

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS E EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Mariana Mendes Silva¹
Vanderlei de Oliveira Ferreira²
Dane Marques de Ávila³

Resumo: Este artigo relata resultados de pesquisa destinada à detecção e análise de tendências e extremos pluviométricos na Região Hidrográfica do Rio São Francisco. Para tanto, foram utilizados dados de 124 postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA), cujo período analisado foi de 1976 a 2015 (40 anos). Para a detecção e análise das tendências pluviométricas foram aplicadas as ferramentas estatísticas Regressão Linear, Teste de Mann-Kendall e Teste do Sinal. Para identificar e avaliar a frequência e a intensidade de eventos extremos foram utilizados o *Standardized Precipitation Index* – SPI (ou Índice de Precipitação Padronizada – IPP) e o *Rainfall Anomaly Index* – RAI (ou Índice de Anomalia de Chuva – IAC). Os resultados mostraram tendência à diminuição das chuvas na área estudada, além da maior possibilidade de ocorrências de extremos positivos e negativos nas classes próximas à normalidade.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas; Tendências Pluviométricas; Extremos Pluviométricos; Região do São Francisco.

ANALYSIS OF PLUVIOMETRIC TRENDS AND EXTREMES IN THE SÃO FRANCISCO RIVER HYDROGRAPHIC REGION

Abstract: This article reports research results intended at detecting and analyzing pluviometric trends and extremes in the São Francisco River Hydrographic Region. For this purpose, were used data from 124 pluviometric stations of the National Water Agency (ANA), whose period analyzed was from 1976 to 2015 (40 years). For the detection and analysis of the pluviometric trends the following statistical tools were applied Linear Regression, Mann-Kendall Test and Signal Test. To identify and evaluate the frequency and intensity of extreme events were used the Standardized Precipitation Index – SPI and the Rainfall Anomaly Index – RAI. The results demonstrate tendency to decrease rainfall in the study area, in addition to the greater possibility of occurrences of positive and negative extremes in the classes close to normality.

Keywords: Climate Changes; Pluviometric Trends; Pluviometric Extremes; São Francisco Region.

¹ Doutora em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Email: marianamendes_01@yahoo.com.br

² Professor associado II da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Email: vanderlei.ferreira@ufu.br

³ Professor do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - Campus Ituiutaba. Email: danemarques@iftm.edu.br

INTRODUÇÃO

Relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC (2012, 2013, 2014) e pesquisas realizadas por renomadas instituições do mundo inteiro indicam evidências concretas sobre o aumento da temperatura no sistema Terra-Atmosfera e, conseqüentemente, um quadro de mudanças climáticas que atinge todas as escalas. Em tal contexto, o ciclo hidrológico é sistemicamente modificado. A quantidade e distribuição da fonte primária de água doce terrestre, as chuvas, são inevitavelmente alteradas.

Ainda que estudos voltados para as mudanças climáticas mostrem aumento na média da temperatura global e seus impactos para a natureza e as populações, a temática se mostra ainda complexa diante das limitações dos modelos e ferramentas matemáticas e computacionais, principalmente quando aplicadas em âmbitos regional e local. Experiências de modelagem e utilização de instrumentos matemáticos complexos têm apresentado resultados mais satisfatórios nas escalas global e zonal do que nas escalas regional e local, pelo fato da necessidade de melhorias na resolução espacial e também devido ao custo computacional.

Neste sentido, é necessário buscar alternativas para melhorar o tratamento das mudanças climáticas em escala regional/local com o intuito de se alcançar melhores resultados sem a necessidade de grandes investimentos. Logo, o objetivo da pesquisa relatada neste artigo é estudar as tendências e os eventos de extremos pluviométricos na Região Hidrográfica do Rio São Francisco aplicando as seguintes ferramentas: Regressão Linear, Teste de Mann-Kendall e Teste do Sinal – para detecção de tendências; e *Standardized Precipitation Index* – SPI (ou Índice de Precipitação Padronizada – IPP) e o *Rainfall Anomaly Index* – RAI (ou Índice de Anomalia de Chuva – IAC) – para identificação de extremos.

A área de estudo selecionada foi a Região Hidrográfica do Rio São Francisco, dada sua relevância nos contextos nacional e regional brasileiro, pela mesma possuir um desequilíbrio entre oferta e demanda dos recursos hídricos em diversas sub-bacias (conflitos), por apresentar especificidades fisiográficas significativas e devido aos sistemas atmosféricos dinâmicos que atuam diferenciadamente ao longo desta região hidrográfica, resultando em condições particulares de clima, solo, vegetação e também de atividades econômicas.

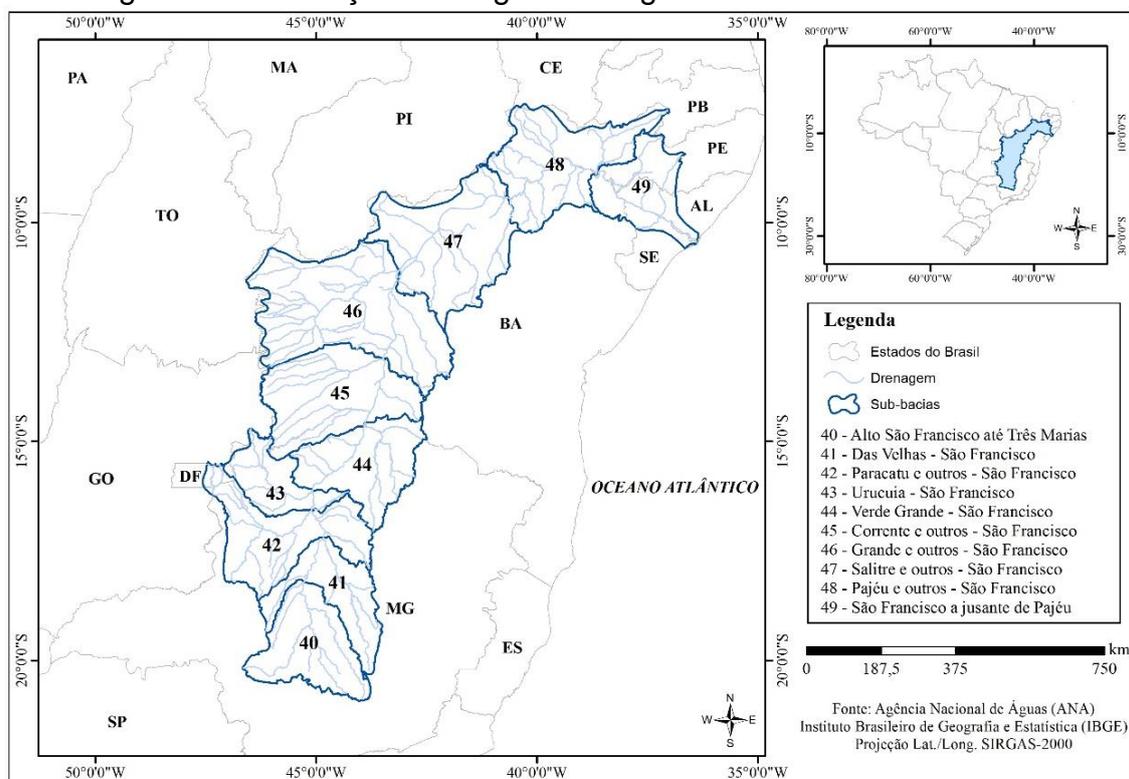
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Brasil possui 12 regiões hidrográficas. Uma delas é a Região Hidrográfica do Rio São Francisco (Figura 1), que corresponde a 8% do território nacional. Ela possui uma área de drenagem de aproximadamente 640.000 km², distribuída nos estados da Bahia/BA, Minas Gerais/MG, Pernambuco/PE, Alagoas/AL, Sergipe/SE, Goiás/GO e Distrito Federal/DF (sítio eletrônico do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF, s.d., disponível em: <<http://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>>). A mesma foi dividida em dez (10) sub-bacias, segundo a Agência Nacional de Águas – ANA. São elas: Alto São Francisco até Três Marias (40), das Velhas (41), Paracatu e outros (42), Urucuia (43), Verde Grande (44), Corrente e outros (45), Grande e outros (46), Salitre e outros (47), Pajéu e outros (48), São Francisco a jusante de Pajéu (49).

