



DETERMINAÇÃO DE CURVA DE PERMANÊNCIA EM PEQUENAS BACIAS UTILIZANDO O MÉTODO SILVEIRA

*Arthur da Fontoura Tschiedel*¹, Marcelo Conti Dal Pizzol², José Leandro Melgar Nérís³,
Matheus Lara Rippel⁴, Rodrigo Cauduro Dias de Paiva⁵, Claudinéia Brasil⁶*

Resumo – O estabelecimento de uma curva de permanência em determinado local de interesse se faz importante para saber a variabilidade temporal das vazões em cursos hídricos, de modo que o conhecimento dessas características pode ser utilizado para diversos fins, dentre os quais se destaca o licenciamento ambiental de empreendimentos que de uma forma ou outra exerçam influência sob os mesmos. Entretanto, o conhecimento do regime de vazões em locais sem monitoramento prévio é uma tarefa difícil e muitos métodos já foram propostos para estimar dados de vazão em bacias não monitoradas. Dentre eles destaca-se o Método Silveira, que se resume a um modelo chuva-vazão simplificado, aplicado principalmente para pequenas bacias. Neste trabalho o Método Silveira é aplicado para o Arroio Capitão Jango, visando o estabelecimento de uma curva de permanências para a pequena bacia de 20 km². Como resultados, obteve-se uma vazão média de 0,75 m³/s e uma Q₉₅ de 0,04 m³/s.

Palavras-Chave – Vazão de Referência, Método Flutuador, Licenciamento Ambiental.

DETERMINATION OF PERMANENCE CURVE IN SMALL BASINS USING THE SILVEIRA METHOD

Abstract – The establishment of a permanence curve in a certain place of interest is important to know the temporal variability of the flows in water courses, so that the knowledge of these characteristics can be used for several purposes, among which the environmental licensing of industries which in somehow exert influence under them. However, knowing the flow regime in locations without previous monitoring is a difficult task and many methods have already been proposed to estimate flow data in unmonitored basins. Among them, the Silveira Method stands out, which is summarized in a simplified rain-flow model, applied mainly to small basins. In this work, the Silveira Method is applied to the Captain Jango Stream, aiming at establishing a permanence curve for the small 20 km² basin. As results, an average flow rate of 0.75 m³ / s and a Q₉₅ of 0,04 m³ / s was obtained.

Keywords – Reference Flow, Floating Method, Environmental Licensing.

1 INTRODUÇÃO

A vazão que passa por determinado curso hídrico não é constante, e sua variabilidade temporal pode ser visualizada a partir do estabelecimento de uma curva de permanência de vazões, que permite avaliar a parcela do tempo em que determinada vazão de um curso hídrico está disponível, para um dado local (Collischonn & Dornelles, 2013). A estimação da curva de permanência é importante, desse modo, para se estabelecer a disponibilidade hídrica em locais de,

¹* Universidade Federal do Rio Grande do Sul - arthurtidel@hotmail.com

² Engenheiro Ambiental - marcelodalpizzol@gmail.com

³ Faculdade Dom Bosco - leandro_melgar@hotmail.com.

⁴ Faculdade Dom Bosco - matheusrippel@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – rodrigocdpaiva@gmail.com

⁶ Faculdade Dom Bosco - neiabrazil@yahoo.com.br

por exemplo, bombeamento de águas para abastecimento de cidades, outorga para empreendimentos agropecuários e dimensionamento de empreendimentos hidroenergéticos. Além desses, a curva de permanência também é utilizada para se saber qual a vazão mínima de cursos hídricos em locais de lançamento de efluentes, sendo requisitada, portanto, na quase totalidade de licenciamentos ambientais de empreendimentos que de uma forma ou outra utilizarão as águas de um rio qualquer. A legislação estadual do Rio Grande do Sul, representada pela Resolução Consema nº 128 especifica, por exemplo, a qualidade do efluente a ser lançado num curso hídrico a partir da vazão do mesmo, que é calculada a partir de um Laudo Hidrológico executado por profissional qualificado.

Atualmente existe conhecimento técnico científico suficiente para que se possa estimar vazões (e conseqüentemente estimar a curva de permanência) de determinado curso hídrico de forma remota, seja pelo monitoramento realizado pela Agência Nacional de Águas ou seja pelo emprego de técnicas que aliem dados de sensoriamento remoto e modelagem hidrológica, principalmente para grandes bacias (Tucci, 2005).

