



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



BEATRIZ MARABEZI NASCIMENTO

PROF. DR. LUIZ FELIPPE GOZZO

**ESTUDO COMPARATIVO DOS ÍNDICES SPEI E SPI NA CARACTERIZAÇÃO DE
SECAS NO CENTRO-OESTE DE SÃO PAULO**

BAURU
2021

BEATRIZ MARABEZI NASCIMENTO

**ESTUDO COMPARATIVO DOS ÍNDICES SPEI E SPI NA CARACTERIZAÇÃO DE
SECAS NO CENTRO-OESTE DE SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus Bauru, para obtenção de grau de Bacharelado em Meteorologia.

BAURU
2021

BEATRIZ MARABEZI NASCIMENTO

**ESTUDO COMPARATIVO DOS ÍNDICES SPEI E SPI NA CARACTERIZAÇÃO DE
SECAS NO CENTRO-OESTE DE SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus Bauru, para obtenção de grau de Bacharelado em Meteorologia.

Aprovado em : _____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luiz Felipe Gozzo - Orientador
Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru

Prof^ª. Dr^ª. Marta Pereira Llopart
Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru

Prof^ª. Dr^ª. Priscilla Teles de Oliveira
Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru

BAURU
2021

Nascimento, Beatriz Marabezi

Estudo Comparativo do Índices SPEI e SPI na
caracterização de secas no Centro-Oeste de São
Paulo, 2021.

Orientador: Luiz Felipe Gozzo

Monografia (Graduação) - Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2021.

As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todos os dias, mutantes, porém leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se, tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos (Paulo Baleki).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Rosileide e Ricardo por sempre me apoiarem nos meus sonhos e sempre me incentivarem a correr atrás das minhas conquistas e realizações;

Agradeço a minha vó Lola que mesmo não estando presente nesses momentos, me deu forças para seguir em frente e nunca desistir dos meus sonhos;

Ao Matheus por estar comigo nessa jornada e sempre me apoiar ;

Ao meu orientador Prof.Dr. Luiz Felipe Gozzo pela paciência, pelo aprendizado, pelos incentivos em cada reunião, pela amizade e principalmente por ter acreditado que eu seria capaz;

À Coordenação e aos professores do curso de Meteorologia da Universidade Estadual Paulista, que de alguma forma me ajudaram ao longo da minha graduação;

Aos meus amigos que sempre me ajudaram e me apoiaram nos estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
RESUMO	12
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	17
3 DADOS E METODOLOGIA	18
3.1 DADOS	18
3.2 METODOLOGIA	18
3.2.1 ÁREA DE ESTUDO	18
3.2.2 CÁLCULO DO ÍNDICE SPI	19
3.2.3 CÁLCULO DO ÍNDICE SPEI	21
3.2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1 ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS	26
4.2 ANÁLISE DA COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES SPEI E SPI	28
4.2.1 ESTAÇÃO CHUVOSA	28
4.2.2 ESTAÇÃO SECA	32
4.3 ANÁLISE DE REGRESSÃO	37
4.3.1 ANÁLISE DA REGRESSÃO PARA EVAPOTRANSPIRAÇÃO	37
4.3.2 ANÁLISE DE REGRESSÃO PARA PRECIPITAÇÃO	39
5 CONCLUSÃO	41

6 BIBLIOGRAFIA.....42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de secas (McKee, 1993).....	14
Tabela 2 - Fenômenos refletidos por Índices de Precipitação Padronizada de duração específicas (SPI) e suas aplicações (NDMC 2006c) - (Zargar, 2011).....	15
Tabela 3 - Valores dos cálculos estatísticos entre o SPI e SPEI para estação chuvosa.....	32
Tabela 4 - Valores dos cálculos estatísticos entre o SPI e SPEI para estação seca.....	36

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização do estado de São Paulo (SP) no Brasil e na América do Sul (detalhe). No mapa maior, são mostradas a cidade de São Paulo (ponto vermelho), a região ESP (retângulo laranja) e a região CWSP (retângulo amarelo). Os símbolos (cruzes, triângulos invertidos, etc.) representam diferentes regiões homogêneas de precipitação. Figura de Gozzo et al. (2019) adaptada de Keller-Filho et al. (2005).....	18
Figura 2 - Gráfico da série temporal de Temperatura com reta de tendência (a) e Gráfico da série temporal de Precipitação com reta de tendência (b).....	27
Figura 3 - Gráfico da série temporal da comparação entre o Índice SPEI1 e SPEI1 (a), SPEI3 e SPI3 (b), SPEI6 e SPI6 (c) e SPEI12 e SPI12 (d) para a estação chuvosa.....	29
Figura 4 - Gráfico da série temporal da comparação entre o Índice SPEI1 e SPEI1 (a), SPEI3 e SPI3 (b), SPEI6 e SPI6 (c) e SPEI12 e SPI12 (d) para a estação seca.....	34
Figura 5 - Gráficos de regressão para Evapotranspiração para Dezembro (a) e Junho (b).....	38
Figura 6 - Gráfico de regressão para Precipitação para Dezembro (a) e Junho (b).....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SPEI - Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizado

SPI - Índice de Precipitação Padronizado

PDSI - Índice de Severidade

CRU - Climate Research Unit

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PET - Taxa de Evapotranspiração Potencial

OMM - Organização Meteorológica Mundial

ONDJFM - Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março

AMJJAS - Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro

RESUMO

A seca é um fenômeno climático ocasionado pela falta de precipitação pluviométrica, e/ou excesso de evaporação, por um longo período de tempo, podendo durar meses ou até anos. Os eventos de seca são de difícil determinação, o que prejudica a detecção do seu início, extensão e fim. O objetivo deste trabalho foi fazer uma comparação dos valores dos índices SPI e SPEI durante eventos de seca ou precipitação acima da média no centro-oeste de São Paulo desde 1901 a 2019. Para a realização deste estudo foram utilizados dados mensais retirados do CRU (*Climate Research Unit*). Os cálculos estatísticos e as comparações realizadas para os índices de seca, mostraram que para a representação do eventos extremos de seca ou eventos extremos de precipitação deve-se utilizar o índice SPEI (Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizada), pois além deste índice considerar a precipitação ele também considera a evapotranspiração que está relacionada com o aumento significativo da temperatura nas últimas décadas, sendo assim, o SPEI analisa o balanço hídrico para classificar esses eventos.

Palavras-Chave: índice de seca, precipitação, evapotranspiração, SPI, SPEI.

1 INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno climático ocasionado pela falta de precipitação pluviométrica, e/ou excesso de evaporação, por um longo período de tempo, podendo durar meses ou até anos. Os eventos de seca são de difícil determinação o que prejudica a detecção do seu início, extensão e fim. Esses eventos se tornam perceptíveis apenas após um grande período sem precipitação, o que dificulta a dimensão de suas características como a intensidade, duração e extensão (Vicente Serrano et al. 2010). Essa baixa disponibilidade hídrica pode ocasionar inúmeros problemas para a região atingida, sendo a agricultura a principal influenciada pela falta de chuva. Identificar e quantificar objetivamente suas características em termos de intensidade, magnitude, duração e extensão espacial é muito difícil. Ao longo do século XX um grande número de índices foi desenvolvido para quantificar, monitorar e analisar os períodos de seca. Um dos pioneiros foi o índice Palmer (1995) criador do Índice de Severidade ou mais conhecido como PDSI. Esse índice que se tornou um marco no desenvolvimento de índices de secas permite a medição de umidade (valores positivos) e seca (valores negativos) com base na demanda do balanço hídrico. McKee et al. (1993) desenvolveram o Índice de Precipitação Padronizado (SPI), que é hoje o índice recomendado pela Organização Meteorológica Mundial para monitorar períodos de seca. Vicente Serrano et al. (2010) atualizaram o índice, criando o Índice de Precipitação-Evapotranspiração Padronizado (SPEI)..

O SPI é um padrão utilizado para o cálculo do déficit ou do excesso de precipitação em diferentes escalas de tempo. Foi criado para dar conta da grande variabilidade temporal dos períodos de seca e principalmente analisar os impactos produzidos na região de ocorrência. Tal método, criado por McKee et al. (1993), pode ser calculado em diferentes escalas de tempo para analisar secas em relação a diferentes recursos hídricos. Um ponto crítico desse índice está relacionado principalmente ao seu cálculo, que é baseado apenas em dados de precipitação. Embora esta seja a principal variável determinante de períodos secos ou úmidos, a influência de outros fatores como a temperatura podem eventualmente também ser importantes.

Os eventos de seca são categorizados através da Tabela 1 abaixo, nessa tabela o valor de $\sim 40\%$ nos indica a porcentagem total que esses eventos ocorrem em relação à climatologia, ou seja, em aproximadamente 40% do ano seca ($SPI < 0$) é registrado sobre a região.

Tabela 1: Classificação de Secas (McKee et al., 1993)

Valores de SPI	Categoria de Seca	Ocorrência da Categoria
0 a -0,99	Seca Leve	~24%
-1,0 a - 1,49	Seca Moderada	9,2%
1,50 a -1,99	Seca Severa	4,4%
≤ - 2,00	Seca Extrema	2,3%
		~40%

O SPI pode ser calculado para qualquer escala de tempo. Entretanto, geralmente é calculado para os períodos de 3, 6, 12, 24 e 48 meses, visto que o déficit na precipitação de forma gradual e variada prejudica diretamente o sistema hídrico (Zargar et al. 2011). A Tabela 2 classifica as escalas de tempo com o fenômeno refletido e suas aplicações, portanto, para as escalas de tempo de 1 a 3 meses os eventos de secas afetam principalmente a agricultura e saúde da população (aumento nos casos de problemas respiratórios devido a baixa umidade do ar), para as escalas de tempo de 6 a 9 meses esses eventos afetam na quantidade de água disponível no solo e para a escala de tempo de 12 meses a seca está diretamente relacionada com os níveis dos reservatórios de água disponíveis nesta região.

