ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

ÍNDICES DE CONCENTRAÇÃO DE CHUVAS NA REGIÃO SUL DO BRASIL

BACK, Álvaro José – alvarojoseback@gmail.com
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / EPAGRI

SÔNEGO, Márcio – sonego@epagri.sc.gov.br
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / EPAGRI

PEREIRA, Jóri Ramos – jori@unesc.net
Universidade do Extremo Sul Catarinense / UNESC

Submetido em: 15/03/2019
Aceito para publicação em: 29/06/2020
Publicado em: 12/07/2020
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.65466

RESUMO: O conhecimento da distribuição espacial e temporal da precipitação é importante para prevenção de eventos climáticos extremos. O presente estudo teve como objetivo avaliar a variação espacial da concentração de chuvas na região Sul do Brasil. Foram usadas as séries de dados diários do período de 1980 a 2016 de 208 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas, localizadas na região Sul do Brasil. Foram calculados os Índices de Concentração da Precipitação (ICP), baseado em dados mensais, o Índice de Concentração (IC) baseado em dados diários, o Grau de Concentração da Precipitação (PCD) e o Período de Concentração da Precipitação (PCP). Os valores de ICP variaram de 8,4 a 10, indicando distribuição sazonal uniforme. Os valores anuais de IC variaram de 0,50 a 0,60, classificados como médios. Os 25 % dos dias mais chuvosos representaram de 30 a 40 % da precipitação. O PCD variou de 0,1 a 0,30, indicando que na região Sul do Brasil não existe concentração de chuva em época definida. Os valores de PCP indicaram o predomínio de ocorrência do mês mais chuvoso variando de setembro a janeiro, sendo que dezembro foi o mês mais frequente (40%), seguido por novembro (23%).

PALAVRAS-CHAVE: variabilidade climática; precipitação; índices climáticos; eventos extremos.

INDICES OF RAINFALL CONCENTRATION FOR THE SOUTH REGION OF BRAZIL

ABSTRACT: It is important to know the spatial and temporal rainfall distribution to prevent extreme climate events. This study aimed to evaluate the spatial variation of the rainfall concentration for the South Region of Brazil. Were used data of daily rainfall, from 1980 to 2016, of 208 weather stations located in the states of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul, belonging to the National Water Agency. Hence, were calculated the four indices: Precipitation Concentration Index (PCI), based in monthly data; Concentration Index (CI), based in daily data; Precipitation Concentration Degree (PCD); Concentration Precipitation Period (CPP). The PCI values ranged from 8.4 to 10, indicating a uniform seasonal distribution. The annual values of CI ranged from 0.50 to 0.60, classified as medium. The 25% of the rainier days represented 30 to 40% of the precipitation. The PCD ranged from 0.10 to 0.30, indicating that in the southern region of Brazil there is no concentration of rain at certain times of the year. The CPP values indicated a predominance of the rainy month occurrence varying from September to January, with December being the most frequent month (40%), followed by November (23%).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

KEYWORDS: climatic variability; precipitation; climatic indices; extreme events.

INTRODUÇÃO

As chuvas intensas são responsáveis por desencadear os fenômenos hidrológicos como enchentes e inundações e processos geológicos como deslizamentos de terra e erosão do solo. A concentração de chuvas, mesmo quando não caracterizadas como eventos extremos, também pode desencadear esses processos. Li et al. (2014) afirmam que eventos naturais extremos colocam uma pressão econômica importante sobre os governos, e destacam a importância de estudos para caracterizar a precipitação. Vários trabalhos destacam a importância dos estudos de variabilidade espacial e temporal da chuva como base científica para o gerenciamento de recursos hídricos e prevenção de desastres climáticos (ZHANG e QIAN, 2003; CALOIERO, 2014; DENG et al.,2017).

A distribuição desigual da precipitação pode causar enchentes ou secas, erosão do solo e outros desastres relacionados, que afetam a agricultura, produção de pastagens e florestas. Zhao et al. (2016) afirmam que a concentração da precipitação, no espaço e tempo, é muito sensível às mudanças climáticas e pode induzir a ocorrência de fenômenos climáticos extremos mais frequentes.

Dessa forma, estudar a variação temporal e espacial da concentração da precipitação é de grande importância para ajudar a enfrentar os riscos climáticos, que podem ser agravados com as mudanças climáticas, e entender a regularidade e a ação dos mecanismos de mudanças climáticas (GU e ANDLER, 2015).

Muitos estudos são realizados com objetivo de caracterizar o padrão de distribuição das chuvas ao longo do ano e os riscos de ocorrência de excessos ou secas. Destacam-se trabalhos realizados avaliando eventos extremos usando dados diários baseados nas médias móveis, usados com frequência na climatologia. Com relação a chuvas intensas, a maioria dos estudos é realizada como objetivo de caracterizar os eventos extremos para efeito de dimensionamento de obras de drenagem. Estes trabalhos, em geral, são baseados nas séries de máximas anuais de chuva, que não caracterizam a variabilidade temporal e também não levam em consideração a concentração das chuvas em determinados períodos do ano. No entanto, estudos abordando a concentração de chuvas ainda são escassos no Brasil. Coscarelli e Coloiero (2012) afirmam que a maior concentração de precipitação tem o potencial de causar inundações e fenômenos de seca, que deverão impactar consideravelmente os recursos hídricos.

A variabilidade temporal das chuvas tem sido geralmente calculada e resumida em base mensal, sazonal ou anual, por estatísticas descritivas, utilizando-se principalmente o valor médio, a amplitude, a variância e o coeficiente de variação. Martin-Vide (2014) ressalta que embora a caracterização da precipitação média mensal forneça valiosas informações sobre a precipitação em um território, estes dados não fornecem informações sobre a frequência, nem o número de dias chuvosos.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A concentração de chuva em alguns períodos pode indicar maior risco de ocorrência de eventos como erosão, inundação, deslizamento e, por outro lado, ocorrência de secas em outros períodos (SANTOS et al., 2010; RAZIEI et al., 2008). Alguns índices são utilizados para caracterizar a distribuição da precipitação baseados nos valores mensais de chuva, como o Índice de Concentração da Precipitação (ICP), proposto por Oliver (1980). Seu uso é recomendado, pois fornece informações sobre variabilidade total de longo prazo na quantidade de precipitação recebida (MICHIELS et al., 1992). O ICP permite quantificar a distribuição relativa dos padrões de precipitação e estimar a sazonalidade da precipitação (COSCARELLI e CALOIERO, 2012), podendo ser calculado para escalas anuais e sazonais, tanto para estações chuvosas quanto secas. Quanto maior o seu valor, maior a concentração da precipitação. No entanto, os valores mensais de ICP calculados com dados mensais podem não refletir a concentração da chuva em eventos de curta duração.

