



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

TENDÊNCIAS DA CONCENTRAÇÃO DIÁRIA E MENSAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO PARANÁ

Beatriz Siqueira ^(a), Jonas Teixeira Nery ^(b)

- (a) Departamento de Geografia/Instituto de Geociências, UNICAMP, biasiqueira@ige.unicamp.br
- (b) Departamento de Geografia/Instituto de Geociências, UNICAMP, jtn102040@hotmail.com

Eixo: A Climatologia no contexto dos estudos da paisagem e socioambientais

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar tendências da concentração diária e mensal da precipitação na bacia do Paraná. A concentração diária e mensal da precipitação foi estimada, respectivamente, por meio do índice de concentração (IC) e índice de precipitação concentrada (IPC). A estimativa das tendências foi possível por meio da aplicação do teste de Mann-Kendall (1975), apropriado para detectar alterações de ordem climática em séries meteorológicas, permitindo obter a localização aproximada do ponto inicial dessa alteração. A bacia do Paraná apresentou, na quantificação diária, três municípios com tendência significativa. Na quantificação mensal, apenas dois municípios apresentaram tendência com significância.

Palavras chave: índices, precipitação pluvial, tendências, Mann-Kendall.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

1. Introdução

Segundo Goossens e Berger (1986) o teste de Mann Kendall (1975) é apropriado para detectar alterações de origem climática em séries meteorológicas, permitindo a localização aproximada do ponto inicial dessa alteração.

Desse modo, o teste foi utilizado para detectar possíveis tendências de concentração diária e mensal da precipitação na bacia do Paraná. Essas concentrações foram estimadas por meio do índice de concentração (IC) e índice de precipitação concentrada (IPC).

A bacia do Paraná (Figura 1) ocupa uma extensa área do Brasil. Possui uma forma ovalada com eixo mais extenso N-S com aproximadamente 1,1 milhão de km² em território brasileiro, (MILANI, 2007). Sua extensão geográfica e a vazão de seus rios conferem-lhe grande importância nacional.

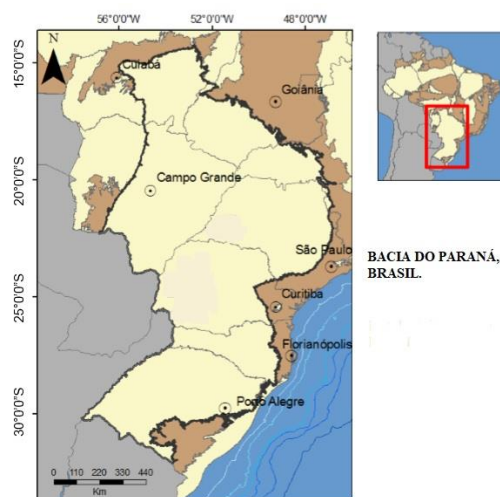


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Fonte: Adaptado de 12ª Rodada de Licitações de Petróleo e Gás da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP.

As temperaturas médias anuais na bacia do Paraná são superiores a 20 °C na maior parte da área e as temperaturas um pouco mais baixas, em torno de 14 °C, estão sobre a borda leste e ao longo de domínios montanhosos, cujas altitudes são superiores a 800 m, (REBOUÇAS, 1976).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

A rede hidrográfica da bacia do Paraná faz parte do sistema fluvial do rio da Prata, um dos maiores do mundo, cuja superfície compreende cerca de 3.100.000 km². A bacia do Paraná atinge 1.415.000 km², (REBOUÇAS, 1976).

As águas superficiais e subterrâneas da região da bacia têm uma importância estratégica. Abastecem o reservatório Itaipu Binacional, abrangem oito estados brasileiros e o Distrito Federal e contemplam a região mais industrializada e urbanizada do Brasil, com centros urbanos como São Paulo, a maior cidade da América Latina. Se consubstancia como a bacia de maior capacidade instalada de energia elétrica do país e a de maior demanda.

A maior parte dos reservatórios está localizada próximo ao centro da bacia, onde o uso da terra consiste, basicamente, de culturas anuais e cana de açúcar, (MELO et al. 2016).

Há um grande consumo de água para o abastecimento da população, indústria e irrigação, atividades associadas à poluição orgânica e inorgânica (efluentes industriais e agrotóxicos) e que contribuem para a degradação da qualidade da água dos principais afluentes do trecho superior do rio Paraná.