Nos últimos 150 anos a temperatura global sofreu um aumento de 0,5° a 2°C (Jones e Moberg 2003). Vários modelos climáticos apontam que no século XXI essa temperatura pode aumentar mais ainda, e com isso espera-se que a incidência de eventos de secas aumentem ainda mais, causando consequências dramáticas para seres humanos e também para os recursos hídricos que sofrerão uma alta demanda de água como resultado da evapotranspiração. Para o estado de São Paulo, a temperatura do ar deve apresentar um aumento significativo para o verão e para o inverno. Para o verão (DJF) foi observado um aumento gradual da temperatura no litoral (+2°C) e para o interior (+4°C), no inverno (JJA) o aumento seguiu o mesmo padrão espacial e foi ainda mais acentuado atingindo até +5°C em toda região norte e oeste do estado. O centro do estado é identificado como a região mais suscetível aos extremos secos e chuvosos (Godoy et al. 2021). Estudos indicam que o aumento de temperatura está fortemente relacionado com os fenômenos de secas, já que a evapotranspiração e a transpiração podem consumir até 80% das chuvas (Abramopoulos et al. 1988). Portanto, em 2010, foi realizada uma atualização do SPI.

Tabela 2: Fenômenos refletidos por Índices de Precipitação Padronizada de duração específica(SPI) e suas aplicações (NDMC 2006c) - (Zargar, 2011)

Escalas de Tempo	Fenômenos Refletidos	Aplicação
1 mês SPI	Condições de curto período	Umidade do solo de curto prazo e estresse da cultura (especialmente durante a estação de crescimento).
3 meses SPI	Condições de umidade de curto e médio período	Estimativa sazonal da precipitação.
6 meses SPI	Tendências de médio período na precipitação	Potencial para mostrar a precipitação em estações distintas, por exemplo, para a Califórnia, o SPI de 6 meses pode efetivamente indicar a quantidade de precipitação de Outubro a Março.
9 meses SPI	Padrões de precipitação em escala de tempo médio	Se $SPI_9 < -1,5$, trata-se de uma boa indicação de que impactos substanciais podem ocorrer na agricultura (e possivelmente em outros setores).
12 meses SPI	Padrões de precipitação de longo período	Possivelmente associado a fluxos de rios, níveis de reservatórios e também níveis de águas subterrâneas.

O Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizado (SPEI) é baseado em dados de precipitação e de evapotranspiração (obtidos a partir da temperatura média do ar). Um dos fatores determinantes para estruturar os impactos que diferentes tipos de secas podem causar, é analisar a escala de tempo em que esses eventos ocorrem na região. O SPEI possui a capacidade de quantificar as anomalias de déficit de água em diferentes escalas de tempo, organizando as secas em meteorológicas (1-2 meses), agrícolas (1-6 meses) ou hidrológicas (acima de 6 meses), (Svoboda, M. et. al., 2012).

Esse índice combina a sensibilidade do PDSI para mudanças na quantidade de evapotranspiração (causada pela oscilação de temperaturas e tendências) com a simplicidade do cálculo multi-temporal do SPI. Ou seja, é a junção desses dois índices (PDSI e SPI) e é

particularmente conveniente para verificar, testar e explorar as consequências do aquecimento global nas condições de seca. Esse índice segue os mesmos limites da Tabela 1 do SPI para a classificação desses eventos de seca e a Tabela 2 para as escalas de tempo.

Em um cenário de mudanças climáticas como o projetado para o estado de São Paulo, pode-se esperar que o SPEI seja mais eficiente que o SPI para descrever eventos secos e úmidos durante períodos de tempo bastante longos, e para investigar períodos secos no futuro.

2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é fazer uma comparação dos valores dos índices SPI e SPEI na identificação de eventos extremos de precipitação ou seca no centro-oeste de São Paulo desde 1901 a 2019. Especificamente, pretende-se avaliar as diferenças entre os dois índices a partir do cálculo do viés e da raiz do erro médio quadrático, e também determinar a contribuição relativa dos processos de precipitação e evaporação no valor total do índice.

3.2.2 CÁLCULO DO ÍNDICE SPI

A partir desses dados foi calculado o acumulado de cada mês, e determinadas as escalas de tempo de 1, 3, 6, 12, 24 e 48 meses para identificar os déficits/superávit de precipitação. O primeiro passo para calcular o SPI é determinar a probabilidade de distribuição de frequência de precipitação pluvial. Ela é calculada pela distribuição gama incompleta, definida por :

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} * e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad \text{para } x > 0 \quad (1)$$

Onde: $\alpha > 0$ parâmetro de forma da distribuição gama

$\beta > 0$ parâmetro de escala da distribuição gama

$\Gamma(\alpha)$ a função gama.

Os parâmetros α e β são calculados seguindo o método da máxima verossimilhança, como foi demonstrado por Thom (1996).

$$\alpha = \frac{1}{4A} (1 + \sqrt{1 + 4A/3}) \dots \beta = \bar{P}/\alpha \quad (2)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \Sigma(\ln(P))/n \quad (3)$$

Onde: P é o total de precipitação no tempo de análise

A função gama é definida para $x=0$ e a nossa distribuição de precipitação pode conter zeros, dessa forma, a probabilidade cumulativa se torna:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (4)$$

$$q = (m/n)$$

Onde: q- probabilidade de ocorrência de precipitação zero;

m- número de observações com chuva igual a zero;

n - número de observações com chuva maior do que zero.

Com as equações desenvolvidas por Abramowitz e Stegun (1965), o $H(x)$ (equação 4) é transformada em uma variável normal (valor final do SPI):

$$\begin{aligned} \text{SPI} &= - \left(a - \frac{co+c1t+c2t^2}{1+d1t+d2t^2+d3t^3} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \\ \text{SPI} &= + \left(a - \frac{co+c1t+c2t^2}{1+d1t+d2t^2+d3t^3} \right) \text{ para } 0,5 < H(x) < 1 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{Sendo : } a = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$a = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \text{ para } 0,5 < H(x) < 1 \quad (6)$$

Onde: $c_0=2,515517$; $c_1=0,802853$; $c_2=0,010328$; $d_1=1,432788$; $d_2=0,189269$;
 $d_3=0,001308$

Portanto, caso a precipitação pluviométrica para um determinado período se ajustar à distribuição normal, o índice SPI será praticamente a variável reduzida Z_i de tal distribuição, ou seja:

$$\text{SPI} = Z_i = (P_i - \bar{P})/\sigma_1 \quad (7)$$

Onde: P_i - precipitação acumulada no período;

$\bar{P}$ - precipitação média do período em questão;

σ_1 - desvio padrão da série histórica de precipitação na escala de estudo.

A intensidade da seca é definida por valores de SPI, a seca é detectada quando o valor do índice atinge -1,0 ou menos.

3.2.3 CÁLCULO DO ÍNDICE SPEI

Para o cálculo deste índice foram utilizados dados mensais de temperatura e precipitação e a taxa de evapotranspiração potencial (ETP). Seguindo a metodologia de Thornthwaite (1948), a equação (8) representa o cálculo do balanço hídrico onde utiliza-se os dados de precipitação e a taxa de evapotranspiração.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (8)$$

Onde: P_i é a precipitação acumulada e PET é a taxa de evapotranspiração potencial.

No cálculo desse índice é utilizado a função densidade de probabilidade de uma variável com distribuição log-logística baseada em três parâmetros (α , β e γ). Essa função é representada pela equação (9):

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2} \quad (9)$$

Onde: α, β e γ são parâmetros de escala, forma e origem, respectivamente para valores de D no intervalo ($\gamma > D > \infty$).

Seguindo a metodologia de Vicente-Serrano et al.(2010), para calcular os parâmetros log-logísticos α , β e γ utilizou-se o método dos momentos ponderados de probabilidade (PWMs), que foi baseado na abordagem *plotting-position* (Hosking, 1990) onde são calculados como:

$$WS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\left(\frac{N-i}{s} \right) D_i}{\left(\frac{N-1}{s} \right)} \quad (10)$$

Onde: N é o número de dados e D_i é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial para o mês i .

Dessa forma, a distribuição de probabilidade de D de acordo com a distribuição log-logística é calculada por :

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma}\right)^\beta\right]^{-1} \quad (11)$$

Seguindo a aproximação clássica de Abramowitz e Stegun (1965), com os valores de $F(x)$ padronizados o SPEI pode ser obtido facilmente através da equação 12 :

$$\text{SPEI} = W - \frac{C0 + C1W + C2W^2}{1 + d1W + d2W^2 + d3W^3} \quad (12)$$

Onde: $W = -2\ln(P)$

Como no caso do SPI, é necessário um ajuste do balanço hídrico climático a uma distribuição teórica de probabilidade, e uma modulação de déficit/superávit em diferentes escalas de tempo. Esse índice combina a sensibilidade do PDSI para mudanças na quantidade de evapotranspiração (causada pela oscilação de temperaturas e tendências) com a simplicidade do cálculo multi-funcional do SPI.

3.2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises descritivas e os gráficos foram feitos utilizando o software estatístico *R* versão 3.4.4. As análises dos índices de seca (SPI e SPEI) foram gerados a partir dos dados coletados de precipitação e temperatura disponibilizados pela plataforma CRU (*Climate Research Unit*). Para as séries temporais das variáveis, foram calculadas as seguintes estatísticas.

- **VIÉS:** Mede a tendência de uma variável estar superestimada/subestimada em relação a outra:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i \quad (13)$$

Onde: n - número de dados

y_i - variável 1

$\hat{y}_i$ - variável 2

Sendo uma soma de erros (e seus respectivos sinais) , quanto mais positivo (negativo) for o valor do VIÉS, mais superestimada (subestimada) está sendo a variável. Porém, apesar de fornecer uma ideia de tendência ou erro sistemático, o VIÉS não representa bem a magnitude do erro.

- **RAIZ DO ERRO MÉDIO QUADRÁTICO:** Mede a amplitude do erro, diferença entre as duas variáveis.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (14)$$

Onde: n - número de dados

y_i - variável 1

$\hat{y}_i$ - variável 2

A diferença elevada ao quadrado impede o cancelamento dos erros, e a raiz quadrada retorna os valores de erro às mesmas dimensões da variável analisada.

