



**Avaliação das Secas Meteorológica e Hidrológica na Bacia
Contribuinte à Barragem de Juturnaíba, Estado do Rio de Janeiro, Brasil**
Evaluation of Meteorological and Hydrological
Droughts in the Juturnaíba Dam Drainage Basin, Rio de Janeiro State, Brazil

Ana Carolina Novello Petrunaro & Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora

*Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente,
Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Rua Passo da Pátria 156, sala 133, 24210-240, Niterói, RJ, Brasil*

E-mails: ana_petrungaro@id.uff.br; monicahora@id.uff.br

Recebido em: 16/07/2019 Aprovado em: 13/08/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_309_321

Resumo

O estudo buscou classificar o clima e investigar possíveis secas meteorológicas e hidrológicas na bacia contribuinte à barragem de Juturnaíba, cujo reservatório possui o maior volume de água represada no estado do Rio de Janeiro para atendimento a uma demanda de 630 mil pessoas. Foram considerados os postos pluviométricos inseridos na bacia contribuinte ao reservatório e os resultados permitiram classificar o clima da região em mesotérmico, variando de superúmido a úmido, com pouco ou nenhum déficit de água. Com relação aos índices quantificadores de seca, os resultados não identificaram extremos. Já os indicadores de extremos climáticos sugerem que as chuvas estão ocorrendo de forma concentrada com aumento do número de dias secos consecutivos. Por último, foi identificada uma seca hidrológica, entre agosto e novembro de 2014, que conduziu ao esvaziamento do reservatório de Juturnaíba em 0,41 m. Entretanto, sem a evidência de estiagem, em outubro de 2007, o reservatório sofreu uma redução de nível de 0,94 m, a maior do histórico. O estudo conclui pela necessidade da investigação dos motivos desse deplecionamento e da retomada do monitoramento hidrometeorológico.

Palavras-chave: precipitação; indicadores climáticos; classificação climatológica

Abstract

The study aimed to classify the climate and investigate possible meteorological and hydrological droughts in the drainage basin of the Juturnaíba dam, whose reservoir has the largest water volume in the state of Rio de Janeiro to meet a demand of 630,000 people. Rainfall stations located in the basin were considered and the results allowed to classify the climate as mesothermal, ranging from super humid to humid, with little or no water deficit. Regarding the drought quantifier indices, the results did not identify extremes. The extreme weather indicators suggest that rainfall is occurring in a concentrated manner with increasing numbers of consecutive dry days. Finally, a hydrological drought was identified between August and November 2014, resulting in a drawdown of 0.41 m. However, without evidence of drought, in October 2007, the reservoir suffered a reduction of 0.94 m in its level, the largest in the historical data. The study concludes the necessity to investigate the reasons for this depletion and the resumption of the hydrological monitoring.

Keywords: precipitation; climate indicators; climatological classification

1 Introdução

A precipitação influencia diretamente nas atividades antrópicas, visto que, chuvas em excesso e períodos longos de estiagem e seca trazem consequências negativas tanto para a economia quanto para o setor socioambiental (Cury *et al.*, 2018).

A seca é um fenômeno natural que, dependendo da sua magnitude, pode ser desastroso. Porém, difere de outros desastres naturais por se dar de forma lenta e, por isso, não atrai a atenção da comunidade no seu início, persistindo seu impacto mesmo depois do término do evento, podendo ter uma vasta extensão espacial e temporal (Molina & Lima, 1999).

De acordo com Fernandes *et al.* (2009), existem diversas maneiras de se definir seca, dependendo principalmente da temática da abordagem. Wilhite & Glantz (1985) definiram quatro tipos de secas: meteorológica, hidrológica, agrícola e socioeconômica.

CEMADEN (2019) define a seca meteorológica como caracterizada por um período prolongado de baixa ou nenhuma pluviosidade, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição. NDMC (2019) menciona que a seca meteorológica identifica períodos de seca com base no número de dias com precipitação menor que um limite especificado. Para INMET (2012), dia seco ou sem chuva é aquele que apresenta precipitação inferior a 1 mm/dia.

A seca hidrológica está relacionada com a redução dos níveis médios de água em reservatórios de superfície e subterrâneos por um determinado período de tempo, podendo ser de dias, semanas, meses ou anos sucessivos (Fernandes *et al.*, 2009). De acordo com os autores, a seca hidrológica traz consequências como a redução de abastecimento de água nos centros urbanos, nas indústrias, nos sistemas de irrigação e na produção de energia elétrica.

A seca agrícola está associada aos diferentes estágios de desenvolvimento de uma cultura (Wilhite & Glantz, 1985). Fernandes *et al.* (2009) mencionam que combinações dos tipos de seca meteorológica e hidrológica estão diretamente ligadas aos impactos na agricultura, ocasionando assim, a seca agrícola.

A seca socioeconômica, na visão de Wilhite & Glantz (1985), está associada à oferta e demanda de algum bem econômico. Para Fernandes *et al.* (2009), ela está relacionada com o impacto da seca sobre as atividades humanas, incluindo os impactos diretos e indiretos na produção agrícola e outras atividades econômicas.

No que tange ao diagnóstico das secas, Fernandes *et al.* (2009) relacionam diversos índices quantificadores, dentre os quais citam o Índice de Aridez (IA), conceituado por Thornthwaite (1948), e o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), proposto por van Rooy (1965) e, posteriormente, adaptado por Freitas (1998).

Silva & Dereczynski (2014) utilizaram, para analisar as tendências em extremos climáticos no Estado do Rio de Janeiro, os indicadores precipitação total anual (PRCPTOT) e número máximo de dias secos consecutivos no ano, ou seja, dias com chuvas inferiores a 1 mm (CDD). O CDD é um dos 27 indicadores de extremos climáticos propostos pelo *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI; <https://www.wcrp-climate.org/data-etccdi>) para fornecer uma visão geral esclarecedora da mudança nos extremos climáticos associados à temperatura e precipitação.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), desde 2012 observa-se uma gradativa e intensa redução nos índices pluviométricos em algumas regiões do país, o que tem prejudicado de forma significativa a oferta de água para o abastecimento público, especialmente no semiárido brasileiro e nas regiões metropolitanas mais populosas e com maior demanda hídrica, como São Paulo e Rio de Janeiro (ANA, 2015).

De acordo com Costa *et al.* (2015), desde janeiro de 2014 até o primeiro semestre de 2015, foi observada na bacia do rio Paraíba do Sul uma estiagem severa, a pior dos últimos 85 anos de registro histórico. Cabe destacar que, de acordo com Fernandes *et al.* (2015), o rio Paraíba do Sul abastece 17 municípios ao longo de seu percurso, além de 9 cidades na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, através da transposição para o rio Guandu. Hoje, 83% da população da metrópole (ou 9,4 milhões de pessoas) depende deste manancial. Os autores ressaltam que os rios Paraíba do Sul e Guandu contam com estruturas de regularização (reservatórios) que proporcionam uma garantia de oferta de água ao longo do ano.

