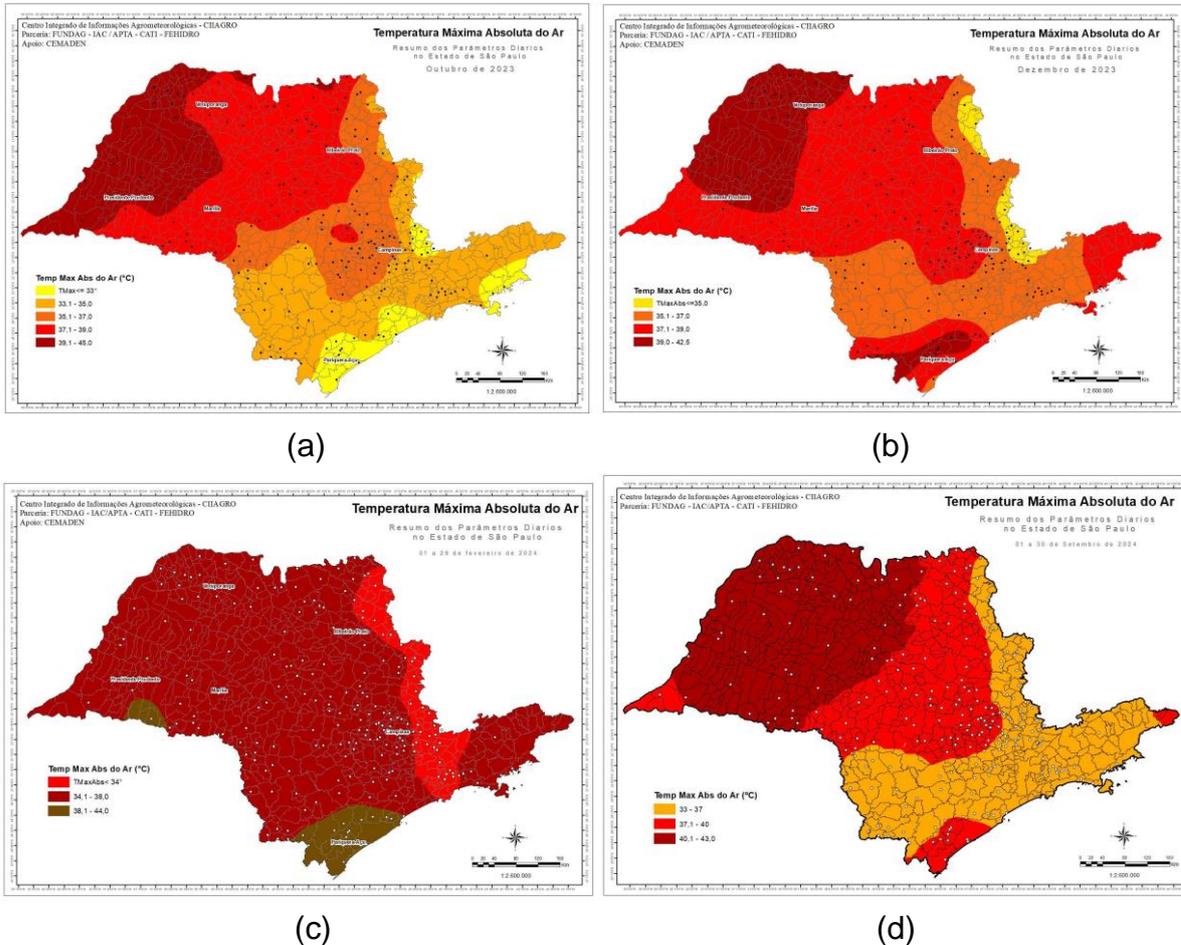


Figura 5. Variação espacial da temperatura absoluta do ar para os meses de a) outubro de 2023; b) dezembro de 2023; c) fevereiro de 2024; d) setembro de 2024 no Estado de São Paulo.

