



Análise de tendência em uma série de precipitação. Estudo de Caso: Porto Alegre - RS

**Jean Ricardo Favaretto¹, Willian Fernando de Borba², Daniel Gustavo
Allasia³, José Luiz Silvério da Silva⁴ e Lucas Lasta⁵**

¹ Universidade Federal de Santa Maria (jeanfavaretto@gmail.com)

² Universidade Federal de Santa Maria (borbawf@gmail.com)

³ Universidade Federal de Santa Maria (dallasia@gmail.com)

⁴ Universidade Federal de Santa Maria (silverioufsm@gmail.com)

⁵ Universidade Federal de Santa Maria (lucaslasta92@hotmail.com)

Resumo

As constantes mudanças na natureza associadas aos efeitos antrópicos, instigam pesquisadores a verificarem as tendências nas variáveis ambientais e hidroclimáticas, dentre essas, destaca-se a precipitação, que tem suma importância no manejo e gestão de bacias hidrográficas. O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento das precipitações registradas pelo 8º Distrito de Meteorologia – INMET (DISMET), quanto as tendências no período de 1961 a 2013. Para isso empregou-se análises de regressão linear e testes não-paramétricos de Kolmogorov-Smirnov, Run Test, Mann-Kendall e Pettitt nas séries de precipitação trimestral e anual do DISMET. Os resultados das regressões sugerem que as precipitações estão crescendo no período analisado. No entanto, os testes não paramétricos demonstram que as séries apresentam características de normalidade aleatoriedade e não possuem tendências. Desta maneira, concluiu-se que as séries de precipitação trimestrais e anual não possuem tendências significativas, a um nível de confiabilidade de 95%, para o período analisado.

Palavras-chave: Análise estatística. Testes não paramétricos. Comportamento pluviométrico.

Área Temática: Recursos hídricos

Trend analysis of a precipitation series. Case Study: Porto Alegre-RS

Abstract

The constant changes in nature associated with anthropogenic effects instigate researchers to verify the trends in environmental and hydroclimatic variables, such as the precipitation, which is extremely important for watershed management. The main purpose of this study is to analyze the behavior of precipitation registered by the 8th District of Meteorology - INMET (DISME), in order to verify trends from 1961 to 2013. In order to do that, linear regression analysis and non-parametric tests of Kolmogorov-Smirnov, Run Test, Mann-Kendall and Pettitt were made. The regression results suggested that the precipitations are increasing for the analyzed period. However, the non-parametric tests show characteristics of normality, randomness and no trends in the series. Thus, it can be concluded that the quarterly and annual rainfall series have no significant trends, at the 95% confidence level, for the period analyzed.

Key Words: Statistical analysis – Non parametric tests – Pluviometric behavior

Theme Area: Water Resources



1 Introdução

O acelerado desenvolvimento urbano e agroindustrial de algumas regiões do Brasil tem provocado a degradação dos seus recursos hídricos em seus aspectos quantitativos e qualitativos. O que acontece devido ao uso da água e do solo sem um gerenciamento adequado e a falta de tratamento de esgoto urbano e industrial (GROOPPO et al., 2001).

A análise de séries temporais, aplicada a dados climatológicos tem atraído grande interesse nos últimos anos, pois o clima interfere diretamente em muitas atividades econômicas, sobretudo os ligados a produção agrícola e o abastecimento urbano (CHECHI e SANCHES, 2011). Com base nisso, o conhecimento dos dados hidrológicos é de suma importância para o monitoramento das questões climáticas. Dentre eles, destaca-se o monitoramento das precipitações, o qual é necessário para um melhor entendimento acerca do manejo de bacias hidrográficas, abastecimento de água, e demais projetos envolvendo os recursos hídricos.

No Brasil, os principais bancos de dados referentes a dados hidrológicos são mantidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Nacional de Águas (ANA). Um posto pluviométrico objetiva quantificar a altura total de chuva acumulada, em um dado intervalo de tempo, em um ponto discreto de uma bacia hidrográfica, enfatizando a importância de se contemplar a variabilidade desse fenômeno atmosférico em mais pontos de uma mesma bacia (CALDEIRA et al., 2011).