Outra região que conta com reservação para atender aos múltiplos usos da água é a Região Lagos São João (Fernandes *et al.*, 2015). Nela localiza-se a barragem de Juturnaíba, cujo reservatório possui o maior volume de água represada no estado do Rio de Janeiro, com uso destinado, principalmente, ao abastecimento humano (Rocha & Miranda Neto, 2018). De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), as águas desse reservatório são captadas por duas concessionárias, Águas de Juturnaíba e Prolagos, que atendem a uma demanda no entorno de 630 mil pessoas (SNIS, 2016).

Dada a importância do tema, o presente estudo teve por objetivo identificar a ocorrência de secas meteorológicas por meio da análise dos dados pluviométricos dos postos inseridos na porção da bacia hidrográfica do rio São João, a montante do reservatório de Juturnaíba. Além disso, em virtude da relevância da seca hidrológica na questão do atendimento às demandas pelos usos múltiplos, buscou-se avaliar a sua existência por meio da avaliação da variação dos níveis de água do reservatório de Juturnaíba.

2 Metodologia

Segundo Bertoni & Tucci (2007), o objetivo de um posto de medição de chuvas é o de coletar uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos. Citando os mesmos autores, ANA (2012) menciona que pode ocorrer a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, devido a problemas com os aparelhos de registro e/ou com o operador do posto. Dessa forma, os dados coletados devem ser analisados antes de serem utilizados.

A análise de consistência dos dados pluviométricos deve ter como objetivo a identificação e correção de erros e, se possível, o preenchimento de falhas, em nível mensal ou anual, a partir de estações próximas (Paulus & Koehler, 1952; Bertoni & Tucci, 2007).

Com o intuito de realizar o preenchimento das falhas mensais ou anuais, é usual a adoção dos métodos de ponderação regional ou da regressão linear (Paulus & Koehler, 1952; Bertoni & Tucci, 2007). De acordo com esses autores, no método da ponderação regional, devem ser selecionados pelo menos

três postos que possuam, no mínimo, dez anos de dados. Além disso, os postos devem estar numa região climatológica semelhante àquele a ser preenchido. Já em relação ao método da regressão, os autores mencionam a utilização de regressões lineares simples ou múltiplas para o preenchimento de falhas. Na regressão linear simples, as precipitações do posto com falhas e de um posto vizinho são correlacionadas. Na regressão linear múltipla, as informações pluviométricas do posto com falhas são correlacionadas com as correspondentes observações de postos vizinhos.

A partir das séries consolidadas, podem ser estimados os índices quantificadores de seca e os indicadores de extremos climáticos.

De acordo com Freitas (1998) e Santos *et al.* (2011), o IAC é utilizado para classificar os períodos secos e úmidos por meio de anomalias positivas (Equação 1) e anomalias negativas (Equação 2).

$$IAC = 3 \times \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right] \quad (1)$$

$$IAC = -3 \times \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right] \quad (2)$$

onde: N representa a precipitação mensal do mês atual (anual, mensal); a precipitação média mensal da série histórica (anual, mensal); a média das dez maiores precipitações anuais/mensais da série histórica; e a média das dez menores precipitações anuais/mensais da série histórica.

Para a classificação do regime de chuvas, foram adotadas as faixas definidas na Tabela 1.

Já o IA refere-se à classificação climatológica proposta por Thornthwaite (1948), e, conforme FIDDERJ (1978) e Ayoade (1991), está fundamentada

IAC	Classificação
> 4	extremamente chuvoso
2 a 4	muito chuvoso
0 a 2	chuvoso
0	nem chuvoso nem seco
0 a -2	seco
-2 a -4	muito seco
< -4	extremamente seco

Tabela 1 Classificação da pluviosidade.
 Fonte: Noronha *et al.* (2014).

nos critérios de: 1) adequação da umidade; 2) distribuição sazonal da adequação da umidade; 3) eficiência térmica média anual; e 4) concentração da eficiência térmica no verão.

Para definir, pelo critério 1, se um clima é úmido ou seco, FIDERJ (1978) sugere a adoção do índice global de umidade efetiva (IM) expresso por:

$$IM = \frac{(EXC \times 100) - (DEF \times 60)}{EP} \quad (3)$$

em que: EXC representa o excedente hídrico (mm); DEF o déficit hídrico (mm); e EP a evapotranspiração potencial (mm). Os valores do EXC e DEF podem ser obtidos do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1955). Já os valores de EP podem ser estimados a partir da fórmula empírica de Thornthwaite (1948) baseada na temperatura.

A classificação do tipo climático, quanto à umidade, segue as faixas de variação de IM da Tabela 2.

Tipos Climáticos		IM
Úmidos	superúmido	> 100
	úmido	100 a 20
	subúmido-úmido	20 a 0
Secos	subúmido-seco	0 a -20
	semi-árido	- 20 a -40
	árido	- 40 a -60

Tabela 2 Classificação dos tipos climáticos conforme critério 1. Fonte: FIDERJ (1978).

A variação sazonal da umidade efetiva (critério 2) está relacionada ao IM e, para sua determinação, FIDERJ (1978) admite duas premissas:

Quando o clima é classificado como úmido (IM > 0), calcula-se o IA a partir de:

$$IA = \frac{100 \times DEF}{EP} \quad (4)$$

Quando o clima é classificado como seco (IM < 0), calcula-se o Índice de Umidade (IH) a partir de:

$$IH = \frac{100 \times EXC}{EP} \quad (5)$$

De posse dos resultados dos índices das Equações 4 e 5, é possível classificar as subdivisões climáticas de acordo com a variação sazonal da umidade efetiva, como ilustrado na Tabela 3.

Tipos Climáticos		Índice
Úmidos	Subdivisões	IA
	pouco ou nenhum déficit de água	0 a 16,7
	moderada deficiência de água no verão	16,7 a 33,3
	moderada deficiência de água no inverno	16,7 a 33,3
	grande deficiência de água no verão	> 33,3
grande deficiência de água no inverno	> 33,3	
Secos	Subdivisões	IH
	pouco ou nenhum excesso de água	0 a 10
	moderado excesso de água no verão	10 a 20
	moderado excesso de água no inverno	10 a 20
	grande excesso de água no verão	> 20
grande excesso de água no inverno	> 20	

Tabela 3 Subdivisões climáticas conforme critério 2. Fonte: FIDERJ (1978).

De acordo com Thornthwaite (1948), a eficiência térmica anual é função de EP. Assim, a partir dos valores estimados de EP, identificam-se os tipos climáticos quanto à temperatura, como mostrado na Tabela 4.

Tipos Climáticos	EP Anual (mm)
Megatérmico	> 1.140
Mesotérmico	1.140 a 570
Microtérmico	570 a 285
Clima de Tundra	285 a 142
Clima de Gelo	< 142

Tabela 4 Tipos climáticos conforme critério 3. Fonte: FIDERJ (1978).

