



DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE – GO, PELOS MÉTODOS $Q_{7,10}$ E CURVA DE PERMANÊNCIA

José Alexandre Pinto Coelho Filho¹ & Albert Teixeira Cardoso² & Davi Nascimento Souza³
& Aldrei Marucci Veiga⁴*

Resumo – Embora a água seja um recurso renovável, sua ocorrência em forma de precipitação pode ser variável ao longo da escala espaço-tempo, resultando em escassez ou excesso em uma determinada região geográfica. A disponibilidade hídrica representa a parcela dos recursos hídricos que pode ser aplicada em diversas atividades de consumo, geralmente associada aos indicadores de valores mínimos. O presente estudo tem por objetivo estimar as vazões de referência, ou vazões mínimas, para a bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, no estado de Goiás, utilizando-se as seguintes metodologias: vazão mínima natural de sete dias de duração e dez anos de tempo de retorno ($Q_{7,10}$); e curva de permanência. A vazão $Q_{7,10}$ foi obtida pela aplicação do método estatístico de análise de frequência de dados hidrológicos, enquanto a curva de permanência foi elaborada para a obtenção das vazões Q_{90} e Q_{95} . O resultado dos métodos mostrou que a vazão $Q_{7,10}$ é mais restritiva ($Q_{7,10}$ corresponde a 39,7% da Q_{90} e 48,3% da Q_{95}) em relação àquelas obtidas pela curva de permanência.

Palavras-Chave – $Q_{7,10}$; Curva de Permanência; Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, Disponibilidade Hídrica.

WATER AVAILABILITY IN RIO MEIA PONTE BASIN- GO USING $Q_{7,10}$ AND CURVE FLOWS PERMANENCE METHODS

Abstract – Although water is a renewable resource, its occurrence in the precipitation form can be variable along space-time scale, resulting in its shortage or excess. Water availability represents the water resources portion that can be applied in different consumer activities usually linked to minimum values indicators. The aim of this study was to estimate the water availability in the Rio Meia Ponte basin, state of Goiás, using $Q_{7,10}$ (natural minimum flow seven-day and ten-year return time) and Curve Flows Permanence methodologies. The $Q_{7,10}$ discharge was obtained by applying the statistical method of frequency analysis for hydrological data. The curve flows permanence was developed to obtain the Q_{90} and Q_{95} discharges. The results showed that the $Q_{7,10}$ methods is more restrictive than the curve flows permanence, the value of $Q_{7,10}$ method corresponds to 39.7% of Q_{90} and 48.3% of Q_{95} .

Keywords – $Q_{7,10}$; Curve Flows Permanence, Rio Meia Ponte Watershed, Water Availability.

¹ Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, alexandre.coelho@cprm.gov.br.*

² Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, albert.cardoso@cprm.gov.br.

³ Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, davi.souza@cprm.gov.br.

⁴ Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, aldreiveiga@cprm.gov.br.



INTRODUÇÃO

Embora a água seja um recurso renovável, sua ocorrência em forma de precipitação pode ser variável ao longo da escala espaço-tempo, causando escassez ou excesso desse recurso em uma determinada localização geográfica.

Nesse contexto, o gerenciamento de recursos hídricos visa solucionar conflitos resultantes do uso intensivo da água, ocasionado em decorrência do crescimento econômico e populacional, bem como garantir que a água, recurso natural, finito e insubstituível à vida, se mantenha com oferta adequada e preserve suas múltiplas funções.

A disponibilidade hídrica representa a parcela dos recursos hídricos que pode ser aplicada em diversas atividades de consumo, geralmente associada aos indicadores de valores mínimos. De fato, considerando-se a variabilidade dos estoques de água na natureza, ora com ocorrências em excesso, ora em regimes de escassez, deve-se realizar a análise da disponibilidade com a demanda, simulando cenários conservadores em termos de produção de vazão na bacia hidrográfica, de forma a assegurar um atendimento pleno em todo o período de utilização desse recurso.

Dessa forma, as variáveis hidrológicas, e as vazões de estiagem em particular, são consideradas aleatórias e, portanto, sua quantificação encontra-se relacionada à teoria de probabilidade e estatística matemática.