Segundo o CBHSF (s.d.), o Rio São Francisco tem aproximadamente 2.700 km de extensão e nasce no Parque Nacional da Serra da Canastra no sudoeste do estado de Minas Gerais, escoar no sentido sul-norte pelos estados da Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para leste, chegando ao Oceano Atlântico através da divisa

entre Alagoas e Sergipe. Em seu trajeto corta três biomas: a Caatinga na região nordeste da Bahia; o Cerrado entre o sudoeste de Minas Gerais e norte da Bahia; e a Mata Atlântica na região da Serra da Canastra.

Figura 1. Localização da Região Hidrográfica do Rio São Francisco



Fonte: ANA (2017); IBGE (2017).
Organização: Os autores.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

SELEÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

Para este artigo foram selecionados dados de 124 postos pluviométricos da rede de monitoramento da ANA (Quadro 1 e Figura 2), considerados suficientes e viáveis do ponto de vista da aplicação das ferramentas estatísticas e geração de resultados.

No que diz respeito às eventuais ausências de dados, optou-se por preencher falhas com o valor da média mensal, calculado a partir de todos os dados do específico mês e posto pluviométrico, isto é, se não havia um dado no mês de janeiro (por exemplo) de um ano qualquer, essa lacuna foi preenchida com a média mensal de janeiro calculada no período de 1976-2015 do respectivo posto pluviométrico.

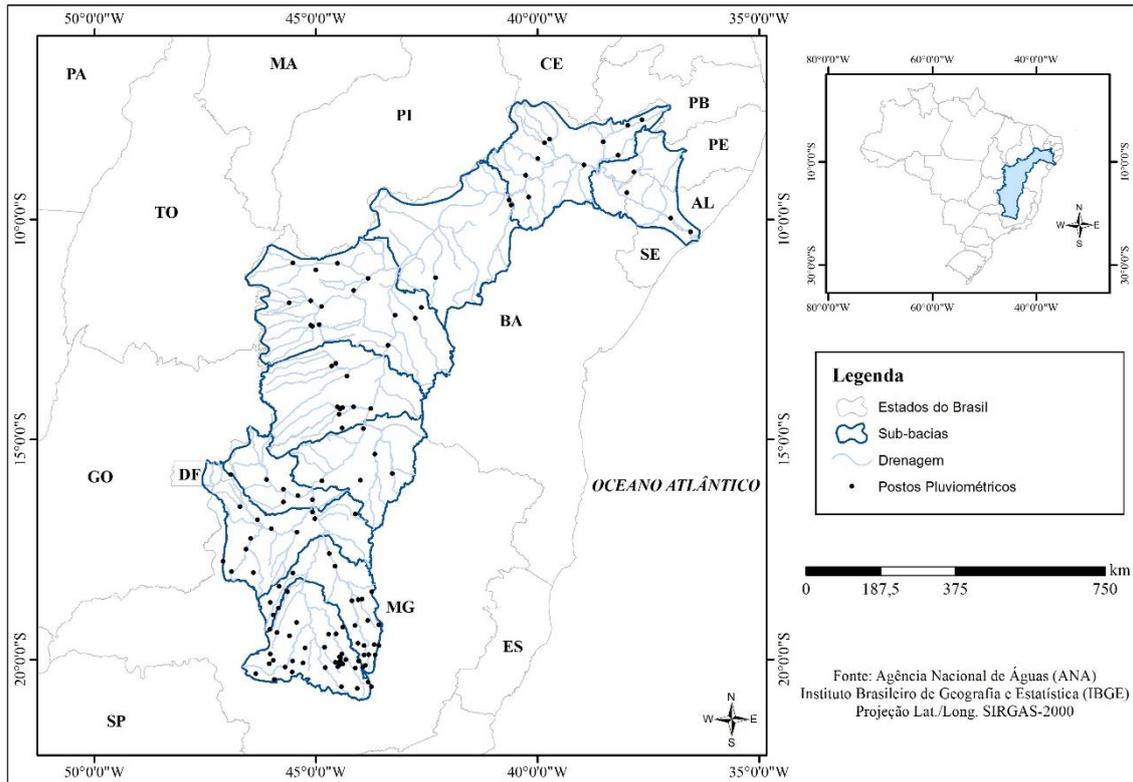
Quadro 1. Postos Pluviométricos adotados na pesquisa

Sub-bacia	Código dos Postos	Total de Postos
40 - Alto São Francisco até Três Marias	1845002, 1845004, 1944004, 1944007, 1944010, 1944011, 1944026, 1944031, 1944049, 1945002, 1945008, 1945019, 1945035, 1946000, 1946009, 2043005, 2043013, 2044002, 2044003, 2044007, 2044008, 2044009, 2044012, 2044016, 2044019, 2044020, 2044021, 2044024, 2044026, 2045001, 2045002, 2045010, 2045011, 2045012, 2045013, 2046007, 2046013	37
41 - das Velhas	1744009, 1744010, 1843000, 1843002, 1844009, 1844010, 1845013, 1845014, 1845021, 1846003, 1943006, 1943009, 1943010, 1943023, 1943024, 1943035, 1943042, 1943055, 1944009, 1944024, 2043002, 2043004	22
42 - Paracatu e outros	1644028, 1645009, 1645013, 1646000, 1646003, 1745001, 1746001, 1746002, 1746007, 1747005, 1846015, 1846016	12
43 - Urucuia	1546000, 1546005, 1644027, 1645000, 1645002, 1645005	6
44 - Verde Grande	1443001, 1543002, 1543013, 1544012, 1544019	5
45 - Corrente e outros	1344002, 1344014, 1344015, 1443002, 1444000, 1444001, 1444003, 1444004, 1444005, 1444017	10
46 - Grande e outros	1143010, 1144005, 1144008, 1144014, 1145004, 1145013, 1145014, 1242015, 1242016, 1243000, 1243011, 1244011, 1244019, 1245005, 1245007	15
47 - Salitre e outros	940018, 940028, 1142017	3
48 - Pajéu e outros	737023, 737027, 838000, 838002, 838004, 839009, 839014, 840010, 840015, 940025	10
49 - São Francisco a jusante de Pajéu	837038, 936076, 937013, 1036005	4

Fonte: ANA (2017).

Fonte: Organizado pelos autores

Figura 2. Localização dos 124 Postos Pluviométricos adotados na pesquisa



Fonte: ANA (2017); IBGE (2017).
 Fonte: Organizado pelos autores

INSTRUMENTOS APLICADOS À DETECÇÃO E AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS

Segundo Morettin e Tolo (2006), a tendência de uma série temporal indica seu comportamento de longo prazo, isto é, se ela cresce, decresce ou permanece estável. Back (2001, p. 718) define tendência em uma série temporal “como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas”. Logo, neste trabalho, as tendências foram definidas como modificações graduais e contínuas do comportamento da pluviometria e que podem ser de aumento ou redução, provocadas por diferentes causas.