Para Nery et al. (2017), a precipitação é uma das variáveis mais importantes associadas à monção em qualquer lugar do mundo e a quantidade de chuva em uma semana ou mês varia muito. Martin-Vide (2004) propôs o uso do Índice de Concentração (IC) para detectar a distribuição espacial da concentração diária de precipitação na Espanha. Índices de Concentração acima de 0,60 mostram um dos traços característicos da chuva de monção, que é a alta concentração. Os autores afirmam também que o IC permite entender a irregularidade da chuva diária, e que este índice é um indicador sintético que resume todos os eventos diários de precipitação.

O Grau de Concentração da Precipitação (PCD) é um índice utilizado para expressar a distribuição da precipitação total ao longo dos 12 meses do ano (XIE et al., 2005). Seu valor varia de 0 a 1. Valores próximos de 0 representam chuvas mais distribuídas, enquanto valores próximos de 1 indicam que a chuva está concentrada em um período abreviado.

O Período de Concentração da Precipitação (PCP) refere-se ao mês em que o total de precipitação dentro de um ano se concentra. O PCP também é uma quantidade estatística, dada em graus, que mede o mês em que o total precipitado foi concentrado no ano. Simões et al. (2018) utilizaram o Grau de Concentração da Precipitação e o Período de Concentração da Precipitação para estabelecer o zoneamento das precipitações homogêneas com 180 estações pluviométricas da Bahia. Araújo et al. (2015) utilizaram os índices PCD e PCP para determinar áreas homogêneas de precipitações no estado do Rio Grande do Norte.

A Região Sul do Brasil localiza-se em grande parte ao sul do Trópico de Capricórnio, com exceção de pequena porção do norte do Estado do Paraná. A posição subtropical e o relevo acidentado conferem contrastes nos regimes de precipitação, apresentando um típico regime de monção ao nordeste do Estado do Paraná, com estação chuvosa iniciando-se na primavera e terminando no início do outono (GRIMM, 2009). Ao sul da região as chuvas são mais bem distribuídas ao longo do ano, regime mais característico de latitudes médias (GRIMM, 2009). Na costa leste, notadamente no litoral do Paraná e nordeste de Santa Catarina, a Serra do Mar produz efeito orográfico e aumento significativo de precipitação, especialmente no verão. Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) contribuem para as máximas de precipitações na primavera e verão ao noroeste do Rio Grande do Sul, Oeste de Santa Catarina e Sudoeste do Paraná.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo analisar a variação espacial da concentração da chuva na região sul do Brasil, através dos seguintes índices climáticos: Índices de Concentração da Precipitação (ICP), baseado em dados mensais, o Índice de Concentração (IC) baseado em dados diários, o Grau de Concentração da Precipitação (PCD) e o Período de Concentração da Precipitação (PCP).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados os dados diários de 208 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), localizadas na Região Sul do Brasil (Figura 1). Foram analisadas as séries de dados diários do período de 1980 a 2016. As falhas nos totais mensais foram preenchidas pelo método da ponderação regional (TUCCI, 2015), considerando três estações próximas. Para os índices baseados em dados diários foram ignorados os dados faltantes, uma vez que estas falhas representavam menos de 5% dos dados.

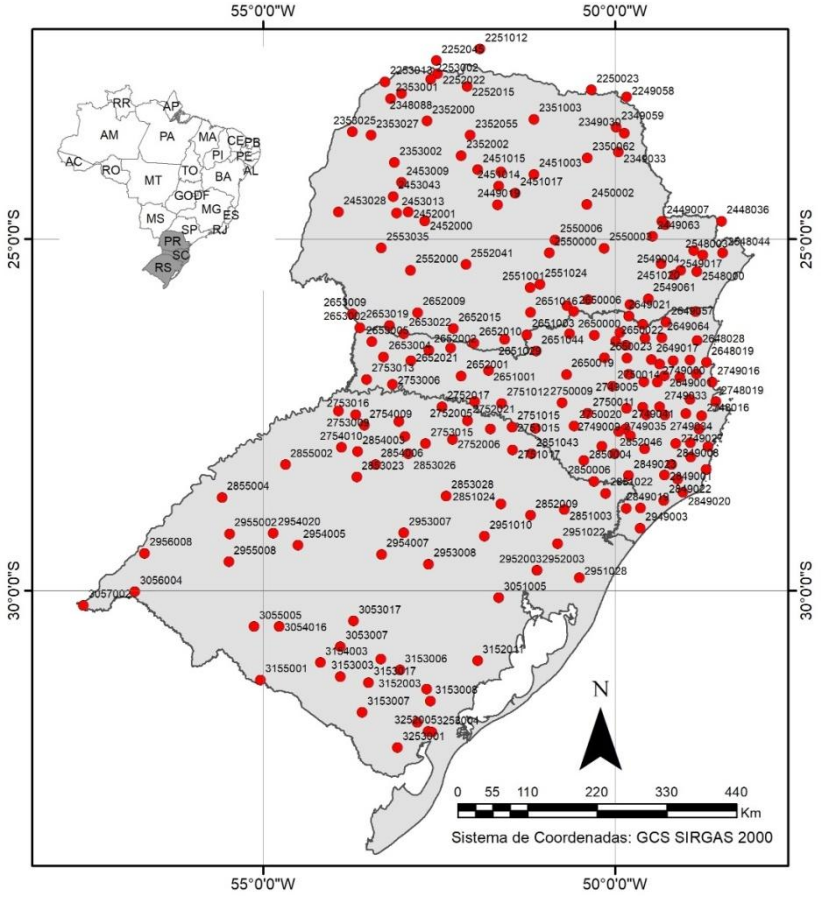

Figura 1 - Distribuição das estações pluviométricas.

Foi elaborado um programa de computador específico para a análise dos dados e cálculos deste trabalho. O ICP foi calculado de acordo com a equação:

$$\mathrm{ICP} = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{12} p_i\right)^2} \qquad (1)$$

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

onde, p_i é a precipitação mensal no mês i.

