

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DE TENDÊNCIA DAS VAZÕES OBSERVADAS NO DISTRITO FEDERAL

Saulo Aires de Souza¹ ; Renato Souza Amorim² & Dirceu Silveira Reis Junior³

RESUMO – Sistemas de recursos hídricos são projetados e operados com base no pressuposto de que as séries de vazões observadas são estacionárias. Assim, detectar mudanças ou tendências nessas séries são fundamentais para o planejamento de recursos hídricos. O melhor conhecimento dos prováveis riscos futuros resultantes dessas eventuais mudanças desempenham um papel importante no processo de tomada de decisão, notadamente, na definição de estratégias de adaptação a serem implementadas pela sociedade. O trabalho apresenta uma análise de tendência das vazões observadas no Distrito Federal (DF), considerando tanto a questão da autocorrelação, quanto da multiplicidade de testes. Foram analisados 8 índices de vazões de referência a partir dos dados de 14 estações fluviométricas com no mínimo 30 anos de dados sem falha. Os resultados mostraram que desconsiderar tanto a questão da autocorrelação, quanto da multiplicidade, pode distorcer consideravelmente os resultados do teste de tendência. Observou-se um percentual elevado de estações com tendência decrescente em índices de vazões mais baixas, em torno de 70%, dependendo do índice, com magnitudes, em sua maioria, superior a 10% por década. No caso de vazões altas, o percentual de estações com tendência é mais modesto, menor do que 20%, dependendo do índice.

ABSTRACT– Water resources systems are designed and operated based on the assumption of stationarity of streamflows. Detecting trends or changes in these series are key to water resources planning and management. This paper presents the results of a trend detection study in extreme indices of streamflows in the Federal District of Brazil. The analysis takes into account the issues of autocorrelation and multiple tests, both known to affect the results of trend detection tests. The study employs 14 rain gauges with at least 30 years of record length with no missing data. The paper shows that neglecting the issues of autocorrelation and multiple tests can distort significantly the interpretation of the tests. study Results show a large percentage of gauges with significant decreasing trends in low flow indices, around 70%, depending on the index, with magnitudes larger than 10% per decade. For high flow indices, the percentage of gauges with significant trends is more modest, less than 20%, depending on the index.

Palavras-Chave – Análise de Tendência; Extremos de vazão.

1) Aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (PTRAH/UnB) e Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. E-mail: saulo.souza@ana.gov.br.
2) Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes – DNIT. E-mail: renatosamorim@gmail.com.
3) Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (PTRAH/UnB). Email: dirceu.reis@gmail.com.

1 – INTRODUÇÃO

Sistemas de recursos hídricos são projetados e operados com base no pressuposto de que as séries de vazões observadas são estacionárias (Milly et al., 2008). Assim, detectar mudanças ou tendências nessas séries são fundamentais para o planejamento de recursos hídricos (Rosner et al., 2014; Kundzewicz e Robson, 2004). O melhor conhecimento dos prováveis riscos futuros resultantes dessas eventuais mudanças desempenham um papel importante no processo de tomada de decisão, notadamente, na definição de estratégias de adaptação a serem implementadas pela sociedade (Milly et al., 2008).

Os maiores impactos de um eventual comportamento não-estacionário nas vazões são manifestados nos extremos (Aghakouchak et al., 2013). Se por um lado, uma mudança no comportamento de vazões mínimas pode comprometer a disponibilidade hídrica em uma dada região, por outro lado, mudanças nas vazões máximas podem causar inúmeras perdas tanto materiais, quanto humanas (Rosner et al., 2014; Aghakouchak et al., 2013; Milly et al., 2008).

A ocorrência de enchentes e secas tem causado grandes impactos tanto na economia como para a população do Brasil (ANA, 2017). Mais recentemente, entre os anos de 2014 à 2016, a região do Distrito Federal vivenciou eventos de estiagem, resultando nos baixos níveis dos reservatórios. Os anos de 2014 e 2015 foram marcados pela falta de chuva, a baixa umidade do ar (10%) e altas temperaturas (36,4°C), causando impactos diretos na saúde da população, na produção agrícola, na intensificação dos incêndios florestais (apenas em 2016 foram mais de 17 mil hectares) e no abastecimento de água em todo o Estado (Menezes et al 2016). Mudanças no comportamento das vazões podem agravar ainda mais essa situação.