Como na literatura há várias ferramentas e métodos que analisam o comportamento de séries históricas e estimam valores futuros com diferentes perspectivas, escolher as que melhor descrevem as tendências não é uma tarefa fácil. Por isso, é necessário o conhecimento de tais instrumentos e métodos para que o resultado seja eficaz. Neste sentido, após leituras sobre o assunto, foram selecionados e empregues neste estudo a Regressão Linear, o Teste de Mann-Kendall e o Teste do Sinal.

A análise de regressão tem por intenção descrever por meio de um modelo matemático, a relação entre duas variáveis, baseando-se nas n observações das mesmas. Neste sentido, a reta de regressão serve para resumir a relação entre as variáveis e para fazer previsões a partir dos dados. Então, primeiramente é estabelecida a equação da reta por meio da função $Y = aX + b$ (sendo Y a variável dependente, X a variável independente e a e b os parâmetros), cuja reta resultante representa visualmente a correlação das variáveis, que neste estudo são: pluviometria

e tempo. Para definir a equação da reta, foram calculados os valores dos parâmetros utilizando a seguinte fórmula:

$$a = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

Onde: n é o número de observações; \bar{x} é a média dos valores x_i ($\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$); e \bar{y} é a média dos valores y_i ($\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$).

Como parte da definição das retas de regressão, o coeficiente angular de cada uma das retas (parâmetro a) corresponde ao valor da tangente do ângulo formado entre a reta de regressão e o eixo "X", o que determina a inclinação da reta. O parâmetro a permite observar o quanto a inclinação da reta é expressiva ou não, demonstrando se há tendência e o quanto ela é significativa ou não. Tais cálculos foram processados no *Microsoft Office Excel 2016*;

Quanto ao Teste de Mann-Kendall "é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se determinada série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa" (SALVIANO et al., 2016, p. 65). Diante disso, para aplicar esta ferramenta, primeiramente é necessário saber se a série temporal da pluviometria é independente e identicamente distribuída. Assim, para comprovar que os índices pluviométricos são serialmente independentes, foram testadas as hipóteses: H_0 = as observações da série são independentes e identicamente distribuídas – não há tendência; e H_1 = as observações da série possuem tendência monotônica no tempo – há tendência. No ponto de vista do H_0 , a estatística do teste é dada por:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sing}(x_j - x_k)$$

$$\text{sign} = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases}$$

Para demonstrar que S é normalmente distribuída,

$$S \sim N(\mu, \sigma^2) \text{ com } \mu = 0$$

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^P t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18}$$

Em que n é o número de observações; P é o número de grupos de observações iguais e t_j é o número de observações iguais no grupo j . Se no caso, o número de observações for superior a 30, a estatística do teste é dada por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Para um teste bilateral, não se pode rejeitar a hipótese nula H_0 para um dado nível de significância α , se para o quantil $Z_{\alpha/2}$ de uma distribuição normal padrão temos $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$. O teste de Mann-Kendall foi executado no *Action Stat 3*, um *software* estatístico desenvolvido pelo *Portal Action* mantido pela empresa “Estatcamp Consultoria Estatística e Qualidade”. Este *software* se conecta com a interface do *Microsoft Office Excel*. Os resultados dos testes foram apreciados juntamente com a Análise de Regressão e também com os cálculos do Coeficiente Angular das Retas de Regressão Linear.

Segundo Ferreira (2012, p. 321), “o Teste do Sinal é uma alternativa simples para detectar tendências em séries temporais, embora não recomendado como ferramenta única”. Por isso, não se pode inferir qualquer suposição tendo como base apenas sua aplicação. Ele é calculado pelas diferenças entre os pares de observações, sendo necessário, primeiramente, dividir a série temporal em duas subséries de tamanhos iguais. Como as séries pluviométricas utilizadas nesta pesquisa são de 40 anos (1976-2015), elas foram divididas em duas partes com tamanhos idênticos: x_i (1976-1995) e y_i (1996-2015).

Em seguida, realiza-se o cálculo da diferença (D_i) para cada par de observações ($D_i = x_i - y_i$). Assim, se D_i é maior que zero, ao par é atribuído um sinal de positivo (+); se D_i é menor que zero, ele recebe um sinal de negativo (-); e se D_i é igual a zero, exclui-se o par de observações na contabilização entre a quantidade de números de sinais positivos e negativos e a amostra é reduzida.

Após o cálculo de D_i , compara-se a quantidade de resultados com sinais negativos e positivos. Se a quantidade de negativos prevalecer, assume-se que está havendo tendência de aumento da pluviometria na série analisada; se predomina a quantidade de positivos, admite-se que há tendência de redução na série pluviométrica; e quando o número de sinais positivos foi igual ao número de sinais negativos, a tendência indicada é de manutenção do comportamento da variável. Vale lembrar que, na presente pesquisa, todo esse procedimento foi realizado no *Microsoft Office Excel 2016*.

Os métodos de detecção de tendências pluviométricas aqui referenciados foram aplicados por meio da adoção dos dados dos totais anuais e mensais de cada posto pluviométrico selecionado para o estudo na Região Hidrográfica do São Francisco.

INSTRUMENTOS APLICADOS À IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE EVENTOS DE EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS

Conforme indica o próprio *IPCC* (2014), a variabilidade e os eventos climáticos extremos são muito importantes no contexto de tomada de decisões. Isto porque resultam em impactos significativos tanto para a sociedade quanto para o sistema natural. Neste sentido, estudar, identificar e avaliar os extremos pluviométricos é fundamental.

Então, além da utilização das ferramentas de detecção de tendências, já explicitadas anteriormente neste trabalho, foram aplicados métodos matemáticos para

identificar e avaliar possíveis eventos extremos negativos e positivos nas séries de pluviometria. Para tanto, foram utilizados os cálculos dos chamados *Standardized Precipitation Index (SPI)* ou Índice Padronizado de Precipitação e *Rainfall Anomaly Index (RAI)* ou Índice de Anomalia de Chuva.

O SPI é aplicado em estudos sobre secas e extremos de chuvas. Quando criado, tinha como principal finalidade auxiliar na quantificação e no monitoramento de eventos de secas, mas na atualidade, ele tem sido empregado também no reconhecimento de episódios ligados ao excesso de pluviosidade (GARCIA et al., 2018). Para o cálculo do SPI é necessário um intervalo mínimo de 30 anos de dados de pluviosidade. Os dados são ajustados por meio da distribuição gama “que posteriormente é transformada em uma distribuição normal, que por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária” (FERNANDES et al., EMBRAPA – Documentos 244, 2009).

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade por meio da seguinte função:

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

Onde:

$\alpha > 0$, parâmetro de forma (adimensional);

$\beta > 0$, parâmetro de escala (mm);

$x > 0$, total de precipitação (mm);

$\Gamma(x)$, função gama.

A função gama é calculada pela seguinte equação:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

Para estimar os parâmetros α e β – método da máxima verossimilhança – foram utilizadas as equações abaixo:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{\frac{1 + 4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

$$A = I_n(\bar{x}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x)$$

Onde:

\bar{x} , é a média aritmética da precipitação pluvial (mm);

I_n , é o logaritmo neperiano;

N , é o número de observações de precipitação.

Os resultados desses parâmetros são empregados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para uma escala de tempo mensal, utilizando a seguinte fórmula:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$$

Substituindo $t = \frac{x}{\beta}$ na equação, a função gama incompleta fica:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

Sob condição de que a função gama é indeterminada para $x = 0$ e uma distribuição de pluviosidade pode conter zeros, a probabilidade cumulativa leva em consideração:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

Sendo,

$H(x)$, distribuição de probabilidade cumulativa;

q , probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros);

$G(x)$, distribuição cumulativa teórica.