O menor valor do ICP é de 8,3, indicando perfeita uniformidade na distribuição da precipitação. Assim como, valores próximos de 16,7 indicam que a precipitação total foi concentrada em metade do período e valores de ICP acima de 25, que a precipitação total ocorreu em 1/3 do período. Isto significa que o total anual da precipitação ocorre em quatro meses, e da mesma forma com ICP maior que 25, a precipitação supra sazonal ocorre em dois meses e a precipitação sazonal ocorre em um mês (LUIS et al., 2011).

Segundo Oliver (1980), os valores de ICP abaixo de 10 sugerem distribuição regular da precipitação mensal. Valores acima de 10 indicam distribuição irregular, sendo a irregularidade classificada como: baixa irregularidade, para valores entre 11-15, média irregularidade para valores entre 16-20 e alta irregularidade para valores acima de 20. Michiels et al. (1992) definiram a concentração sazonal da precipitação de acordo com os valores de ICP da Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do índice de concentração da chuva.

ICP	Classe de Concentração sazonal (Michiels et al., 1992)	Distribuição da chuva (Oliver, 1980)
≤10	Uniforme	Regular
10 < ICP ≤ 15	Moderadamente sazonal	Baixa irregularidade
16 < ICP ≤ 20	Sazonal	Média irregularidade
>20	Fortemente sazonal	Alta irregularidade

Para calcular o IC foi utilizada a metodologia proposta por Martin-Vide (2004), que consiste em determinar as contribuições relativas das precipitações diárias. As chuvas são classificadas em intervalo de classe de 1 mm e foram determinadas as porcentagens de dias de precipitação (X) com as porcentagens das quantidades de chuva (Y). A curva exponencial, denominada de curva de precipitação normalizada (MARTIN-VIDE, 2004; WANG et al., 2013; SANGÜESA et al, 2018) é representada por:

$$Y = ae^{bX} \quad (2)$$

Em que: Y é o percentual da quantidade de chuva; X é o percentual dos dias de chuva; e = base do logaritmo neperiano (e =2,7182818); a e b são coeficientes que podem ser obtidos pelas equações 3 e 4 (MARTÍN-VIDE, 2004):

$$a = e\left\{\frac{\sum X_i^2 \sum \ln Y_i + \sum X_i \sum X_i \ln X_i - \sum X_i^2 \sum \ln X_i - \sum X_i \sum X_i \ln Y_i}{N\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}\right\} \quad (3)$$

$$b = \frac{N\sum X_i \ln Y_i + \sum X_i \sum \ln X_i - N\sum X_i \ln X_i - \sum X_i \sum \ln Y_i}{N\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (4)$$

Com a equação 2 ajustada é determinada a curva de concentração, a qual é traçada com ambos os eixos variando entre 0,0 e 100,0%, totalizando uma área (A) de 10.000, que pode ser determinada por (SARRICOLEA; MARTIN-VIDE, 2014):

$$A = \left[\frac{a}{b}e^{bx}\left(x - \frac{1}{b}\right)\right]_0^{100} \quad (5)$$

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O IC pode ser definido pela equação:

$$\mathrm{IC} = \frac{5000-A}{5000} \quad (6)$$

O valor de IC encontrado pode ser classificado conforme a tabela 2. Foram obtidos os percentuais de precipitação constituídos por 25% dos dias mais chuvosos, denominadas de PP25.

Tabela 2 - Classes do índice de concentração (MARTIN-VIDE, 2004).

IC	Classificação
≤ 0,50	Baixo
0,50 a 0,60	Médio
0,60 a 0,70	Alto
≥ 0,70	Muito alto

.

O PCD e PCP foram propostos por Zhang et al. (2003) para medir a distribuição e a data de pico da chuva. O PCD pode refletir a concentração da chuva durante um determinado período do ano. Tomando como exemplo, se a precipitação anual ocorre somente em um mês do ano, então a razão da componente sintética em relação à precipitação anual seria 1, isto é, PCD obteria o valor máximo. Caso contrário, se cada precipitação mensal for a mesma em um ano, as duas somatórias dos componentes aditivos separados em direções horizontais e verticais devem ser adicionadas até zero e o PCD atinge o mínimo. O PCP, por outro lado, é o ângulo de direção do componente sintético total, e apenas aponta o efeito total do vetor sintetizado (Tabela 3). Além disso, o PCP indica em qual mês a chuva máxima aparece durante um ano. De maneira geral o PCP é consistente com o período real da precipitação mensal máxima em um ano (LI et al., 2011).

Tabela 3 - Ângulo de direção do componente sintético (PCD).

Mês	PCP (°)
Janeiro	0
Fevereiro	30
Março	60
Abril	90
Maio	120
Junho	150
Julho	180
Agosto	210
Setembro	240
Outubro	270
Novembro	300
Dezembro	330

Considerando a precipitação mensal como um vetor com projeções horizontais (Rx) e verticais (Ry), o PCD e PCP podem ser obtidos por:

$$\theta_i = 360\frac{i}{n} \quad (7)$$

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

$$R_{xi} = \sum_{j=1}^{N} r_{ij} sen(\theta_j) \quad (8)$$

$$R_{yi} = \sum_{j=1}^{N} r_{ij} Cos(\theta_j) \quad (9)$$

$$PCD_i = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i} \quad (10)$$

$$\alpha_i = arctan\left(\frac{R_{xi}}{R_{yi}}\right) \quad (11)$$

$$D_i = \begin{cases} \alpha_i, \ se\ R_{yi} \ \geq 0, R_{xi} \ \geq 0 \\ \alpha_i + 360, \ se\ R_{yi} \ \geq 0, R_{xi} \ < 0 \\ \alpha_i + 180, \ se\ R_{yi} \ < 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$PCP_i = D_i\left(\frac{N}{360°}\right) \quad (13)$$

Em que i se refere ao ano; j é o dia do ano; Ri é a quantidade de chuva no ano; r_{ij} é a precipitação no dia j e ano i; D_i é o azimute de PCD; N = dias do ano (365 para ano não bissexto e 366 para ano bissexto); θ_i representa o respectivo angulo do mês correspondente

Liu et al. (2016) determinaram um índice de classificação para a heterogeneidade da precipitação baseada na PCD, indicando que este índice cientificamente robusto pode ser usado para avaliar com precisão a heterogeneidade da precipitação em toda a região de estudo (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação da heterogeneidade da precipitação (Adaptado de LIU et al., 2016).