Os estudos envolvendo análises de séries de precipitação em bacias hidrográficas, estão sendo amplamente desenvolvidos nos últimos anos. A sub-bacia do Arroio Dilúvio, que corta a cidade de Porto Alegre - RS, de leste a oeste, vem sofrendo uma progressiva degradação da qualidade de suas águas, que pode ser atribuída a desordenada expansão populacional e o tempo necessário para a implantação de obras de saneamento, desde a concepção até a sua execução e operação (MORANDI e FARIA, 2000).

Desta maneira, este estudo tem por objetivo aplicar uma análise estatística para identificação de tendências nas séries temporais de precipitações na estação pluviométrica localizada no 8º Distrito de Meteorologia - INMET, localizado na cidade de Porto Alegre – RS.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da região de estudo e obtenção dos dados

A sub-bacia do arroio Dilúvio, ilustrada na Figura 1, tem uma área total de 83,74 km², sendo 83 % pertencente ao município de Porto Alegre - RS e 17 % ao município de Viamão - RS, apresentando parcelas urbanas e rurais (MORANDI & FARIA, 2000; FAVARETTO, 2014). Percorrendo uma extensão de 17,6 km, o Dilúvio integra uma das bacias hidrográficas mais importantes na composição do Lago Guaíba (UFRGS/PUC-RS, 2011).

Os dados referentes as precipitações foram adquiridas no portal HidroWeb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>), mantido pela ANA, nos anos de 1961 a 2013. A estação está localizada no 8º Distrito de Meteorologia, o distrito é mantido pelo órgão do INMET, do Ministério da Agricultura e do Abastecimento, com jurisdição nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. A sede está localizada em Porto Alegre, e possui 42 estações meteorológicas, sendo 24 no Rio Grande do Sul, 08 em Santa Catarina e 10 no Paraná (INMET, 2000).

As precipitações são disponibilizadas em uma escala temporal diária. Neste trabalho, acumulou-se os valores em duas novas escalas: trimestral e anual, que deram origem a duas novas séries a precipitação total anual e a precipitação total trimestral.

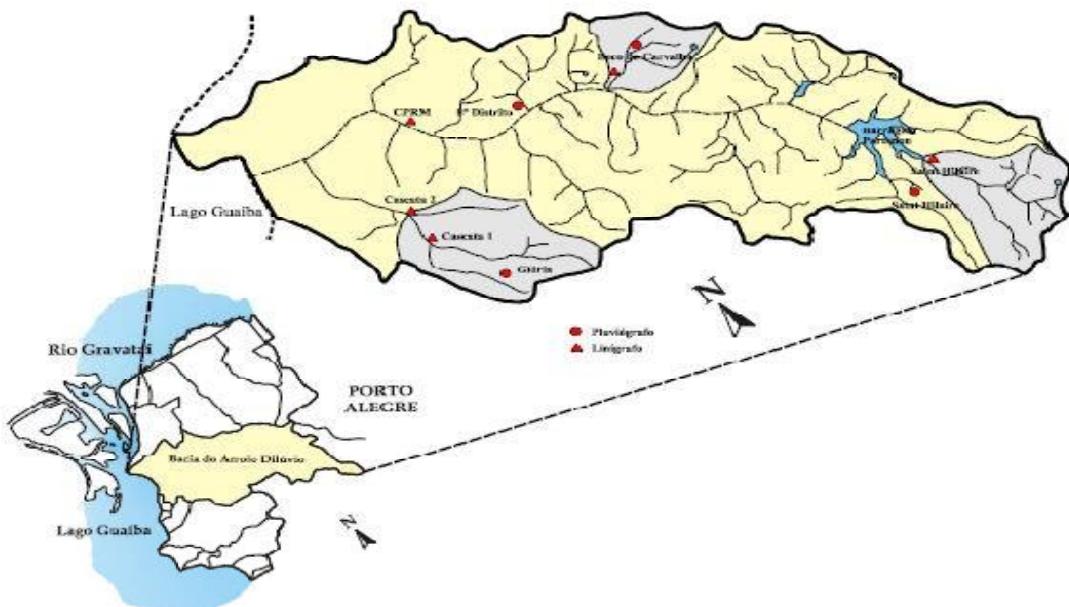


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio.