De forma mais simplificada, a metodologia atualmente mais utilizada para a determinação de vazões de referência em mananciais sem dados de vazão é a técnica da Regionalização, que se embasa na transposição de vazões monitoradas em bacias de similaridade hidrológica para as bacias de interesse sem dados (Tucci, 2002). Esta metodologia, entretanto, apresenta como principal restrição a transposição de dados oriundos do monitoramento de um conjunto de grandes bacias para uma pequena bacia, de modo que a bacia a ser regionalizada precisa apresentar área de drenagem superior a menor e inferior à maior bacia levada em consideração na regionalização. Dessa forma, muitas vezes o tamanho da bacia em que se deseja obter dados acaba sendo um impeditivo para utilizar a metodologia de regionalização e estimar a curva de permanência.

Para estimar vazões em pequenas bacias, entretanto, é possível utilizar o já consolidado Método Silveira (Silveira *et al.*, 1998), que permite, através da associação de poucas informações (poucas medições de vazões *in loco*, dados históricos de chuva e dados históricos de evapotranspiração) a um modelo hidrológico simplificado, a estruturação da curva de permanência com pequena faixa de erro. Vale ressaltar, ainda, que este método foi revisado recentemente nos trabalhos de Horn (2016), cujo objetivo foi potencializar a utilidade do método em bacias de portes maiores, ou seja, não apenas em pequenas bacias.

Mesmo sendo muito utilizado no mercado privado para estimar vazões em pequenos riachos não monitorados, referências de aplicação deste método no meio científico são um tanto quanto escassas, destacando-se recentemente o trabalho de Almeida (2016), que utilizou o método para estimar as vazões aportantes em pequeno reservatório localizado na Bahia.

Este trabalho tem o intuito de apresentar, portanto, a aplicação do Método Silveira em um curso hídrico localizado na cidade de Camaquã/RS. Para se estimar os três dados de vazões pontuais necessários para calibrar a curva do modelo hidrológico simplificado proposto pelo método, utilizou-se o método do flutuador (Embrapa, 2007).

2 ÁREA DE ESTUDO

O local do estudo é o Arroio Capitão Jango, corpo hídrico pertencente à Bacia do Rio Camaquã, localizado a nordeste do centro do município de Camaquã. O Arroio Capitão Jango tem em torno de 7 Km de comprimento até o exutório considerado e área de drenagem da ordem de 20 km², conforme apresentado na Figura 1, que mostra a localização do curso hídrico no contexto do município e uma foto da seção estudada.

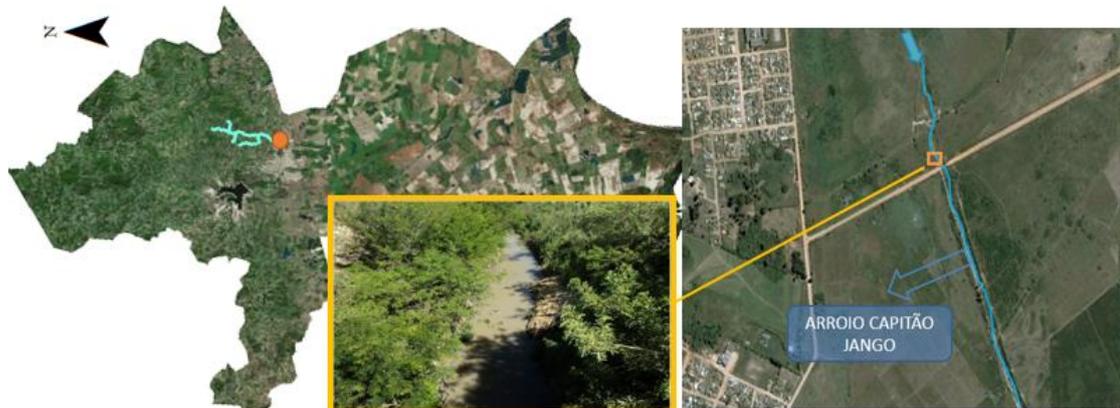


Figura 1 - Localização do Ponto de Monitoramento

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este item aborda os aspectos metodológicos que envolvem as técnicas utilizadas para a obtenção dos resultados no âmbito deste trabalho, em que são destacados: (i) o Método Silveira (modelo simplificado de chuva-vazão) e; (ii) o Método Flutuador, utilizado para mensuração de vazão em campo.