Segundo FIDERJ (1978), o critério 4 trata do índice de concentração da eficiência térmica no verão, que avalia a variação da temperatura no decorrer do ano, permitindo constatar se há concentração térmica no verão ou não. É estimado a partir da EP dos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) multiplicado por 100 e dividido pela EP anual. Quanto menores os valores do índice, menor é a variação de calor no decorrer do ano. A Tabela 5 relaciona as faixas de valores de classificação.

Tipos Climáticos	Concentração no verão (%)
Megatérmico	< 48
Mesotérmico	48 a 68
Microtérmico	68 a 88
Tundra	> 88

Tabela 5 Tipos climáticos conforme critério 4. Fonte: FIDERJ (1978).

3 Materiais

A bacia hidrográfica do rio São João abrange uma área de drenagem de 2.160 km² e está totalmente inserida no estado do Rio de Janeiro, região Sudeste do Brasil. Os municípios inseridos na bacia, Figura 1, são: Araruama; Cabo Frio; Cachoeiras de Macacu; Casimiro de Abreu; Rio Bonito; Rio das Ostras; São Pedro da Aldeia e Silva Jardim (Noronha, 2009).

De acordo com CILSJ (2003), a bacia hidrográfica do rio São João tem seus ecossistemas aquáticos destinados ao abastecimento público e industrial, a irrigação, a pesca, a exploração de areia e a recreação.

Inserida na bacia do rio São João, nos municípios de Silva Jardim e Araruama, localiza-se a barragem de Juturnaíba, construída pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) com os objetivos de acumular água para garantir o abastecimento domiciliar e industrial na região dos Lagos, controlar as cheias na baixada do

rio São João e assegurar água para a irrigação (CILSJ, 2003). Atualmente, as águas do reservatório são captadas pelas concessionárias Águas Juturnaíba e Prolagos, abastecendo as cidades de Araruama, Araruai do Cabo, Búzios, Cabo Frio, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Saquarema e Silva Jardim, abrangendo um total aproximado de 630 mil pessoas (SNIS, 2016).

Na bacia hidrográfica contribuinte ao reservatório de Juturnaíba existem três postos pluviométricos (vide Figura 2). A Tabela 6 relaciona os postos, cujas informações foram obtidas do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da ANA e do Instituto Estadual do Ambiente (Inea).

Na etapa de análise e consistência dos dados, as falhas observadas em nível mensal foram preenchidas pelo método da regressão linear simples.

Em seguida, a partir das séries históricas, procedeu-se a estimativa dos índices quantificadores de seca e dos indicadores de extremos climáticos.

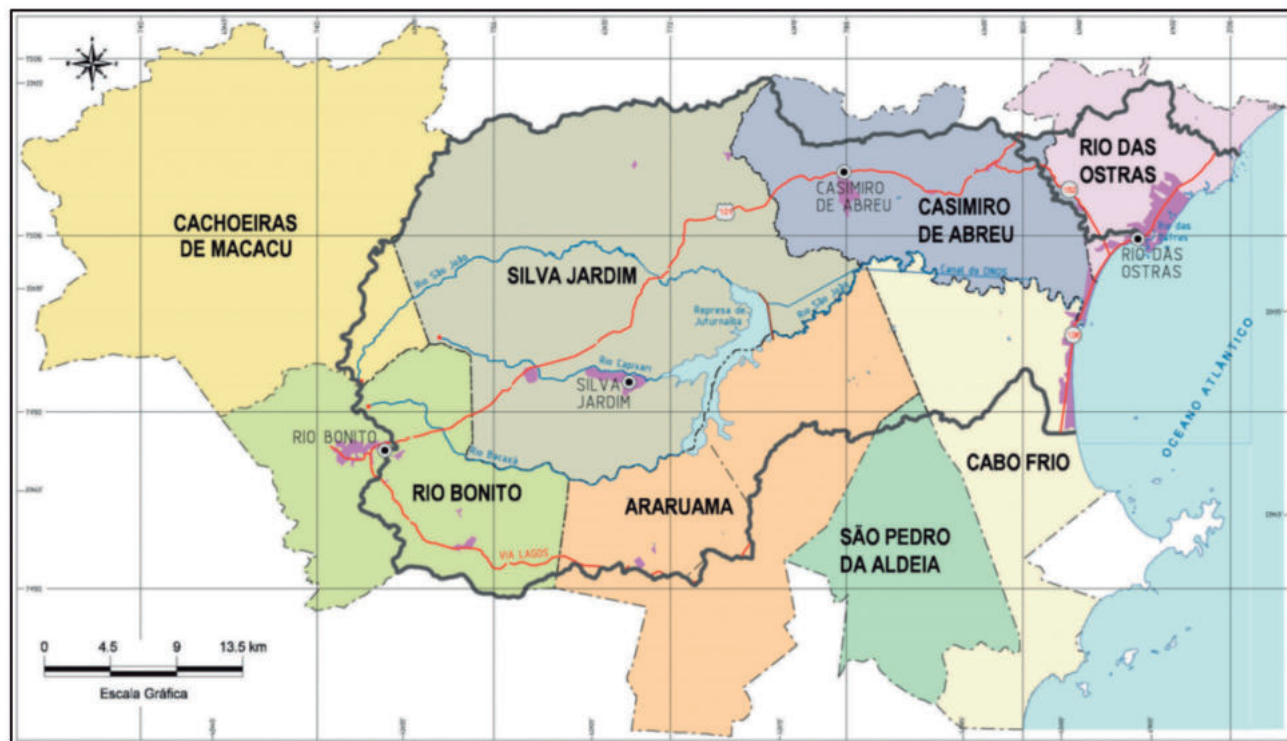


Figura 1 Bacia hidrográfica do rio São João. Fonte: CILSJ (2003).



Figura 2 Localização dos postos pluviométricos selecionados.

Código	Nome	Responsável	Coordenadas Geográficas	Altitude (m)	Período da Série
02242008	Gaviões	ANA	22° 33' 57,11" S 42° 31' 49,45" O	33	1968 – 2018
02242044	Rio Bonito*	DNOS	22° 38' 00,00" S 42° 30' 00,00" O	60	1935 – 1978
02242158	Juturnaíba	Inea	22° 32,4' 24,0" S 42° 21' 00,00" O	10	2007 – 2014

Tabela 6 Postos pluviométricos selecionados.
 * As coordenadas e a altitude do posto foram extraídas de DER-RJ (1989).

Para investigação da seca hidrológica, foram utilizados os dados de níveis d'água do reservatório de Juturnaíba de 2007, disponíveis no Inea, e de 2008 a 2014, disponíveis em Prolagos (2019).

Para avaliação do IA e da classificação do clima da região, foi utilizada a ferramenta computacional SisVazNat - Sistema de Reconstituição de Séries de Vazões Naturais, desenvolvida pelo Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (LabHidro)

da Universidade Federal Fluminense (UFF), que calcula a EP a partir de dados de latitude, longitude e altitude do posto pluviométrico de interesse (UFF/FEC, 2010).