Fonte: Tassi et al. (2006).

2.2 Análise das séries temporais

Segundo a metodologia aplicada por Back (2001), para cada série de precipitação aplicaram-se análises de regressão linear e testes não-paramétricos de Kolmogorov-Smirnov, Run Test (THOM, 1966), Mann-Kendall (SNEYERS, 1975) e Pettitt (PETTITT, 1979; MORAES et al., 1995). A realização destas análises apoiou-se em algoritmos do pacote *Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection*, desenvolvidos na linguagem R (POHLERT, 2015; TEAM, 2015).

A partir análise de regressão linear (ARL) é possível verificar tendências se significativas ao longo da série, considerando a equação da reta igual a:

$$y = ax + b \quad (1)$$

quando o teste de significância do coeficiente angular a não incluir o valor zero tem-se que há tendência é significativa, caso contrário não. (BACK, 2001).

A estatística do teste de normalidade de kolmogorov-Smirnov (KS) baseia-se na diferença máxima entre funções de probabilidade acumulada, empírica e teórica. Para tal, considera-se como hipótese nula (H_0) que os dados seguem uma distribuição normal e como hipótese alternativa (H_1) que os dados não seguem uma distribuição normal (ESTATCAMP, 2015).

O teste de Run (R), segundo Back (2001) e Thom (1966), consiste em um teste não paramétrico para verificar a aleatoriedade da série, onde o mesmo irá contar as oscilações contidas acima e abaixo da mediana, sendo que tais oscilações são chamadas de Run. Um valor alto de Run indica muitas oscilações, e valores baixos indicam um desvio em relação a mediana.

O teste de Mann-Kendall, conforme Sneyers (1975) apud Back (2001), considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma, ou seja, formando uma série aleatória simples. Já o teste de Pettitt utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, no qual se verifica se duas amostras, são da mesma população. A interpretação do



teste de Pettitt pode ser feita graficamente, e seu objetivo é localizar o ponto máximo onde houve mudança na série, e se essa mudança é significativa (PETTITT, 1979; MORAES et al., 1995; BACK, 2001).

3. Resultados e discussão

Após a organização das séries realizou-se a análise de normalidade de KS. A partir do teste KS, considerando número de termos (N) igual a 53 e a confiabilidade (α) igual a 0,05, estimaram-se o *p-value* e os valores críticos ($1,36/\sqrt{N}$). Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Teste de Kolmogorov-Smirnov para determinação da normalidade da série.

Variáveis de interesse	<i>p-value</i> crítico	<i>p-value</i> KS-TEST
Precipitação total anual	0,186	0,093
Precipitação total no 1º trimestre	0,186	0,077
Precipitação total no 2º trimestre	0,186	0,077
Precipitação total no 3º trimestre	0,186	0,085
Precipitação total no 4º trimestre	0,186	0,010

Como pode ser observado, em todas as variáveis, os valores estimados pela estatística de KS para o *p-value* foram menores que o *p-value* crítico, com isso não rejeita-se a hipótese de normalidade dos dados (H_0), considerando $\alpha = 0,05$, e que os dados podem ser ajustados uma distribuição normal.

Na sequência, na Tabela 2 são relatados os resultado do teste de Run e da ARL. Por meio do teste de Run, verificou-se que o número de oscilações ficou dentro do limites de aceitação da hipótese nula, não ultrapassando os valores críticos, assim, constatou-se que as séries analisadas apresentam aleatoriedade (WACKERLY; MENDENHALL; SCHEAFFER, 2008).