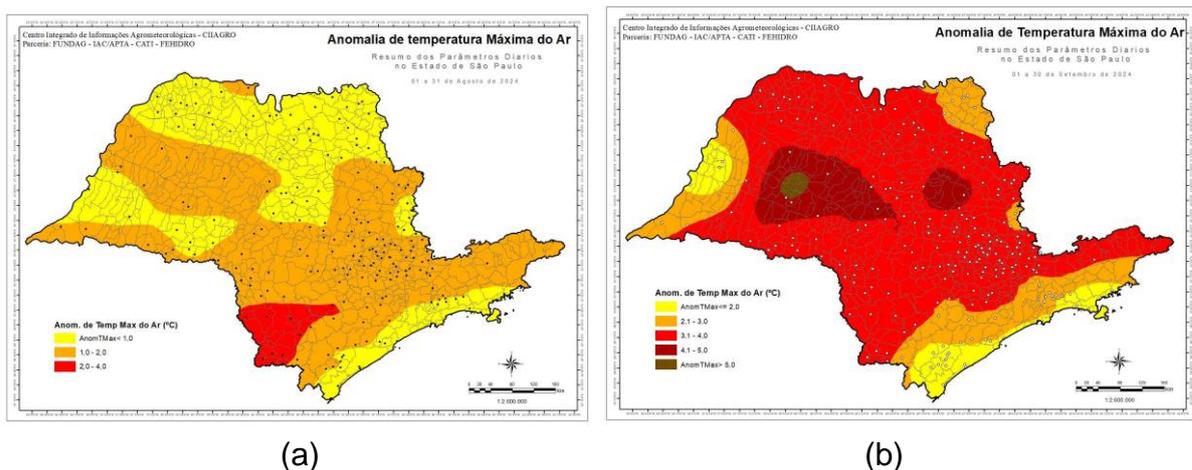


Figura 6. Variação espacial da anomalia da temperatura máxima média do ar para os meses de a) agosto de 2024; b) setembro de 2024 no Estado de São Paulo.

Os gráficos acima indicam um alto grau de anormalidade climática e indica aos órgãos gestores, tanto públicos quanto privados, ações para mitigar estes efeitos adversos extremos.

Outro aspecto sério que afetou o Estado de maneira dramática foram os incêndios observados em especial nas áreas rurais. As **Figuras 7 e 8** indicam exemplos da potencialidade estimada de risco de incêndio.

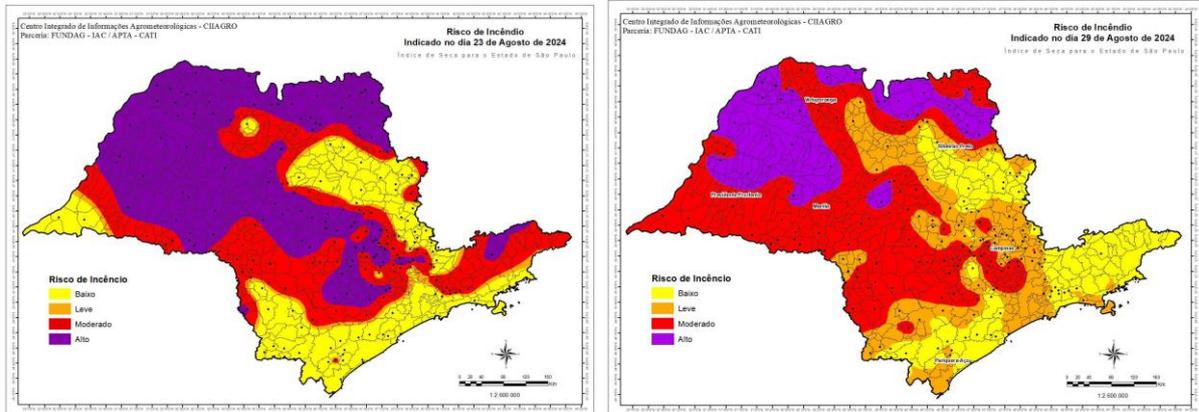


Figura 7. Indicação do risco de incêndio no Estado de São Paulo em duas distintas datas em agosto de 2024.

2. EFEITOS AGROCLIMÁTICOS E SECA AGRÍCOLA

Dentre os setores da sociedade afetados pelas mudanças climáticas, a agricultura é a mais suscetível, com sérios efeitos negativos podendo inviabilizar a produtividade e ações proativas tornam-se altamente necessárias.

A agricultura é baseada principalmente nos elementos meteorológicos, em especial temperatura do ar e precipitação, considerando-se as exigências bioclimáticas de cada espécie vegetal, e com alta dependência das características físicas do solo, onde a disponibilidade hídrica (**água disponível**) para as culturas deve ser plenamente atendida. No período considerado, a restrição hídrica aos cultivos sob sequeiro foi elevada, afetando o desenvolvimento delas, como pode ser observado pelo total pluviométrico no mês de setembro de 2024, e a consequente deficiência hídrica estimada (**Figura 8**).