4 Resultados e Discussões

O posto Rio Bonito apresenta falhas mensais de observação nos anos de 1935, 1937, 1938, 1941,

1948 e entre os anos de 1954 e 1975. Além disso, para o período comum de 1976 a 1978 com o posto Gaviões, a série possui 13 meses de falhas. Com base no exposto, o posto não foi considerado no estudo.

O posto Gaviões possui uma falha no mês de maio de 2009 e o posto Juturnaíba, no mês de dezembro de 2014. Para o preenchimento das falhas, foi elaborada a Figura 3 que apresenta os gráficos das correlações das precipitações mensais. A Tabela 7 relaciona as equações de regressão linear simples, bem como os coeficientes de correlação Pearson (r) associados.

No que diz respeito às equações encontradas, Figueiredo Filho & Silva Júnior (2009) mencionam que r varia de -1 a 1, e quanto mais perto de 1 (independente do sinal), maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis. Dancy & Reidy (2006) apontam que a correlação para ser classificada como “forte”, os valores de r variam entre 0,7 a 1. Portanto, o valor alcançado e igual a 0,81 permite inferir que o grau de relacionamento entre as chuvas médias mensais de Gaviões e Juturnaíba é forte positiva, viabilizando o preenchimento das falhas.

Em seguida, foi elaborada a Figura 4 que ilustra a sazonalidade das precipitações médias mensais de Gaviões, para o período de 1968 a 2018, e Gaviões e Juturnaíba, para o período comum de janeiro de 2007 a dezembro de 2014.

Para o período comum, Gaviões apresentou precipitação média anual de 2.688 mm, sendo junho, julho, agosto e setembro os meses mais secos, com precipitação média mensal de 95,0 mm; 78,3 mm; 55,3 mm e 82,7 mm, respectivamente. Já Juturnaíba

ba apresentou precipitação média anual de 1.782 mm, sendo os meses mais secos também junho (62,0 mm), julho (53,3 mm), agosto (33,3 mm) e setembro (61,8 mm). Em ambos os postos, o ano mais seco

Correlação	Período	Equação de regressão
Gaviões versus Juturnaíba	2007 – 2014	$y = 0,5819x + 18,062$ com $r = 0,81$
Juturnaíba versus Gaviões	2007 – 2014	$y = 1,1412x + 54,967$ com $r = 0,81$

Tabela 7 Equações de regressão linear simples definidas.

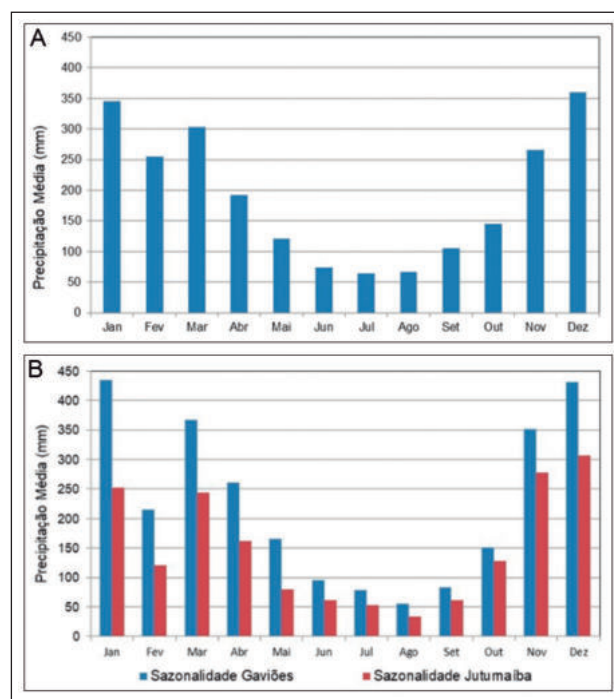


Figura 4 A. Precipitações médias mensais em Gaviões (1968 a 2018) e B. Precipitações médias mensais em Gaviões e Juturnaíba (2007 a 2014).

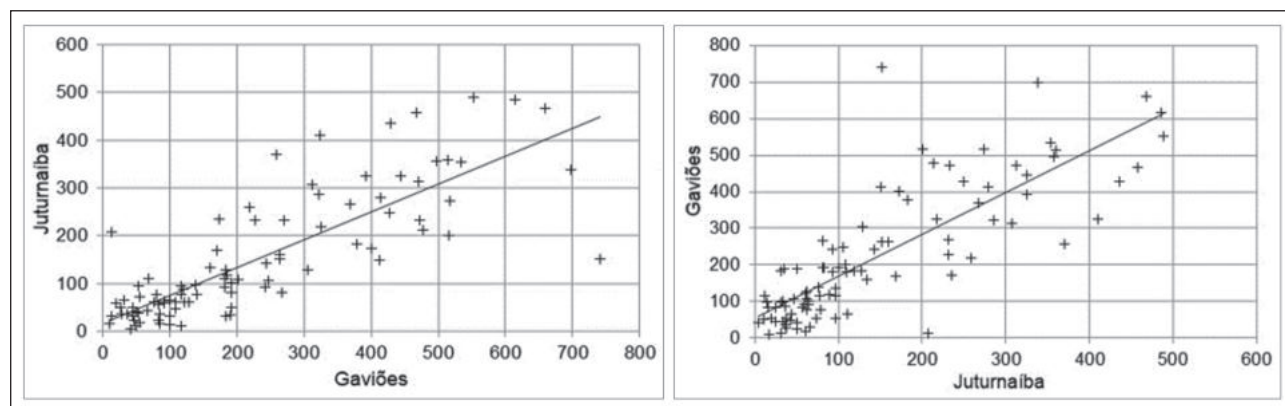


Figura 3 Equação de correlação entre Gaviões e Juturnaíba e vice-versa.

foi 2014 com precipitação média anual de 1.770 mm (Gaviões) e 985,6 mm (Juturnaíba). Para esse ano, o mês de janeiro totalizou 33,0 mm (Juturnaíba) e 99,9 mm (Gaviões).

Por outro lado, ao se analisar a série histórica completa de Gaviões, verifica-se que a precipitação média anual resulta em 2.306 mm, sendo a média mensal de junho, julho, agosto e setembro igual a, respectivamente, 73,7 mm; 64,1 mm; 66,7 mm e 105,6 mm. Os anos mais secos são 1970 (1.328 mm); 1984 (1.418 mm); 1974 (1.665 mm) sendo que 2014 (1.770 mm) alcança a quarta posição. O mês de janeiro mais seco correspondeu ao ano de 1990 (59,6 mm) e o segundo mais seco ao de 2014 (99,9 mm).

Com relação aos totais das precipitações anuais, os resultados encontrados são semelhantes aos apontados por Cunha (1995), quando menciona que Gaviões apresenta valores elevados (2.499 mm para o período de 1976 a 1979) comparáveis aos postos Piller (2.457 mm) e Fazenda São João (2.375 mm) para o mesmo período, ambos localizados Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (RSRJ), no município de Nova Friburgo, em altitudes de 670 m e 960 m, respectivamente. Ainda de acordo com a autora, a influência da altitude sobre a precipitação é percebida muito mais pela localização da estação pluviométrica, do que pela sua própria altitude.