- **REGRESSÃO LINEAR:** Descreve o comportamento de uma variável (preditanda) baseado em flutuações de outra variável relacionada (preditora). O procedimento para determinar a reta de regressão é o “método dos mínimos quadrados”, que encontra uma função que minimiza a soma das distâncias ao quadrado da função ajustada e os pontos observados.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \xi_i \quad (15)$$

Onde: Y_i - variável dependente

X_i - variável independente

β_0 e β_1 - parâmetros

ξ_i - erro aleatório

- **TENDÊNCIA DE SIGNIFICÂNCIA (MANN-KENDALL):** método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se uma série de dados possui uma tendência temporal significativa. Por ser um teste não-paramétrico, não é necessária a distribuição normal dos dados. Segundo a OMM, esse teste é sugerido para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(X_j - X_i) \quad (16)$$

Onde: X_i - representa os valores da série

i e j - índices de tempo

n - número de elementos da série

O termo $\text{sinal}(X_j - X_i)$ é determinado por : $\text{sinal}(X_j - X_i) = +1$ se $(X_j - X_i) > 0$

$$0 \text{ se } (X_j - X_i) = 0 \quad (17)$$

$$-1 \text{ se } (X_j - X_i) < 0$$

Para dados sem elementos vinculados (valores iguais), o teste apresenta média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$ dadas por :

$$E(S) = 0 \quad (18)$$

$$\text{Var}(S) = 1/18[n(n-1)(2n+5)] \quad (19)$$

Caso tenha pontos vinculados, a variância é corrigida da seguinte forma:

$$\text{Var}(S) = 1/18 \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (20)$$

Onde: t_p - número de pontos vinculados de índices p e q .

A significância do teste de Mann-Kendall pode ser analisada através de um teste bilateral, com uma estatística padronizada Z_{MK} dada por:

$$Z_{MK} = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \text{ se } S > 0$$

$$\begin{aligned} & 0 \quad \text{se } S=0 \\ & \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{se } S>0 \end{aligned} \quad (21)$$

- **CORRELAÇÃO DE PEARSON:** Mede o grau de correlação (se positiva ou negativa) entre duas variáveis. Este coeficiente é representado por ρ e assume valores apenas entre -1 e 1.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}} \quad (22)$$

Onde: x_i e y_i - valores medidos de ambas as variáveis

$\bar{x}$ e $\bar{y}$ - médias aritméticas de ambas as variáveis.

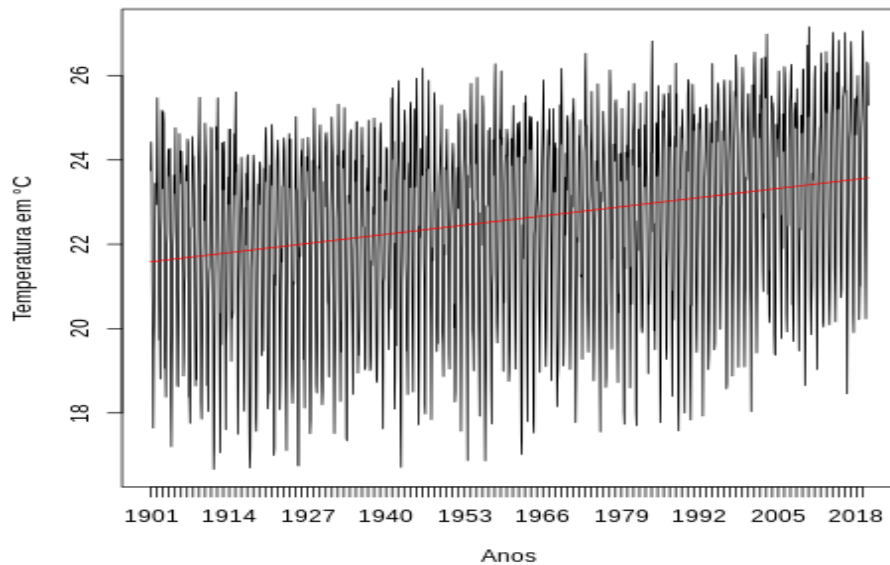
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise das Séries Temporais

O método estatístico mais simples para descrever o comportamento de uma variável durante um período de tempo é a análise de séries temporais com uma reta de tendência. Para determinar se essa tendência observada na série temporal possui significância estatística, utilizamos o teste de Mann Kendall, onde baseia-se em rejeitar a hipótese nula (H_0), ou seja, que nenhuma tendência existe e adotar um nível de significância; essa significância pode ser interpretada como a probabilidade de cometer-se o erro de rejeitar H_0 quando esta for verdadeira. Valor positivo (negativo) do teste de Mann-Kendall indica uma tendência positiva (negativa) para essa série temporal. Para uma significância de 95%, os valores de p-valor maiores que 0,05 são considerados sem significância e os valores de p-valor menores que 0,05 são considerados significativos.

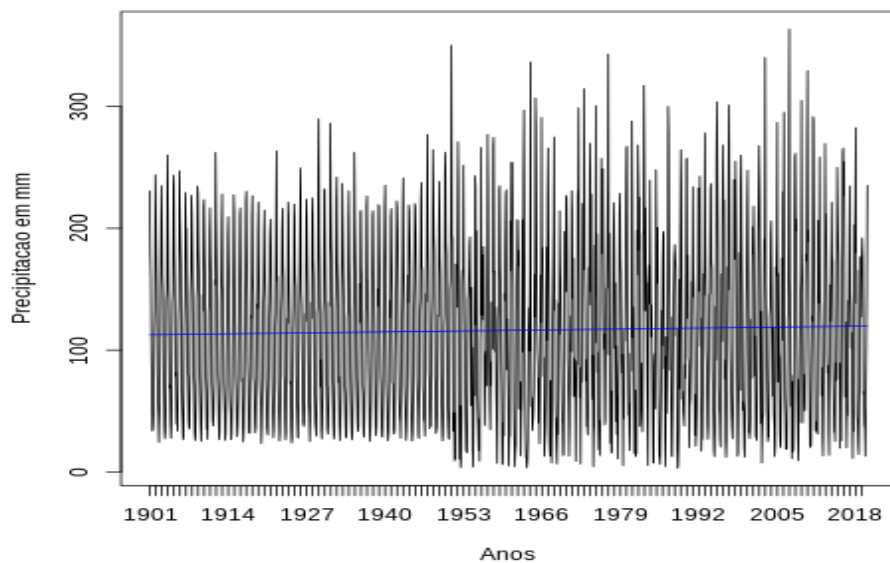
No gráfico das série temporal de temperatura (Figura 2a) podemos observar que a série se mantém durante todo o período de 1901 a 2019 com a temperaturas entre 18°C a 26°C, com a reta de tendência ($y=1,39.10^{-2}x+2,15.10^{-1}$) e o p-valor para o teste de Mann-Kendall que foi de $+2,22^{-16}$ conseguimos observar que a temperatura apresentou um crescimento estatisticamente significativo, ou seja o p-valor da série temporal de temperatura foi $< 0,05$, durante esse intervalo na região centro-oeste de São Paulo. Para a Figura 2b que nos mostra a série temporal de precipitação, observa-se que o volume de chuva se mantém entre 50 a 250 mm durante todo o intervalo de 1901 a 2019, analisando a reta de tendência ($y=5,02.10^{-3}x+1,12.10^{-2}$) e analisando o p-valor de Mann-Kendall de 0,817 podemos observar que a precipitação não apresentou um aumento significativo para essa região, pois o p-valor calculado para a série temporal de precipitação foi maior que 0,05.

Gráfico da Serie Temporal de Temperatura com reta de Tendencia



(a)

Gráfico da Serie Temporal de Precipitacao com reta de Tendencia



(b)

Figura 2. Gráfico da série temporal de Temperatura com reta de Tendência(a) e Gráfico da série temporal de Precipitação com reta de Tendência(b).

Após a análise do comportamento da precipitação e temperatura para o período estabelecido, espera-se que os índices SPEI e SPI sejam diferentes devido ao aumento significativo da temperatura nesta região. Como a precipitação não apresentou variação significativa, espera-se que essa variável não interfira tanto na comparação destes dois índices.

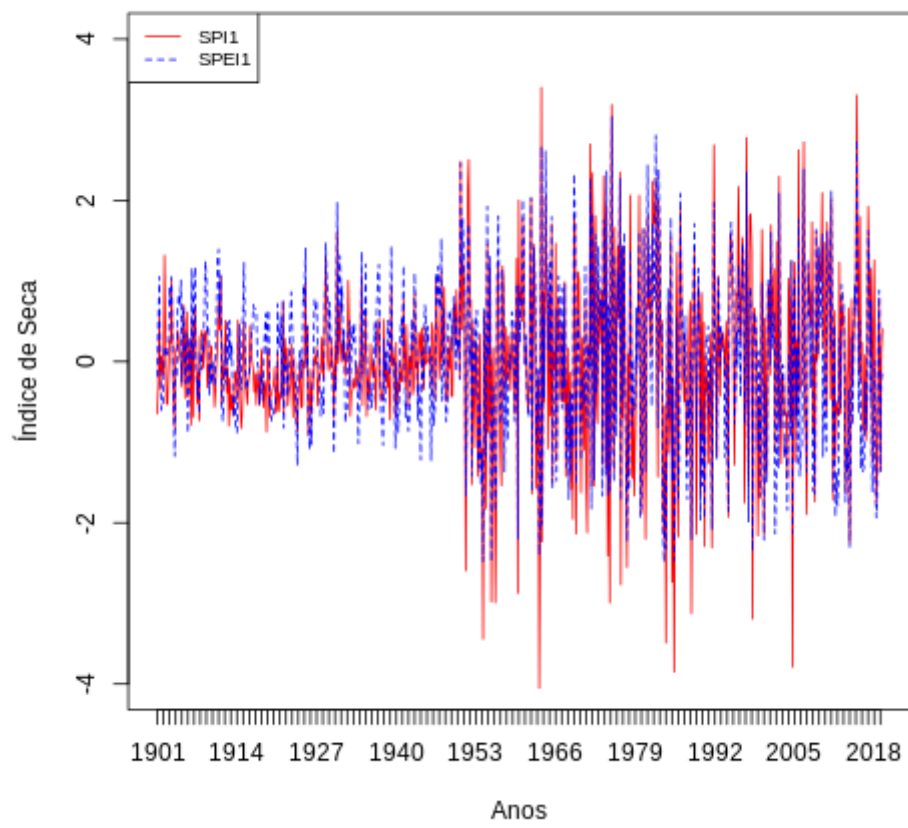
4.2 Análise da Comparação entre os índices SPEI e SPI

Nos gráficos abaixo, calculamos e comparamos as séries temporais para os dois índices de secas (SPEI e SPI) em diferentes escalas de tempo, sendo elas: 1 mês, 3 meses, 6 meses e 12 meses, e dividimos em duas estações: estação chuvosa representando os meses de Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março (Figura 3) e estação seca representando os meses de Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro (Figura 4). A série temporal do SPEI está representada pela cor azul e a série temporal do SPI pela cor vermelha.