A detecção de mudança significativa dos extremos de vazão pode ser avaliada a partir de testes de hipótese estatísticos aplicados às séries temporais obtidas dos registros históricos de estações fluviométricas (Kundzewicz e Robson, 2004). Os resultados dos testes estatísticos são sempre expressões de probabilidade e não de certeza. Desse modo, esses testes de hipótese empregados na análise de estacionaridade (aqui denominado de tendência ou mudança) exigem, para a correta especificação da sua incerteza, alguns pressupostos ou características que devem ser atendidas pelas séries analisadas. Caso essas características não sejam atendidas, a inferência de mudança nessas séries fica comprometida (Von Storch, 1995).

A existência de autocorrelação por exemplo, aumentam ainda mais a incerteza dos testes em detectar e estimar mudanças determinísticas (Renard et al., 2008). Adicionalmente, tem-se uma avaliação equivocada do nível de significância regional quando da desconsideração da questão da multiplicidade dos testes, quando são analisadas diversas estações ao mesmo tempo (Renard et al., 2008; Ventura et al., 2004).

Observam-se estudos dessa natureza nas diversas escalas espaciais, tais como: locais/regionais, nacionais, continentais e até mesmo globais (Milly et al. 2008). No Brasil, já existem alguns estudos de tendência de vazões observadas (Alves et al., 2013). Os resultados desses estudos apontam de um modo geral condições mais secas em parte da região Norte e Nordeste (Alves et al., 2013; Detzel et al., 2011) e condições mais úmidas e propensas ao aumento de eventos de cheias na região Sul do Brasil (Chagas and Chaffe, 2018). Nas outras regiões, observou-se a falta de um padrão espacial mais claro, de modo que não se identificou um sinal de mudança preponderante (Alves et al., 2013; Detzel et al., 2011).

O presente trabalho apresenta uma análise de tendência das vazões observadas no Distrito Federal, considerando tanto as questões de autocorrelação temporal e multiplicidade de testes.

2 – METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A área do estudo compreende toda a região do Distrito Federal, mais as regiões municipais que compõe parte da Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) do Distrito Federal e Entorno (Figura 1). A RIDE compreende o Distrito Federal, 29 municípios do Estado de Goiás e 4 municípios do Estado de Minas Gerais ocupando uma área de 94.570,39 quilômetros quadrados.

A região é drenada por cursos d'água que pertencem a três das mais importantes regiões hidrográficas (RH) do Brasil: a bacia do rio Paraná (preenchido em verde na figura 1), bacia do São Francisco (preenchido em amarelo na figura 1) e bacia do Tocantins-Araguaia (preenchido em azul na figura 1), abrigando o cerrado como vegetação predominante. O clima do Distrito Federal é caracterizado pela existência de forte sazonalidade: uma estação chuvosa e quente, entre outubro e abril, e outra fria e seca, de maio a setembro. A média pluviométrica anual varia entre 1.200 e 1.500 mm, onde o mês de janeiro apresenta o maior índice pluviométrico médio (248 mm/mês) e os meses de junho, julho e agosto registram os menores (11 mm/mês).

Por ter a maior área de drenagem, cerca de 64% de toda porção territorial do Distrito Federal, a região hidrográfica do Paraná é de suma importância para a região, pois nela estão localizadas todas as grandes áreas urbanas e todas as captações de água para o abastecimento público.

2.2 Dados

Para o estudo foi utilizado os dados oriundos dos registros históricos diários de estações fluviométricas do HIDROWEB da ANA. As estações selecionadas para o estudo seguiram o seguinte critério: ter no mínimo 30 anos de dados sem falha e no mínimo 5 anos de dados sem falha entre 2000 a 2015. A figura 1 ilustra as 14 estações selecionadas considerando o critério utilizado. A cor dos pontos corresponde ao tamanho da série (em termos de anos sem falha) de cada estação.