Cabe destacar que Quadro *et al.* (1996) mencionam que os valores característicos de precipitação na região Sudeste do Brasil variam de 1.500 a 2.000 mm anuais. Silva & Dereczynski (2014) descrevem que no estado do Rio de Janeiro, a precipitação anual apresenta máximos em áreas elevadas (cerca de 2.500 a 2.800 mm ao ano) e mínimos sobre as regiões de baixada e de costa (entre 700 e 1.300 mm ao ano).

Para avaliação do IAC, apesar do curto período comum de 8 anos de registro, Santos *et al.* (2011) mencionam que séries curtas também permitem formular hipóteses sobre tendências de aumento ou redução das chuvas em condições atmosféricas extremas. Os autores recomendam, para a aplicação do método do IAC, a utilização de séries históricas com pelo menos 30 anos de dados para seleção dos 10

eventos mais extremos, mas que em caso de séries curtas, pode-se adotar uma adaptação da formulação pela utilização de proporcionalidade entre o tamanho da série e os eventos mais extremos. Com base no exposto, para o período analisado, no cálculo do IAC pelas Equações 1 e 2, foram computados para \bar{M} , a média das 3 maiores precipitações mensais, e para \bar{X} , a média das 3 menores precipitações mensais.

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para os postos Juturnaíba e Gaviões para o período comum de 2007 a 2014 e Gaviões para o período completo de 1968 a 2018.

Do total amostrado para Juturnaíba (Figura 5A), observa-se que 63% dos valores apresentam IAC negativo e 37% correspondem a IAC positivo. A amplitude variou de -3,11 a 3,07 e o mês de setembro de 2014 correspondeu ao mais seco do período (4 mm).

Do total amostrado para Gaviões (Figura 5B), observa-se que 61% dos valores apresentam IAC negativo (59 eventos), em contrapartida aos 37 eventos de IAC positivo, que representam 39% do total. A amplitude variou de -3,03 a 3,26. A menor precipitação da série foi registrada no mês de agosto de 2010 (10 mm).

Do total amostrado para Gaviões para o período completo (Figura 5C), observa-se que o IAC variou entre -3,71 (setembro de 2017 sem registro de chuva, sendo o mais seco do histórico) a 3,41 (fevereiro de 2018 com 790,7 mm, sendo o mais úmido da série). Em termos percentuais, 61% dos valores apresentam IAC negativo e 39% correspondem a IAC positivo.

Com base nos resultados, é possível inferir que não há a ocorrência de eventos extremos em ambos os postos. Tal resultado semelhante de amplitude é apontado por Noronha *et al.* (2016), ao estudarem IAC do posto Itaperuna, localizado na Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro (RNERJ). A RNERJ, de acordo com André *et al.* (2008), apresenta os menores valores anuais médios de precipitação, tanto na estação chuvosa como na seca.

No que diz respeito à análise do comportamento dos indicadores PRCPTOT e CDD, tendo em vista a relevância e influência do tamanho da

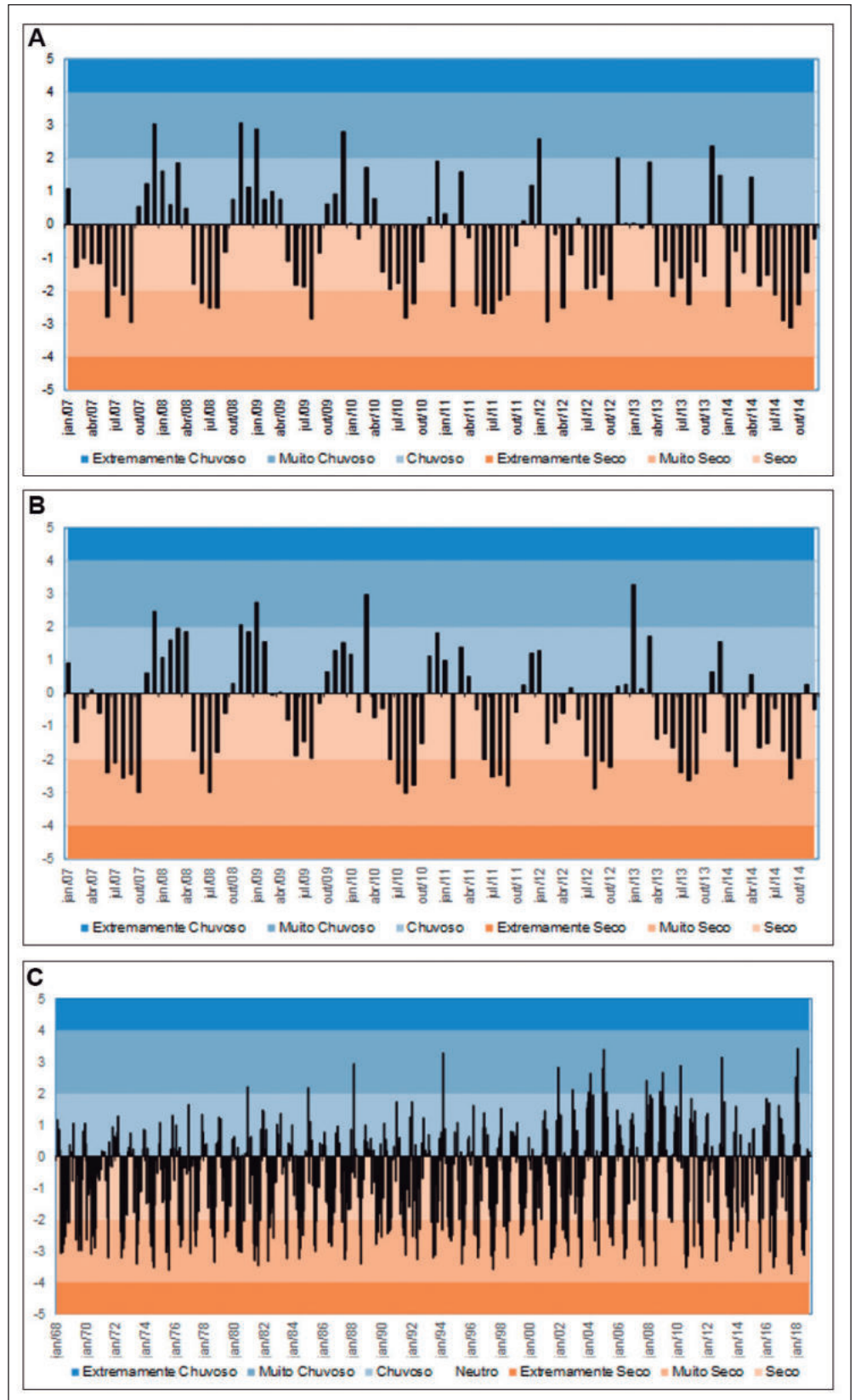


Figura 5 A.
IAC Juturnaíba para 2007
a 2014; B. IAC Gaviões
para 2007 a 2014 e C. IAC
Gaviões para 1968 a 2018.

série nos resultados, foram analisados os eventos diários de Gaviões para o período de 1968 a 2018. A Figura 6 apresenta as séries temporais e suas tendências lineares.