Tabela 2 – Teste de Run para análise na aleatoriedade da série e Análise de Regressão

Variáveis de interesse	Teste de Run (Z)	Análises de regressão	
		Coeficiente angular	Intervalo de confiança (95 %)
Precipitação anual	- 0,970	4,480	0,168 – 8,792*
Precipitação total no 1 trimestre	0,138	0,516	- 1,179 – 2,211
Precipitação total no 2 trimestre	- 0,970	1,938	- 0,211 – 4,088
Precipitação total no 3 trimestre	- 0,693	0,719	- 1,638 – 2,805
Precipitação total no 4 trimestre	0,416	1,307	- 0,831 – 3,485

A ARL demostrou que as séries de precipitação possuem tendências positivas, o que, concorda com estudos realizados por Marengo (2006) e Allasia (2007), que analisaram variáveis hidroclimáticas da região num período coincidente, mas com escalas temporais diferentes. Os coeficiente angulares determinados na ARL demostram que as séries de precipitação possuem tendência positivas nos limites de confiabilidade, com exceção da série de precipitação anual. Este resultado também é observado nas retas dos modelos de regressão nas Figuras 2 a 6 (a).

Os resultados do teste não paramétrico de Mann-Kendall discordam com os resultados da análise de regressão, como pode ser visto na Tabela 3. Quando comparados os valores do teste de Mann-Kendall com o valor básico do *p-value*, verifica-se que as séries de precipitação



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

não possuem tendência significativa, dentro dos limites de confiabilidade. Tabela 3 – Teste de Man-Kendall para análise de tendência da série.

Variáveis de interesse	Estatística do Teste Mann-Kendall
Precipitação total anual	0,164
Precipitação total no 1º trimestre	0,063
Precipitação total no 2º trimestre	0,192
Precipitação total no 3º trimestre	0,094
Precipitação total no 4º trimestre	0,120

As formas gráficas do teste de Pettitt são apresentadas nas Figuras 2 a 6 (b), onde as linhas horizontais representam os limites críticos do intervalo de confiança bilateral de 95 %. Por meio do teste de Pettitt, observa-se que a precipitação total anual (Figura 2 b) teve uma mudança brusca no ano 1981, que pode ter sido causado pela mudança de um período seco para um período chuvoso.

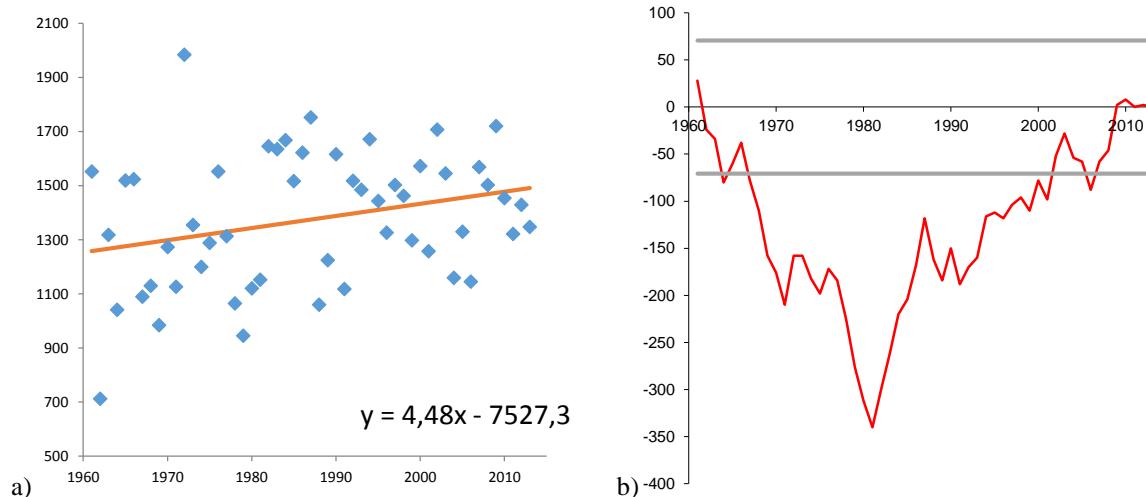


Figura 2 – a) Precipitação anual (regressão linear); e b) estatística K (t) do teste de Pettitt. As linhas horizontais representam um intervalo de confiança de 95%.