Uma vez que m é a quantidade de zeros da série de pluviometria, Thom (1966) aponta que q pode ser estimado por $m / n + 1$ e utiliza tabelas da função gama incompleta para determinar a probabilidade cumulativa $G(x)$.

A distribuição dessa probabilidade cumulativa $G(x)$ é alterada para uma variável aleatória normalizada (*SPI*) com média zero e desvio padrão 1.

Essa é uma transformação equiprobabilística que Panofsky e Brier (1958) definiram como uma característica essencial para transformar uma variável de distribuição gama para uma variável com a distribuição normal, onde a probabilidade de ser menor que um valor dado será igual à probabilidade de ser menor que o valor correspondente da variável transformada. (FERNANDES et al., EMBRAPA - Documentos 244, p. 19-20).

Nessa perspectiva, os dados pluviométricos são ordenados em ordem crescente de magnitude de modo que os valores são baixos e no qual o tamanho da amostra é calculado pela seguinte equação:

$$q = \frac{m}{n + 1}$$

Onde,

m , é o número de ordem dos valores de zero em uma série de pluviometria;

n , corresponde ao tamanho da amostra.

O valor do (*SPI*) é estimado pelas equações desenvolvidas por Abramowitz & Stegun (1965), que transformam a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável (*SPI*). Os valores de (*SPI*) são definidos da seguinte maneira:

$$SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1$$

Sendo *t* determinado pelas equações:

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

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{-1(H(x))^2} \right]} \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1$$

Na presente pesquisa os coeficientes utilizados nas equações de determinação dos valores de *SPI*, são: $C_0 = 2,515517$; $C_1 = 0,802853$; $C_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; e $d_3 = 0,001308$. Com os valores do *SPI* calculados para cada um dos dados pluviométricos os mesmos foram enquadrados nas categorias apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Valores do Índice Padronizado de Precipitação (*SPI*) e categorias de seca ou umidade

Valores do <i>SPI</i>	CATEGORIAS
$\geq + 2,00$	Extremamente Úmido
+ 1,00 a + 1,99	Muito Úmido
+ 0,50 a + 0,99	Moderadamente Úmido
+ 0,49 a - 0,49	Normal
- 0,50 a - 0,99	Moderadamente Seco
- 1,00 a - 1,99	Muito Seco
$\leq - 2,00$	Extremamente Seco

Fonte: Mackee et al. (1993).

Outro índice utilizado neste trabalho para identificar e analisar anomalias pluviométricas na Região Hidrográfica do Rio São Francisco foi o *RAI*. De acordo com Rooy (1965), este índice é considerado de simples cálculo, dada a sua facilidade de procedimento computacional, e interpretação. Além disso, classifica e ordena as magnitudes das anomalias em positivas e negativas. O mesmo é calculado pelas seguintes fórmulas:

- Para meses ou anos com anomalias positivas: $RAI = 3 \left[\frac{(p - \bar{p})}{(\bar{m} - \bar{p})} \right]$
- Para meses ou anos com anomalias negativas: $RAI = -3 \left[\frac{(p - \bar{p})}{(\bar{x} - \bar{p})} \right]$

Sendo,

p, a pluviosidade observada (mm);

\bar{p} , a pluviosidade média (mm);

\bar{m} , a média dos dez valores mais altos de pluviosidade da série temporal e escala (mensal ou anual) utilizados;

\bar{x} , a média dos dez valores mais baixos de pluviosidade da série temporal e escala (mensal ou anual) utilizados.

No entanto, para saber se o valor da pluviosidade observada (p) se encaixa na fórmula das anomalias positivas ou na equação das anomalias negativas, é necessário comparar a mesma com a pluviosidade média (\bar{p}), ou seja, se p foi maior que \bar{p} , aplica-se a primeira equação e se p foi menor que \bar{p} , emprega-se a segunda equação. Após a determinação do RAI para os valores de pluviometria, os mesmos são classificados nos grupos (Quadro 3):

Quadro 3. Valores do Índice de Anomalia de Chuva (RAI) e categorias de seca ou umidade

Valores do RAI	CATEGORIAS
$\geq + 4,00$	Extremamente Úmido
+ 2,00 a + 3,99	Muito Úmido
+ 1,99 a 0	Úmido
0 a - 1,99	Seco
- 2,00 a -3,99	Muito Seco
$\leq - 4,00$	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Rooy (1965).

Tais ferramentas foram aplicadas no *Microsoft Office Excel 2016* para os totais anuais e mensais de cada posto pluviométrico.

ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS

As tendências pluviométricas são as modificações graduais (tanto de aumento quanto de redução) no comportamento das chuvas ao longo dos anos. Pelo fato de a Região Hidrográfica do Rio São Francisco apresentar significativa diversidade físico-natural, a aplicação de ferramentas estatísticas para detecção e análise de tendências dos índices pluviométricos é de significativa utilidade para o planejamento e gestão dos recursos naturais e das atividades humanas e também para auxiliar outros estudos sobre a temática. Como já citado, este estudo utilizou três ferramentas: Regressão Linear, Teste de Mann-Kendall e Teste do Sinal.

Numa visão geral, os resultados de tais testes confirmam que a maioria dos postos pluviométricos utilizados registrou alguma tendência na pluviometria (Quadro 4) e que a tendência predominante em todos os métodos indica diminuição dos índices pluviométricos, tanto no total anual quanto nos meses do ano.

Vale expor que a região hidrográfica possui uma porcentagem de ocorrências de tendência negativa nos meses do ano de aproximadamente 66% contra cerca de 29% de resultados positivos. E com relação aos totais anuais a porcentagem situa por volta dos 79% para a tendência negativa e próximo de 14% para a tendência positiva.

Levando-se em consideração os resultados separados da Regressão Linear, do Teste de Mann-Kendall e do Teste do Sinal, a porcentagem das tendências negativas para os meses do ano como um todo são respectivamente 75%, 70% e 54% e para os totais anuais são de 90%, 85% e 62%, respectivamente. Em contrapartida,

Soares et al. (2018), num estudo sobre indicadores climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajéu (PE), constataram que dos 12 postos pluviométricos analisados (de 1965 a 2014) dez apresentaram tendência negativa, mostrando que a altura anual de chuvas está diminuindo e que “a redução dos valores do Índice de Aridez (IA) podem indicar uma mudança da categoria do semiárido (IA entre 0,20 e 0,50) para árido (0,05 a 0,20)” (p. 371).

Projeções apresentadas por Marengo et al. (2007) para o Nordeste brasileiro indicam que praticamente todos os modelos utilizados convergiram numa situação de clima mais seco.

Conforme estudo de Silveira et al. (2016), utilizando as projeções de precipitação e temperatura dos modelos globais do CMIP5 (*Couple Model Intercomparison Project Phase 5*), na Região Hidrográfica do Rio São Francisco “todos os modelos apresentaram tendência positiva para a temperatura no período de 2011 a 2100 e divergem quanto ao futuro das precipitações. Apesar dessa divergência, o conjunto de modelos projetam anomalias entre -20% e 20% em cada período de 30 anos” (p. 426) na variável chuva. E concluem dizendo que as divergências dos modelos analisados corroboram com o alto nível de incertezas nas projeções do CMIP5, mas que mesmo assim as mesmas ajudam a definir possíveis cenários futuros de precipitação e temperatura, que podem ser utilizados nas políticas e gestão da Região Hidrográfica do Rio São Francisco.