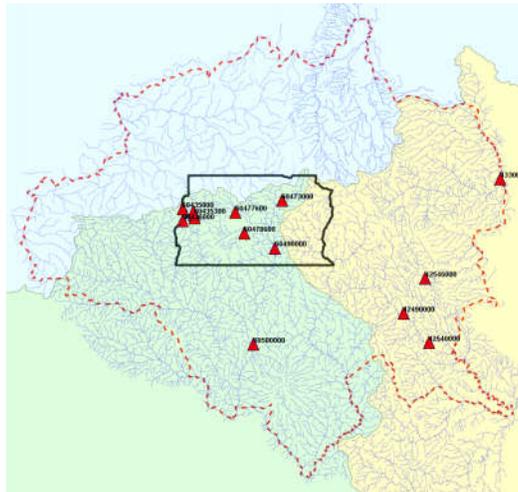


Figura 1 – Disponibilidade de dados de vazões observadas.

A maior parte das estações, 86% (12 estações), tem entre 30 a 39 anos de dados sem falhas (triângulos em vermelho na figura 1), apenas 14% (2 estações) tem mais de 40 anos de dados sem falha. A estação com maior quantidade de dados apresenta 41 anos de dados sem falha. Observa-se também na figura 1 que a maior parte das estações estão localizadas na RH do Paraná, notadamente dentro do Distrito Federal. A RH do São Francisco contém 4 estações, enquanto que na região Tocantins-Araguaia nenhuma estação foi selecionada dentro dos critérios predefinidos.

2.3 Índices de Vazões de Referência

A partir dos dados diários das estações fluviométricas selecionadas foram definidos 8 índices ou vazões de referência, considerando tanto vazões mais baixas, associadas à disponibilidade hídrica, como vazões mais altas, associadas à questão de cheias e inundações. Buscou-se também considerar a questão da sazonalidade utilizando indicadores de vazões mínimas dentro do período úmido. A Tabela 1 apresenta uma descrição dos índices utilizados.

O uso e aplicação de tais índices é de fundamental importância no entendimento de como as mudanças podem impactar o processo de tomada de decisão. Por exemplo, eventuais mudanças nos índices associados ao espectro de vazões mais baixas, como o $Q_{min7day}$, $Q_{min30day}$, $Q_{min7dayUmidoTrimestre}$ e $Q_{min7dayUmidoSemestre}$, e até mesmo o Q_{med} (utilizado muitas vezes como limite superior da disponibilidade hídrica), podem impactar sobremaneira, por exemplo, o abastecimento de cidades ou a geração hidroelétrica em determinada região. Já eventuais mudanças nos índices associados ao espectro de vazões mais altas, como o $QX1day$, $QX5day$ e $QX30day$, podem impactar dramaticamente o risco de cheias e inundações onde tal mudança foi detectada.

2.4 Teste de Tendência

2.4.1 Teste de Mann-Kendall (MK)

O teste de estacionaridade selecionado para as análises foi o teste não paramétrico de Mann Kendall (MK). Esse teste tem sido amplamente utilizado para a identificação de tendências

monotônicas em séries temporais de variáveis hidroclimáticas. Dentre as vantagens do teste pode-se destacar a não necessidade de especificar determinada distribuição de probabilidade aos dados e a robustez no que diz respeito à presença de *outliers* na série. O nível de significância adotado foi de 5%. Maiores detalhes do teste podem ser encontrados em Kundzewicz e Robson (2004).

Tabela 1 - Índices de Vazões de Referência.

Índice	Descrição
QX1day	Máxima vazão registrada de 1 dia durante o ano hidrológico.
QX5day	Máxima vazão registrada em 5 dias consecutivos durante o ano hidrológico.
QX30day	Máxima vazão registrada em 30 dias consecutivos durante o ano hidrológico.
Qmed	Vazão média durante o ano hidrológico.
Qmin7day	Mínima vazão registrada em 7 dias consecutivos durante o ano hidrológico.
Qmin30day	Mínima vazão registrada em 30 dias consecutivos durante o ano hidrológico.
Qmin7dayUmidoTri	Mínima vazão registrada em 7 dias consecutivos durante o trimestre mais úmido do ano hidrológico.
Qmin7dayUmidoSem	Mínima vazão registrada em 7 dias consecutivos durante o semestre mais úmido do ano hidrológico.