3.1 Método Silveira

Este método adota um modelo hidrológico simplificado para que seja possível a obtenção de série de vazões históricas para dado manancial, através de dados de entrada como séries históricas de precipitação, de evapotranspiração e medições de vazão em campo. O método baseia-se na estimativa do comportamento da bacia em épocas de estiagem, considerando que a depleção da mesma é retrato do seu comportamento após a ocorrência de precipitações, relacionado ao pequeno tempo de concentração os quais bacias pequenas apresentam. Ou seja, através desta metodologia é possível transformar os dados históricos de chuva, obtidos pelas estações pluviométricas locais, em dados de vazões, que são posteriormente calibrados com as medições realizadas em campo, como o exemplo apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** As marcações em laranja representam medições realizadas em campo e as barras superiores, períodos de precipitação. Como restrições, ainda, o modelo: (i) despreza o armazenamento de água na camada superior do solo, no intervalo de tempo de análise (diário) e; (ii) retira diretamente da precipitação diária, a evapotranspiração potencial. As equações que regem o modelo são a seguir expostas:

$$P_{td} = P_d - E_d \quad (1)$$

$$P_{ed} = (1 - C_{inf}) \times P_{td} \quad (2)$$

$$V_i = C_{inf} \times P_{td} \quad (3)$$

$$Q_{b(t)} = (Q_{b(t-1)} \times e^{-\Delta t/k_b}) + (V_i(t) \times (1 - e^{-\Delta t/k_b})) \quad (4)$$

$$Q_s(t) = P_{ed} \quad (5)$$

$$Q_{total(t)} = (Q_{b(t)} + Q_s(t)) \times A_d \times 86,4 \quad (6)$$

Em que “ P_d ” é a precipitação diária, obtida através das estações pluviométricas (mm); “ E_d ” é a evapotranspiração diária (mm); “ P_{td} ” é a precipitação total diária considerada na modelagem (mm); “ P_{ed} ” é a precipitação efetiva, sendo aquela que gera escoamento (mm); “ C_{inf} ” é o

coeficiente de infiltração das águas da chuva no solo (mm); “ V_i ” é o volume de infiltração no solo (mm); “ K_b ” é o tempo de esvaziamento do reservatório considerado (dias); “ Δt ” é o intervalo de 1 dia; “ A_d ” é a área de drenagem da bacia (km²); “ $Q_b(t)$ ” é a vazão de contribuição de base para o dia t (mm); “ $Q_s(t)$ ” é a vazão de contribuição superficial para o dia t (mm); “ $Q_{total}(t)$ ” é a vazão total do manancial para dado dia t (m³/s).

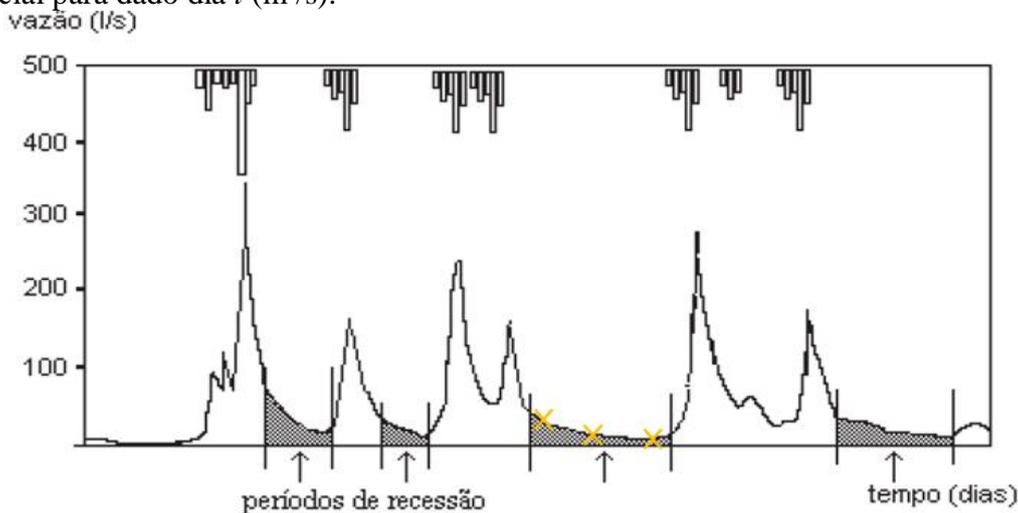


Figura 2 - Exemplo de Produto Obtido Através da Aplicação do Método Silveira (Fonte: Silveira *et al.*, 1998)