Como ferramentas para o cálculo das vazões mínimas têm-se as seguintes metodologias, as quais foram empregadas no presente estudo: (i) vazão mínima natural de sete dias de duração e dez anos de tempo de retorno ($Q_{7,10}$); e (ii) curva de permanência. De acordo com Reis (2007) essas são as duas metodologias mais utilizadas no Brasil.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os estudos hidrológicos e os resultados da estimativa da disponibilidade hídrica superficial na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, aplicando-se o método da $Q_{7,10}$ e a curva de permanência.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A bacia hidrográfica rio do rio Meia Ponte (Figura 1) compreende 38 municípios, dentre os quais se destaca a cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás.

De acordo com a Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado - AAPAC (2015), a bacia do rio Meia Ponte possui suas nascentes no município de Itauçu/GO, desaguardo no rio Paranaíba, no município de Cachoeira Dourada/GO, o qual fica à aproximadamente 234 km de Goiânia, abrangendo uma área de drenagem de 12.180 km². Ainda, de acordo com a AAPAC, essa bacia vem sofrendo com problemas de desmatamento devido às atividades agropecuárias.

Ainda de acordo com a AAPAC, a bacia do rio Meia Ponte é subdividida em cinco sub-bacias: i) Alto Meia Ponte, que engloba a região das nascentes até a foz no ribeirão João Leite; ii) Ribeirão João Leite, que abrange sete municípios e é delimitada como Área de Proteção Ambiental; iii) Rio Caldas, que abrange parte de nove municípios goianos; iv) Rio Dourados, que também engloba nove municípios; v) Baixo Meia Ponte, que possui a maior área territorial, abrigando quinze municípios.

Dentre as opções de cálculo da disponibilidade hídrica superficial foram utilizadas as seguintes metodologias: (i) vazão mínima natural de sete dias de duração e dez anos de tempo de

retorno ($Q_{7,10}$), e (ii) Curva de Permanência. De acordo com Reis (2007) essas são as duas metodologias mais utilizadas no Brasil.