2.4.2 Autocorrelação

Uma das principais dificuldades inerente à aplicação dos testes estatísticos na detecção de mudanças ocorre quando as séries são correlacionadas serialmente. Geralmente, os testes estatísticos, concebido para dados independentes, quando aplicado a dados que são serialmente correlacionados positivamente, a hipótese nula é rejeitada com uma frequência maior que a especificada no nível de significância α (Von Storch 1995). Isto se deve ao aumento na variância da estatística do teste com a magnitude da autocorrelação. A eliminação do efeito da correlação serial na tendência é um problema complexo devido à mútua interação entre a correlação e a tendência. Para lidar com essa problemática, foram consideradas duas abordagens: (i) Pre-Whitening (PW) e (ii) Trend-Free-Pre-Whitening (TFPW). Em ambas as técnicas realizam uma modificação na série original por meio da remoção da estrutura de correlação. Maiores detalhes desses procedimentos podem ser encontrados em Von Storch (1995).

2.4.3 Multiplicidade de Testes

Estudos de detecção de tendência consistem em aplicar simultaneamente testes de hipóteses em diversas estações localizadas numa dada região. Níveis locais de significância, α_L , são sempre definidos a priori, refletindo as preferências do analista em relação à possibilidade de cometer um erro ao declarar uma estação não-estacionária, quando na verdade nenhuma tendência está presente nos dados (erro tipo 1). Se a hipótese nula for verdadeira, a probabilidade de se cometer um erro tipo 1 é igual a α_L , previamente definido.

Definir a região de rejeição para um teste local com nível de significância α_L é uma tarefa trivial, porém quando se deseja controlar o erro a nível regional, a tarefa se torna mais complicada, pois não fica claro qual erro deve ser controlado. Os dois procedimentos adotados aqui são baseados em um dos dois erros descritos na sequência, quais sejam, o PCER (*Per-Comparison Type I Error Rate*) e o FDR (*False Discovery Rate*). O procedimento baseado no PCER ignora por completo o

problema da multiplicidade, já que a decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula é feita com base apenas na informação contida na própria estação, sem levar em consideração as decisões tomadas nas outras estações da região. Como não há qualquer perspectiva do que acontece na região, os resultados acabam por violar o nível nominal de significância a nível regional, α_R .

Já o procedimento FDR, proposto por Benjamini e Hochberger (1995), sugere uma abordagem diferente para lidar com o problema da multiplicidade. Os autores sugeriram controlar o FDR, definido como sendo o valor esperado da proporção de rejeições falsas,

$$FDR = \begin{cases} E \left[\frac{N_{10}}{R} \right], & \text{if } R > 0 \\ 0, & \text{if } R = 0 \end{cases} \quad (1)$$

em que N_{10} é o número de estações em que a hipótese nula foi rejeitada erroneamente e R é o número total de rejeições na região. Controlar o FDR possui algumas vantagens. Por exemplo, os resultados são fáceis de interpretar pois não dependem do número de estações na região. Por exemplo, obter 4 rejeições falsas em 10 rejeições é mais preocupante do que obter 4 rejeições falsas em 50 rejeições. Controlar o FDR permite levar esse fato em consideração. Uma outra vantagem em utilizar o FDR é que tal procedimento é pouco sensível à correlação espacial, de modo que pode ser aplicado independentemente da existência ou não da dependência espacial entre estações (Ventura et al., 2014).

O procedimento proposto por Benjamini e Hochberger (1995), se baseia no ordenamento dos *p-valores* obtidos quando da realização dos testes de hipóteses em cada uma das m estações localizadas numa dada região, $P_{(1)} \leq P_{(2)} \leq \dots \leq P_{(m)}$. Esses *p-valores* estão associados às hipóteses $H_{(1)} \leq H_{(2)} \leq \dots \leq H_{(m)}$ e a um dado valor crítico $d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_m$, considerado igual a $d_i = i\alpha_R/m$. O procedimento é sequencial, o que significa dizer que a decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula é tomada uma estação de cada vez, começando por aquela que possui menos evidência da presença de tendência, ou seja, com a que possui o maior *p*-valor. Se por acaso, $P_{(m)} < d_m = \alpha_R$, então todas as estações na região são consideradas não-estacionárias. Caso contrário, a condição $P_{(j)} < d_j$ para todo ($j < m$) é verificada até que a condição seja satisfeita. Quando isso acontece, todas as hipóteses $H_{(i)} < j$ são rejeitadas.