De acordo com Benhamrouche (2014) a concentração da precipitação é uma variável de grande interesse, pois expressa a irregularidade dos valores da precipitação diária, especialmente a concentração e acumulação da precipitação em poucos dias. Os índices (IC e IPC) permitem análises importantes e são indicadores úteis da capacidade erosiva da precipitação, dos riscos de inundações e de suas torrencialidades.

O presente trabalho analisa as tendências da concentração da precipitação diária e mensal na bacia do Paraná e a estimativa de seu grau de significância, por meio do uso do teste de Mann-Kendall (1975). Essa análise tem como objetivo principal avaliar as mudanças, significativas ou não, no comportamento das variáveis climáticas, no caso deste estudo, da precipitação.

2. Materiais e Métodos



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Os índices utilizados neste trabalho são estatísticos e foram aplicados à Climatologia com o objetivo de quantificar volumes diários e mensais da precipitação na bacia do rio Paraná. Cada um deles tem uma metodologia própria, e, no caso desta pesquisa, foram calculados no *software R*, que é um algoritmo.

O IC indica a contribuição de precipitação extrema para certas durações de tempo, se assemelha ao índice de Gini, pode ser definido como:

$$IC = S'/5000 = (5000 - A')/5000$$

Assim, o valor de IC é a fração de S' e A' a área de superfície do triângulo inferior delimitada pela linha equidistribuição (Martin-Vide, 2004). De modo geral, segundo Martin-Vide (2004), valores acima de 0,61 significam que 70% da precipitação total está dentro de 25% dos dias mais chuvosos.

Alterações nos valores do IPC podem estar relacionadas com as características globais e sinóticas da atmosfera e com fatores locais que afetam as tendências da precipitação (DE LUIS et al. 2011). O índice modificado é expresso por:

$$IPC = 100 * \sum_{i=1}^{12} p_i^2 / (\sum_{i=1}^{12} P_i)^2$$

Onde p_i é a quantidade de chuvas do i th mês, calculado para cada um dos pluviômetros e para cada ano, durante o período de estudo. Conforme descrito por Oliver (1980), os valores de IPC anuais abaixo de 10 indicam uma distribuição de precipitação mensal uniforme, enquanto os valores entre 11 e 20 denotam sazonalidade na distribuição das chuvas. Valores acima de 20 correspondem a clima com marcada variabilidade mensal na quantidade de chuva.

Proposto inicialmente por SNEYERS (1975), o teste de Mann-Kendall (1975) considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma caracterizando uma série aleatória simples.

MORAES et al. (1995) descrevem o método considerando uma série temporal X_i de N termos. O teste consiste na soma t_n do número de termos m_i da série, relativo ao valor X_i cujos termos precedentes X_j são inferiores ao mesmo, isto é, $X_j < X_i$:

$$t_n = \sum_{i=1}^N m_i$$

Para séries com grande número de termos, sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, t_n apresentará distribuição normal com média e variância:

$$E(t_n) = N(N-1)/4$$

$$\text{Var}(t_n) = N(N-1)(2N+5)/72$$

A significância estatística de t_n para H_0 pode ser avaliada por meio de um teste bilateral estimando-se a estatística $u(t_n)$:

$$u(t_n) = \frac{t_n - E(t_n)}{\sqrt{\text{var}(t_n)}}$$

O valor da probabilidade p_1 é calculada por meio da tabela da normal reduzida, tal que $p_1 = \text{prob}(|u| > |u(t_n)|)$. Sendo p_0 o nível de significância do teste, H_0 não é aceita se $p_1 > p_0$. A rejeição de H_0 indica a existência de tendência significativa; o sinal da estatística $u(t_n)$ indica se a tendência é positiva ($u(t_n) > 0$) ou negativa ($u(t_n) < 0$), (BLAIN et al. 2009).

Em sua versão sequencial, a equação 23 é calculada no sentido direto da série, partindo do valor de $i = 1$ até $i = N$, gerando a estatística $u(t_n)$, e no sentido inverso da série, partindo do valor de $i = N$ até $i = 1$, gerando a estatística $u^*(t_n)$. A interseção das duas curvas geradas representa o ponto aproximado de uma mudança brusca na média, (BLAIN et al. 2009).

Os cálculos foram realizados utilizando o modelo Makesens 1_0, que tem como base a aplicação do teste de Mann-Kendall (1975). Foi desenvolvido por Tino Salmi, do Instituto Finlandês (SALMI et al. 2002) e criado utilizando o *Microsoft Excel 97*. As macros foram



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

realizadas com o *Microsoft Visual Basic*. O modelo contém quatro folhas de trabalho: *About*, *Annual Data*, *Trend Statistics* e *Figure*.