A partir da análise da Figura 6 é possível identificar um comportamento crescente de ambos indicadores. Esse resultado é compatível ao descrito em Ávila *et al.* (2016), que identificaram aumento em PRCPTOT, com tendências positivas em 60% das estações da RSRJ. De acordo com esses autores, na RSRJ as chuvas estão ocorrendo de forma concentrada com redução do número de dias úmidos consecutivos (CWD).

Para investigação da seca hidrológica, é necessária a compreensão do funcionamento das estruturas extravasoras da barragem de Juturnaíba. Cunha (1995) relata que vertedouro é do tipo labirinto, sem controle, com crista na cota 8,40 m, a partir da qual a água do reservatório é defluída para jusante. De cada lado da sua estrutura foram construídas, em cotas mais baixas, tomadas d'água controladas por comportas para os canais de irrigação e que servem, também, como garantia de manutenção de vazões mínimas para o estirão de jusante. Rocha & Miranda Neto (2018) identificaram problemas de vedação nessas comportas. A Figura 7 ilustra a representação esquemática do vertedouro.

Com base no exposto, foi elaborada a Figura 8 a partir dos dados mensais de chuva do posto Juturnaíba e dos níveis d'água do reservatório para o período de 2007 a 2014.

Observa-se na Figura 8 que o maior deplecionamento do reservatório de Juturnaíba ocorreu em outubro de 2007 (7,46 m) e o segundo maior em novembro de 2014 (7,99 m).

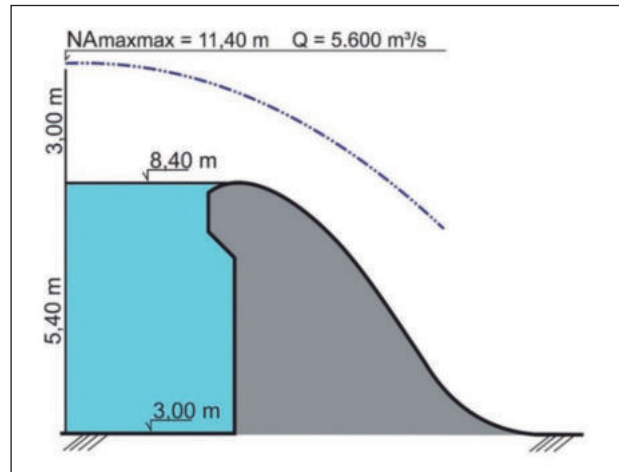


Figura 7 Representação esquemática da seção transversal do vertedouro. Fonte: Rocha & Miranda Neto (2018).

O CDD de 2007 correspondeu ao período de 5 de junho a 11 de julho e o total precipitado no mês de outubro foi de 207,0 mm (correspondente ao segundo maior na série para o mês em questão). Portanto, em termos de seca hidrológica não foi possível encontrar justificativa para o ocorrido. O esvaziamento do reservatório pode estar associado a problemas com as comportas das tomadas de água, tal como apontado por Rocha & Miranda (2018), ou com excessivas retiradas de água.

O CDD de 2014 correspondeu ao período de 20 de janeiro a 15 de fevereiro (27 dias) e o total

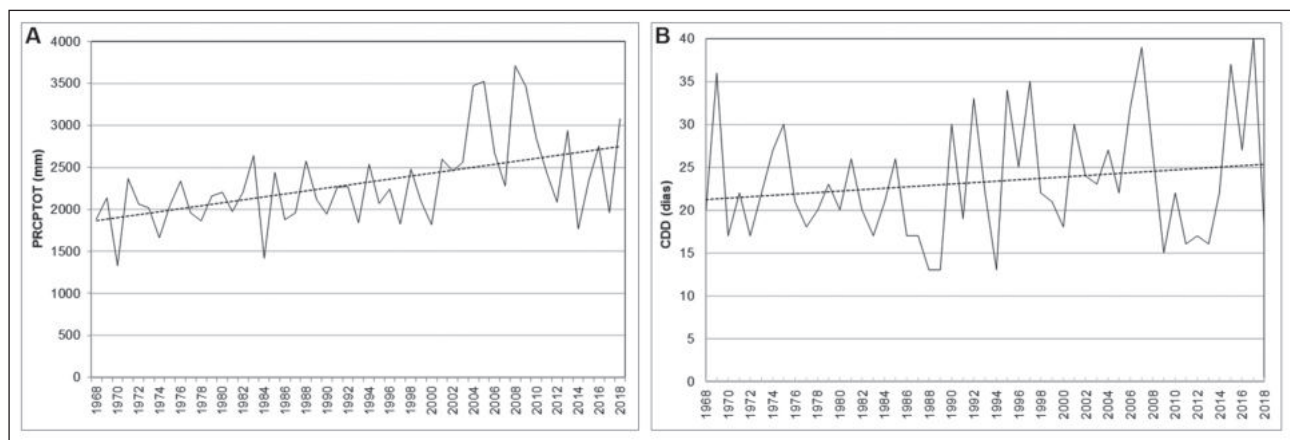


Figura 6 A. Série temporal de PRCPTOT e B. Série temporal de CDD. As linhas retas pontilhadas representam as tendências lineares das séries.

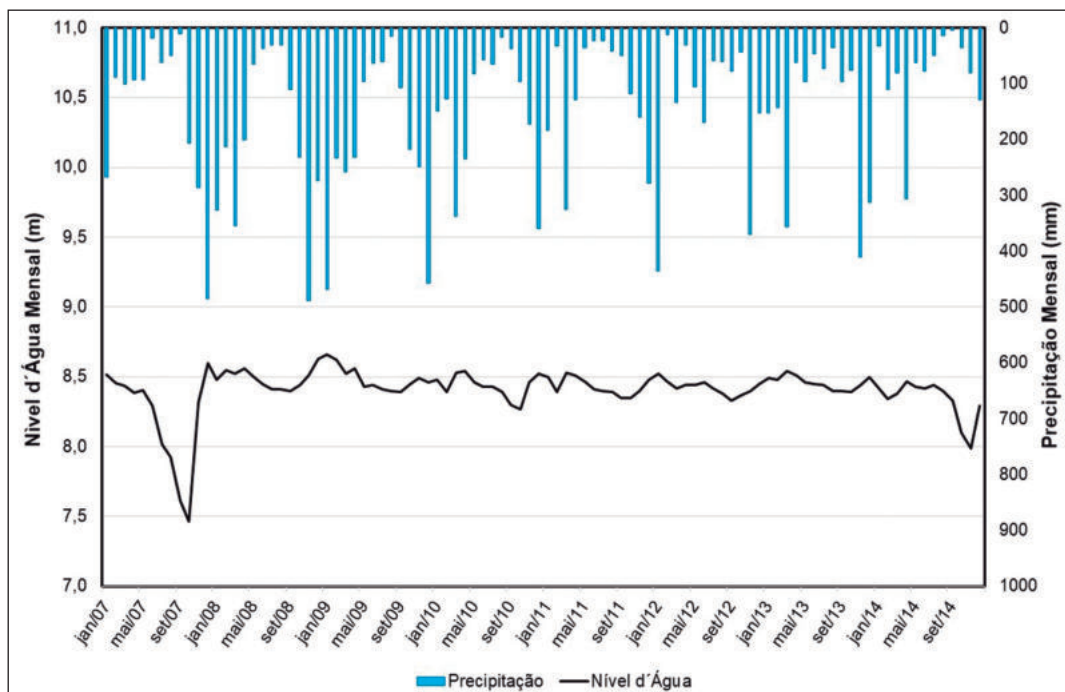


Figura 8
Séries temporais de chuvas e níveis d'água em Juturnaíba de 2007 a 2014.