Largamente utilizada na genética e epidemiologia, a abordagem de controle de erros do tipo I por meio do emprego do conceito do FDR é relativamente nova na hidrometeorologia, sendo que apenas nos últimos anos começaram a surgir publicações que focam nesse aspecto, como os trabalhos desenvolvidos por Ventura et al. (2004), Renard et al. (2008) e Amorim (2018).

3 – RESULTADOS

Inicialmente, foram realizados testes de hipótese de tendência Mann-Kendall, com nível de significância de 5%, nas séries históricas dos 8 índices, considerando 6 formas diferentes de aplicação do teste: **Clássico, PW, TFPW, FDR-Clássico, FDR-PW, FDR-TFPW**. Estas formas de

aplicação objetivam avaliar o quão diferente pode ser o resultado, se desconsiderar a questão da autocorrelação e da multiplicidade dos testes.

A figura 2 apresenta 6 gráficos do tipo “stacked bar” com os resultados do teste MK para a região de estudo (RIDE) considerando os 8 índices de vazões de referência. Nesse gráfico, são apresentados os percentuais de estações subdivididos em 3 categorias: resultados significativos crescentes (azul), decrescentes (vermelho) e o resultados não significativos (cinza). Nos rótulos das barras é apresentado o número absoluto de estações em cada categoria.

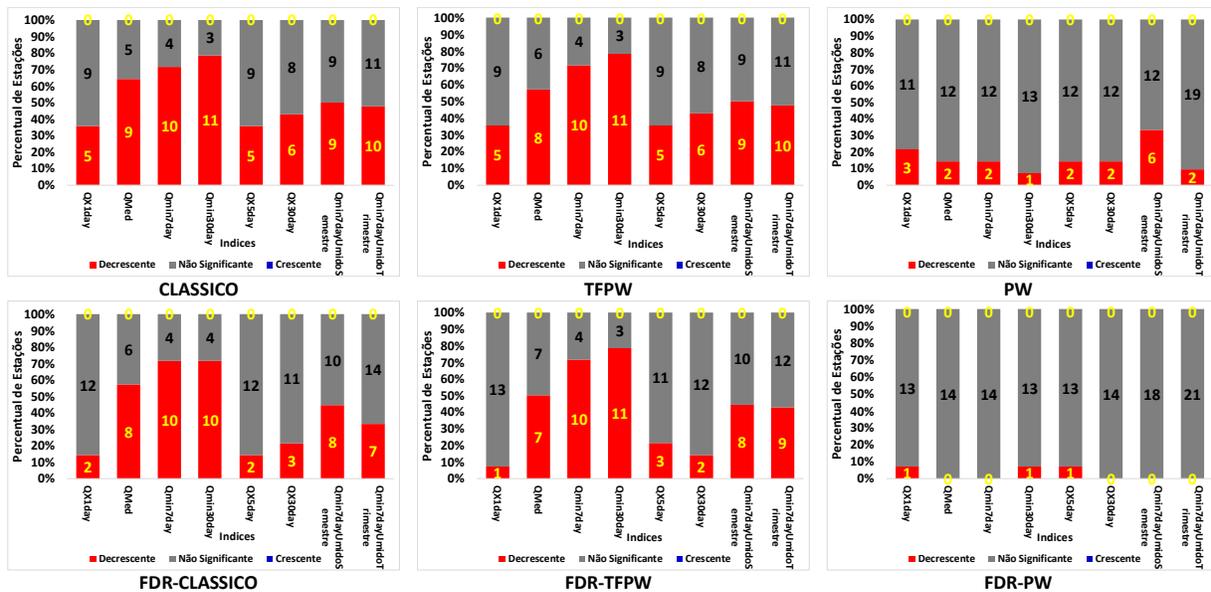


Figura 2 - Gráficos do tipo stacked bar com os resultados do teste MK para o DF considerando os 8 índices de extremos de vazão e as 6 formas de aplicação do teste de tendência: Clássico, PW, TFPW, FDR-Clássico, FDR-PW, FDR-TFPW.