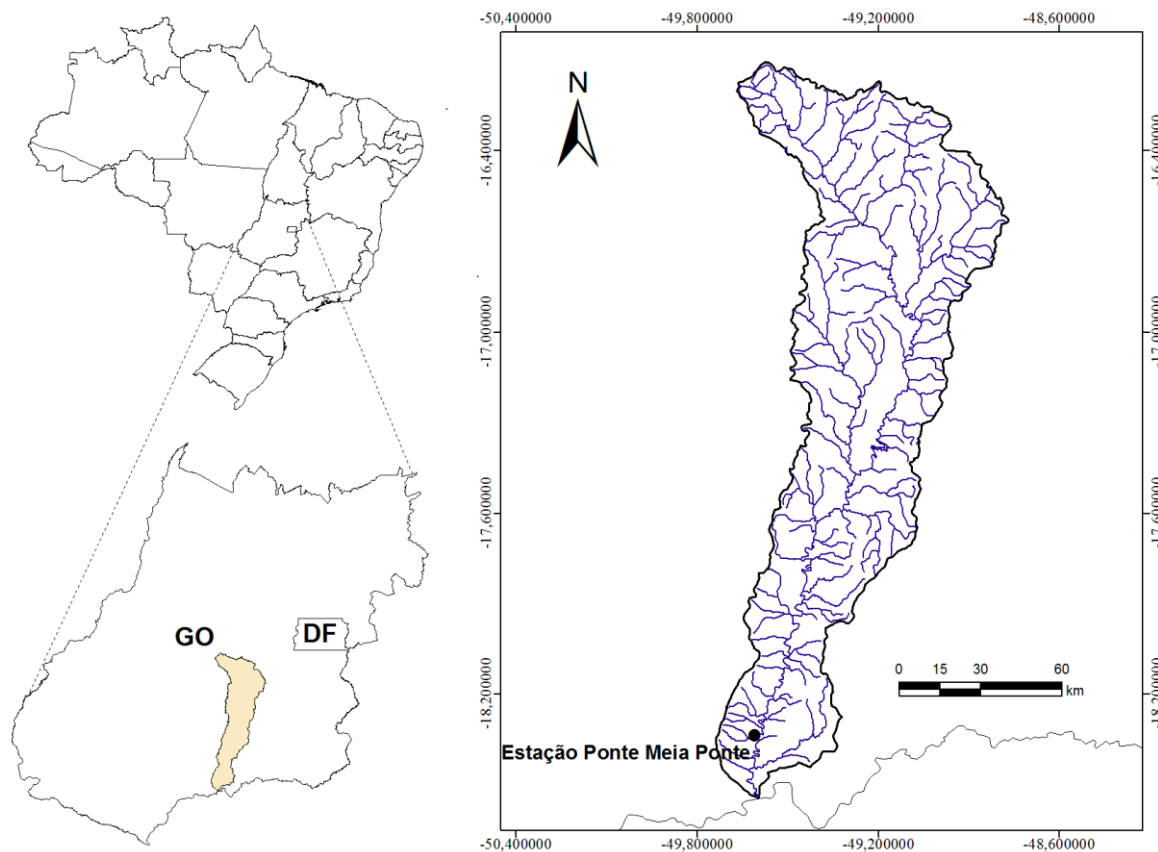


Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio Ponte Meia Ponte e estação Ponte Meia Ponte.

A seleção dos dados de entrada para os métodos $Q_{7,10}$ e Curva de Permanência foi realizada com base na análise da série de registros de dados de vazão. Os anos com mais de 15 dias sem registro foram excluídos por não serem representativos da série histórica de monitoramento.

Vazão $Q_{7,10}$

De posse da série de vazões diárias da estação fluviométrica considerada, foram analisadas as médias diárias de vazão por meio do cálculo da média móvel de sete dias consecutivos (Q_7). Com os valores da menor média de sete dias de cada ano, efetuaram-se análises estatísticas que permitiram extrapolar o valor para diferentes tempos de retorno.

A etapa de estimação dos quantis de vazões mínimas, para diversos tempos de retorno, pode ser feita pela metodologia de análise de frequência, na qual tem-se a relação da magnitude de um determinado evento com sua frequência de ocorrência.

No presente trabalho, para a estimação dos parâmetros da distribuição de probabilidade utilizada, foi aplicado o *software* ALEA (Análise de Frequência Local de Eventos Anuais), versão 1, que usa os métodos dos momentos e da máxima verossimilhança para estimar os parâmetros (e quantis) das principais distribuições de probabilidades usadas na análise de frequências de eventos hidrológicos mínimos, médios e máximos anuais.

A vazão $Q_{7,10}$ pode ser obtida pela aplicação do método estatístico de análise de frequência de dados hidrológicos. Sabe-se que as vazões médias mínimas, tais como a Q_7 , são limitadas inferiormente, onde a menor vazão possível é a vazão nula. Para a modelagem de eventos de



ocorrência de vazões mínimas pode-se utilizar qualquer distribuição de probabilidade cuja variável aleatória tenha um limite inferior, embora seja procedimento frequente a aplicação da distribuição de Weibull para tais eventos. As funções densidade de probabilidade e de probabilidades acumuladas do modelo distributivo de Weibull são dadas, respectivamente, por:

$$f_X(x) = \alpha x^{\alpha-1} \beta^{-\alpha} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right], \text{ para } x \geq 0, \alpha, \beta > 0 \quad (1)$$

$$F_X(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (2)$$

onde α e β são, pela ordem, os parâmetros de forma e escala. Uma vez estimados os parâmetros da distribuição de Weibull, pode-se calcular o quantil x_T , correspondente a um determinado período de retorno T , por meio da inversão da equação 2, ou seja:

$$x_T = \beta \left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3)$$

Curva de Permanência

Em hidrologia, é frequente o emprego da curva de permanência de vazões para o planejamento e projeto de sistemas de recursos hídricos e, também, como instrumento de outorga de direito de uso da água em alguns estados brasileiros, servindo como ferramenta para o cálculo das vazões de referência (vazões mínimas).

A curva de permanência de vazões indica, ao longo de um período de observação, a porcentagem do tempo em que dada descarga foi igualada ou superada durante o histórico registrado em dada seção fluvial, pois mostra graficamente a relação entre a magnitude e a frequência da variável em questão (VOGEL e FENNESSEY, 1994). Sua discretização geralmente é feita em intervalos diários, mas outra discretização temporal pode ser adotada.