3. Resultados e discussões

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial das séries pluviométricas selecionadas para os cálculos dos índices e das tendências. Ao todo, foram selecionadas 13 séries pluviométricas que obedeceram ao critério de localização, objetivando uma melhor cobertura espacial da área de estudo.

Em função da dificuldade em encontrar séries com período superior a 50 anos, o ideal para estimar tendências, algumas séries apresentam período entre 43 e 45 anos, outras mais de 50 anos.

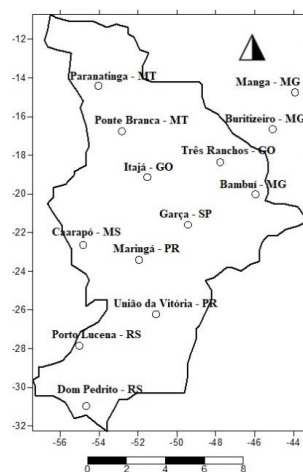


Figura 2 - Distribuição das séries pluviométricas utilizadas para estimar tendência de concentração da precipitação.

Organização: SIQUEIRA, B. (2018).

A Tabela I e Tabela II apresentam os resultados da aplicação do teste de Mann-Kendall na área de estudo. Os municípios destacados em negrito e com asteriscos (***) , (**) e (*) são estatisticamente significativos em níveis de confiança de 99,9 % , 99,0 % e 95,0 % , respectivamente, segundo o teste de Mann-Kendall (1975).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Para este estudo o teste de Mann-Kendall (1975) foi aplicado tanto ao índice de concentração (IC), quanto ao índice de precipitação concentrada (IPC), de modo que a análise contemplou tendências nas concentrações diárias e mensais da precipitação na área de estudo.

Na Tabela I estão os resultados do teste para o índice da quantificação da precipitação diária na área de estudo, através do índice de concentração. Os municípios de Garça, São Paulo, União da Vitória, Paraná e Porto Lucena, Rio Grande do Sul apresentaram tendência positiva (crescente) comprovada pela significância de, respectivamente, 95 %, 99 % e 99,9 %.

Tabela I - Resultados do teste de Mann-Kendall (1975) e da estimativa *Sen* da inclinação sobre as tendências do índice de concentração (IC).

Municípios	Primeiro ano	Último ano	Anos	Teste Z	Sign.	Sen Q
Paranatinga-MT	1973	2014	42	0,07		0,000
Ponte Branca-MT	1970	2014	45	-0,98		0,000
Manga-MG	1950	2014	65	1,31		0,000
Buritizeiro-MG	1970	2014	45	1,47		0,000
Três Ranchos-GO	1970	2014	45	-0,44		0,000
Itajá-GO	1973	2014	45	-0,17		0,000
Bambuí-MG	1950	2014	62	0,82		0,000
Caarapó-MS	1970	2014	45	0,30		0,000
Maringá-PR	1964	2014	51	1,03		0,000
União da Vitória-PR	1957	2014	58	3,19	**	0,001
Porto Lucena-RS	1950	2014	65	3,96	***	0,002
Dom Pedrito-RS	1970	2014	45	1,41		0,001
Garça-SP	1970	2014	45	2,05	*	0,001

Organização: SIQUEIRA, B. (2018).

Fonte: Modelo *Makesens 1_0* (SALMI et al. 2002).

A significância, então ficou restrita ao centro-sul do país, onde estão localizados os municípios de Garça, São Paulo, com 95 % de significância (*), União da Vitória, Paraná,



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

com 99,0 % de significância (**) e Porto Lucena, Rio Grande do Sul, com 99,9 % de significância (***).

A estimativa *Sen Q* da inclinação sobre as tendências do índice de concentração foi positiva nos três municípios com significância, entre 0,001 e 0,002.

As Figura 3, Figura 4 e Figura 5 apresentam a evolução do índice de concentração (IC) nos municípios com tendência significativa de 99,9 %, 99,0 % e 95,0 %, respectivamente.

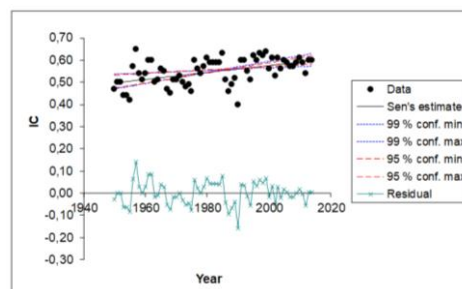


Figura 3 - Evolução do IC em Porto Lucena – RS, com significância de 99,9 %.