Classe	Tipo	PCD
1	Centralização elevada	PCD > 0,800
2	Centralização moderada	0,721 < PCD ≤0,800
3	Centralização leve	0,647 < PCD ≤ 0,721
4	Normal	0,476 ≤ PCD < 0,647
5	Dispersão leve	0,384 ≤ PCD < 0,476
6	Dispersão moderada	0,270 ≤PCD < 0,384
7	Alta dispersão	PCD < 0,270

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de ICP para a região Sul do Brasil variaram de 8,4 a 10,0 (Figura 2), o que segundo Oliver (1980), indica distribuição sazonal uniforme, e Michiels et al. (1992) classificam como concentração uniforme. Os maiores valores são observados no Norte do estado do Paraná e os menores no sudeste do estado do Rio Grande do Sul. Essas variações sazonais e espaciais no ICP podem ser explicadas pela atuação de mecanismos responsáveis pela formação das chuvas na região Sul do Brasil. Grimm (2009) destaca na região Sul do Brasil há distribuição aproximadamente uniforme de chuvas ao longo do ano, com chuvas mais fortes no inverno.

O ICP tem sido utilizado juntamente com o índice de Fournier Modificado na identificação de áreas com risco de erosão (JORDÁN; BELLINFANTE, 2000). No entanto, Back et al. (2016) já constataram que o ICP mostrou pequena variação espacial e sazonal no estado de Santa Catarina, caracterizando a distribuição de chuvas como uniforme, e por isto os autores concluíram que este

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

índice não se mostrou adequado para indicar a variação espacial de características relacionadas à chuva daquele Estado.

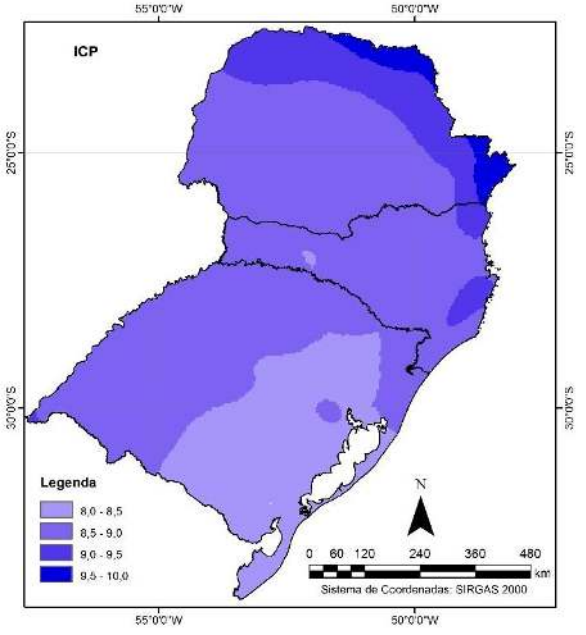

Figura 2 - Valores de ICP para a região Sul do Brasil.

Os valores anuais do índice de concentração (IC) da chuva na Região Sul do Brasil variaram de 0,50 a 0,60 (Figura 3A), classificados como médios. Nos trimestres AMJ (Figura 3C) e JAS (Figura 3D) observa-se maior variação dos valores de IC. No trimestre AMJ (Figura 3C) foram registrados valores mais altos de IC, especialmente no Litoral Norte de Santa Catarina e Litoral Sul do Paraná.

Grimm (2009) destaca que na estação do verão ocorre aquecimento da superfície e condução de umidade para o interior do continente, o que tende a instabilizar a atmosfera, aumentando os processos convectivos, resultando em chuvas intensas mais ao norte da região Sul. Tanto no verão como nas estações de transição os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) são frequentes e responsáveis por grande parte da precipitação total. No inverno ocorre maior penetração de frentes no Rio Grande do Sul, provocando maior quantidade de chuvas no Sudeste da região Sul. Na costa leste da Região Sul, especialmente no Paraná, há significativa contribuição do efeito orográfico para a precipitação. No sudeste do Rio Grande do Sul o máximo de precipitação ocorre no inverno, quando as chuvas são resultantes de penetrações frontais associadas a ciclones extratropicais migratórios. No nordeste da Região Sul abrangendo o estado do Paraná e de Santa Catarina predomina chuvas de verão com o máximo no trimestre dezembro a fevereiro ou janeiro a março. No oeste da Região Sul a maior precipitação ocorre na primavera, mais ao norte e no outono mais ao sul. Apenas no Rio Grande do Sul o trimestre mais chuvoso é de julho a setembro.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