precipitado no mês de novembro foi de 81,0 mm (correspondente ao menor na série para o mês em questão). Aliado a isto, observa-se que os meses de agosto, setembro e outubro totalizaram, respectivamente, 14,2 mm, 4,0 mm e 36,2 mm. O primeiro e o terceiro valores representam os menores da série para o mês de agosto e outubro, respectivamente. O segundo valor representa o menor do histórico de 2007 a 2014. Nesse caso, possivelmente, o esvaziamento do reservatório estava associado à seca hidrológica.

Com relação ao IA e a classificação climática, a Figura 9 apresenta os resultados dos balanços hídricos elaborados para Gaviões e Juturnaíba para o período comum de 2007 a 2014.

De acordo com os critérios de Thornthwaite, observa-se que o clima da bacia drenante à barragem é mesotérmico, variando de superúmido a úmido, com pouco ou nenhum déficit de água, com calor bem distribuído o ano todo.

Essa classificação se assemelha aos resultados de Bernardes (1952), quando menciona o efeito das chuvas orográficas no aumento das precipitações na base da Serra do Mar e, com menor intensidade, também ao longo de todo o escarpamento da serra e a baixada, com estiagem bem pronunciada, dando lugar a um clima superúmido (mais de 2.000 mm

anuais), onde, todavia, a estação seca não desapareceu totalmente.

A questão da influência da topografia na precipitação também é citada por André *et al.* (2008) pois, de acordo com os autores, há extensas áreas próximas ao nível do mar, como a baixada litorânea e a região norte do Estado, e áreas montanhosas com altitudes acima de 1.500 metros. Essas configurações orográficas influenciam de forma marcante a distribuição espacial da precipitação nessa área geográfica.

5 Conclusões e Recomendações

Na avaliação dos índices pluviométricos, foi possível concluir que o posto Gaviões apresenta valores elevados de pluviosidade, comparáveis aos postos localizados em altitude superior, permitindo classificar o clima como superúmido.

Os resultados obtidos do IAC permitiram inferir que a região em estudo não apresenta eventos extremos (acima de 4 e inferior a -4).

Já os indicadores de extremos climáticos indicam crescimento nas tendências da PRCPTOT e CDD, sugerindo que as chuvas estão ocorrendo de forma concentrada com aumento do número de dias secos consecutivos.

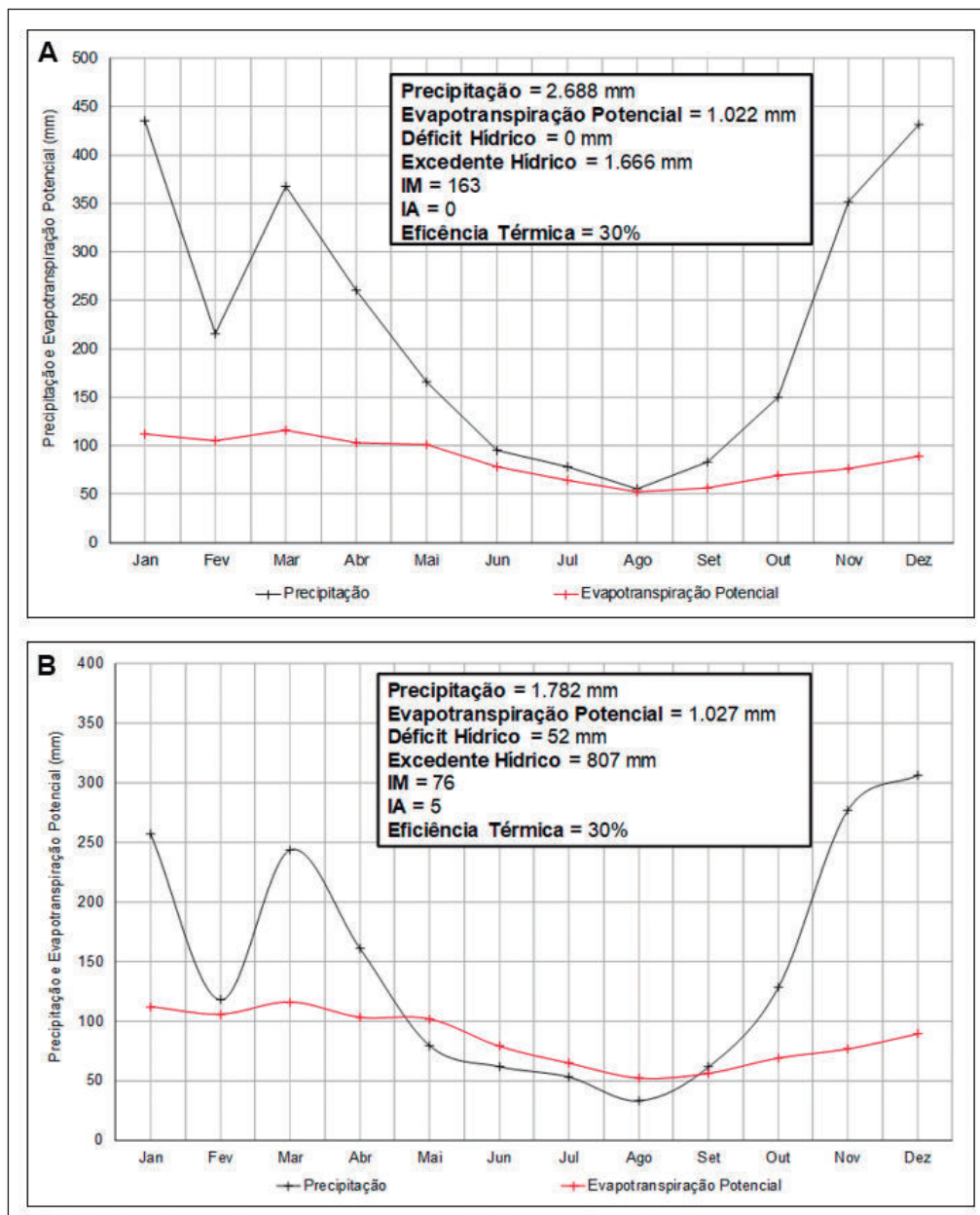


Figura 9
 A. Balanço hídrico de Gaviões; B. Balanço hídrico de Juturnaíba.