Para a elaboração da curva de permanência e cálculo da Q_{90} e Q_{95} utilizou-se a mesma série histórica aplicada para o cálculo da $Q_{7,10}$.

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), a curva de permanência pode ser elaborada de acordo com os seguintes passos:

1. Ordenar das vazões Q em ordem decrescente;
2. Atribuir a cada vazão ordenada Q_m , a sua respectiva ordem de classificação;
3. Associar a cada vazão ordenada Q_m a sua respectiva frequência ou probabilidade empírica de ser igualada ou superada $P(Q \geq Q_m)$, a qual pode ser estimada pela razão (m/N) ;
4. Lançar em um gráfico as vazões ordenadas e suas respectivas porcentagens $100(m/N)$ de serem igualadas ou superadas no intervalo de tempo considerado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do Regime Fluviométrico

O estudo de caracterização preliminar do regime fluviométrico na bacia do rio Meia Ponte foi conduzido utilizando-se dados de séries históricas de monitoramento de vazão entre os anos de 1951 e 2012, os quais foram registrados pela estação fluviométrica Ponte Meia Ponte (Código ANA

60680000), operada pela CPRM. Essa estação foi considerada como ponto de controle nesse estudo em função da sua localização nessa bacia (Figura 1), cuja área de drenagem é de 11.500 km².

A partir dos dados contidos na referida estação, foram elaborados gráficos ilustrativos que representam o comportamento das vazões médias, máximas e mínimas registradas ao longo do tempo. Assim, ao longo do histórico de monitoramento, pode-se verificar os valores dessa variável durante os períodos úmidos e secos. A síntese dos dados de medição registrados pela estação Ponte Meia Ponte (Código ANA 60680000) pode ser verificada na Figura 2, a qual apresenta os valores das vazões máximas, médias e mínimas mensais.

A Figura 2 mostra a sazonalidade marcante entre o período de inverno (menos chuvoso) e o verão (mais chuvoso), o que reflete nas vazões registradas. Ainda, verifica-se que a vazão média de longo termo (Q_{mlt}) é da ordem de 151,6 m³/s (teoricamente calculada como o valor da vazão que, se ocorresse de forma constante no tempo, produziria o mesmo volume que o regime fluvial escoou ao longo do intervalo de tempo).

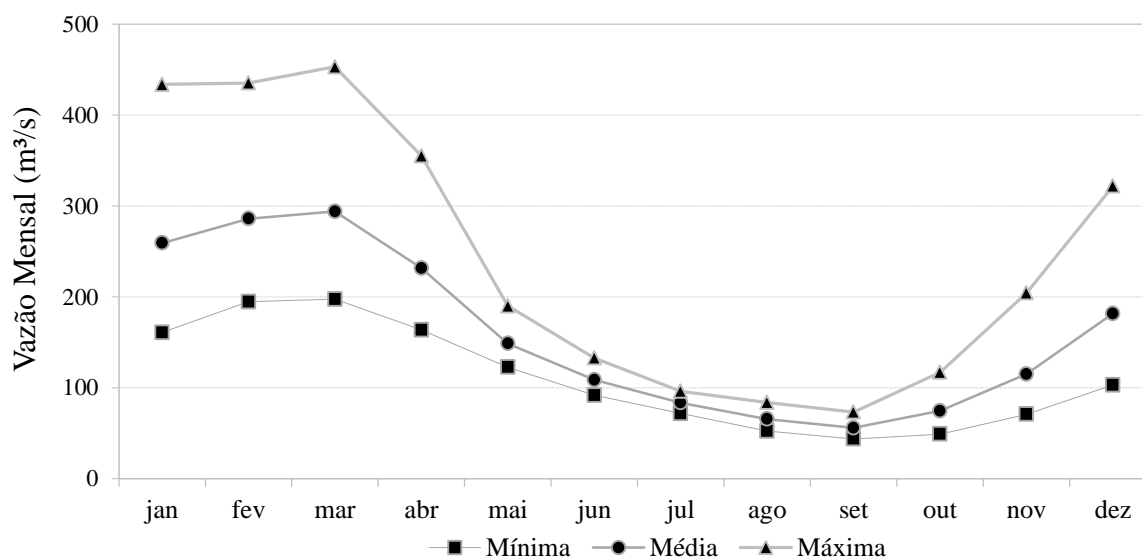


Figura 1 - Vazões mínimas, médias e máximas mensais da estação Ponte Meia Ponte.