A aplicação das equações acima passa a representar a realidade do local do estudo no momento em que os parâmetros C_{inf} e K_b começam a ser manipulados e modificados, visando um ajuste da curva obtida, coerente com as medições realizadas em campo. É importante ressaltar também a questão referente às medições de campo preconizadas pela metodologia. Elas devem ser espaçadas no mínimo de 2 em 2 dias (exemplo: segunda feira, quarta feira e sexta feira) e devem ser precedidas de um intervalo de 7 dias com ausência (ou quase ausência) de precipitações, para que se tenha certeza que apenas a contribuição das águas subterrâneas esteja atuando sobre o manancial. Ainda, o período total de amostragem (7 dias + dias de amostragem) não deve ultrapassar 15mm de chuva acumulada.

Desse modo, a estação pluviométrica utilizada para fornecer dados históricos de precipitação foi a estação da Agência Nacional de Águas número 3051016 (Camaquã 01), que dispunha de 37 anos de dados históricos. Como esta estação apresentou consideráveis falhas, a mesma foi corrigida com os dados oriundos de outra estação, a Boa Vista (03051017). Considerando a proximidade das estações (em torno de 16 km), e também o bom acoplamento de dados, a correção foi feita com apenas transposição direta dos dados de chuva.

A evapotranspiração diária potencial para o local de estudo foi obtida por meio da metodologia consolidada de Thornthwaite (Thornthwaite *et al.*, 1939) considerando os dados de temperatura histórica da estação do INMET – A838 (mm), enquanto que as medições de vazão foram realizadas em dezembro de 2013, em período de depleção de vazões, conforme estipulado pela metodologia. A estação pluviométrica do INMET A838 – Camaquã foi também utilizada para acompanhar as precipitações durante o período de amostragem escolhido. O método utilizado para se obter os dados de vazões é explicado a seguir.

3.2 Método Flutuador

O Método Flutuador (Embrapa, 2007) objetiva a determinação da vazão de um manancial a partir da área da seção transversal de determinado local em m² e da velocidade de escoamento, em m/s, conforme a Equação 07, em que “Q” é a vazão da seção (m³/s); “A” é a área média da seção (m²); “L” é o comprimento da área da medição (m); “C” é o coeficiente de correção (adm) e; “T” é o tempo (s).

$$Q = \frac{(A \times L \times C)}{T} \quad (7)$$

Salienta-se, entre os parâmetros apresentados, o coeficiente de correção. Este parâmetro é referente à adequação da velocidade medida na porção superior da lâmina d’água, de forma que ela represente toda a massa de escoamento. Este coeficiente pode variar de 0,8, para rios com fundo pedregoso a 0,9 para rios com fundo barrento. A mensuração da área de cada uma das duas seções estabelecidas foi realizada por meio de régua e tomada de 5 profundidades simétricas para cada uma das seções, enquanto que o tempo, referente à velocidade do escoamento, foi obtido pela média de 5 tomadas de tempo de deslocamento de uma laranja, conforme indica o método, de montante para jusante, entre as duas seções.

4 RESULTADOS

A aplicação da metodologia utilizada neste trabalho permitiu obter 3 valores de vazões em período de depleção do arroio, conforme apresentado na Tabela 1. Uma vez calibrados com a série de precipitações referentes ao ano de 2013 (da estação A838 do INMET), os parâmetros C_{inf} e K_b finais foram aplicados à série histórica do posto 03051016. A Figura 3 apresenta estes resultados parciais, com um *zoom* no local de medições de vazão, em que é possível perceber um ótimo acoplamento dos dados de vazão obtidos em campo com os dados de vazão simulados. O valor utilizado para os referidos parâmetros foi 55% para C_{inf} e 10d para K_b . Enquanto isso, a aplicação destes parâmetros calibrados para a série histórica diária da estação 03051016 é apresentada na Figura 4.