Mais especificamente com relação aos resultados sobre o total anual é plausível afirmar que as sub-bacias 43, 44, 45 e 47 não tiveram nenhuma ocorrência de tendência positiva em nenhum dos métodos utilizados na pesquisa aqui relatada. Ademais, em exceção às sub-bacias 48 e 49, em todas as outras sub-bacias prevalece a tendência negativa em todos os testes. Na sub-bacia 48 o teste do sinal teve a mesma quantidade de ocorrências positivas e negativas e quatro ocorrências ditas “normais”. E na sub-bacia 49, houve também o mesmo total de ocorrências positivas e negativas no teste de Mann-Kendall e no teste do sinal prevalece a tendência positiva em relação à negativa.

Com relação ao total de ocorrências mensais, na Regressão Linear a maioria das sub-bacias possuem uma porcentagem de ocorrência de tendência negativa acima de 70%, exceto nas sub-bacias 47, 48 e 49. Destaca-se que as sub-bacias 42 e 44 têm respectivamente, 84% e 82% de eventos negativos. Há uma maior tendência de diminuição da pluviometria no alto e médio São Francisco, se comparado com o sub-médio e baixo São Francisco. Nas tendências positivas deste teste a porcentagem está entre 16% e 31%, a não ser na sub-bacia 49 que teve 50%.

Já no teste de Mann-Kendall todas as sub-bacias apresentam uma porcentagem de ocorrências mensais com tendência negativa entre 58% a 77%, dando destaque também às porções do alto e médio São Francisco. E nas tendências positivas a porcentagem está em torno de 23% a 39%, à exceção da sub-bacia 49 que tem 58%. Neste teste vale ressaltar que a classe “normal” (que a tendência é de manutenção) não teve resultados expressivos, ou seja, a porcentagem ficou em torno de 0 a 3%.

No Teste do Sinal os resultados se mostram menos discrepantes entre as classes positiva, normal e negativa que em relação aos outros dois métodos. A porcentagem do total de tendência negativa gira em torno de 40% a 64%, na tendência positiva é entre 25% a 46% e a classe normal ficou em torno de 8% a 19%.

Tal como abordado anteriormente, há uma diminuição das chuvas na Região Hidrográfica do Rio São Francisco no intervalo deste estudo (1976-2015). Pode-se afirmar que dos 12 meses do ano, em 11 meses foram constatadas a predominância

no decréscimo da pluviometria na Regressão Linear e 10 meses em cada um dos outros dois testes.

Os meses com significativas ocorrências de diminuição da pluviometria na região hidrográfica nos três testes são Janeiro, Fevereiro, Julho e Setembro, além do total anual. Em contrapartida, os meses com expressivas ocorrências de aumento pluviométrico nas três ferramentas são Março e Novembro.

De modo geral, os resultados por mês nos três testes são relativamente similares. Nesta lógica, destaca-se que os produtos finais com maior similaridade nos resultados entre as ferramentas estatísticas utilizadas são Janeiro, Fevereiro, Março, Julho, Agosto e Dezembro e os resultados mais discrepantes entre os métodos ocorrem nos meses de Maio, Junho e Novembro. Em específico ao mês de Julho os resultados dos três testes deram iguais, salvo na sub-bacia 48, que possui a mesma quantidade de ocorrências positivas e negativas no Teste do Sinal.

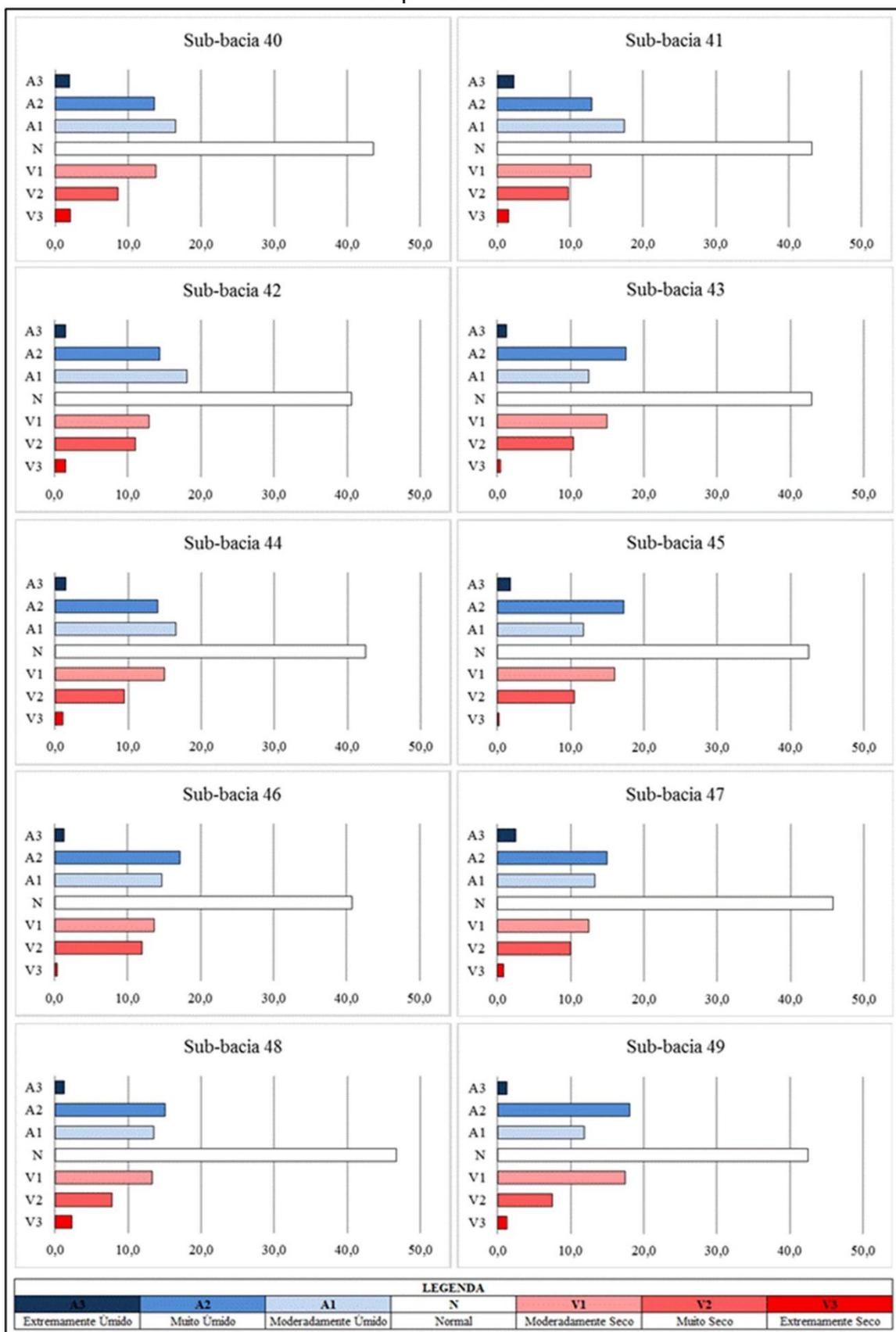
Apesar do grande desafio matemático e computacional de se propor modelos e/ou métodos que realmente possam identificar tendências climáticas, e também levando em consideração a incerteza da ação humana futura, as três ferramentas estatísticas utilizadas nesta pesquisa têm fácil manuseio e se mostraram bastante coerentes entre si. Embora os três testes aqui aplicados sejam amplamente utilizados em estudos de tendências climáticas, as análises feitas neste artigo representam apenas possibilidades de eventuais mudanças no clima. Se considerarmos que a tendência de diminuição da pluviometria na área de estudo é um fato, deve-se estudar cada vez mais suas repercussões locais para minimizar suas consequências.