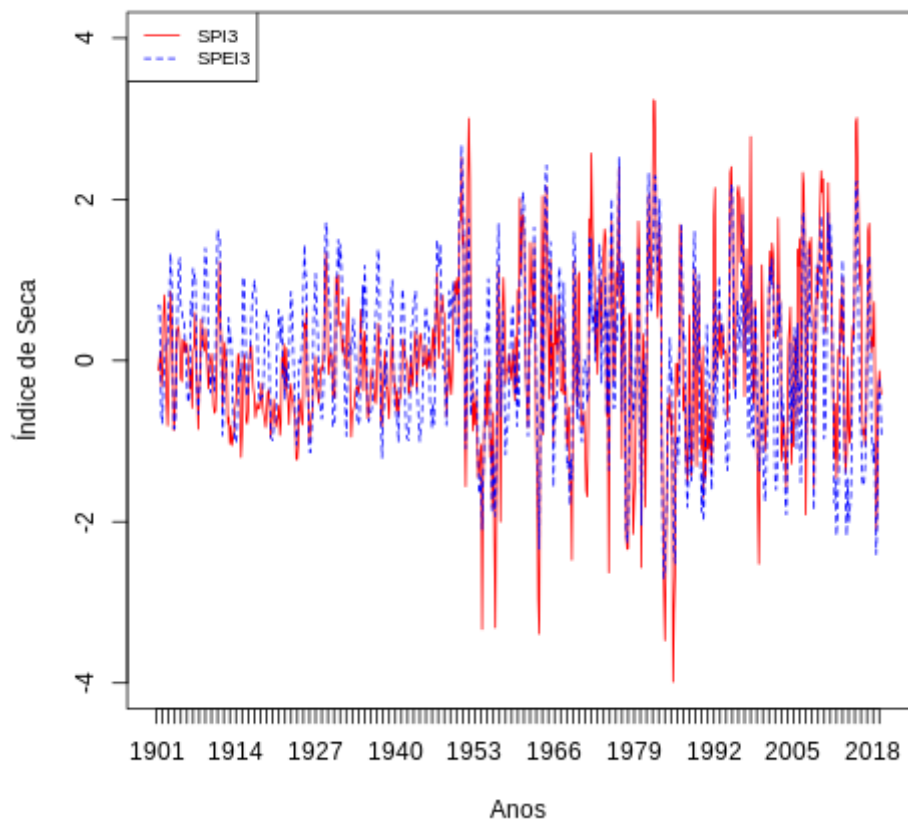
4.2.1 Estação Chuvosa

Nos gráficos das séries temporais abaixo relacionados para a estação chuvosa, na Figura 3a, 3b e 3c conseguimos observar um padrão em relação ao período de 1901 a 1950 para as escalas de tempo de 1 mês, 3 meses e 6 meses, respectivamente. Observa-se que, os picos de extremo seco e extremo úmido permanecem na faixa neutra do índice de seca ficando entre 0 e $\pm 1,5$, nota-se também que nesse período a curva relacionada ao índice SPEI (azul), que utiliza a precipitação e a evapotranspiração, nos mostra que os extremos úmidos e os extremos secos ocorreram com uma intensidade maior em comparação com a curva do índice SPI.

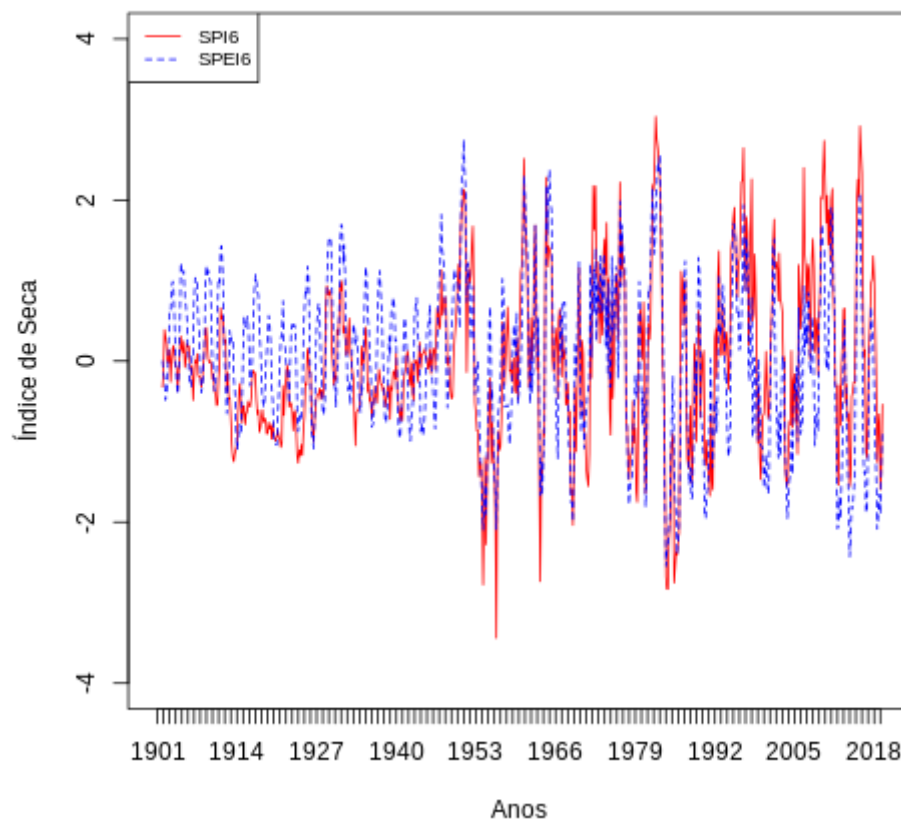
A partir do ano de 1950 até 2019, conseguimos notar que esses picos de extremo úmido e extremo seco se intensificam nos gráficos entre SPI1xSPEI1, SPI3xSPEI3 e SPI6xSPEI6 ficando entre os valores de -4 e 4. Em alguns eventos mais extremos que ocorreram nesse período, o índice SPI por considerar apenas a variável precipitação, indicou os mesmos como uma seca extrema ($\leq -2,00$), enquanto que a curva do índice SPEI considerou esses eventos como seca severa (-1,50 a -1,99). O mesmo ocorre para os eventos de extremo úmido nesse período, a curva do índice SPI registra esse evento úmido com extremo, enquanto que a curva do índice SPEI considera os mesmos com um evento úmido severo.



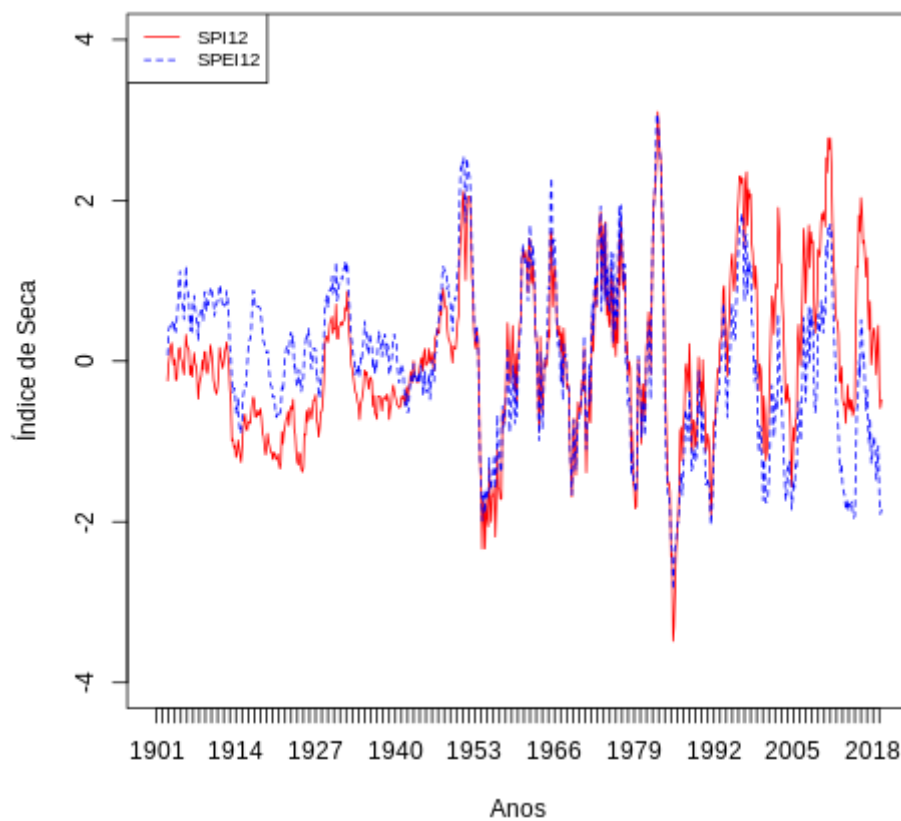
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. Gráfico da série temporal da comparação entre o Índice SPI1 e SPEI1 (a), SPI3 e SPEI3 (b), SPI6 e SPEI6 (c) e SPI12 e SPEI12 (d) para a estação chuvosa.

No figura 3d referente às séries temporais para a escala de tempo de 12 meses, observa-se que no período de 1901 a 1940, para a curva do índice SPI (vermelha) os extremos de seca e os extremos úmidos possuem uma grande diferença em relação a curva do índice SPEI, dessa forma, onde para o índice SPI seria um extremo de seca, para o SPEI que utiliza o balanço hídrico considerou um evento úmido. Mesmo com toda essa diferença entre as curvas dos índices de seca, esse período de 1901 a 1940 pode ser considerado neutro ou levemente seco/úmido, pois está entre 0 e $\pm 1,5$.