Observa-se nos gráficos da figura 2 que desconsiderar tanto a questão da autocorrelação, quanto da multiplicidade, pode distorcer consideravelmente os resultados do teste de tendência. Para todos os casos, houve uma redução na quantidade de resultados significativos quando comparado à forma clássica. Observa-se que para índices associados as vazões mais baixas, as diferenças nos resultados são maiores que para vazões mais altas. Tal comportamento deve-se à maior dependência temporal das vazões menores quando comparadas com as vazões mais altas. Observa-se que ao aplicar o FDR considerando o procedimento clássico ou TFPW, as reduções nos resultados significativos não foram tão grandes em relação à forma clássica. Entretanto, a combinação entre o FDR e o PW resultou em grande diminuição no número de rejeições.

Esses resultados demonstram alguns desafios na aplicação e interpretação dos resultados dos testes de tendência aplicados às séries de vazões. É fundamental que essas incertezas sejam apresentadas no sentido de subsidiar o tomador de decisão na incorporação de tais incertezas para fins de definição de estratégias de adaptação no âmbito do planejamento de recursos hídricos.

A figura 3 apresentam 6 mapas para 6 índices de vazões considerando o procedimento FDR-TFPW. Tal procedimento foi julgado o mais adequado para avaliar evidências por ser considerada

uma solução de compromisso entre a desconsideração total dessas questões, levando ao aumento do número de rejeições da hipótese nula, e o conservadorismo excessivo em utilizar procedimentos que diminuíssem consideravelmente as rejeições.