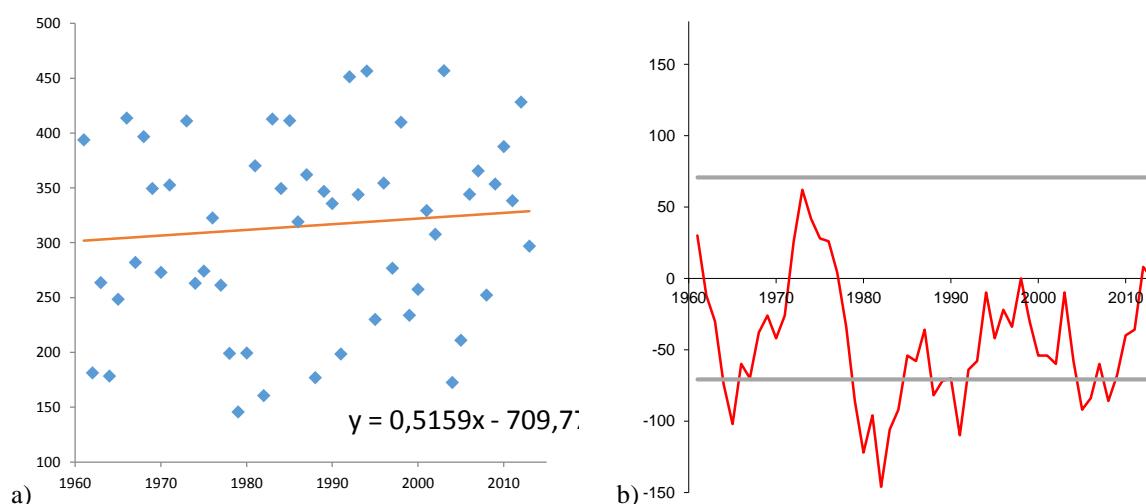


Figura 3 – a) Precipitação do primeiro trimestre (regressão linear); e b) estatística K (t) do teste de Pettitt. As linhas horizontais representam um intervalo de confiança de 95%.



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

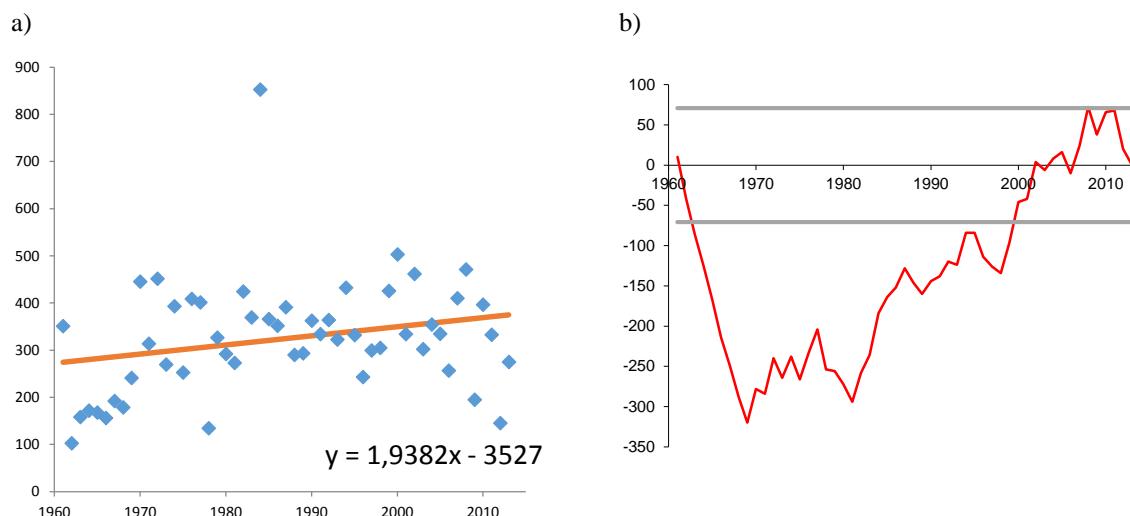


Figura 4 – a) Precipitação do segundo trimestre (regressão linear); e b) estatística K (t) do teste de Pettitt. As linhas horizontais representam um intervalo de confiança de 95%.