A partir de 1945, os ápices dos eventos de extremo úmido e extremo seco se tornaram mais intensos ultrapassando o valor de ± 2 , onde já é considerado uma seca extrema (Tabela 1). Nota-se que a curva entre os índices SPI e SPEI permanecem com uma diferença muito pequena, mas como o índice SPEI considera o balanço hídrico enquanto que o SPI apenas considera a precipitação, podemos analisar que a representação dos eventos de extremo úmido ou extremo seco para a escalas de tempo de 1 mês, 3 meses, 6 meses e 12 meses é mais suavizada - pois apesar da precipitação ser muito acima/abaixo da média, o equilíbrio com a quantidade de evaporação tende a suavizar os extremos.

Esse aumento na ocorrência de eventos extremos registrados nesse período de 1901 a 2019 e a diferença entre as curvas do SPI e SPEI está relacionado com o fato de a temperatura ter sofrido um aumento significativo (Figura 2) com o passar dos anos. Nas últimas décadas, onde a temperatura do ar (e consequentemente a evaporação) vêm atingindo valores muito elevados, percebe-se que o índice SPI tende a subestimar a intensidade das secas.

A tabela 3 mostra os cálculos estatísticos realizados para os gráficos vistos acima. Nessa tabela observa-se que, para as escalas de tempo de 1 mês, 3 meses e 6 meses os valores da correlação, erro médio quadrático e raiz do erro médio quadrático são todos positivos, ou seja, isso nos mostra que a relação entre essas duas variáveis possui uma tendência a superestimar os dados (VIÉS), dessa forma o índice SPEI (azul) está superestimando em relação ao índice SPI (vermelho), a correlação positiva indica que enquanto uma variável aumenta a outra também aumenta e a raiz do erro médio mostra a amplitude desse erro em relação aos dados que está associado a previsão. Para a escala de tempo de 12 meses, apenas o valor do erro médio (VIÉS) ficou negativo, portanto, essas duas variáveis possuem uma tendência geral de subestimar (SPEI subestimando em relação a SPI) os dados analisados na comparação entre os índices de seca.

Tabela 3 - Valores dos cálculos estatísticos entre o SPI e SPEI para a estação chuvosa.

ÍNDICE DE SECA	CORRELAÇÃO	ERRO MÉDIO (VIÉS)	RAIZ DO ERRO MÉDIO (RMSE)
SPI 1 e SPEI 1	0,86	+0,0045	0,54
SPI 3 e SPEI 3	0,75	+0,0008	0,71
SPI 6 e SPEI 6	0,74	+0,0002	0,71
SPI 12 e SPEI 12	0,76	-0,0026	0,67

4.2.2 Estação Seca

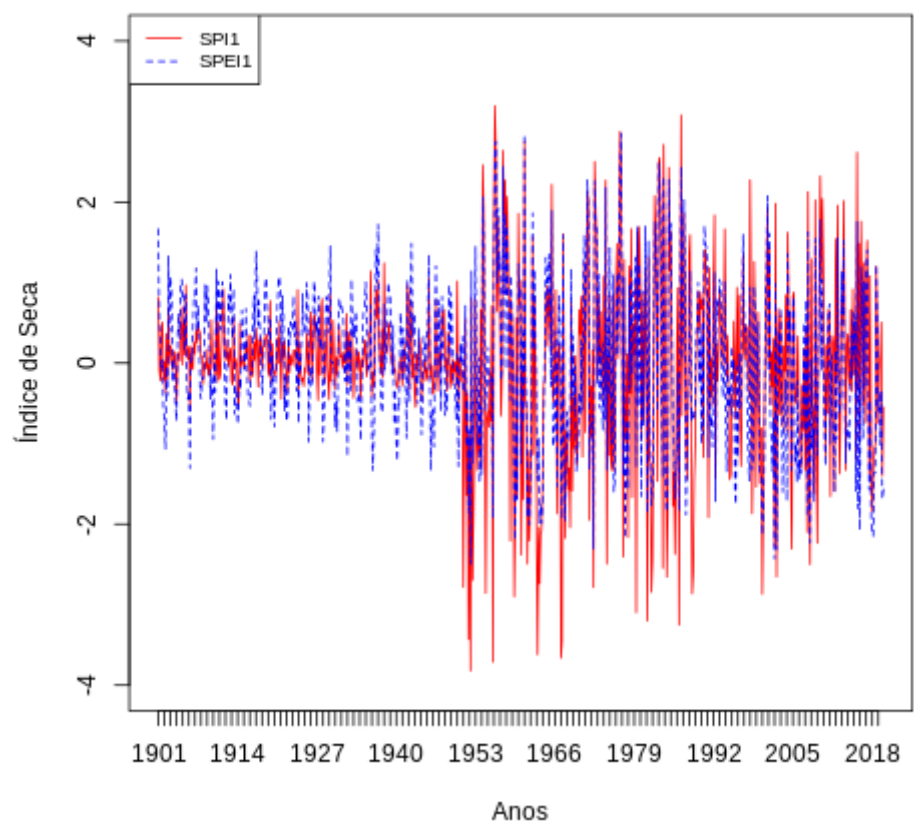
Os gráficos das séries temporais abaixo relacionados para a estação seca (Figura 4 a, b, c e d), observa-se uma grande diferença em comparação aos gráficos da estação chuvosa. Ao analisar essas figuras, nota-se que para a escala de tempo de 1 mês, 3 meses e 6 meses o período de 1901 a 1950 do eventos de seca e eventos úmidos permanecem na região neutra dos índices SPI e SPEI ficando entre os valores de 0 a +- 1,5. A diferença entre as curvas vermelha (SPI) e azul (SPEI) é muito nítida neste período, ou seja, para o índice SPEI que leva em consideração o balanço hídrico esses eventos extremos tiveram uma maior intensidade em comparação com o índice SPI.

A partir do ano de 1950 até 2019, pode-se observar que esses picos de extremo úmido e extremo seco se intensificaram com o passar dos anos nos gráficos entre SPI1xSPEI1, SPI3xSPEI3 e SPI6xSPEI6 chegando a ficar entre os valores de +- 4, onde podemos considerá-los um evento extremo de seca ($\leq -2,00$) ou úmido ($\geq +2,00$). Nesse período as curvas dos índices de seca não demonstraram tanta diferença como no período de 1901 a 1950, mas, observa-se que em alguns eventos que ocorreram nesta época, a curva do índice SPI se sobressai sobre a curva do índice SPEI, portanto, enquanto o índice SPI considera apenas a precipitação e indica que esse evento se classificou como sendo um extremo seco ou extremo úmido, a curva do índice SPEI, onde considera-se o balanço hídrico, classifica-o de forma mais branda como sendo um evento severo de seca e/ou evento severo úmido (1,50 a -1,99).

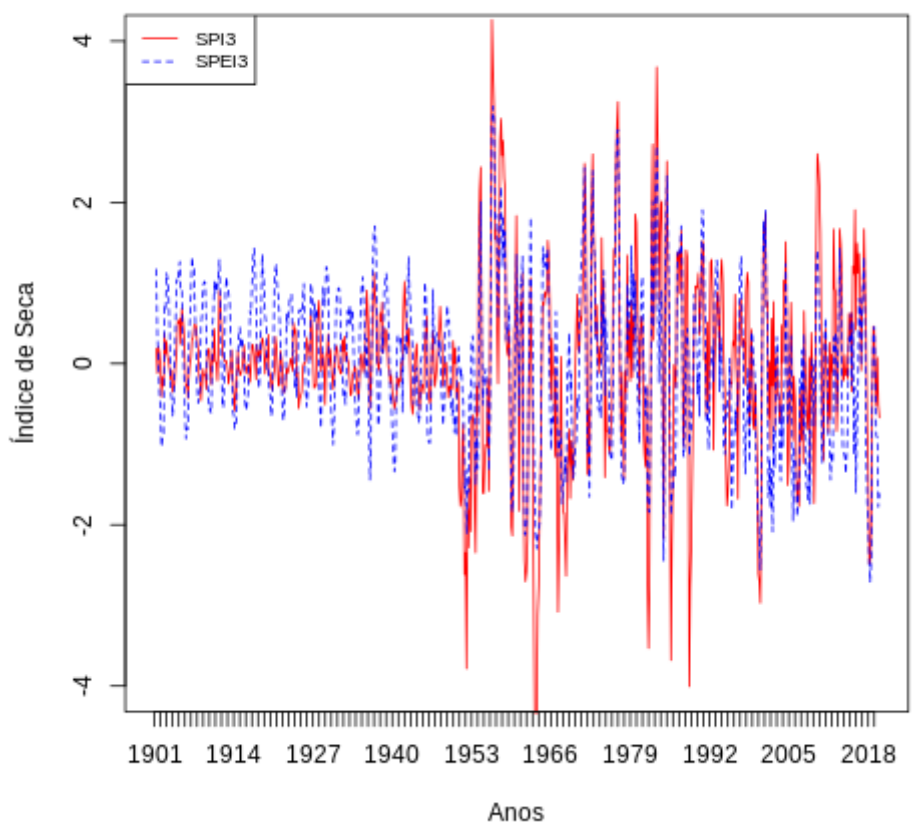
O gráfico abaixo, relacionado para uma escala de tempo de 12 meses entre os índices SPI e SPEI, observa-se que ele possui uma diferença bem grande em relação aos

outros gráficos já analisados. Nota-se que no período de 1901 a 1950 as curvas vermelha (SPI) e azul (SPEI) possuem uma grande diferença entre si, mesmo estando na fase neutra do índice de seca, o índice SPI indica que neste período os eventos úmidos que ocorreram foram menos intensos em comparação com a classificação dada pelo índice SPEI. Esses eventos que ocorreram nesta época podem ser classificados de acordo com a Tabela 1 definida pelo (McKee et al., 1993), como um evento de seca/úmido leve (0 a $\pm 0,99$).