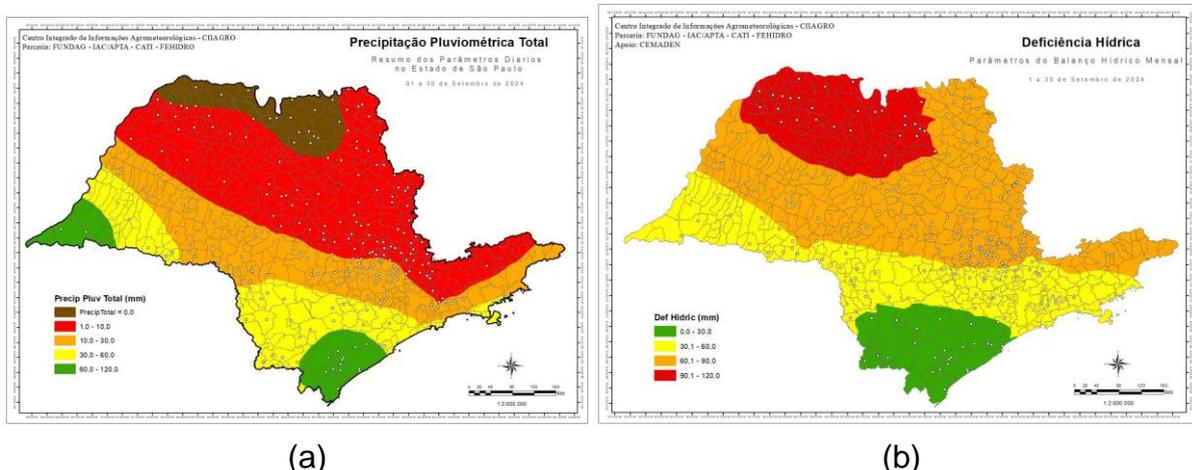
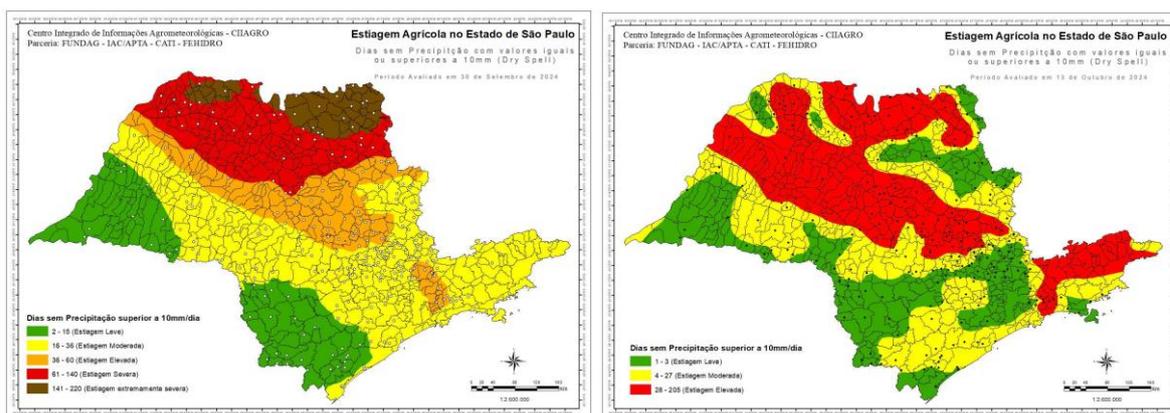


Figura 8. Total de precipitação registrada em setembro de 2024 (a) e deficiência hídrica estimada (b).