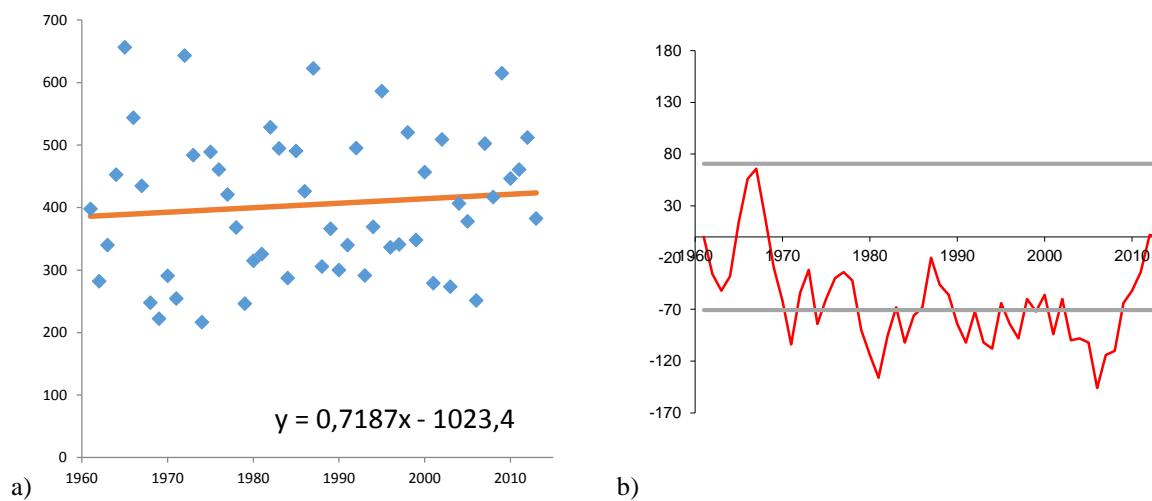


Figura 5 – a) Precipitação do terceiro (regressão linear); e b) estatística K (t) do teste de Pettitt. As linhas horizontais representam um intervalo de confiança de 95%.

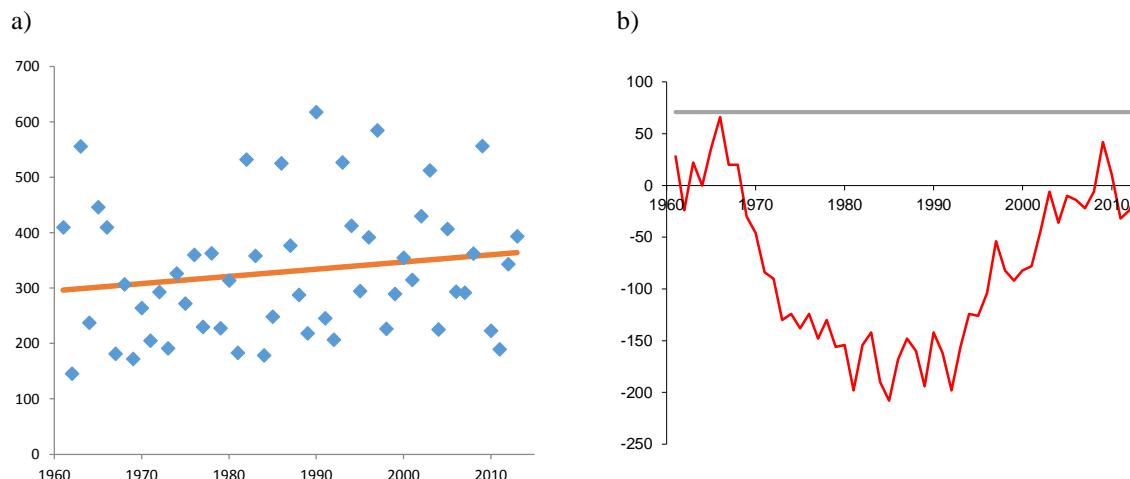


Figura 6 – a) Precipitação do quarto (regressão linear); e b) estatística K (t) do teste de Pettitt. As linhas horizontais representam um intervalo de confiança de 95 %.