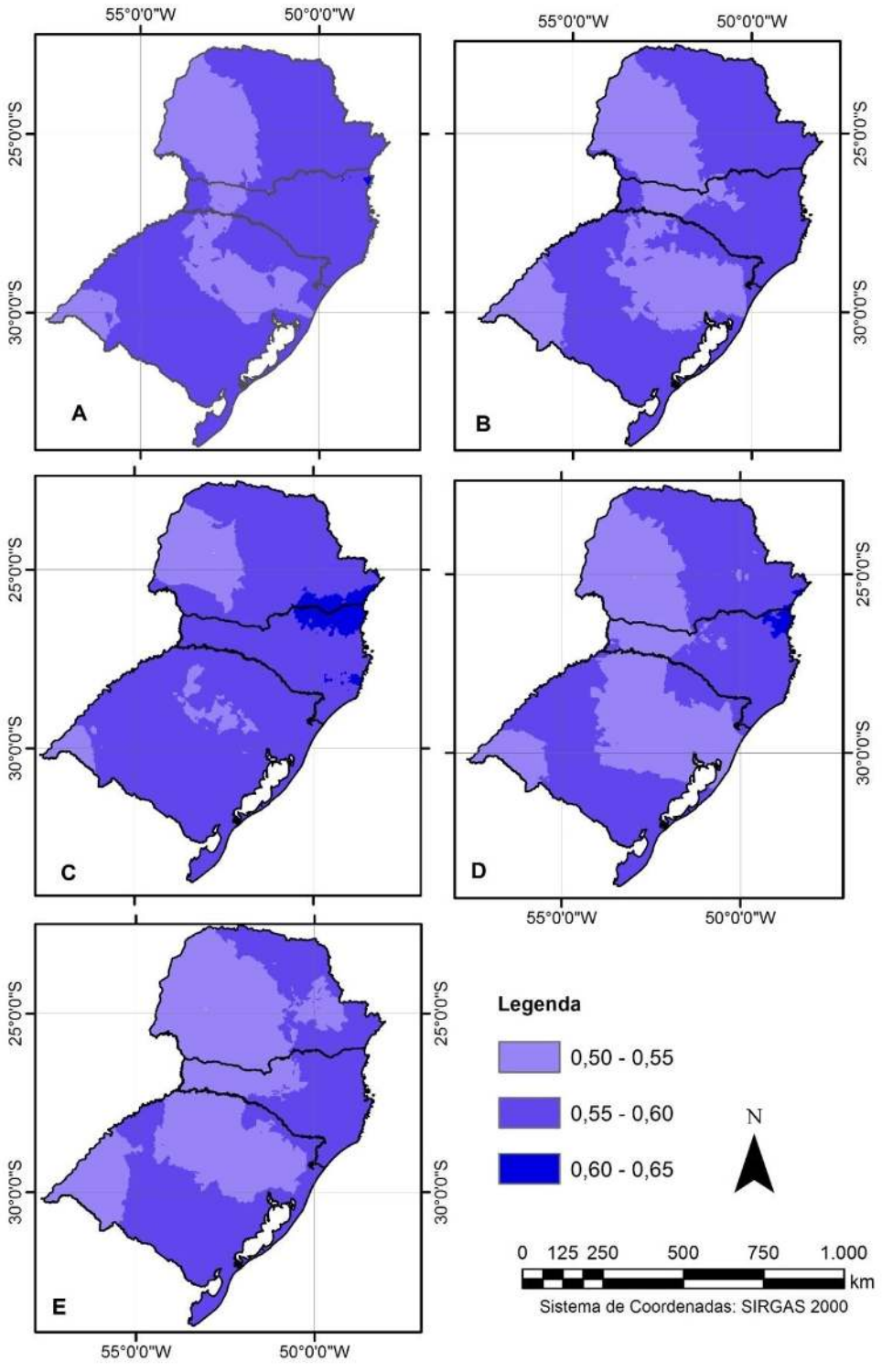

Figura 3 - Índice de Concentração anual (3A) e para os trimestres JFM (3B), AMJ (3C), JAS (3D) e OND (3E) na Região Sul do Brasil.

Coscarelli e Caloiero (2012) encontraram para a região da Calabria, na Itália valores de IC variando de 0,433 a 0,628. Os maiores valores de IC são encontrados próximos aos relevos da região (Serra Chain e Sila Platô). Também

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Colacino et al. (1997) mostraram que a orografia influencia a quantidade de chuvas e sua distribuição sobre a região, que refletem em diferenças nos valores de IC. Hamzah et al. (2016) encontraram valores de 0,54 e 0,58 para duas estações na Malásia. Fragoso et al. (2010) aplicaram o IC para 116 postos pluviométricos de Portugal e 22 postos pluviométricos de Cabo Verde, obtendo valores de IC entre 0,45 e 0,64 para Portugal e, entre 0,77 e 0,92 para Cabo Verde, demonstrando precipitação mais concentrada nessa localidade insular. Nery et al. (2017) analisando dados de 180 estações da Região Sudeste do Brasil encontraram valores acima de 0,54, porém não excedendo a 0,60, que é um limiar entre o IC baixo e o alto, indicando que não há concentração das chuvas. Os autores também observaram que a precipitação tende a ser mais concentrada na direção do polígono das secas, localizada ao norte de Minas Gerais. Com relação aos valores de ICP os autores encontraram valores variando de 12 a 20, classificado como chuva sazonal.

No Estado de São Paulo, onde ocorre maior variação sazonal da precipitação, Nunes et al. (2009) e Rampazo e Nunes (2017) destacam que os pontos que apresentam menor IC estão situados em áreas descritas como mais chuvosas, enquanto áreas com menores montantes de chuva apresentam maiores valores do IC.

Teoricamente, os altos valores de IC estão localizados nas regiões com alta concentração diária de precipitação e, portanto, onde a precipitação tem potencial de gerar impactos como deslizamentos e risco de inundação. Quando o valor de IC excede a 0,61 significa que 25% dos dias mais chuvosos contribuem com quase 70% da chuva total. Nessa condição em locais com alta precipitação, esta chuva é capaz de produzir erosão, principalmente se tiver sido retirada a cobertura vegetal natural para outros usos sem proteção do solo. Se o valor do IC atingir o valor de 0,70, a área deve ser classificada como de alto risco para determinados usos e, em alguns casos, protegida e restaurada.

Observa-se que 25% dos dias mais chuvosos (PP25) representam de 30 a 40% da precipitação, com menores valores no litoral de Santa Catarina e sudeste do Paraná, e maiores valores no oeste do Paraná (Figura 4A). No trimestre JFM (Figura 4B) os 25% dos dias mais chuvosos representam de 25 a 45% da precipitação, com pequena variação espacial, onde os menores valores são encontrados no litoral de Santa Catarina e Sudeste do Paraná. No trimestre AMJ os valores de PP25 variam de 20 a 45%, apresentando também maior variação espacial. Os maiores valores são observados no oeste da região Sul e norte do Rio Grande do Sul. Nos trimestres JAS (Figura 4D) e OND (Figura 4E) observa-se variação espacial semelhante, com menores valores no litoral de Santa Catarina e maiores no oeste do Paraná.

De acordo com Nery et al. (1996), a precipitação no Estado do Paraná, está caracterizada por dois regimes muito bem marcados. Nas regiões nordeste, leste e sudeste, há uma estrutura de máximos no verão, ocorrendo as médias mais elevadas em janeiro. Nas regiões oeste e central ocorre precipitação com distribuição mais uniforme ao longo do ano. No inverno são predominantes as chuvas associadas a influências de sistemas frontais causados pela incursão das massas de Ar Polar (NIMER, 1989), enquanto no verão os sistemas convectivos são os mais atuantes, provocando uma maior variabilidade das estações entre si.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