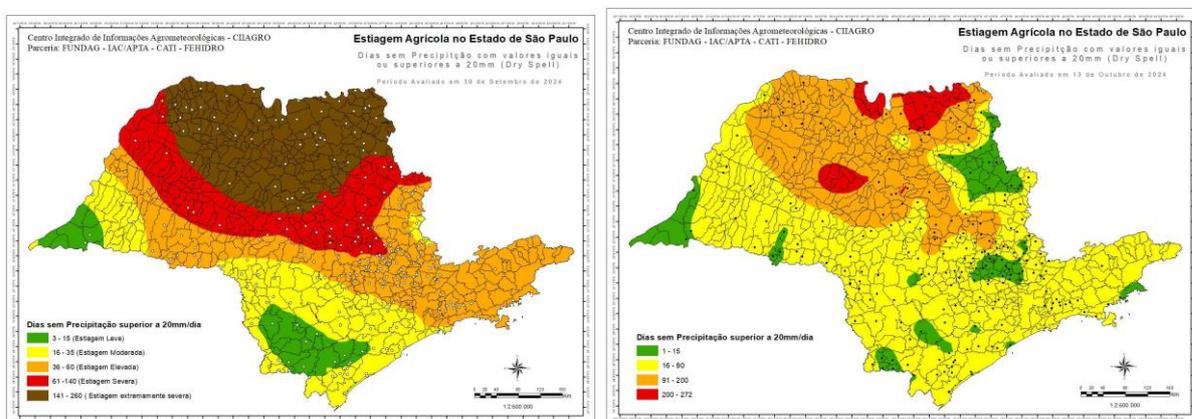
Um fator introduzido pela Centro Integrado de Informações agrometeorológicas (CIIAGRO) em 2000 foi a estiagem agrícola, como descrito sendo de 10 mm de precipitação diária. Para isto, se considerarmos uma evapotranspiração potencial diária entre 6 e 7 mm, uma precipitação deste valor, e considerando-se perdas por erosão laminar, o escoamento não teria condições de umedecer nem 2 cm de solo. Isto justifica a estiagem agrícola, ou “*dry-spell*” como número de dias sem precipitação igual ou superior a 10 mm. Outro índice introduzido (CIIAGRO, 2024) é chamado de estiagem social, que é o número de dias seguidos sem precipitação (P) igual ou superior a 20 mm. Onde pela análise aritmética entre P e ETP haverá a possibilidade de infiltração de água até 20 cm. Os mapas indicados por estes índices de estiagem demonstram a alta severidade da estiagem a que o Estado está submetido (Figura 9) e mesmo com a passagem do sistema frontal, que ocasionou precipitação em diversas regiões do Estado, estes índices ainda se mostram elevados, em especial nas regiões noroeste e norte do Estado.



(a)

(b)

Figura 9. Estimativa da estiagem agrícola (*dry spell*) considerando dias seguidos sem precipitação diária igual ou superior a 10 mm, no dia 30 de setembro de 2024 (a) e no dia 13 de outubro de 2024 (b).

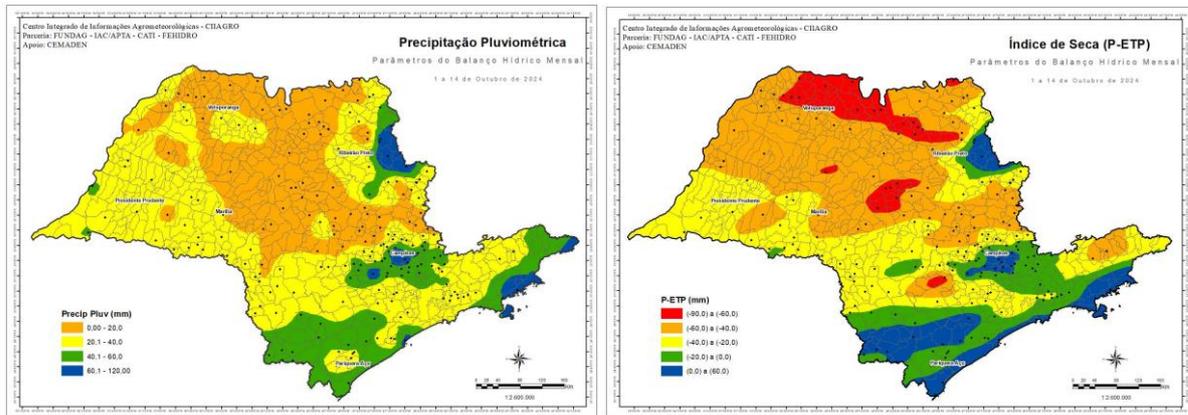


(a)

(b)

Figura 10. Dias seguidos sem precipitação diária igual ou superior a 20 mm contabilizados, no dia 30 de setembro de 2024 (a) e no dia 13 de outubro de 2024 (b).