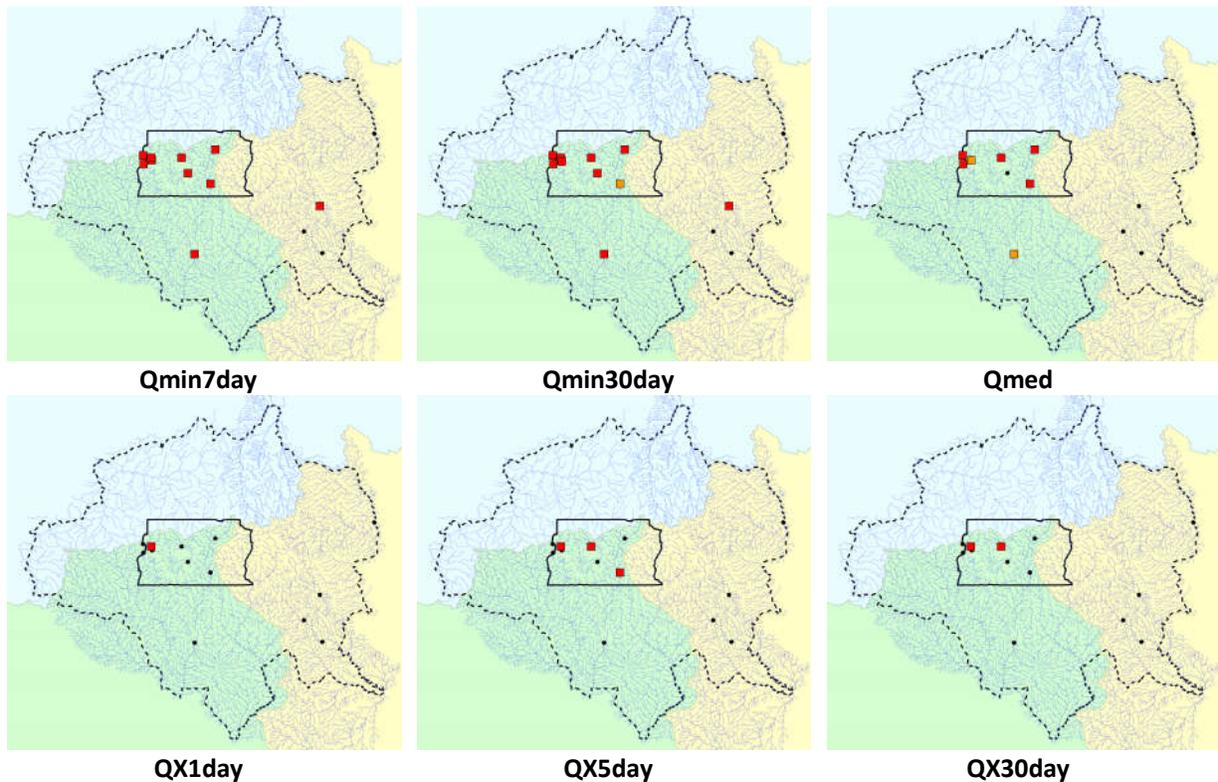


Figura 3 - Mapas contendo os resultados do teste de tendência MK considerando o procedimento FDR-TFPW.

A tabela 2 apresenta os percentuais de resultados do teste de tendência MK utilizando o procedimento FDR-TFPW para todas as 14 estações utilizadas, considerando a significância (NS = não significativo e S= significativo), o sentido da mudança (cores quentes representam tendências decrescentes e cores frias as crescentes) e 3 classes de magnitude da tendência. A magnitude da tendência foi classificada de acordo com percentual de mudança decenal em relação à média da série: baixa (Mag1 - menor que 5% por década), média (Mag2 - entre 5 e 10% por década) e alta (Mag3 - maior que 10% por década).

Tabela 2 – Percentual de resultados do teste de tendência MK para as 14 estações do DF considerando a significância (NS = não-significativo e S=significativo), o sentido da mudança e a magnitude da tendência.

ÍNDICE	RES	Mag3	Mag2	Mag1	Mag3	Mag2	Mag1	TOT
Qmin30day	NS	7%	0%	0%	0%	0%	14%	21%
	S	71%	7%	0%	0%	0%	0%	79%
Qmin7day	NS	7%	7%	7%	0%	0%	7%	29%
	S	71%	0%	0%	0%	0%	0%	71%
QMed	NS	7%	29%	14%	0%	0%	0%	50%
	S	36%	14%	0%	0%	0%	0%	50%
Qmin7dayUmido Semestre	NS	22%	22%	6%	0%	0%	0%	50%
	S	44%	0%	0%	0%	0%	0%	44%
Qmin7dayUmido Trimestre	NS	10%	24%	14%	0%	5%	0%	52%
	S	43%	0%	0%	0%	0%	0%	43%
QX5day	NS	29%	29%	14%	0%	0%	7%	79%
	S	21%	0%	0%	0%	0%	0%	21%
QX30day	NS	29%	36%	21%	0%	0%	0%	86%
	S	14%	0%	0%	0%	0%	0%	14%
QX1day	NS	36%	21%	29%	0%	7%	0%	93%
	S	7%	0%	0%	0%	0%	0%	7%

Observa-se que os resultados significativos foram todos decrescentes, sinalizando condições mais secas na região do estudo (RIDE). Especialmente, observa-se uma concentração maior de rejeições nas estações situadas dentro do DF, na parcela pertencente a RH Paraná. O percentual de rejeições é bastante elevado para a vazões mais baixas. Por exemplo, 71% das estações estudadas apresentaram tendência negativa da Qmin7day, todas elas com magnitude maior do que 10% por década. No caso do QX1day, o percentual de estações com tendência é bem mais baixo, apenas 7%.

Esses resultados sugerem, considerando tanto a questão da autocorrelação, quanto da multiplicidade, que existem evidências estatísticas fortes de mudanças nos principais indicadores de vazões observadas no Distrito Federal (RIDE). Tais mudanças apontam para um cenário de maior propensão à condições mais secas, podendo aumentar a frequência de problemas de desabastecimento hídrico como os que ocorreram entre os anos de 2014 a 2016.