Organização: SIQUEIRA, B. (2018).

Fonte: Modelo *Makesens 1_0* (SALMI et al. 2002).

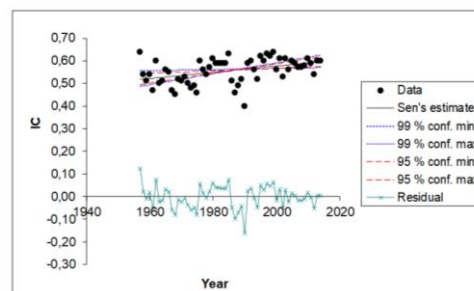


Figura 4 - Evolução do IC em União da Vitória – PR, com significância de 99,0 %.

Organização: SIQUEIRA, B. (2018).

Fonte: Modelo *Makesens 1_0* (SALMI et al. 2002).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

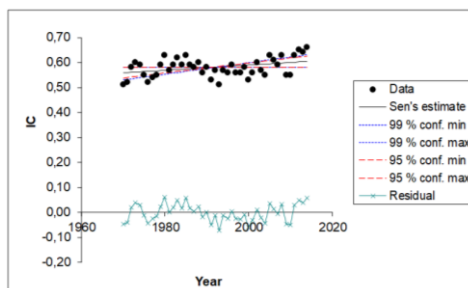


Figura 5 - Evolução do IC em Garça – SP, com significância de 95,0 %.

Organização: SIQUEIRA, B. (2018).

Fonte: Modelo *Makesens 1_0* (SALMI et al. 2002).

As Figuras 3, 4 e 5 mostram que em ambos os municípios, a maior parte dos dados de IC ultrapassa 0,60, o que indica, segundo a classificação de Martin-Vide (2004), que 70 % da precipitação ocorre em 25 % dos dias mais chuvosos.

Na Tabela II estão os resultados do teste para o índice de precipitação concentrada, uma quantificação da precipitação mensal na área de estudo.

Tabela II. Resultados do teste de Mann-Kendall (1975) e da estimativa *Sen* da inclinação sobre as tendências do índice de precipitação concentrada (IPC).

Municípios	Primeiro ano	Último ano	Anos	Teste Z	Sign.	Sen Q
Paranatinga-MT	1973	2014	42	1,29		0,032
Ponte Branca-MT	1970	2014	45	2,12	*	0,029
Manga-MG	1950	2014	65	-0,75		0,000
Buritizeiro-MG	1970	2014	45	1,00		0,029
Três Ranchos-GO	1970	2014	45	1,40		0,000
Itajá-GO	1973	2014	45	0,82		0,000
Bambuí-MG	1950	2014	65	-2,10	*	-0,029
Caarapó-MS	1970	2014	45	0,75		0,000
Maringá-PR	1964	2014	51	-0,58		0,000
União da Vitória-PR	1957	2014	58	1,31		0,000
Porto Lucena-RS	1950	2014	65	0,12		0,000
Dom Pedrito-RS	1970	2014	45	1,08		0,000



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Garça-SP 1970 2014 45 -0,12 0,000

Organização: SIQUEIRA, B. (2018).

Fonte: Modelo *Makesens 1_0* (SALMI et al. 2002).

Na quantificação mensal da precipitação a significância de 95,0 % (*) aparece nos municípios de Ponte Branca, Mato Grosso e Bambuí, Minas Gerais. O primeiro, com tendência positiva e o segundo, negativa. A estimativa *Sen Q* da inclinação sobre as tendências do índice de precipitação concentrada é negativa apenas no município de Bambuí, Minas Gerais, onde a tendência aponta para decréscimo da precipitação mensal.

As Figuras 6 e 7 mostram a evolução o IPC nos municípios que apresentaram significância de 95,0 % (*). O índice de quantificação mensal da precipitação concentra-se entre 15 e 25, quando denota a maior concentração em Bambuí, Minas Gerais.

De acordo com a classificação de Oliver (1980), IPC acima de 20 indica variabilidade mensal da precipitação bastante marcada e entre 11 e 20, sazonalidade na distribuição das chuvas.

No município de Bambuí, Minas Gerais (Figura 7), a tendência é negativa, denotando diminuição na concentração mensal das chuvas com significância de 95 % (*). Em Ponte Branca, Mato Grosso (Figura 6), a tendência de concentração mensal é positiva crescente e a significância também é de 95 % (*).