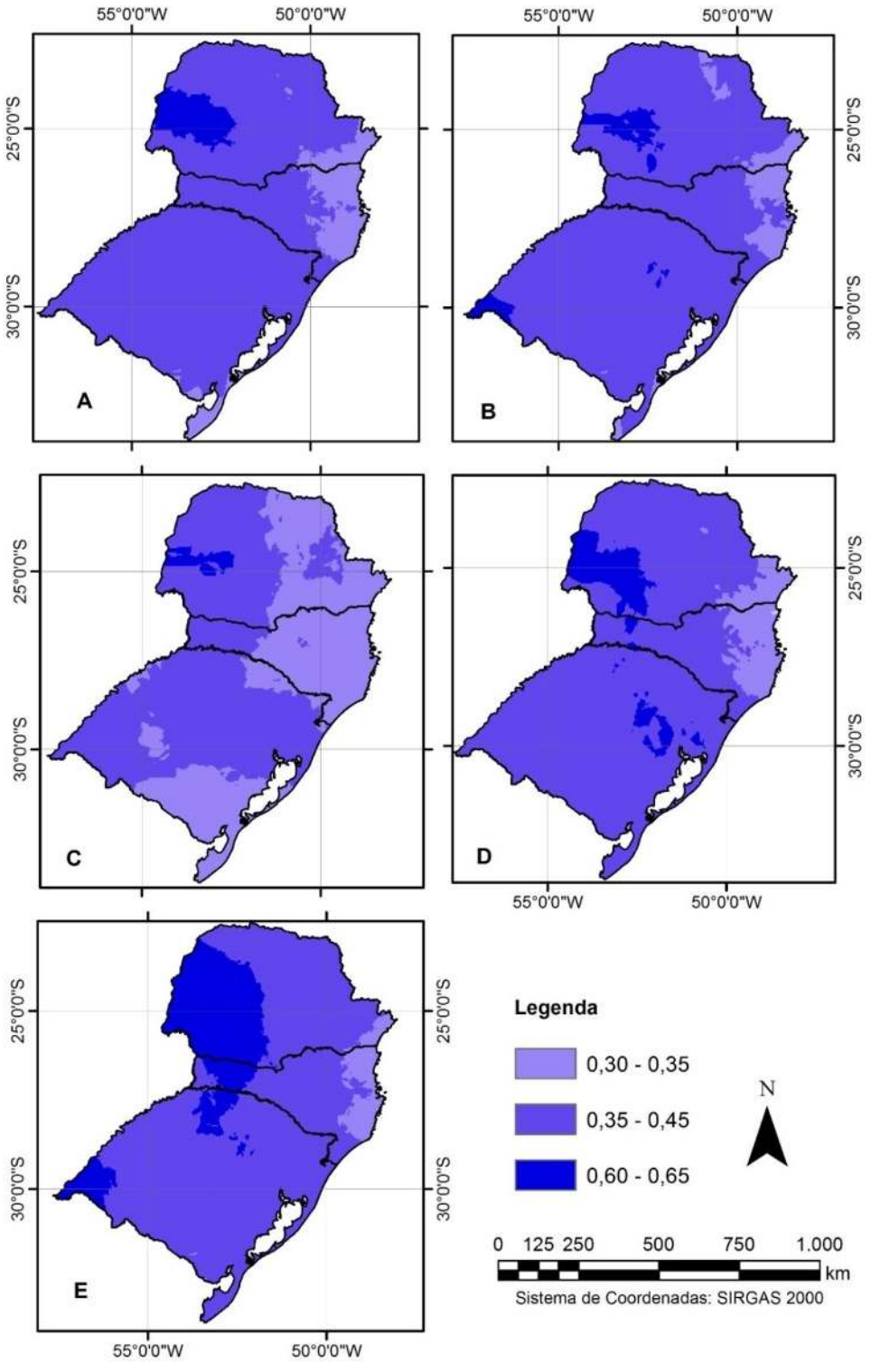

Figura 4 - Valores de PP25 (4A) e para os trimestres JFM (4B), AMJ (4C), JAS (4D) e OND (4E), na Região Sul do Brasil.

Os valores de PCD variam de 0,01 a 0,30 (Figura 5A) indicando que não existe concentração da chuva em uma época definida, isto é a chuva é bem

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

distribuída ao longo do ano, ou conforme classificação de Liu et al. (2016), ocorre alta dispersão na precipitação mensal. Valores maiores que 0,27 somente foram registrados nas estações localizadas no Sul do Estado de São Paulo, e assim aparecem pequenas áreas localizadas no Norte do Paraná (Figura 5B). No estado do Rio Grande do Sul, assim como quase a totalidade de Santa Catarina, os valores de PCD são inferiores a 0,135, indicando que as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, que é característica dos climas subtropicais.

Grimm (2009) explica que a região Sul do Brasil tem saldo positivo médio da precipitação em relação à evaporação, o que indica que a maior contribuição da água precipitada sobre essa região é proveniente de umidade vinda de outras áreas do continente, notadamente do norte/noroeste e do oceano Atlântico. Observando-se os histogramas de precipitação média mensal, se percebe concentração de chuvas no verão em grande parte do Paraná e centro-leste de Santa Catarina, e melhor distribuição ao longo do ano no oeste de Santa Catarina e boa parte do Rio Grande do Sul, onde a tendência é chover mais no inverno/primavera.

Os valores ligeiramente mais altos no litoral de Santa Catarina e Paraná podem ser explicados pelo efeito da Serra do Mar nas chuvas orográficas (GRIMM, 2009). Comportamento semelhantes foi observado por Chandrashekar et al. (2016), que encontraram valores de PCD variando de 0,6 a 0,85 na Índia como efeitos das monções, regime climáticos com chuvas concentradas em certos meses do ano, resultantes da interação oceano-atmosfera.