AVALIAÇÃO DOS EVENTOS DE EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS

A frequência de extremos pluviométricos em termos de totais anuais pode ser analisada por meio dos produtos do SPI e do RAI nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Percebe-se, em relação ao SPI, que em todas as sub-bacias a porcentagem de ocorrência de eventos ditos normais (N) é acima de 40% e que as porcentagens de episódios de anomalias mais extremas variam entre 1,3 a 2,5% nos extremamente úmidos e 0,3 a 2,3% nos extremamente secos. A porcentagem das outras classes muito úmido (A2), moderadamente úmido (A1), muito seco (V2) e moderadamente seco (V1), em grande parte das sub-bacias têm mais que 10%, dando destaque as sub-bacias que possuem mais que 15% de ocorrências, mais presentes nas classes A2 e V1.

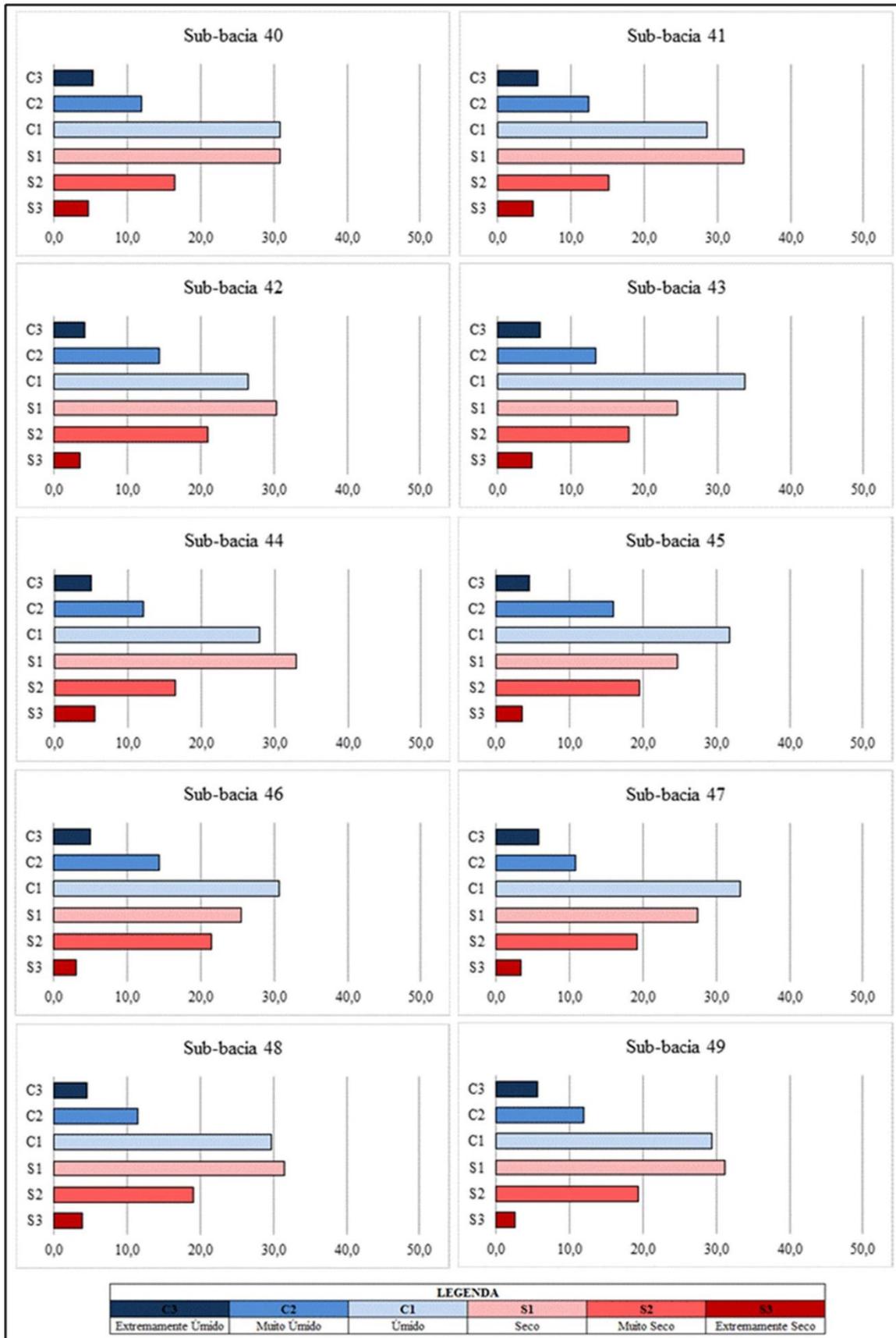
Em relação aos resultados do RAI é presumível verificar que as classes úmido (C1) e seco (S1) possuem as porcentagens mais significativas que se comparado as outras classes em todas as sub-bacias, estando em grande maioria acima de 28%. Pode ser observado também que a medida que percorre-se as classes até os extremamente úmidos (C3) e secos (S3) a porcentagem de ocorrências vai diminuindo.

Figura 3. Porcentagem (%) do nº de ocorrências nos totais anuais por classes do SPI por Sub-bacia



Fonte: Organizado pelos autores

Figura 4. Porcentagem (%) do nº de ocorrências nos totais anuais por classes do RAI por Sub-bacia



Fonte: Organizado pelos autores

Comparando os resultados das classes extremas dos métodos SPI e RAI nota-se que a porcentagem dos extremos úmidos e secos é maior no RAI que no SPI. Mas, ambas as ferramentas matemáticas demonstram que os eventos expressivos estão relativamente distribuídos na série temporal utilizada (1976-2015). E também é verificado que a ocorrência de anos normais é mais expressiva no SPI do que no RAI.

Em relação às anomalias positivas e negativas mensais, também observadas através dos resultados do SPI e do RAI (Quadros 5 e 6, respectivamente), pode-se evidenciar quanto aos produtos do SPI que 45% do total de ocorrências mensais são normais e que a diferença de porcentagem do somatório dos episódios úmidos e secos é de apenas 5% e que há mais eventos nas classes subsequentes da classe normal e diminui bastante nas classes extremamente úmido (A3) e extremamente seco (V3).

Ao analisar o SPI por sub-bacia nota-se que o padrão observado para a região hidrográfica é o mesmo para praticamente todas as sub-bacias, exceto na 44, 45 e 46. Nestas pode-se averiguar que a porcentagem de ocorrências na classe normal (N) é menor e que na classe moderadamente úmido (A1) é maior.

Nos meses de Maio a Setembro a porcentagem de ocorrência de eventos na classe extremamente seco (V3) é praticamente nula. Já nos meses de Junho e Agosto são os que apresentam as maiores porcentagens de episódios, sendo estes localizados na classe normal (N). Além disso, pode-se observar que os meses de Junho, Julho e Agosto apontam uma menor porcentagem de episódios nas classes V1 e V2 em relação aos outros meses e uma maior porcentagem de eventos nas classes A1 e A2.

Já nos resultados do RAI, pode-se verificar que a classe muito seco (S2) é a que apresenta a maior porcentagem de ocorrências dentro da região hidrográfica (37%) e também isso é válido para cada sub-bacia individualmente. Vale ressaltar ainda que, em especial na sub-bacia 47 essa classe apresenta mais que 49% do total de eventos. Devido a esse fato a diferença entre a porcentagem de episódios úmidos e secos é de -24%.

Além do mais, nessa mesma classe (S2), os meses de Junho, Julho e Agosto são os que apresentam as maiores porcentagens de ocorrências mensais com, respectivamente, 59%, 63% e 61%.

Nas classes mais extremas (C3 – extremamente úmido e S3 – extremamente seco), é presumível observar que C3 apresenta 6% do número de eventos na área de estudo e S3 apenas 1%. Esse resultado é verificado também quando se analisa cada sub-bacia, dando destaque à maior diferença entre essas classes na sub-bacia 47, com 6,7% de margem positiva.