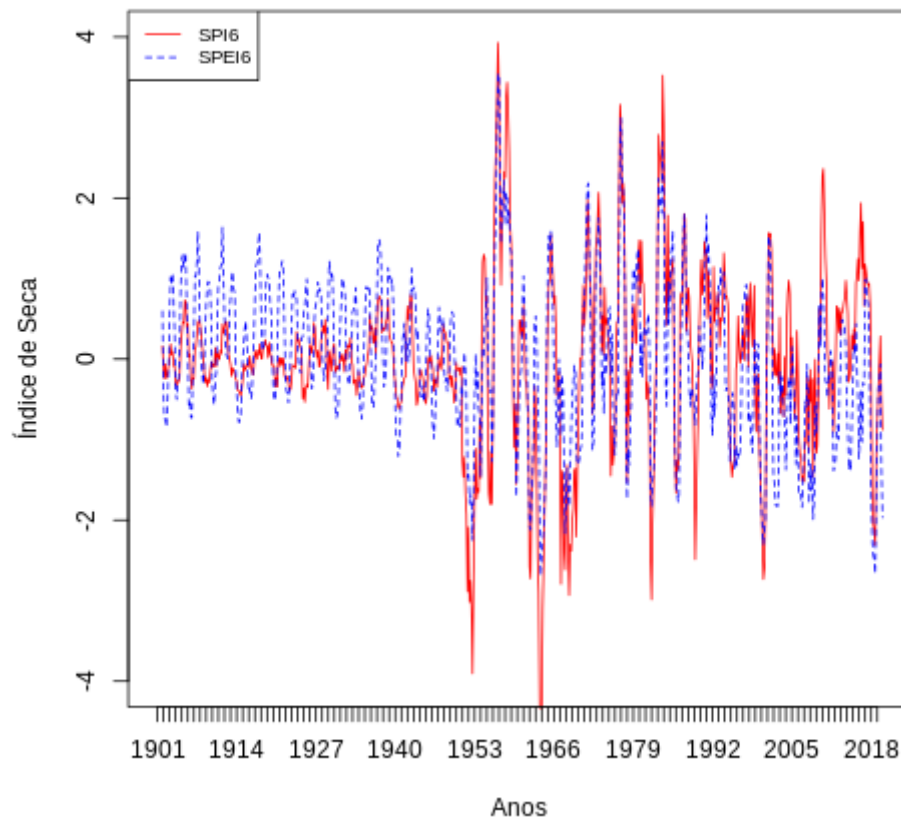
A partir de 1950, os picos dos eventos de extremo seco e extremo úmido se tornaram mais intensos ultrapassando o valor $\pm 2,00$ chegando a marca de $\pm 4,00$ na escala dos índices de seca, esse eventos foram classificados como extremo úmido/seco seguindo a Tabela 1 proposta por et. al. (McKee,1993). Nota-se que nesse período, a diferença entre as curvas na maioria dos eventos são quase imperceptíveis comparadas ao período anterior analisado, em alguns momentos a curva do índice SPI se sobressai sobre a curva do índice SPEI classificando o evento com uma maior intensidade, ou seja, enquanto o índice SPI classifica esses como um extremo úmido/seco, o índice SPEI classifica os mesmo como evento de seca/úmido severo (1,50 a $\pm 1,99$). Essa menor intensidade refletida no índice SPEI mostra que, apesar da precipitação ter sido bastante abaixo da média nos eventos, o efeito dessa falta de chuva foi menos severo do que mostra o SPI, por conta da retenção da água (avaliada pelo balanço entre precipitação e evaporação).



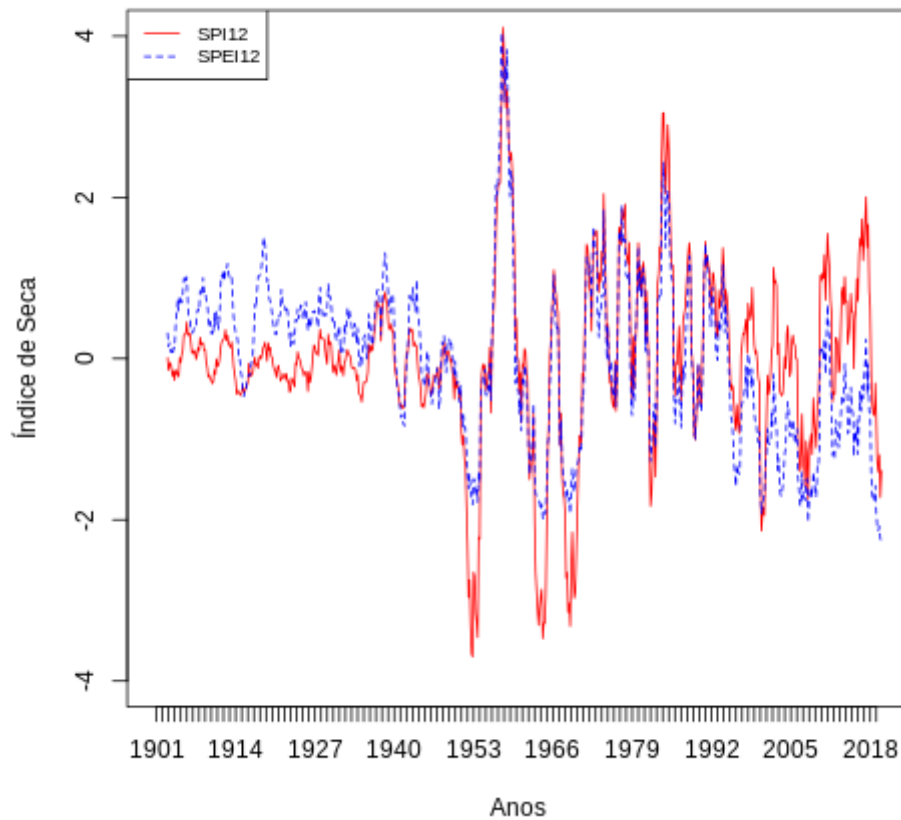
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4. Gráfico da série temporal da comparação entre o Índice SPI1 e SPEI1 (a), SPI3 e SPEI3 (b), SPI6 e SPEI6 (c) e SPI12 e SPEI12 (d) para a estação seca.

Após a análise desses gráficos para as escalas de tempo de 1 mês, 3 meses, 6 meses e 12 meses, podemos notar que para uma melhor representação dos eventos de extremo úmido ou extremo seco recomenda-se utilizar o Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizada (SPEI) principalmente para a estação seca, pois a evapotranspiração é uma variável muito importante para determinar a real intensidade de eventos secos ou úmidos. Nota-se também que esse aumento na ocorrência de eventos extremos úmido/seco registrados no período de 1950 a 2019 e a diferença entre as curvas do SPI e SPEI está diretamente relacionada com o fato da temperatura ter sofrido um aumento significativo em sua tendência (Figura 2) com o passar dos anos. Isso indica a necessidade de aplicar o SPEI para tratar de períodos secos e chuvosos em um cenário de mudanças climáticas..

A tabela 4 abaixo mostra os resultados dos cálculos estatísticos realizados para a comparação das séries temporais para a estação seca. Nesta tabela observa-se que, para todas as escala de tempo analisadas nos gráficos acima os valores da correlação, erro médio quadrático e a raiz do erro médio são todos positivos, ou seja, isso nos mostra que a relação entre essas duas curvas possui uma tendência a superestimar (VIÉS), dessa forma, o índice SPEI está superestimando a condição de seca em relação ao índice SPI, a correlação positiva indica que enquanto uma variável aumenta a outra também aumenta (diretamente proporcionais) e por fim a raiz do erro médio positivo nos mostra a amplitude dos erros em relação aos dados usados para essa previsão.

Tabela 4 - Valores dos cálculos estatísticos entre o SPI e SPEI para a estação seca.

ÍNDICES DE SECA	CORRELAÇÃO	ERRO MÉDIO (VIÉS)	RAIZ DO ERRO MÉDIO (RSME)
SPI 1 e SPEI 1	0,82	+0,0223	0,64
SPI3 e SPEI 3	0,73	+0,0135	0,77
SPI 6 e SPEI 6	0,72	+0,0089	0,78
SPI 12 e SPEI 12	0,79	+0,0040	0,67

Analisando e comparando os valores das Tabelas 3 e 4 para a estação chuvosa e estação seca, respectivamente, observa-se que os valores na Tabela 4 para o erro médio quadrático (VIÉS) e os valores para a raiz do erro médio (RSME) são maiores em comparação para a estação chuvosa (Tabela 3) e isso nos mostra que, analisando que o índice SPI utiliza

apenas a variável precipitação e o índice SPEI utiliza o balanço hídrico para esta análise, então, se os erros são maiores para a estação seca isso significa que para uma melhor representação dos eventos de seca ou eventos úmidos nessa estação devemos utilizar o Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizada (SPEI).

4.3 Análise da Regressão

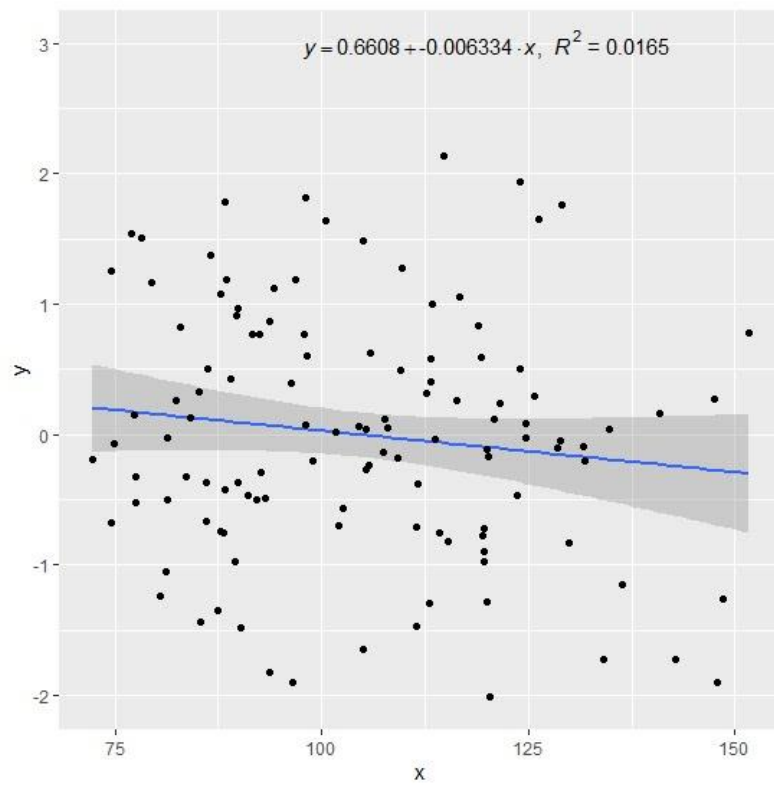
A análise da seção anterior mostrou que a evapotranspiração deve ser um fator importante na determinação de períodos secos. Nos gráficos abaixo, utilizamos a regressão linear para quantificar essa importância relativa através da comparação dos valores obtidos para R^2 . Esses gráficos são exemplos representativos dos períodos: chuvoso (dezembro) e seco (junho). O eixo y deste gráfico corresponde aos valores do índice SPEI e o eixo x corresponde a quantidade de evaporação (figura 5) e precipitação (figura 6).