4 – CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma análise de tendência das vazões observadas no Distrito Federal considerando tanto a questão da autocorrelação, quanto a da multiplicidade de testes. Foram analisados 8 índices de vazões de referência a partir dos dados de 14 estações fluviométricas com no mínimo 30 anos de dados sem falha. Os resultados mostraram que desconsiderar tanto a questão da autocorrelação, quanto da multiplicidade, pode distorcer consideravelmente os resultados. Verificou-se que para índices associados às vazões mais baixas, as diferenças nos resultados são maiores do que para vazões mais altas. A combinação entre o FDR e o PW resultou em grande diminuição no número de rejeições. Esses resultados demonstraram alguns desafios na aplicação e interpretação dos resultados dos testes de tendência aplicados às séries de vazões. Analisando as evidências de mudanças nas vazões na região do DF, considerando o procedimento FDR-TFPW, observou-se que os resultados significativos foram todos decrescentes, sinalizando condições mais secas. Essas mudanças concentraram-se de forma mais pronunciadas nas estações localizadas na

parcela da RH do Paraná, que intercepta a área de estudo. O percentual de rejeições diminui na medida que o espectro de vazões aumenta. Esses resultados sugerem, considerando tanto a questão da autocorrelação quanto da multiplicidade, que existem evidências estatísticas fortes de mudanças nos principais indicadores de vazões observadas no Distrito Federal (RIDE), apontando para cenários futuros com maiores eventos de seca.

AGRADECIMENTOS - O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (CHAMADA UNIVERSAL MCTI/CNPq Nº 01/2016), e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal (FAP/DF) por meio do Edital 04/2017 de Demanda Espontânea

REFERÊNCIAS

Alves, B.C.C.; Souza Filho, F.A.; Silveira, C.S. Análise de Tendências e Padrões de Variação das Séries Históricas de Vazões do Operador Nacional do Sistema (ONS). RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18 n.4 – Out/Dez, 19-34.2013.

Aghakouchak, A.; Easterling, D.; Hsu, K.; Shubert, S.; Sorooshian, S. Extremes in a Changing Climate - Detection, Analysis and Uncertainty. Water Science and Technology Library. Springer. 417p. 2013.

Amorim, R. S. Detecção de Tendências em Séries de Extremos Hidrológicos Considerando Efeitos de Autocorrelação Temporal e Multiplicidade de Testes. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DMXXX/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 167 p. 2018.

ANA., 2017. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 169p.

Benjamini, Y. E Y., and Hochberg., 1995. “Controlling the false Discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing”. In: J. Roy. Stat. Soc., 57B, 289-300.

Chagas, V. B. P., Chaffe, P. L. B., 2018. The role of land cover in the propagation of rainfall into streamflow trends. Water Resources Research, 54, 5986–6004. <https://doi.org/10.1029/2018WR022947>

Detzel, D.H.M; et al.. Estacionariedade das Afluências às Usinas Hidrelétricas Brasileiras. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.3, 95-111, Jul/Set 2011.

IPCC., 2013. Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 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, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bexand P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press

Kundzewicz, Z.W., and Robson, A.J., 2004. Change detection in hydrological records – a review of the methodology. Hydrol. Sci. J. 49 (1), 7–19.

Menezes, L.S. et al. Mudanças climáticas no DF e Ride: detecção e projeções das mudanças climáticas para o Distrito Federal e região integrada de desenvolvimento do DF e entorno. Brasília, Secretaria do Meio Ambiente. 192 p. 2016.

Milly P. C. D., Betancourt J., Falkenmark, M., Hirsch F.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier D.R., and Stouffer, R.J., 2008. Stationarity is dead: whither water management? Science 319:573–574. 2008.

Renard B. et al., 2008. Regional methods for trend detection: assessing field significance and regional consistency Water Resour. Res. 44 1–17.

Rosner, A., R. M. Vogel, And P. H. Kirshen, A risk-based approach to flood management decisions in a nonstationary world, Water Resour. Res., 50, 1928–1942, doi:10.1002/ 2013WR014561. 2014.

Von Storch, H., 1995. Misuses of statistical analysis in climate research. In: von Storch, H., Navarra, A. (Eds.), Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques. Springer, Berlin, pp. 11–26.

Ventura, V., Paciorek, C. J., and Risbey, J. S., 2004. “Controlling the Proportion of Falsely Rejected Hypotheses when Conducting Multiple Tests with Climatological Data.” Journal of Climate, 17(22), 4343-4356.