E se verificar essas mesmas classes nos resultados das porcentagens mensais é possível dizer que os meses de Junho e Julho têm as maiores porcentagens em C3, com 7% e já em S3 esses meses, juntamente com Maio, Agosto e Setembro exibem porcentagem nula.

Quadro 5. Número de Ocorrências Mensais por Classes do SPI por Sub-bacia

SUB-BACIA 40													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	3	6	9	7	6	16	12	8	12	8	18	10	115
A2	181	146	150	147	169	186	203	203	130	152	158	159	1984
A1	243	278	247	241	214	138	166	208	271	257	201	228	2692
N	560	567	612	603	620	715	853	823	621	581	623	625	7803
V1	219	221	207	236	223	393	246	225	169	216	217	217	2789
V2	251	237	227	221	227	32	0	13	268	247	244	210	2177
V3	23	25	28	25	21	0	0	0	8	19	19	31	199
SUB-BACIA 41													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	2	6	3	7	7	17	6	5	6	9	6	12	86
A2	101	73	95	92	98	92	120	120	94	84	92	83	1144
A1	133	157	132	135	133	100	130	116	170	142	135	121	1604
N	359	373	375	356	354	571	555	507	309	366	363	387	4875
V1	132	113	128	147	158	100	63	132	160	139	141	143	1556
V2	139	142	127	135	129	0	6	0	140	127	125	117	1187
V3	14	16	20	8	1	0	0	0	1	13	18	17	108
SUB-BACIA 42													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	2	4	1	3	5	7	8	6	8	2	3	4	53
A2	50	52	42	50	58	55	43	50	50	52	59	52	613
A1	89	79	90	77	68	50	103	61	71	83	69	74	914
N	186	186	212	199	186	368	326	363	190	185	189	199	2789
V1	56	73	52	63	156	0	0	0	123	71	84	69	747
V2	89	79	72	84	7	0	0	0	38	82	70	72	593
V3	8	7	11	4	0	0	0	0	0	5	6	10	51
SUB-BACIA 43													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	2	2	0	0	5	2	6	4	5	3	0	3	32
A2	24	30	24	30	22	29	20	24	19	22	15	25	284
A1	38	36	39	39	31	30	128	31	40	39	58	32	541
N	97	89	106	89	126	179	86	181	92	100	103	104	1352
V1	31	43	32	40	49	0	0	0	84	35	28	41	383
V2	44	38	35	40	7	0	0	0	0	40	30	30	264
V3	4	2	4	2	0	0	0	0	0	1	6	5	24
SUB-BACIA 44													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	1	2	0	0	3	3	3	4	1	1	0	5	23
A2	22	28	20	25	25	20	18	18	26	18	17	20	257
A1	29	22	36	35	21	118	150	91	19	42	38	24	625
N	81	83	88	68	124	59	29	87	127	74	87	87	994
V1	30	36	17	34	27	0	0	0	27	28	30	36	265
V2	36	27	37	37	0	0	0	0	0	36	21	25	219
V3	0	2	2	1	0	0	0	0	0	1	7	3	16
SUB-BACIA 45													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	1	1	0	3	8	9	9	9	4	2	3	5	54
A2	43	57	33	45	38	24	64	29	46	37	43	32	491
A1	62	47	73	54	46	193	298	247	61	71	56	65	1273
N	170	153	188	171	220	174	29	115	276	167	170	176	2009
V1	58	73	34	57	88	0	0	0	13	39	56	62	480
V2	59	66	70	70	0	0	0	0	0	84	71	54	474
V3	7	3	2	0	0	0	0	0	0	0	1	6	19

SUB-BACIA 46													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	1	7	5	3	11	13	14	12	10	1	2	10	89
A2	67	63	51	70	61	50	123	122	64	73	66	54	864
A1	92	81	101	87	66	324	402	407	71	93	91	75	1890
N	248	256	274	254	310	213	61	59	401	231	271	269	2847
V1	92	87	66	74	145	0	0	0	54	98	81	100	797
V2	92	97	92	110	7	0	0	0	0	102	74	82	656
V3	8	8	10	2	0	0	0	0	0	2	15	10	55

SUB-BACIA 47													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	2	0	1	1	2	4	4	2	2	3	0	3	24
A2	11	19	11	13	15	6	45	47	10	11	17	10	215
A1	9	10	18	17	7	44	6	11	48	14	14	14	212
N	58	47	54	48	71	50	65	60	60	77	49	50	689
V1	21	21	15	28	25	10	0	0	0	15	21	19	175
V2	19	23	21	13	0	6	0	0	0	0	19	24	125
V3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

SUB-BACIA 48													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	11	4	1	4	5	11	9	8	10	7	7	6	83
A2	32	45	45	41	43	32	35	41	31	37	41	38	461
A1	48	57	65	58	50	46	60	73	176	51	43	57	784
N	173	167	168	164	179	200	201	226	183	305	187	155	2308
V1	76	53	50	72	88	71	53	52	0	0	110	109	734
V2	59	72	66	60	35	40	42	0	0	0	12	35	421
V3	1	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8

SUB-BACIA 49													
Classes do SPI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
A3	5	0	1	1	3	3	3	2	3	0	1	2	24
A2	10	22	16	20	12	17	14	21	18	20	18	15	203
A1	17	19	26	27	25	18	16	17	22	20	22	23	252
N	77	66	61	60	69	71	81	66	62	87	76	63	839
V1	33	24	25	23	19	23	21	25	36	22	37	50	338
V2	18	29	31	28	30	25	22	29	18	11	6	7	254
V3	0	0	0	1	2	3	3	0	1	0	0	0	10

LEGENDA						
A3	A2	A1	N	V1	V2	V3
Extremamente Úmido	Muito Úmido	Moderadamente Úmido	Normal	Moderadamente Seco	Muito Seco	Extremamente Seco

Fonte: Organizado pelos autores

Quadro 6. Número de Ocorrências Mensais por Classes do RAI por Sub-bacia

SUB-BACIA 40													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	65	76	75	79	87	112	113	91	70	84	84	63	999
C2	238	211	203	163	173	118	119	159	184	176	166	219	2129
C1	367	391	387	401	366	223	209	256	443	391	443	409	4286
S1	415	394	443	398	408	323	234	212	366	432	434	461	4520
S2	360	395	335	425	446	704	805	762	417	371	311	269	5600
S3	35	13	37	14	0	0	0	0	0	26	42	59	226
SUB-BACIA 41													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	48	45	49	56	48	64	58	58	48	51	51	51	627
C2	119	98	107	85	93	50	76	80	102	87	106	97	1100
C1	217	254	245	232	216	125	104	138	226	229	247	253	2486
S1	266	231	254	254	238	140	114	126	207	273	263	278	2644
S2	215	245	208	245	282	501	528	478	297	225	181	170	3575
S3	15	7	17	8	3	0	0	0	0	15	32	31	128
SUB-BACIA 42													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	20	24	29	27	22	34	35	34	27	30	21	24	327
C2	71	61	58	53	61	33	16	33	42	48	68	58	602
C1	135	121	125	107	93	41	39	55	114	124	120	140	1214
S1	123	127	149	146	119	42	38	42	123	132	146	150	1337
S2	126	146	113	146	185	330	352	316	174	146	111	90	2235
S3	5	1	6	1	0	0	0	0	0	0	14	18	45
SUB-BACIA 43													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	12	12	9	14	12	18	14	15	14	13	12	12	157
C2	30	29	42	30	21	14	7	19	25	23	43	28	311
C1	72	60	59	57	44	24	6	24	54	71	65	62	598
S1	51	60	69	63	56	17	13	16	52	64	67	82	610
S2	74	78	59	75	107	167	200	166	95	69	42	46	1178
S3	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	11	10	26
SUB-BACIA 44													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	14	12	12	11	13	15	15	12	14	10	12	8	148
C2	16	20	22	28	15	7	5	9	13	26	26	21	208
C1	50	36	56	46	34	16	10	18	33	48	55	48	450
S1	55	67	57	42	39	9	5	12	43	57	63	73	522
S2	65	63	53	73	99	153	165	149	97	59	37	42	1055
S3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8	17
SUB-BACIA 45													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	28	26	23	27	25	25	22	25	26	20	18	20	285
C2	37	43	45	36	26	6	9	9	36	52	52	49	400
C1	105	72	121	102	59	30	34	29	72	92	125	110	951
S1	114	120	111	110	85	26	15	18	68	119	108	120	1014
S2	116	139	100	125	205	313	320	319	198	117	90	84	2126
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	17	24
SUB-BACIA 46													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	35	38	31	36	44	36	36	41	39	35	33	29	433
C2	62	56	59	62	41	24	11	18	40	64	71	65	573
C1	165	145	159	149	100	45	27	24	117	155	174	159	1419
S1	162	193	202	184	154	32	33	31	95	158	182	194	1620
S2	171	162	140	168	261	463	493	486	309	188	115	136	3092
S3	5	6	9	1	0	0	0	0	0	0	25	17	63