Tabela 1 – Resumo das Medições de Campo.

Data	Dias Consecutivos	Chuva (mm)	Chuva Acumulada (mm)	Vazão medida no Arroio (L/s)
03/12/13	1	0.2	0.2	-
04/12/13	2	0.2	0.4	-
05/12/13	3	5.8	6.2	-
06/12/13	4	0	6.2	-
07/12/13	5	0	6.2	-
08/12/13	6	0.2	6.4	-
09/12/13	7	1.6	8	-
10/12/13	8	0.6	8.6	98.64
11/12/13	9	0	8.6	-
12/12/13	10	0	8.6	-
13/12/13	11	1.2	9.8	72.56
14/12/13	12	0.6	10.4	-
15/12/13	13	0	10.4	-
16/12/13	14	0	10.4	-
17/12/13	15	0.2	10.6	41.28

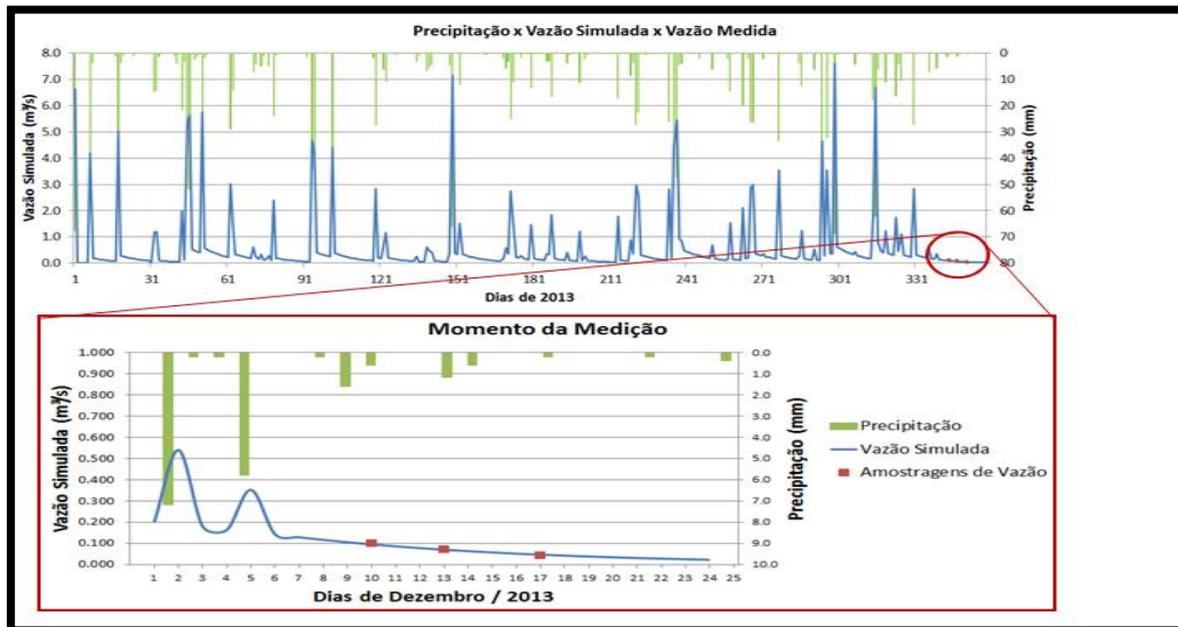


Figura 3 – Resultados da modelagem para o ano de 2013 – Estação A838 – INMET.