Com base nesse resultado, pode-se calcular o deflúvio médio anual, obtido pela razão da vazão agregada no tempo (volume) pela respectiva área de drenagem controlada pela estação fluviométrica em análise. Assim, tem-se o valor de deflúvio médio anual da ordem de 414 mm para a bacia hidrográfica (bacia do rio Meia Ponte) controlada pela estação Ponte Meia Ponte (Código ANA 60680000).

Com relação às vazões médias anuais, pode-se observar o comportamento dessa variável na Figura 3. A análise indica que, no ano de 1982, foi verificado um registro de vazão da ordem de 274,8 m³/s. Em contrapartida, no ano de 1953 foi registrada a menor vazão, a qual corresponde ao valor de 74,2 m³/s. Os anos faltantes nessa série possuem 15 dias ou mais de falhas.

Disponibilidade Hídrica Superficial

O estudo de caracterização preliminar das disponibilidades hídricas superficiais na bacia do rio Meia Ponte foi conduzido utilizando-se dados de séries históricas de monitoramento de vazão entre os anos de 1951 e 2012, os quais foram registrados pela estação fluviométrica Ponte Meia Ponte, considerada como ponto de controle em função da sua localização nessa Bacia.

Vale ressaltar que a área de contribuição dessa estação é 11.500 km², ou seja, 94% da área da bacia do Meia Ponte, que é de 12.180 km². Em função dessa parcela significativa de área controlada pela estação em análise, considera-se nesse estudo os resultados dessa estação sendo a disponibilidade hídrica superficial para toda a bacia do Meia Ponte.

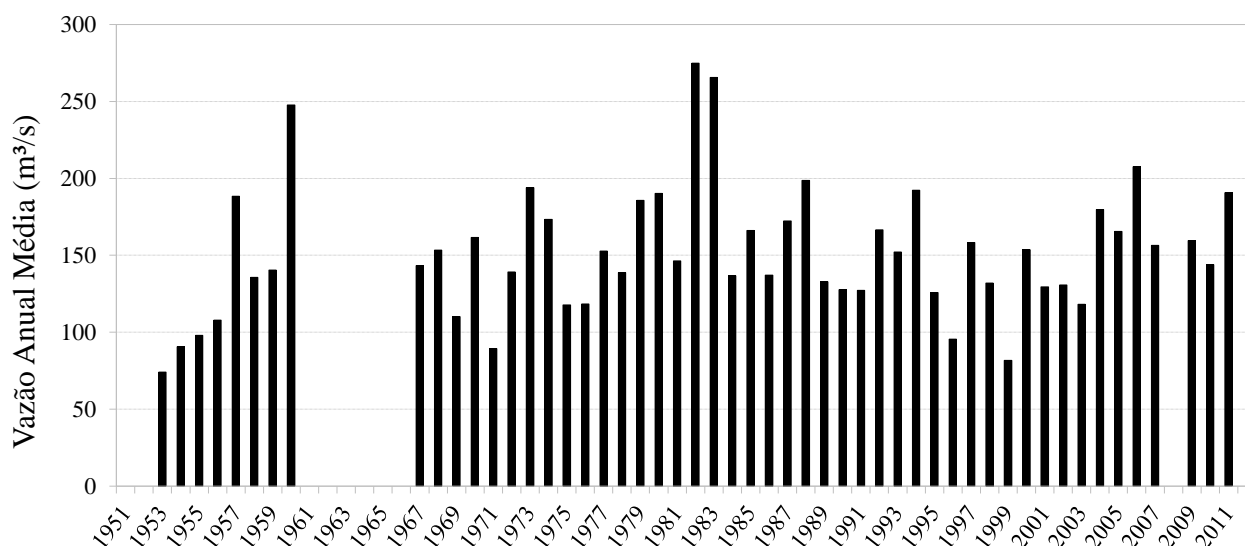


Figura 3 – Série de vazões médias anuais da estação Ponte Meia Ponte.