SUB-BACIA 47													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	10	7	8	12	9	8	6	7	7	9	8	7	98
C2	3	14	7	6	8	2	5	5	8	5	12	7	82
C1	34	25	29	31	12	14	14	10	9	13	30	29	250
S1	27	33	39	29	28	17	13	9	12	21	31	36	295
S2	46	41	37	42	63	79	82	89	84	72	38	41	714
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

SUB-BACIA 48													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	21	21	22	25	26	26	20	22	27	29	24	20	283
C2	34	49	49	34	30	22	44	34	15	16	28	36	391
C1	85	109	101	106	87	78	79	65	49	67	79	91	996
S1	123	109	119	102	93	113	109	66	43	46	101	102	1126
S2	137	110	108	131	164	161	148	213	266	242	168	151	1999
S3	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5

SUB-BACIA 49													
Classes do RAI	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Σ DOS MESES
C3	10	10	10	8	11	8	11	10	9	11	10	10	118
C2	6	16	17	17	14	20	11	20	14	13	16	12	176
C1	34	32	39	35	35	38	43	33	36	27	27	34	413
S1	50	51	41	53	55	53	57	54	45	33	34	40	566
S2	60	51	53	46	45	38	33	41	56	76	73	64	636
S3	0	0	0	1	0	3	5	2	0	0	0	0	11

LEGENDA					
C3	C2	C1	S1	S2	S3
Extremamente Úmido	Muito Úmido	Úmido	Seco	Muito Seco	Extremamente Seco

Fonte: Organizado pelos autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento do clima, em especial dos índices pluviométricos, é essencial para o acompanhamento da dinâmica do sistema natural e para a vida humana. Nesta perspectiva, estudos que aplicam ferramentas estatísticas buscando identificar possíveis tendências em tal variável são cada vez mais necessários frente às mudanças climáticas e suas consequências.

No presente artigo as três ferramentas utilizadas para análise de tendências (Regressão Linear, Teste de Mann-Kendall e Teste do Sinal) demonstraram resultados relativamente similares. Constatou-se uma concordância quanto à diminuição da pluviosidade na Região Hidrográfica do Rio São Francisco no intervalo de 1976-2015. Ressalta-se que os meses do ano que apresentaram significativas ocorrências de decréscimo chuvoso nos três métodos foram Janeiro, Fevereiro, Julho, Setembro, além do total anual. E que, em contrapartida, os meses com expressivas ocorrências de aumento na pluviosidade são Março e Novembro.

Quanto às ocorrências de extremos pluviométricos nos totais anuais e nos meses do ano, identificados através do SPI e do RAI, percebeu-se que elas estão presentes na série temporal utilizada e que há maior quantidade de ocorrências de anomalias positivas e negativas nas classes próximas ao normal e que vão diminuindo significativamente nas classes mais extremas.

Os resultados aqui identificados e demonstrados em relação às tendências e extremos pluviométricos na Região Hidrográfica do Rio São Francisco buscam contribuir e demonstrar possibilidades e necessidades de mais estudos sobre as mudanças climáticas, em especial, em escala regional/local. Esta pesquisa é uma forma de colaborar com outros trabalhos científicos sobre a temática e auxiliar as agendas políticas a promover mitigação e adaptação em relação aos possíveis

impactos negativos que a diminuição dos índices pluviométricos e da maior possibilidade de ocorrências de episódios extremos podem acarretar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables**. New York: Dover, 1965. 1046 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponível em **Hidroweb** – Sistema de Informações Hidrológicas: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 2017/2018/2019/2020.

ASSIS, J. M. O. de. **Variabilidade do clima e cenários futuros de mudanças climáticas no trecho submédio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Novembro de 2016. 187f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal do Pernambuco – UFPE, Recife, nov. de 2016.

BACK, A. J. **Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas**. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – **CBHSF** (s.d.). Disponível em:<<http://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>>. Acesso em: jun. 2016.

FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.F. da; AMORIM, A. de O.; CARDOSO, A.S. **Índices para a quantificação da seca. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 244, 2009. 48 p.**

FERREIRA, V. O. **Análise de Tendências em Séries Pluviométricas: algumas Possibilidades Metodológicas**. Revista Geonorte, Manacapuru/AM, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 317-324, 2012.

GARCIA, J. R.; MIYAMOTO, B. C.; MAIA, A. G. **Eventos extremos de precipitação: identificação e análise da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí, São Paulo**. Revue Franco-Bréslienne de Géographie, n. 37, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)**, 2012. Disponível em: <http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-SPM_Approved-HiRes_opt.pdf>. Acesso em nov. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for Policymakers. In.: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T. F.; D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, I.

Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Cambio climático 2014**: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R. K. Pachauri y L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 2014, 157p.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007, 54p.

McKee, T. B.; Doesken, N. J.; Kleist, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: **Conference on Applied Climatology**, 8., 1993, Boston. Anais American Meteorological Society. Boston: Preprints, p. 179-184, 1993.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C.M.C. **Análise de Séries Temporais**. – 2. ed. – São Paulo: Editora Blucher, 2006.

ROOY, M. P.V. **A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space**. Notes, v.14, p.43, 1965.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. **Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SILVA, G. B.; SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. **Cenários de mudanças climáticas no estado da Bahia através de estudos numéricos e estatísticos**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife/PE, v. 05, n. 05, p. 1019-1034, 2012.
<https://doi.org/10.26848/rbqf.v5i5.232891>

SILVA, M. M.; FERREIRA, V. de O. **Análise comparativa do clima de Araçuaí, Pedra Azul e Itamarandiba, na porção mineira da bacia do rio Jequitinhonha**. Revista Caderno de Geografia, Belo Horizonte/MG, v. 21, n. 35, p. 56-73, jan./jun. 2011.

SILVEIRA, C. da S.; SOUZA FILHO, F. de A. de; MARTINS, E. S. P. R.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C.; NOBREGA, M. T.; SOUZA, S. A. de; SILVA, R. F. V. **Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: uma análise para precipitação e temperatura**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre/RS, v. 21, n. 02, p. 416-428, 2016.
<https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p416-428>

SOARES, D. B.; NOBREGA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. **Indicadores Climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajéu, Pernambuco**. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba/PR, ano 14, v. 22, p. 363-380, jan./jun. 2018.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 53 p. (WMO. Technical note, 81).