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

Em relação as séries de precipitação trimestrais observa-se series do primeiro (Figura 3) e do terceiro (Figura 5) trimestre possuem comportamentos semelhantes. O que também acontece para o segundo (Figura 4) e quarto (Figura 6). Estes comportamentos podem estar relacionados as características climatológicas do locais e não evidenciam tendências significativas.

4 Conclusão

Constatou-se que as séries de precipitação, trimestrais e anual, do 8º Distrito de Meteorologia apresentam características de normalidade e aleatoriedade, considerando $\alpha = 0,05$. Ainda, as análises de regressão linear demonstraram que as séries de precipitação teriam uma ascensão no período analisado. O que não foi comprovado pelos testes de Mann-Kendall e Pettitt, que captaram mudanças pontuais, mas demonstram que as séries de precipitação não possuem tendências significativas no período analisado, a um nível de confiabilidade de 95%.

Referências

- ALLASIA, D. G. **Avaliação da previsão hidroclimática no Alto Paraguai**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio grande do Sul, 2007.
- BACK, A. J. **Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n.5, p. 717-726, 2001.
- CALDEIRA, T.; ARAÚJO, M.; BESKOW, S. Análise de série hidrológica de precipitação no sul do Rio Grande do Sul para aplicação na gestão e monitoramento de recursos hídricos. In: IV ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2011, Pelotas, Anais... RS: 2011.
- CHECHI, L.; SANCHES, F. de O. **Análise de uma série temporal de precipitação para Erechim (RS) e um possível método de previsão climática**. Revista Ambiente, v. 9, p. 43-55, 2013.
- ESTATCAMP. **Teste de Kolmogorov-Smirnov**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br>>. Acesso em: 6 dez. 2015.
- FAVARETTO, J. R. **Emprego da técnica de krigagem para espacialização das precipitações intensas ocorridas em Porto Alegre - RS**. 2014. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- GROOPPO, J. D.; MILDE, L. C. E.; MORAES, J. M.; MARTINELLI, L. A. **Análise de séries temporais de vazão e de precipitação na Bacia do Rio Piracicaba**. Revista de Ciência e Tecnologia da UNIMEP, v. 8, n.18, p. 109-117, 2001.
- HIDROWEB, SISTEMA DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 22 de setembro de 2009.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS. **Relatório do Gestor – Exercício 2000**. Porto Alegre: INMET, 2000.



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2006.

MORANDI, I. C.; FARIA, C. M. A difícil recuperação de arroios em áreas urbanas - Arroio Dilúvio - Porto Alegre – RS. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre, Anais... RS: 2000.

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: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS e XI SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 1995, Recife, Anais... PE: 1995, p.27-32.

PETTITT, A. N. **A non-parametric approach to the change point problem.** Applied Statistics, London, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

POHLERT, T. Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. 2015.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d' observations.** Genève: Organisation Météorologique Mondial, 1975.

TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T. C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. L. L. Determinação do parâmetro CN para sub-bacias urbanas do Arroio Dilúvio - Porto Alegre/RS. In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2006, Curitiba, Anais... PR: 2006.

TEAM, R. C. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria; 2015.
URL <http://www.R-project.org>, 2015.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis.** Genève: World Meteorological Organization, 1966. 54 p.

PETTITT, A. N. **A non-parametric approach to the changepoint problem.** Applied Statistics, London, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

WACKERLY, D. D.; MENDENHALL, W.; SCHEAFFER, R. L. **Mathematical statistics with applications.** 7. ed ed. Belmont, CA: Thomson Higher Education, 2008.