Com a passagem de sistema frontal ocorreu precipitação em grande parte do estado (**Figura 11a**) mesmo assim a deficiência hídrica estimada continua elevada em grande porção do Estado (**Figura 11b**), afetando o desenvolvimento das culturas sob sequeiro, em especial a germinação para a cultura da soja em andamento.



(a)

(b)

Figura 11. Total pluviométrico no período 1 a 14 de outubro de 2024 (a) e diferença entre precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP) no mesmo período (b).

Esta situação térmica e hídrica observada ao longo dos meses face à demanda hídrica das culturas, são interrelacionadas, e o reflexo imediato é na evapotranspiração real. Com base nas características das culturas e na disponibilidade hídrica dos diferentes tipos de solo, foi introduzido o conceito de **desenvolvimento vegetal e fator e umidade do solo** (www.infoseca.sp.gov.br) em 2010.

Ressalta-se que grande parte dos índices de seca, ou estiagem agrícola, consideram, ou somente a chuva, ou em alguns casos a interação entre água disponível no solo como passivas. O conceito de estresse hídrico aqui indicado, é baseado na relação ETR/ETP. Sob esse conceito, a penalização para produtividade ou desenvolvimento, é baseado na somatória e produtório de (ETR/ETP) no período. Esta variável fica definida como Z, ou seja, $Z = ETR/ETP$. Temos assim, uma combinação de Z, para cada valor de DAAS, ou seja

$$CWDF = \frac{DAAS}{DISP_{MAX}}$$

Sendo CWDF o fator de desenvolvimento da cultura.

DAAS - Disponibilidade atual de água no solo; DISP_{MAX} - Disponibilidade máxima de água no solo, e

$$Z = f\left(CWDF \frac{ETR}{ETP}\right)$$

E o índice de estresse hídrico da cultura (crop water stress) (CWS) definido por:

$CWS = 1 - Z$. Assim sendo:

$$CWS = 0 \Rightarrow Z = 1 \Rightarrow ETR/ETP = 1 \Rightarrow DAAS = DISPMAX$$

$$CWS = 1 \Rightarrow Z = 0 \Rightarrow ETR/ETP = 0 \Rightarrow DAAS = 0$$

Neste caso, o fator hídrico de desenvolvimento da cultura (CWDF) é função da razão entre disponibilidade atual de água no solo (DAAS) e a disponibilidade máxima (DISPMAX), sendo esta relação indicada no **Quadro 1**.

$$CWDF = \frac{DAAS}{DISPMAX} \quad 0 \leq CWDF \leq 1 \text{ (amplitude do índice)}$$

Sendo que:

$$DAAS = 0 \Rightarrow CWDF = 0$$

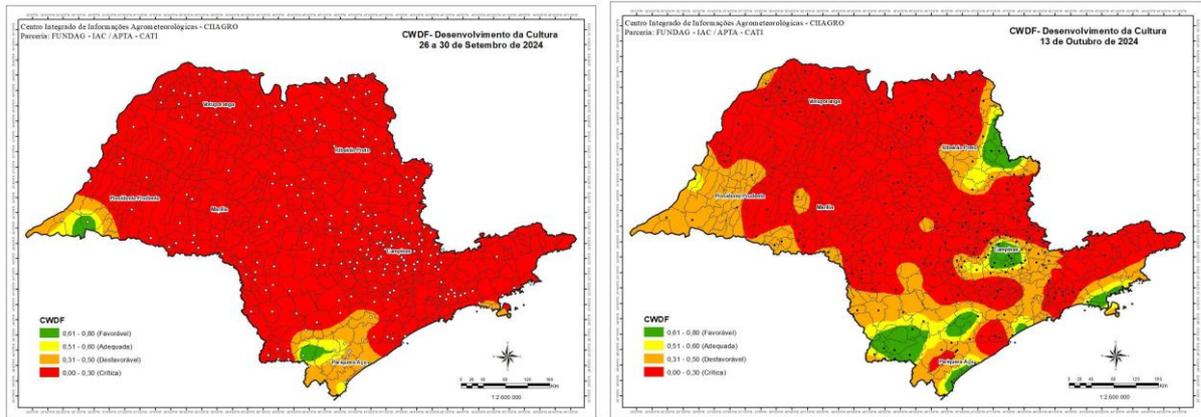
$$DAAS = DISPMAX \Rightarrow CWDF = 1$$

Com base nos aspectos agronômicos, pedológicos e agrometeorológicos, a seguinte relação foi estabelecida (**Quadro 1**):

Quadro 1. Fator de umidade no condições de desenvolvimento da cultura.