Vazão $Q_{7,10}$

A Tabela 1 apresenta os resultados dos quantis de vazão calculados para diferentes tempos de retorno, utilizando o modelo distributivo de Weibull, sendo que os testes de aderência realizados (Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov no nível de significância de 5%) apontaram a aplicabilidade do modelo distributivo mencionado.

Tabela 1: Quantis de vazão mínima calculados utilizando o modelo distributivo de Weibull (m³/s)

Distribuição	Tempo de Retorno										
	2	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100
Weibull	42,91	27,60	20,69	17,56	15,65	13,33	11,91	10,91	10,16	9,08	8,32

Assim, a vazão $Q_{7,10}$ para a área em estudo corresponde ao valor de 20,7 m³/s. Em alguns estados do Brasil, como no estado de Minas Gerais, por exemplo, o critério de outorga de captação de recursos hídricos superficiais corresponde à 30% do valor da $Q_{7,10}$. De acordo com esse critério de outorga de vazão mínima, a disponibilidade de captação superficial na bacia do Meia Ponte seria da ordem de 6,21 m³/s, considerando os dados históricos de monitoramento de vazão registrados pela estação fluviométrica Ponte Meia Ponte entre os anos de 1951 e 2012.

Curva de Permanência

A Figura 4 apresenta a curva de permanência das vazões médias diárias, a qual foi elaborada para o rio Meia Ponte. Pode-se observar que, a vazão Q_{90} e Q_{95} , ou seja, a vazão que é excedida em 328,5 dias do ano (90% dos dias do ano) e 346,7 dias do ano (95% dos dias do ano), respectivamente, são da ordem de 52,1 e 42,8 m³/s.

Verifica-se que a vazão $Q_{7,10}$ é mais restritiva em relação àquelas obtidas pela curva de permanência. De acordo com Castro *et al.* (2004), dentre os critérios de outorga utilizados nos diversos estados brasileiros, o critério de Minas Gerais é o mais restritivo (30% da $Q_{7,10}$).

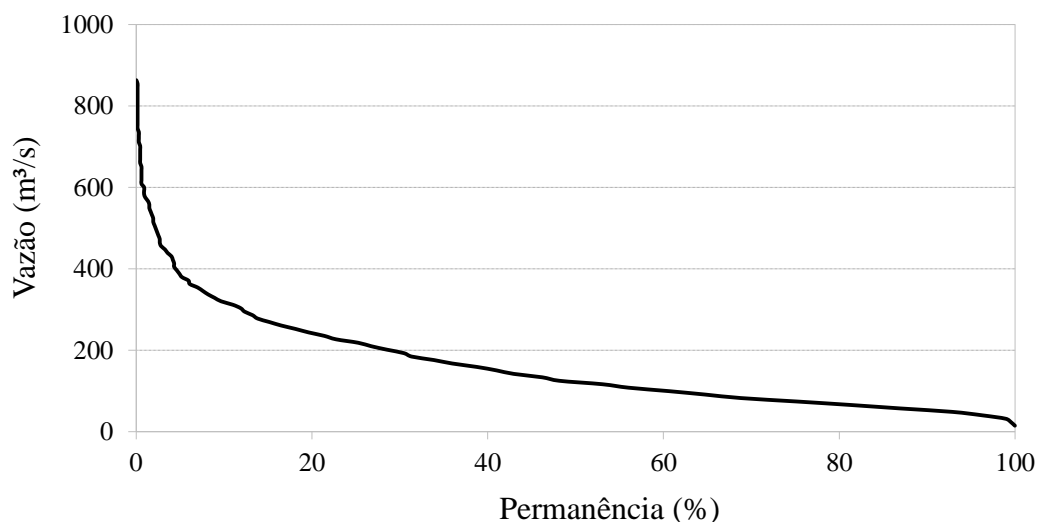


Figura 4 - Curva de permanência para o rio Meia Ponte.

A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados obtidos no presente estudo, incluindo a disponibilidade hídrica em termos de produção de vazão por unidade de área na bacia (vazão específica).