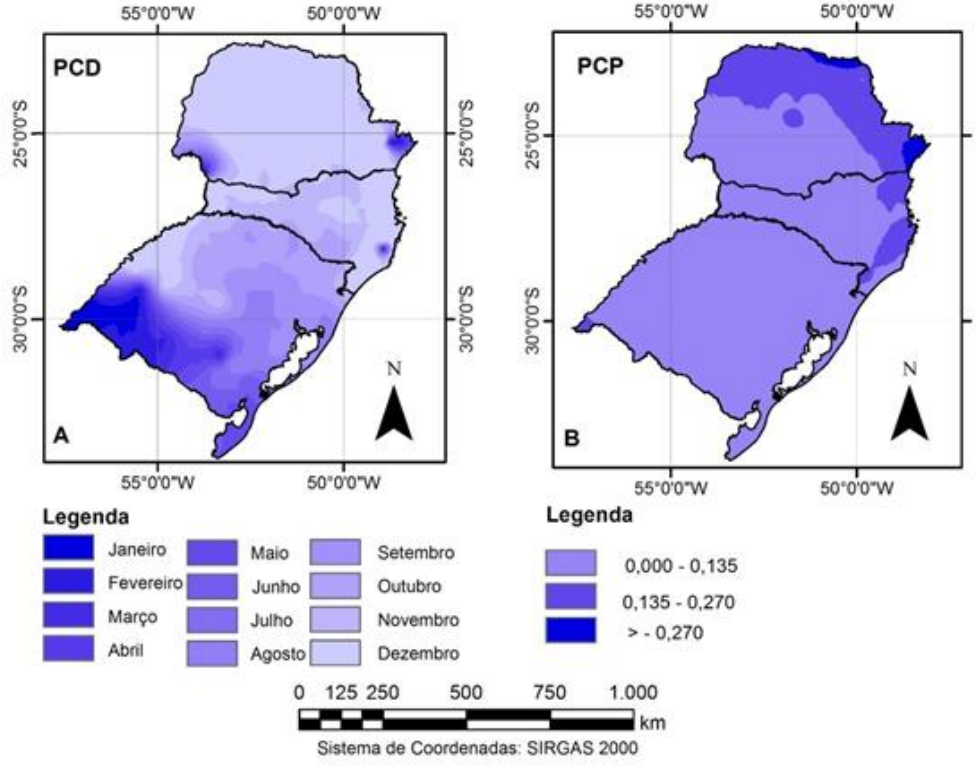

Figura 5 - PCD (A) e PCP (B) para a região Sul do Brasil.

Simões et al. (2018) analisando 180 estações pluviométricas da Bahia encontraram valores de PCD variando de 0,04 a 0,66, indicando a grande

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

diversidade de clima, principalmente relacionado ao regime de precipitação. Com 144 estações pluviométricas observaram que os valores de PCD variaram de 0,46 a 0,76. Os maiores valores indicam as regiões com má distribuição da precipitação.

Zhang e Qian (2003) propuseram o uso do PCD e PCP como parâmetros para representar a distribuição anual da chuva. Os autores observaram que na China os valores de PCD variam de 0,25 a 0,75 e na maior parte varia entre 0,4 a 0,6. Quanto mais chuvosa for a estação, maior o valor de PCD.

Os valores de PCP indicam o predomínio de ocorrência do mês com mais chuvas entre setembro e janeiro (Figura 5B). Também é possível verificar a variação espacial de PCP, onde no Paraná predomina o mês de dezembro, enquanto no Rio Grande do Sul há maior variação da PCP (Figura 5B). Dentre todas as estações pluviométricas analisadas, observou-se maior frequência de PCP no mês de dezembro (40%) (Figura 6), seguido pelos meses de novembro (23%). Em janeiro, setembro e outubro ocorrem de 5 a 10% dos valores de PCP e nos demais meses a frequência é inferior a 5 %. Estes dados estão de acordo com as observações de Nery et al. (1996), que apontaram novembro, dezembro e janeiro, como os três meses mais chuvosos no estado do Paraná. Estes valores de PCD reforçam a necessidade de medidas de proteção do solo contra erosão nos meses de outubro a janeiro

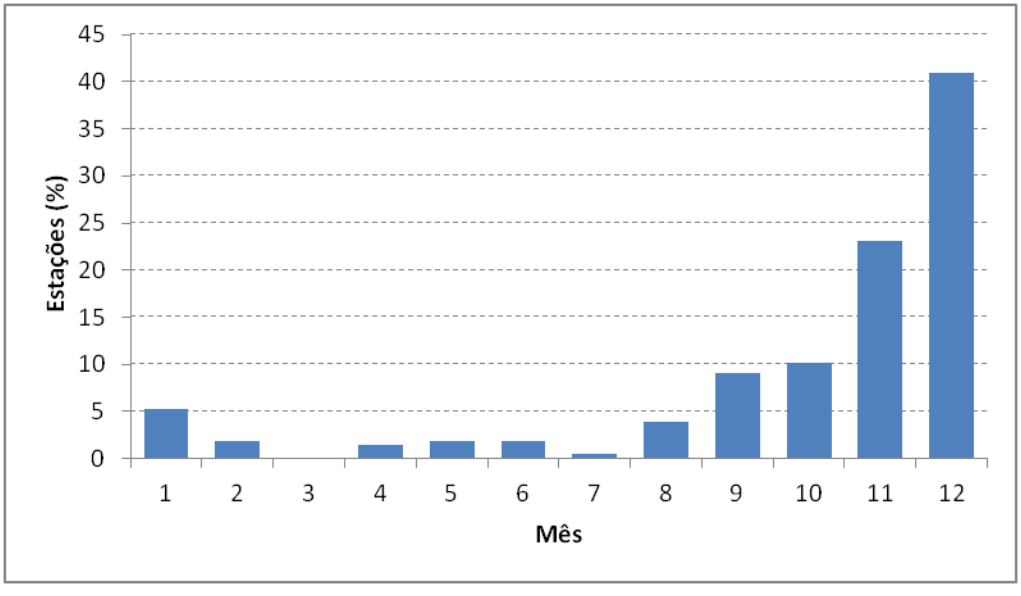

Figura 6 - Frequência de ocorrência de PCP para a região Sul do Brasil.

CONCLUSÕES

O presente estudo utilizou quatro índices para avaliar a concentração da precipitação na Região Sul do Brasil. Índice de concentração da precipitação (ICP) variou de 8,4 a 10, indicando distribuição regular a precipitação.

O Índice de Concentração (IC) variou de 0,50 a 0,60, classificado como médio. As variações sazonais e espaciais do IC refletem as variações dos diferentes mecanismos de formação de chuva na Região Sul do Brasil. Os 25% dos dias mais chuvosos representam de 30 a 40 % da precipitação total;

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Os valores de PCD são inferiores a 0,30, indicando que não existe concentração de chuva em época definida. Os valores de PCP indicam predomínio de ocorrência do mês mais chuvoso variando entre outubro e dezembro, sendo dezembro o mês mais frequente.

REFERENCIAS

ARAÚJO, J. M.S.; MAIA, A. G.; NEVES, J. A. Uso dos índices PCP e PCD na determinação de regiões com precipitação pluvial homogênea. Revista Brasileira de Climatologia, v. 17, p. 119-139, 2015.

BACK, A. J.; GONÇALVES, F.N.; PEREIRA, J. R. Índice de Precipitação Concentrada (IPC) para Santa Catarina. Congresso de Engenharia Ambiental do Sul do Brasil, 2016. p. 1-6

BENHAMROUCHE, A.; MARTIN-VIDE, J. Distribución Espacial de la Concentración Diaria de La Precipitación en la Provincia de Alicante. Investigaciones Geográficas, v. 56, p. 113-129, 2011.