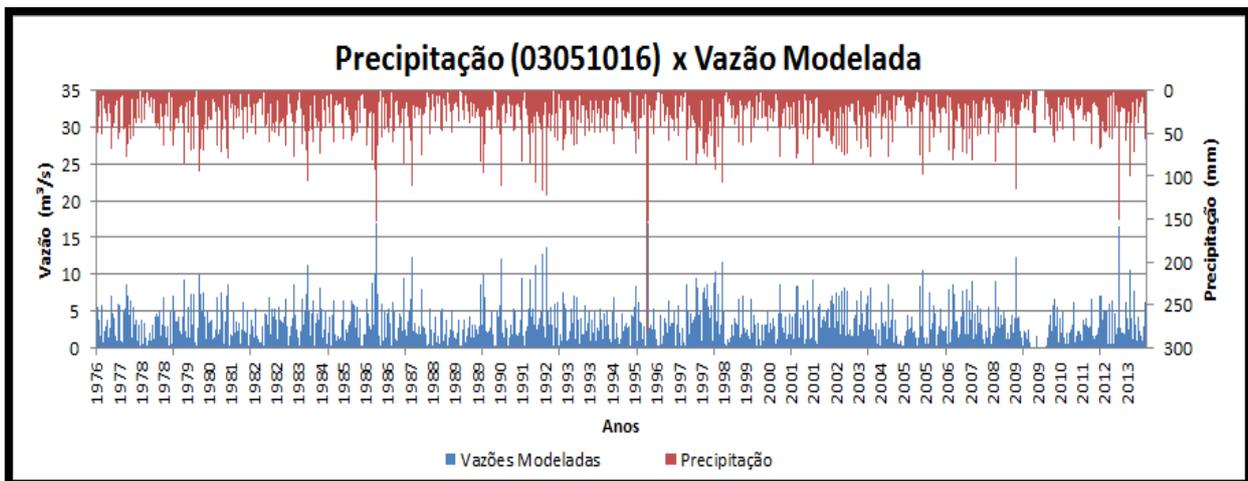


Figura 4 – Resultados da modelagem para o ano de 2013 – Estação A838 – INMET.

Muito embora os dados gerados pareçam ter grande exatidão, ressalta-se que a aplicação desta metodologia pode gerar incertezas consideráveis nos resultados. Deste modo, é necessário considera-las no resultado final. Essas incertezas são normalmente decorrentes de 3 aspectos, de acordo com Silveira *et al.* (1998): (i) incertezas dos dados de entrada, relativas à exatidão da obtenção de dados de precipitação e de vazão; (ii) incertezas da estrutura do modelo, causadas pela limitação da representação dos processos e; (iii) incertezas dos parâmetros, resultado de inadequadas técnicas de estimativas dos dados utilizados e da variabilidade temporal e espacial dos mesmos.

Destaca-se também os procedimentos adotados para a determinação de vazões em períodos de falha de precipitação. Como o modelo considera, para dado tempo t , a influência do escoamento de base de $t-1$, os períodos de falha de precipitação não apenas inviabilizam a utilização dos dados

de vazão gerados para o dia de falha, como também para o período após esta falha, justamente por não se saber da ocorrência ou não de precipitação que gerasse escoamento (de base ou superficial) no período de análise. Portanto, a premissa adotada para contornar as falhas de precipitação foi a exclusão não só dos períodos de falha, mas também períodos posteriores cuja precipitação em 12 dias consecutivos ultrapassasse 15 mm de chuva acumulada. A série de vazões passaria a ser considerada, portanto, após uma primeira precipitação, posterior a um período de depleção de no mínimo 12 dias consecutivos com no máximo 15 mm de chuva acumulada. Essa premissa garantiria a exclusão da influência de vazões superficiais não identificadas devido às falhas, além de carregar, com dados reais, o aquífero novamente.

Ainda, o método utilizado prevê um possível erro associado da ordem de 30% para cima e para baixo, aplicados nos resultados obtidos pela simulação. Estes erros potenciais poderiam ser diminuídos para uma ordem de 15% caso houvesse 10 medições em depleções do hidrograma. Ressalta-se também que a metodologia utilizada foi elaborada com o intuito de prever apenas vazões mínimas, não sendo recomendada a utilização deste método para prever vazões máximas. A curva de permanência obtida ao final do processo é apresentada na Figura 5.