Tabela 2: Resumo dos valores de disponibilidade hídrica obtidos para a bacia do Meia Ponte

Bacia	Área (km ²)	Q_{mlt} (m ³ /s)	q_{mlt} (L/s.km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	$q_{7,10}$ (L/s.km ²)	Q_{95} (m ³ /s)	q_{95} (L/s.km ²)	Q_{90} (m ³ /s)	q_{90} (L/s.km ²)
Meia Ponte	11.500	151,60	13,18	20,7	1,80	42,8	3,72	52,1	4,53

CONCLUSÕES

O presente estudo teve por objetivo apresentar os resultados dos estudos hidrológicos referentes ao cálculo das vazões de referência (vazões mínimas) e, por conseguinte, da estimativa da disponibilidade hídrica da porção da bacia do rio Meia Ponte (94% de sua área) controlada pela estação fluviométrica Ponte Meia Ponte (Código ANA 60680000).

Dessa forma, foram calculadas as vazões mínimas por meio da aplicação de duas metodologias clássicas para estudos hidrológicos de estimativa de cenários críticos em termos de produção de vazão em bacias hidrográficas, a saber: vazão $Q_{7,10}$ e curva de permanência.

As principais conclusões sobre os resultados preliminares obtidos no presente estudo encontram-se abaixo relacionadas:

A série histórica de dados de vazão registrada pela estação fluviométrica analisada indica que o maior valor de vazão média anual foi de 274,8 m³/s, no ano de 1982. Em contrapartida, a menor vazão média anual registrada foi no ano de 1953, cujo valor corresponde a 74,2 m³/s.



Verifica-se que no rio Meia Ponte, para a seção de controle considerada (área de 11.500 m²), a vazão média de longo termo é de 151,6 m³/s. O Cômputo da vazão agregada no tempo e distribuída pela área da bacia fornece o deflúvio médio anual, correspondente a 414 mm.

Para o procedimento de análise de frequência local, foi ajustado o modelo distributivo de Weibull, o qual forneceu uma vazão $Q_{7,10}$ de 20,7 m³/s.

A curva de permanência elaborada para a estação em análise indica que a vazão Q_{90} e Q_{95} , ou seja, a vazão que é excedida em 328,5 dias do ano (90% dos dias do ano) e 346,7 dias do ano (95% dos dias do ano), respectivamente, são da ordem de 52,1 e 42,8 m³/s.

Verifica-se que a vazão $Q_{7,10}$ é mais restritiva em relação àquelas obtidas pela curva de permanência. A $Q_{7,10}$ corresponde a 39,7% da Q_{90} e 48,3% da Q_{95} .

AGRADECIMENTOS

Ao Superintendente regional da CPRM/GO, Luiz Fernando Magalhães, e à gerente de hidrologia e gestão territorial, Cíntia de Lima Vilas Boas, pela proposição do tema aqui discutido e pelo incentivo na elaboração do estudo.

REFERÊNCIAS

AAPAC - Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado. Caracterização da Bacia do Meia Ponte. Disponível em: <<http://www.proaguasdocerrado.org.br/>> Acesso em 21 de Março e 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas. *Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em 20 de Março de 2015.

CASTRO, L. M. A.; DINIZ, M. G. M.; SILVA, A. G. (2004). Aplicação do Instrumento da Outorga no Gerenciamento dos Recursos Hídricos em Minas Gerais: A Bacia do Ribeirão Entre RIBEIROS. In *Anais do Simpósio De Recursos Hídricos do Nordeste*, 7. São Luís. Anais... São Luis: ABRH, 1 CD-ROM.

LIMA, Alessandra Aparecida ; NAGHETTINI, M. C. (2001). ALEA - Uma Ferramenta Prática e Consistente para Análise de Frequência Local de Eventos Hidrológicos. In *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2001, Aracaju. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju: ABRH.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A (2007). *Hidrologia estatística*. 1a ed. Belo Horizonte: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Superintendência Regional de Belo Horizonte, 561 p.

REIS, A.A. (2007) Estudo Comparativo, aplicação e definição de metodologias apropriadas para a determinação da vazão ecológica na bacia do rio Pará, em Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

VOGEL, R.M.; FENNESSEY, N.M. (1994). Flow-duration curves I: new interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120 (4), p. 485-504.