BENHAMROUCHE, A.; MARTIN-VIDE, J. Avances metodológicos en el análisis de La concentración diaria de la precipitación en la España peninsular. Anales de Geografía, v. 32, p. 11-27, 2012.

CALOIERO, T Analysis of daily rainfall concentration in New Zealand. Nat Hazards, v. 72, p.389–404, 2014.

CHANDRASHEKAR, V. D.; SHETTY, A.; YEŞILIRMAK, E. Spatio-temporal Distributions of precipitation Concentration using high Resolution Gridded data over the Western Ghats and West Coast of Karnataka, India. In: Proceedings of international Conference on Hydraulics, Water Resources and Coastal Engineering (Hydro2016), CWPRS Pune, 2016. p. 2188-2197.

COLACINO, M.; CONTE, M.; PIERVITALI, E. Elementi di climatologia della Calabria. IFA-CNR, Rome, Italy. 1997.

COSCARELLI, R.; CALOIERO, T. Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region) Journal of Hydrology, v. 416-417, p. 145-156, 2012.

DENG, S.; LI, M.; SUN, H.; CHEN, Y.; QU, L. ZHANG, X. Exploring temporal and spatial variability of precipitation of Weizhou Island, South China. Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 9, p. 183-198, 2017.

De LUIS, M.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M.; LONGARES, L. A; Precipitation concentrations changes in Spain-1946-2005. Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 11, n.5, p. 1259-1265, 2011.

FRAGOSO, M.; CORREIA, E.; SANTOS, M. Avaliação da concentração diária da precipitação em Portugal Continental e no arquipélago de Cabo Verde. In: FIGUEIREDO, T. de; RIBEIRO; L.F.; RIBEIRO, A.C. CASTRO RIBEIRO (ed). II Workshop Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa, Bragança, Portugal, nov. 2010. Livro de Actas, p. 245-250, 2010.

GRIMM, A.M. Clima da região Sul do Brasil. In:CAVALCANTI, I. F. A. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. P.259-275.

GU, G.; ADLER, R. F. Spatial patterns of global precipitations change and variability during 1901-2010. Journal of climate, v. 28, n. 11, p. 4431-4453, 2015.

HAMZAH, F. M.; ZINAL, N.; JAAFAR, O. Daily precipitation concentration Index in Bangi, Malysia. International Journal of Applied Environmental Sciences, v.11, n.6, p.1537-1548, 20l6.

JORDÁN, A.; BELLNFANTE, N. Cartografia de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo Gibraltar (Cádiz). Edafologia, v. 7, n.3, p.83-92, 2000.

LI, X.; JIANG, F.; LI, L.; WANG, G. Spatial and temporal variability of precipitations concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. International Journal of Climatology, v. 31, p. 1679-1693, 2011.

LIU, Y.; YAN, J.; CEN, M. The relationship between Precipitation Heterogeneity and Meteorological Drought/Flood in China. Journal of Meteorological Research, v. 30, n. 5, p. 758-770, 2016.

MARTÍN-VIDE, J. Spatial Distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. International Journal of climatology, v.24, p. 959–971, 2004.

MICHIELS, P.; GABRIELS, D.; HARTMANN, R. Using the seasonal and temporal precipitation concentration index for characterizing the monthly rainfall distribution in Spain. Catena, v. 19, n.1, p. 43-58, 1992.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. Caracterização da precipitação no estado do Paraná. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.4, n.2, p.81-89, 1996.

NERY, J. T.; CARFAN, A.C.; MARTIN-VIDE, J. Analysis of rain variability using the daily and monthly concentration indexes in Southeastern Brazil. Atmospheric and Climate Sciences, v. 7, p.176-190, 2017.

NIMER, E.; Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1989,422p.

NUNES, L. H.; KOGA-VICENTE, A.; CANDIDO, D. H. Clima da região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A. et al. (Orgs). Tempo e clima no Brasil. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2009. p. 243-258.

OLIVER, J. E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. Professional Geographer, v.32, p.300-309, 1980

RAMPAZO, N. A. M.; NUNES, L. H. Tendências de precipitação diária no Estado de São Paulo a partir do índice de concentração (IC).In: Simpósio Brasileiro de Geografia Aplicada, 17. Anais. Campinas-São Paulo, Unicamp. 2017, p. 2454-2466.

RAZIEI, T.; BORDI, I.; PEREIRA, L. S. A precipitation-based regionalization for Western Iran and regional drought variability. Hydrology and Earth System Sciences, v. 12, p. 1309-1321, 2008.

SANTOS, J. F.; PULIDO-CALVO, I.; PORTELA, M. M. Spatial and temporal variability of droughts in Portugal. Water Resources Research, v. 46 (W03503), 2010,

SANGÜESA, C.; PIZARRO, R.; IBAÑEZ, A.; PINO, J.; RIVERA, D.; GARCIA-CHEVESICH, P.; INGRAM, B. Spatial and Temporal Analysis of rainfall concentration using Gini Index am PCI. Water, v. 10, n. 2, p.-16, 2018.

SARRICOLEA, P.; MARTIN-VIDE, J. Spatial analysis of rainfall daily trends and concentration in Chile. Investigaciones Geográficas, v. 47, p. 53-66, 2014.

SIMÕES, Y. D.; SILVA, E. H. B. C.; ARAÚJO, H. A. Rainfall zoning of Bahia State, Brazil: an update proposal. Ambiente & Água, v.13, n.1, p.1-18, 2018.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH 2015. 943p.

WANG, W.; XING, W.; YANG, T.; SHAO, Q.; PENG, S.; YU, Z. Characterizing the changing behaviors of precipitation concentration in the Yangtze River Basin, China. Hydrological Processes, v. 27, n. 4, p. 335-3393, 2013.

XIE, Z. Q.; DU, Y.; JIANG, A. J.; DING, Y. G. Climatic trends of different intensity heavy precipitation events concentration in China. Journal of Geographical Sciences, 15: 459–465, 2005.

ZHANG, L.; QIAN, Y. Annual distribution features of precipitations in China and their interannual variations. Acta Meteorológica Sinica, v. 7, n. 2, p. 146-163, 2003.

ZHAO, L.; WANG, J. M.; ZHA, Z.; FANG, J. Variation of precipitation concentration from 1960 to 2014 in the middle and lower reaches of Yangtze River Basin, China. Cuadernos de Investigación Geográfica, n. 42, v. 1, p. 205-220, 2016.