4.3.1 Análise da Regressão para Evapotranspiração

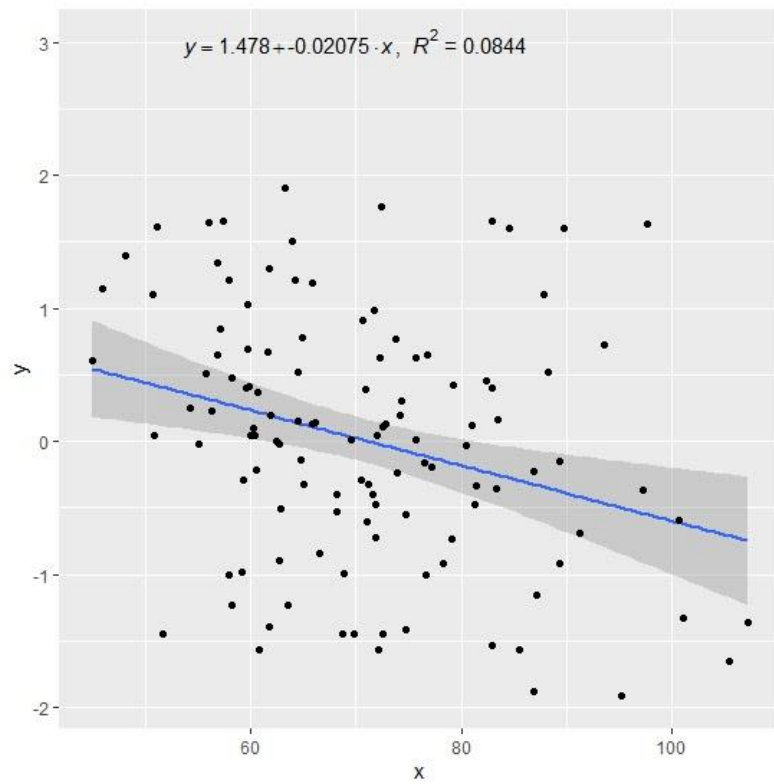
O gráfico de regressão para a evapotranspiração tanto para o mês chuvoso quanto para o mês seco, nos mostra a diferença entre os valores encontrados para R^2 . O R^2 indica o quanto a mudança de uma variável explica a mudança da outra variável, ou seja, neste caso o valor de R^2 está indicando o quanto a evapotranspiração impacta na variação do índice de seca (SPEI).

Na Figura 5a para o mês chuvoso, nota-se que o valor de R^2 corresponde a 0,0165 e isso nos indica que para o mês de dezembro (chuvoso) a evapotranspiração impacta pouco (1,6%) na variação do índice SPEI. Analisando a Figura 5b, observa-se que o valor de R^2 para o período seco (junho) é de 0,0844 (8,4%), ou seja, cinco vezes maior em comparação ao valor para o período chuvoso (dezembro).

Ao analisar a Figura 5 e os seus respectivos valores de R^2 para as duas estações em estudo, conseguimos notar que essa diferença entre os valores de R^2 para os dois períodos é de 0,0679, ou seja, uma diferença muito alta entre essas estações. Neste caso, podemos dizer que a evapotranspiração é muito importante para quantificar a variação e mostrar o impacto no índice SPEI na estação seca. Há uma importância do processo também na estação chuvosa, porém como vimos pelos coeficientes, ela é bem menor.



(a)



(b)

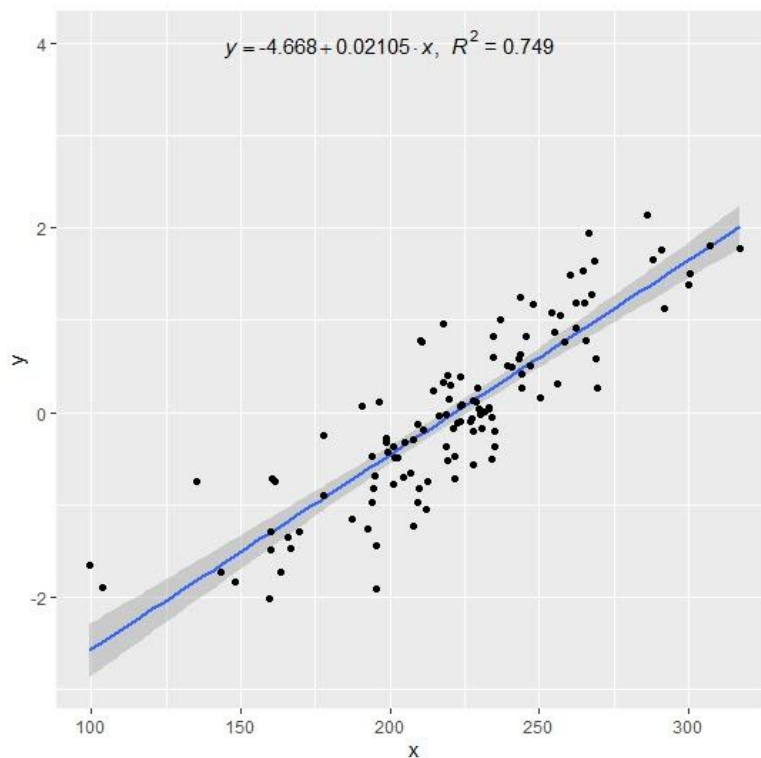
Figura 5. Gráficos de regressão para Evapotranspiração para Dezembro(a) e Junho(b).

4.3.2 Análise da Regressão para Precipitação

O gráfico de regressão para a precipitação tanto para o mês de dezembro (chuvoso) quanto para o mês de junho (seco), nos mostra a pequena diferença entre os valores encontrados para R^2 . O R^2 utilizado na regressão, corresponde ao valor que uma mudança em uma variável influencia a mudança da outra variável, em outras palavras, o valor de R^2 está indicando o quanto que a precipitação impacta na variação do índice de seca (SPEI).

Na Figura 6a para o mês chuvoso, observa-se que o valor de R^2 corresponde a 0,749 e isso nos explica que para o mês de dezembro (chuvoso) a precipitação é o principal fator que altera o índice de seca (SPEI). Analisando a Figura 6b, nota-se que o valor de R^2 para o mês de junho (seco) é de 0,756, ou seja, para o mês de junho os valores de precipitação também são fundamentais nos valores do índice SPEI.

Ao analisar a Figura 6 e os seus valores de R^2 para os dois meses em estudo, conseguimos notar que os valores de R^2 estão bem próximos um do outro, tendo uma diferença de 0,007 apenas. Neste caso, podemos dizer que a equivalência desses valores nos mostra que a precipitação impacta igualmente o índice nas duas estações, tanto chuvosa quanto seca, sendo claramente o fator mais importante para alterar o valor do índice.



(a)

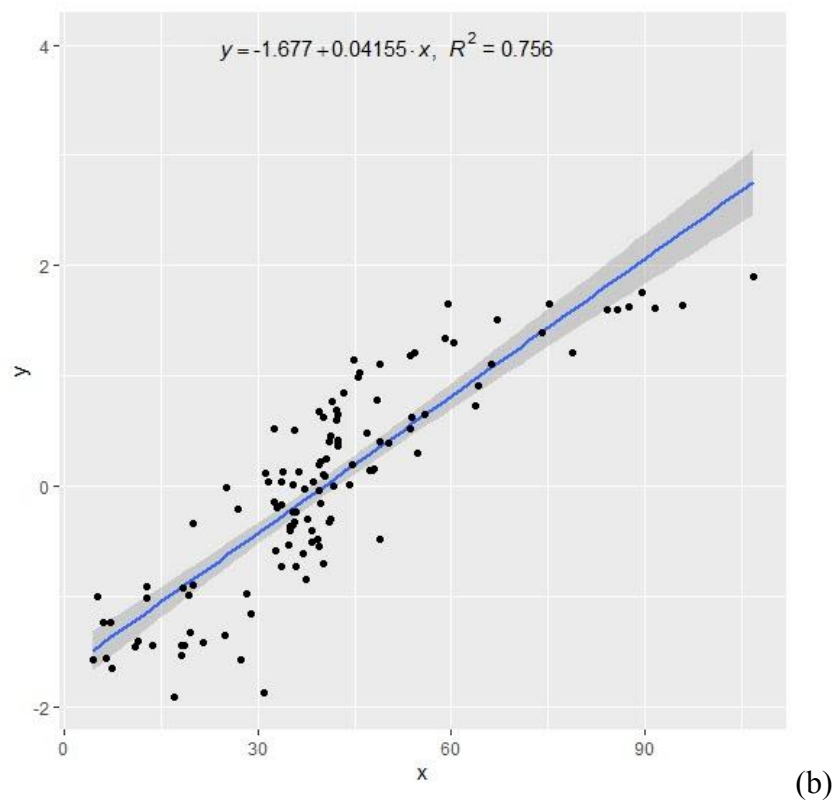


Figura 6. Gráficos de regressão para Precipitação para Dezembro(a) e Junho(b).