Foi identificada uma seca hidrológica, no período compreendido entre agosto a novembro de 2014, que conduziu ao esvaziamento do reservatório de Juturnaíba em 0,41 m. Por outro lado, é necessária a investigação dos motivos do deplecionamento do reservatório em 0,94 m, em outubro de 2007.

Em virtude das dificuldades na obtenção de séries extensas e sem falhas, recomenda-se a retomada do monitoramento hidrometeorológico, de forma a garantir a continuidade e qualidade das séries históricas, contribuindo para a atualização dos estudos para períodos mais recentes.

6 Referências

- ANA. 2012. Agência Nacional de Águas. *Orientações para Consistência dos Dados Pluviométricos*. Brasília, 21p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaConsistenciaDadosPluviometricos-VersaoJul12.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- ANA. 2015. Agência Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014*. Brasília, 103p. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/crisehidrica2014.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- André, R.G.B.; Marques, V.S.; Pinheiro, F.M.A. & Ferraudo, A.S. 2008. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23 (4): 501-509.
- Ávila, A.; Justino, F.; Wilson, A.; Bromwich, D. & Amorim, M. 2016.

- Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil. *Environmental Research Letters*, 11(11): 1-13.
- Ayoade, J.O. 1991. Classificações Climáticas e Climas Regionais. In: CHRISTOFOLETTI, A. (Org.). *Introdução à climatologia para os trópicos*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, p. 224-239.
- Bernardes, L.M.C. 1952. Tipos de Clima do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia*, 14(1): 57-80. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1952_v14_n1.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- Bertoni, J.C. & Tucci, C.E.M. 2007. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. & SILVEIRA, A.L.L. (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, p. 177-241.
- CEMADEN. 2019. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. *Secas*. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/secas/>>. Acesso em: 28 set. 2019.
- CILSJ. 2003. Consórcio Intermunicipal Lagos São João. *Bacias Hidrográficas dos rios São João e das Ostras: águas, terras e conservação ambiental*. Relatório, 192p. Disponível em: <www.oads.org.br/files/109.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- Costa, L.F.; Farias Junior, J.E.F.; Formiga-Johnsson, R.M.; Silva, L.D.O & Acsehrad, M.V. 2015. Crise hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul: enfrentando a pior estiagem dos últimos 85 anos. *Revista Ineana*, 3(1): 26-47.
- Cunha, S.B. 1995. *Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João (Rio de Janeiro-Brasil)*. Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, Tese de Doutorado, 415p.
- Cury, M.D.; Pezente, D.P.; Sutil, T. & Menegasso, J.D. 2018. Análise do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) aplicado à bacia hidrográfica do rio Urussanga/SC. *Revista Tecnologia e Ambiente*, 24: 71-80.
- Dancey, C.P. & Reidy, J. 2006. *Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows*. Porto Alegre, Artmed, 608p.
- DER-RJ. 1989. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Rio de Janeiro. *Estudo de Chuvas do Estado do Rio de Janeiro*. Relatório. Rio de Janeiro: DER-RJ, 61p.
- Fernandes, D.S.; Heinemann, A.B.; Paz, R.L.; Amorim, A.O. & Cardoso, A.S. 2009. *Índices para a quantificação da seca*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 48p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/663874>>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- Fernandes, L.S.; Silva, S.M.C.; Silva Junior, L.C.; Acsehrad, M.V.; Pimentel, I.M.C.; Farias Junior, J.E.F & Formiga-Johnsson, R.M. 2015. Águas do Rio: um panorama geral da disponibilidade hídrica no Estado fluminense. *Revista Ineana*, 3(1): 6-25.
- FIDERJ. 1978. Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro. *Indicadores Climatológicos do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 156 p.
- Figueiredo Filho, D.B. & Silva Júnior, J.A. 2009. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, 18(1): 115-146.
- Freitas, M.A.S. 1998. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. *Revista Tecnologia*, 19(1): 19-30.
- INMET. 2012. Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais Climatológicas do Brasil – 1961 a 1990*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/textos/metodologia.pdf>>. Acesso em: 28 set 2019.
- Molina, P.A & Lima, L.C.T.M. 1999. Estudo de secas agrícolas no Nordeste brasileiro. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. *Anais*. Belo Horizonte: ABRH, p. 1-10.
- NDMC. 2019. National Drought Mitigation Center. *Types of Drought*. Disponível em: <<https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth/TypesofDrought.aspx>>. Acesso em: 28 set. 2029.
- Noronha, G.C. 2009. *Avaliação hídrica do Lago de Juturnaíba como alternativa de abastecimento de água do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – COMPERJ*. Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios & Meio Ambiente, Curso de Especialização em Gestão Ambiental. Universidade Federal Fluminense. Monografia, 64 p.
- Noronha, G.C.; Hora, M.A.G.M. & Silva, L.P. 2016. Análise do Índice de Anomalia de Chuva para a Microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(1): 74-81.
- Paulhus, J.L.H. & Kohler, M.A. 1952. Interpolation of missing precipitation records. *Monthly Weather Review*, 80(8): 129-133.
- Prolagos. 2019. Concessionária Prolagos. *Nível da Barragem Juturnaíba*. Disponível em: <<http://www.prolagos.com.br/nivel-da-barragem-juturnaiba/>>. Acesso em: 28 set. 2019.
- Quadro, M.F.L.; Machado, L.H.R.; Calbete, S.; Batista, N.N.M. & Oliveira, G.S. 1996. *Climatologia de Precipitação e Temperatura*. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>>. Acesso em 10 jun. 2019.
- Rocha, M.A.G.H. & Miranda Neto, M.I. 2018. Classification of the Juturnaíba Dam: Potential Risk and Damage. *Journal of Water Resource and Protection*, 10: 1-19.
- Santos, E.P.; Correia, M.F.; Aragão, M.R.S. & Silva, F.D.S. 2011. Eventos extremos de chuva e alterações no regime hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: Uma aplicação do índice RAI (Rainfall Anomaly Index). *Engenharia Ambiental*, 8(2): 315-330.
- Silva, W.L. & Dereczynski, C.P. 2014. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(2): 123-138.
- SNIS. 2016. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016*. Disponível em: <<http://snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- Thorntwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1): 55-94.
- Thorntwaite, C.W. & Mather, J.R. *The water balance*. New Jersey, Drexel Institute of Technology, 1955, 104p.
- UFF/FEC. 2010. Universidade Federal Fluminense/Fundação Euclides da Cunha. *Sisvaznat 1.0: Sistema de Reconstituição de Séries e Vazões Naturais*. In: Hora, M.A.G.M.; Marques, E. & Hora, A.F. (Org). Niterói, RJ, 75p. Disponível em: <<http://www.sisvaznat.uff.br/>>. Acesso em: 20 jun. 2019.
- van Rooy, M.P. 1965. A Rainfall Anomaly Index (RAI) Independent of Time and Space. *Notos*, 14: 43-48.
- Wilhite, D.A. & Glantz, M.H. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10(3): 111-120.