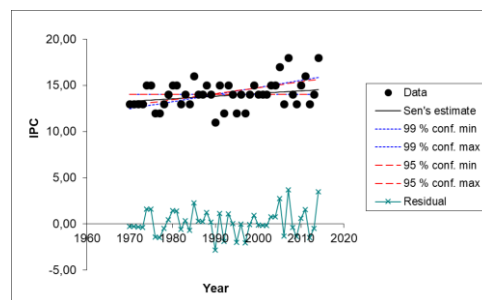


Figura 6 - Evolução do IPC em Ponte Branca – MT, com significância de 95,0 %.

Organização: SIQUEIRA, B. (2018).

Fonte: Modelo *Makesens 1_0* (SALMI et al. 2002).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

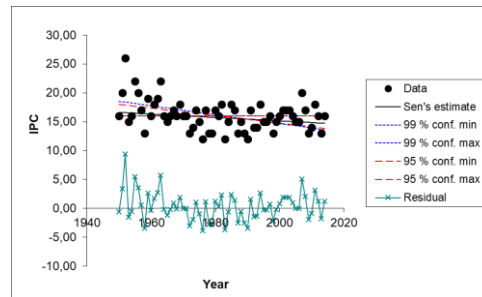


Figura 7 - Evolução do IPC em Bambuí – MG, com significância de 95,0 %.
Organização: SIQUEIRA, B. (2018).
Fonte: Modelo *Makesens 1_0* (SALMI et al. 2002).

4. Considerações finais

A análise das tendências permitiu identificar certa uniformidade na concentração das chuvas na bacia do Paraná e uma tendência maior de concentração diária das precipitações, com significâncias entre 99,9 % e 95,0 %. A significância das tendências de concentração mensal não ultrapassou 95,0 % e apareceu em apenas duas estações pluviométricas, sendo uma delas, classificada em tendência negativa, isto é, decréscimo da concentração mensal da precipitação.

O setor sul da bacia ou região Sul do Brasil apresentou, em ambas as quantificações de concentração de chuvas, *Sen Q* positivos. De maneira geral, a bacia do Paraná não apresentou tendência significativa da concentração das chuvas diárias e mensais, uma vez que está restringiu-se a apenas alguns setores da área de estudo, especialmente, ao centro-sul da bacia.

5. Referências Bibliográficas

BENHAMROUCHE, A. Análisis de la concentración diaria de la precipitación en la Cuenca del Mediterráneo Occidental. Tesis (Doctorado en Geografía). Programa de Doctorado en Geografía, Planificación Territorial y Gestión Ambiental da Universidad de Barcelona, Barcelona-España. 2014.

BLAIN, G.C.; M.C.A, PICOLI; LULU, J. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.68, n.3, p.807-815, jul./set. 2009.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, v.4, p.385-400, 1986.

12ª Rodada de Licitações de Petróleo e Gás da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP. Disponível em: Acesso em: 11 de jan. de 2019. http://files.anp.gov.br/arquivos/Seminarios_R12/apresentacao/r12_06_parana.pdf

Itaipu Binacional (2010). Disponível em www.itaipu.gov.br. Acesso em dez. de 2018.

KENDALL, M. G., Rank Correlation Methods, 4th ed., Charles Griffin: London, 1975.

MARTIN-VIDE, J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, v. 24, n. 8, p. 959-971, 2004.

MELO, D.C.D.; SCANLON, B.R.; ZHANG, Z.; WENDLAND, E.; YIN, L. Reservoir storage and hydrological responses to droughts Paraná River basin, south-eastern Brazil. *Hydrology Earth System Sciences*. v. 20, n.11, p. 4673–4688, 2016.

MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B.; SCHNEIDER, R.L. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MORAES, J.M.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M.V.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., 1995, Recife. Anais... Recife: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995.

OLIVER, J.E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *The Professional Geographer*, v. 32, n. 3, p. 300-309, 1980.

REBOUÇAS, A.C. Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná [Underground water resources of the Paraná basin. 1976. Tese de Doutorado. PhD Thesis, University of São Paulo, Brazil.

SALMI, T.; MÄÄTTÄ, A.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. Makesens for detecting and estimating trends. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2002.

SNEYERS, R. Sur l'Analyse Statistique des Séries d'Observations. Genève: Organisation Météorologique Mondial, 1975. 192p.