5. CONCLUSÃO

Segundo o IBGE o centro-oeste paulista é considerado uma das regiões com menor densidade populacional do estado de São Paulo. Essa região é de grande importância agrícola, ou seja, longos períodos de seca no estado de São Paulo apresentam impactos significativos na sociedade, na economia e possíveis danos à biodiversidade. Estudos apontam que futuramente essa área será ainda mais afetada por grandes períodos de seca. Entender os padrões climatológicos dos eventos de seca que ocorrem sobre a região é de imprescindível importância para melhorar o monitoramento e a previsão dos mesmos sobre o centro-oeste do estado.

Neste estudo, apresentamos a climatologia dos eventos de seca sobre o centro-oeste do estado de São Paulo. Através dos dados de precipitação e temperatura, utilizou-se o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) e o Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizada (SPEI) (para uma escala de tempo de 1, 3, 6 e 12 meses) para identificar os eventos extremos úmidos e secos no centro-oeste de São Paulo para o período de 1901 a 2019. A partir dos dados observacionais do *Climate Research Unit* (CRU), analisamos a comparação entre esses índices de seca (para a estação seca e chuvosa) através de suas séries temporais e através dos cálculos estatísticos.

Após a comparação entre esses índices, observamos que para a estação seca (AMJJAS) e para a estação chuvosa (ONDJFM), o índice que tende a mostrar condições de secas mais severas nas últimas décadas é o índice SPEI (Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizada), observa-se principalmente na figura 4 (comparação entre o SPI12 x SPEI12 para a estação seca), que o índice SPEI tende a mostrar essas condições mais severas. O Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizada além de utilizar os dados de precipitação, também utiliza os dados de evapotranspiração, ou seja, esse índice analisa o balanço hídrico para a classificação desses eventos, levando em consideração o aumento significativo da temperatura nas últimas décadas, enquanto que o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) analisa e classifica a seca apenas com os dados de precipitação.

Sendo assim, esses resultados mostraram a importância do monitoramento e da previsão desses eventos de seca severas sobre a região e principalmente a relação entre a temperatura e a precipitação utilizadas nos índices analisados neste estudo para a classificação dos eventos.

6. REFERÊNCIAS

- Abramopoulos, F., C. Rosenzweig, and B. Choudhury, 1988: Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): Soil water movement and evapotranspiration. **J. Climate**, 1, 921-941, doi:10.1175/1520-0442(1988)001<0921:IGHCFG>2.0.CO;2.
- Abramowitz, M. and I.A. Stegun, 1965: Handbook of Mathematical Functions. Dover Publications, New York.
- Blain, Gabriel Constantino, e Orivaldo Brunini. 2005. “**Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo**”. *Bragantia* 64: 695–705. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000400020>.
- “**Clima SPI - CPTEC/INPE**”. [s.d.]. Acessado 20 de julho de 2021. <http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt>.
- Godoy, Renan Muinos Parrode de, Luiz Felipe Gozzo, Marta Llopart, Bruna Luiza Peron, Michelle Simões Reboita, Henrique Fuchs Bueno Repinaldo, e Vitor Hugo de Almeida Marrafon. 2021. “Projeções Climáticas de Temperatura do Ar e Precipitação para o Estado de São Paulo Utilizando o Modelo Regional RegCM4”. **Anuário do Instituto de Geociências** 44 (0). https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_39850.
- Gozzo, Luiz F. [UNESP, Doris S. [UNESP Palma, Maria S. [UNESP Custodio, e Jeferson P. Machado. 2019. “Climatology and Trend of Severe Drought Events in the State of Sao Paulo, Brazil, during the 20th Century”. **Atmosphere**, janeiro. <https://doi.org/10.3390/ATMOS10040190>.
- Harris, I., P.D. Jones, T.J. Osborn, e D.H. Lister. 2014a. “Updated High-Resolution Grids of Monthly Climatic Observations - the CRU TS3.10 Dataset: UPDATED HIGH-RESOLUTION GRIDS OF MONTHLY CLIMATIC OBSERVATIONS”. **International Journal of Climatology** 34 (3): 623–42. <https://doi.org/10.1002/joc.3711>.
- . 2014b. “Updated High-Resolution Grids of Monthly Climatic Observations - the CRU TS3.10 Dataset: UPDATED HIGH-RESOLUTION GRIDS OF MONTHLY CLIMATIC OBSERVATIONS”. **International Journal of Climatology** 34 (3): 623–42. <https://doi.org/10.1002/joc.3711>.
- . 2014c. “Updated High-Resolution Grids of Monthly Climatic Observations - the CRU TS3.10 Dataset: UPDATED HIGH-RESOLUTION GRIDS OF MONTHLY CLIMATIC OBSERVATIONS”. **International Journal of Climatology** 34 (3): 623–42. <https://doi.org/10.1002/joc.3711>.
- Harris, Ian, Timothy J. Osborn, Phil Jones, e David Lister. 2020a. “Version 4 of the CRU TS Monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset”. **Scientific Data** 7 (1): 109. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>.
- . 2020b. “Version 4 of the CRU TS Monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset”. **Scientific Data** 7 (1): 109. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>.

———. 2020c. “Version 4 of the CRU TS Monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset”. **Scientific Data** 7 (1): 109. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>.

Hosking, JRM “L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions using Linear Combinations of Order Statistics”. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)** , vol. 52, n ° 1, Setembro de 1990, p. 105–24. *DOI.org (Crossref)* , <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1990.tb01775.x>.

“Índice: SPEI, o índice padronizado de precipitação-evapotranspiração”. [s.d.]. Acessado 20 de julho de 2021. <https://spei.csic.es/>.

McKee, Thomas B, Nolan J Doesken, e John Kleist. (1993). “**THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES**”. - Department of Atmospheric Science Colorado State University Fort Collins, CO 80523 .

New, M, D Lister, M Hulme, e I Makin. 2002a. “A High-Resolution Data Set of Surface Climate over Global Land Areas”. **Climate Research** 21: 1–25. <https://doi.org/10.3354/cr021001>.

———. 2002b. “A High-Resolution Data Set of Surface Climate over Global Land Areas”. **Climate Research** 21: 1–25. <https://doi.org/10.3354/cr021001>.

———. 2002c. “A High-Resolution Data Set of Surface Climate over Global Land Areas”. **Climate Research** 21: 1–25. <https://doi.org/10.3354/cr021001>.

———. 2002d. “A High-Resolution Data Set of Surface Climate over Global Land Areas”. **Climate Research** 21: 1–25. <https://doi.org/10.3354/cr021001>.

Pei, Zhifang, Shibo Fang, Lei Wang, e Wunian Yang. 2020. “Comparative Analysis of Drought Indicated by the SPI and SPEI at Various Timescales in Inner Mongolia, China”. **Water** 12 (7): 1925. <https://doi.org/10.3390/w12071925>.

Salviano, Marcos Figueiredo, Juliano Daniel Groppo, e Giampaolo Queiroz Pellegrino. 2016. “Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil”. **Revista Brasileira de Meteorologia** 31 (março): 64–73. <https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>.

SILVA, D. F.; SILVA, R. A. Uso do teste de Mann-kendall para detecção de tendências climáticas comparativas entre regiões cearenses. **Simpósio Internacional de Climatologia**, v. 4, 2011.

Svoboda, M., Hayes, M., Wood, D., 2012. Standardized Precipitation Index UserGuide. Technical Report WMO-No. 1090. World Meteorological Organization(WMO), Geneva.

Thom, H. C. S. Same methods of climatological analyses . World Meteorological Organization, Geneva, 53p, 1966. (WMO, 199; TP, 103; Technical note. ,81.)

Thornthwaite, C. W. 1948. “An Approach toward a Rational Classification of Climate”. **Geographical Review** 38 (1): 55–94. <https://doi.org/10.2307/210739>.

University Of East Anglia Climatic Research Unit (CRU), Ian C Harris, e Philip D. Jones. 2019a. “CRU TS4.03: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 4.03 of High-Resolution Gridded Data of Month-by-Month Variation in Climate (Jan. 1901- Dec. 2018)”. Application/xml. Centre for Environmental Data Analysis (CEDA). <https://doi.org/10.5285/10D3E3640F004C578403419AAC167D82>.

———. 2019b. “CRU TS4.03: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 4.03 of High-Resolution Gridded Data of Month-by-Month Variation in Climate (Jan. 1901- Dec. 2018)”. Application/xml. Centre for Environmental Data Analysis (CEDA). <https://doi.org/10.5285/10D3E3640F004C578403419AAC167D82>.

———. 2019c. “CRU TS4.03: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 4.03 of High-Resolution Gridded Data of Month-by-Month Variation in Climate (Jan. 1901- Dec. 2018)”. Application/xml. Centre for Environmental Data Analysis (CEDA). <https://doi.org/10.5285/10D3E3640F004C578403419AAC167D82>.

———. 2020a. “CRU CY 4.03: Climatic Research Unit Year-by-Year Variation of Selected Climate Variables by Country Version 4.03 (Jan. 1901 - Dec. 2018)”. Application/xml. Centre for Environmental Data Analysis (CEDA). <https://doi.org/10.5285/D6768285FDC8408BBB9B02BB0F317774>.

———. 2020b. “CRU CY 4.03: Climatic Research Unit Year-by-Year Variation of Selected Climate Variables by Country Version 4.03 (Jan. 1901 - Dec. 2018)”. Application/xml. Centre for Environmental Data Analysis (CEDA). <https://doi.org/10.5285/D6768285FDC8408BBB9B02BB0F317774>.

———. 2020c. “CRU CY 4.03: Climatic Research Unit Year-by-Year Variation of Selected Climate Variables by Country Version 4.03 (Jan. 1901 - Dec. 2018)”. Application/xml. Centre for Environmental Data Analysis (CEDA). <https://doi.org/10.5285/D6768285FDC8408BBB9B02BB0F317774>.

Vicente-Serrano, Sergio M., Santiago Beguería, e Juan I. López-Moreno. 2010. “A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index”. **Journal of Climate** 23 (7): 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.

Zargar, Amin, Rehan Sadiq, Bahman Naser, e Faisal I. Khan. 2011. “A Review of Drought Indices”. **Environmental Reviews** 19 (NA): 333–49. <https://doi.org/10.1139/a11-013>.