0,8 ≤ CWDF ≤ 1	Ótimo
0,6 ≤ CWDF ≤ 0,8	Favorável
0,4 ≤ CWDF ≤ 0,6	Razoável
0,3 ≤ CWDF ≤ 0,4	Desfavorável
0,2 ≤ CWDF ≤ 0,3	Prejudicial
0,1 ≤ CWDF ≤ 0,2	Severas
0,0 ≤ CWDF ≤ 0,1	Crítica

A relação do CWDF realizada em 30 de setembro de 2024 indica que para todo o Estado a situação era crítica (**Figura 12a**), ou seja, para todas as culturas do sistema radicular a até 40 cm. Destaca-se ainda que mesmo com precipitações ocorridas entre 11 e 12 de outubro, grande parte do Estado ainda indica condições críticas (**Figura 12b**). A tendência evolutiva do CWDF para um período retroativo de até 90 dias (**Figura 13**) onde se observa a baixa disponibilidade hídrica no solo com consequente não atendendo à demanda das culturas sem irrigação suplementar, em especial soja.

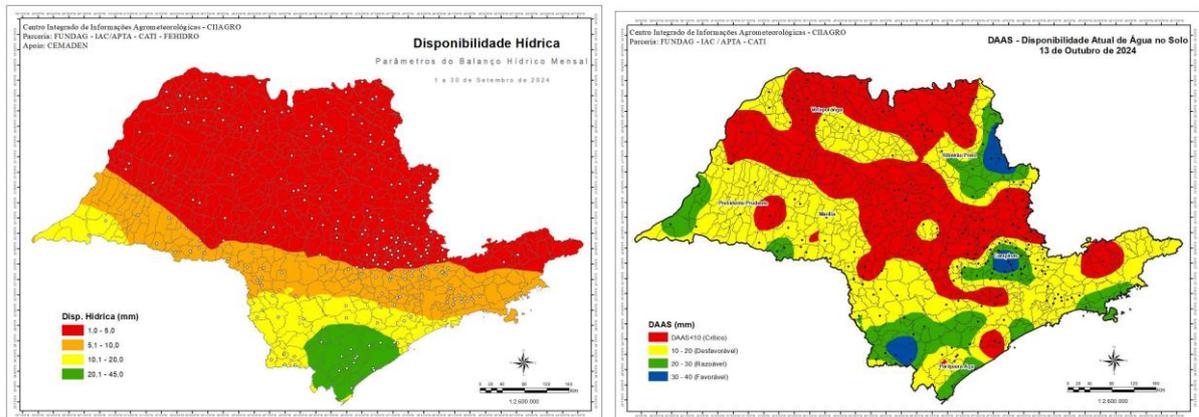


(a)

(b)

Figura 12. Estimativa da variabilidade do Fator de Desenvolvimento Vegetal (CWDF) analisado no dia 30 de setembro de 2024 (a) e no dia 14 de outubro de 2024 (b).

Estas combinações de redução da precipitação induziram uma alta restrição hídrica às culturas, indicam que para uma zona de exploração do sistema radicular até 40 cm, as condições que estavam desfavoráveis em setembro (**Figura 13a**) ainda continuam em grande parte do Estado até dia 13 de outubro (**Figura 13b**).



(a)

(b)

Figura 13. Estimativa da água disponível no solo até a profundidade de 40 cm, considerando a análise em 30 de setembro de 2024 (a) e em 13 de outubro de 2024 (b).

A consequência desta situação pode ser melhor observada pelos valores temporais do CWDF, indicado na **Figura 14**, indicando que para as localidades indicadas, o valor deste índice ainda não está adequado às culturas.