Curva de permanência de vazões

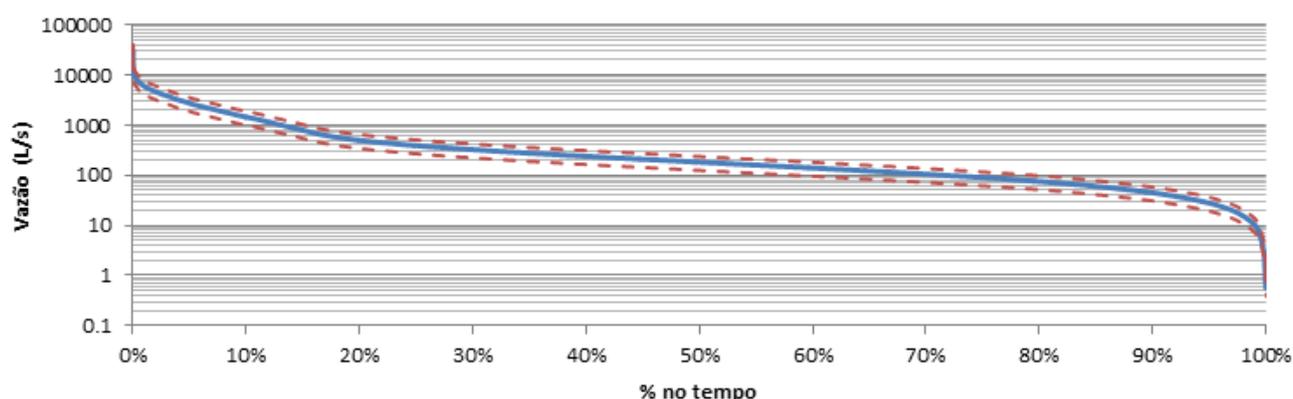


Figura 5 – Curva de Permanência Estimada

5 CONCLUSÕES

No âmbito do licenciamento ambiental, sempre que exista interação entre o empreendimento que está sendo licenciado e um curso hídrico qualquer, deve ser estimada a curva de permanência do rio em questão para o local de interação (exemplo: ponto de lançamento de efluentes industriais). Atualmente existe conhecimento técnico-científico bem estabelecido para gerar dados sintéticos de vazões em grandes cursos hídricos não monitorados, sem que haja a necessidade de visitas técnicas ao local. Entretanto, em se tratando de cursos hídricos de pequeno porte, métodos alternativos de estimação da curva de permanência devem ser adotados, com medição de vazão direta do curso hídrico. Nesse contexto insere-se o Método Silveira, cuja aplicação inclusive é muito recomendada pelos Termos de Referência emitidos pelo órgão ambiental do Estado do Rio Grande do Sul, a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental) em licenciamentos ambientais que envolvam cursos hídricos de pequeno porte. Este trabalho ilustrou, portanto, a aplicação do Método Silveira (Silveira *et al*, 1998) em dado local do Arroio Capitão Jango, localizado em Camaquã/RS, utilizando o Método Flutuador para estimar as vazões de calibração do modelo, possibilitando a obtenção de vazões de referência, como a Q_{med} , Q_{50} , Q_{90} , e Q_{95} , nos valores respectivos de 725 L/s, 236 L/s, 58 L/s e 36 L/s.

REFERÊNCIAS

- AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: <www.hidroweb.gov.br>. Acesso em 10/12/2013.
- ALMEIDA, D. B. Avaliação da Capacidade de Atendimento da Demanda Hídrica Local pelo Reservatório da Barragem do Braga. Monografia. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, 2016.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. 2013. *Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais*. Editora ABRH.
- EMBRAPA, Comunicado Técnico 455. Medição de Vazão em Rios pelo Método do Flutuador. Julho 2007.
- HORN, J. F. C. Estimativa de Vazão com Dados Escassos: Novas Hipóteses Para o Método Silveira. 2016. 540 f. Tese de doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em <www.inmet.gov.br>. Acesso em 17/12/2013.
- SILVEIRA, A. L.L & TUCCI, C. E. M. *Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias sem Dados*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V.3 n.3, p.111 – 131. 1998.
- SILVEIRA, A. L.L. Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias com Carência de Dados Fluviométricos. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.
- THORNTHWAITE, C.W., HOLZMAN, B. 1939. *The Determination of evaporation from land and water surfaces*. Monthly Weather Review. v67, p.4-11.
- TUCCI, C. E.M. 2002. *Regionalização de vazões*. Editora da Universidade. UFRGS. 1º edição. Porto Alegre.
- TUCCI, C. E.M. 2005. *Modelos Hidrológicos*. Editora da Universidade. UFRGS. Porto Alegre, 678p.