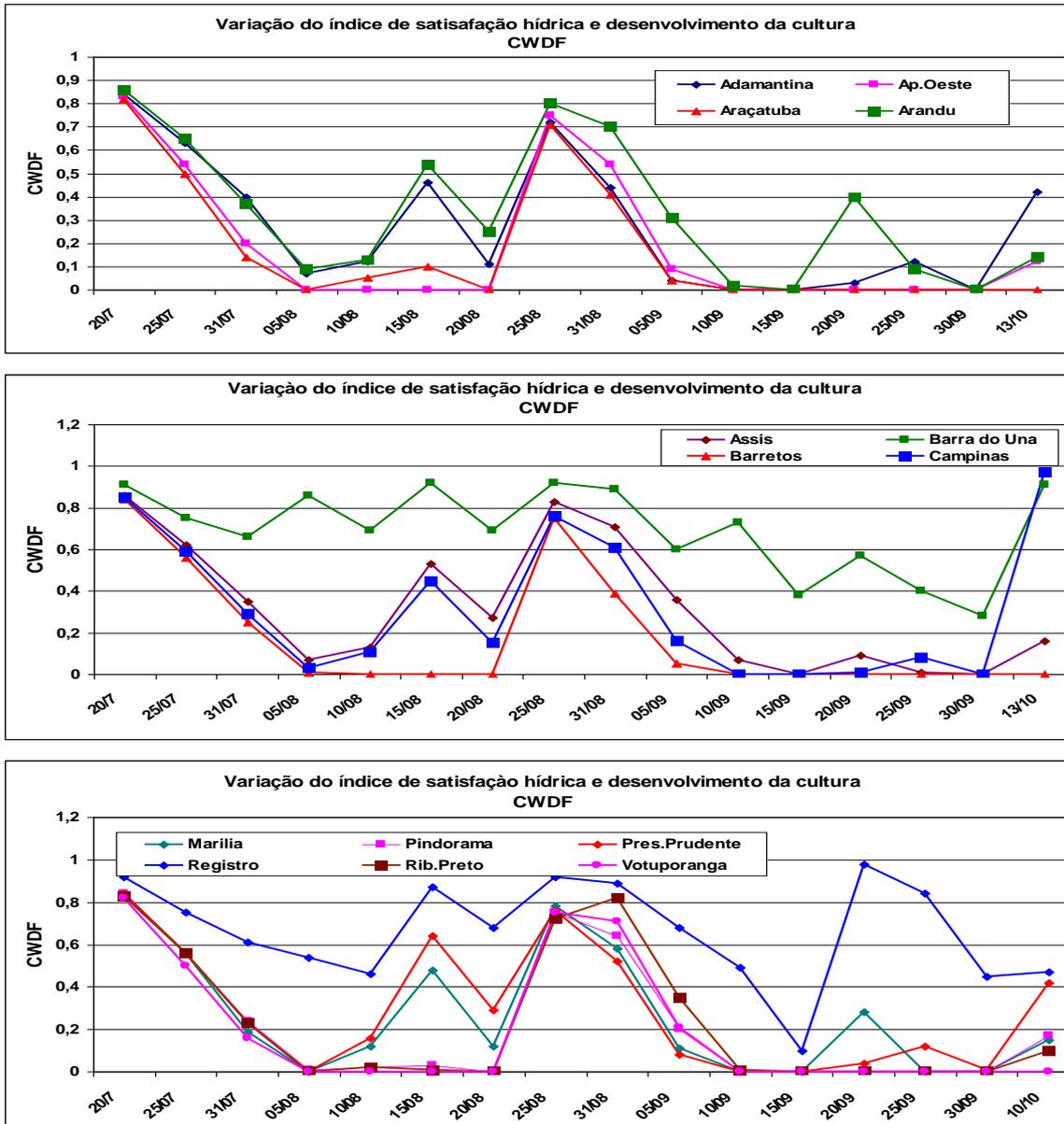


Figura 14. Análise da tendência evolutiva do CWDF com escala retroativa de 90 dias para diversas localidades no Estado de São Paulo.

3. PROGNÓSTICO - INMET (<http://portal.inmet.gov.br>).

Região Sudeste - Na Região Sudeste, a previsão para os próximos três meses indica condições favoráveis para chuva abaixo da média climatológica em São Paulo e meio oeste de Minas Gerais. Nas demais áreas, a chuva poderá ocorrer próximo ou acima da média, com tendência de chuvas mais regulares no decorrer dos próximos meses. As temperaturas tendem a permanecer acima da média principalmente no oeste dos Estados de Minas Gerais e São Paulo. Contudo existe previsão dos próximos dias de chuva em diversas regiões, algumas de valores elevados que podem alterar o quadro discutido (<https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>).