

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE REFERÊNCIA PARA O RIACHO TIMBÓ, MICROBACIA AFLUENTE DO RIO POXIM - AÇU EM SÃO CRISTÓVÃO - SE, UTILIZANDO O MÉTODO DE SILVEIRA

Nívia Raquel Oliveira Alencar¹; Ramiro Ferreira Santos¹; João Alvino Sampaio da Silva²

RESUMO - A quantificação das vazões hídricas é importante para referência e subsídio para o uso inteligente da água e outorga de recursos hídricos. Com tudo, esse trabalho teve como objetivo, aplicar o Método Silveira para determinar as vazões mínimas de referência e utilizando o Software REF – ET para realizar a construção de curva de permanência e estabelecer a disponibilidade hídrica para o Riacho Timbó, microbacia afluyente do Rio Poxim - Açú localizada na cidade de São Cristóvão – SE. Como resultado obtido se constatou a aplicabilidade do método Silveira (1997) para estudos em bacias de pequeno porte da região. O riacho apresenta vazões muito pequenas ($Q_{90\%}$ de $0,00004 \text{ m}^3/\text{h}$) que se correlacionam com a variabilidade de precipitação. Concluindo então, que o corpo hídrico deve ser preservado para usos de subsistência local e alvo de medidas de revitalização e proteção dos governantes.

ABSTRACT - The limitation of water resources in the face of conflicts of multiple uses and problems of scarcity are increasingly demanding rational planning and water management. The quantification of water flows is important for reference and subsidy for the intelligent use of water and the granting of rights to use water resources. The objective of this work was to apply the Silveira Method to determine the minimum reference flows and using the REF - ET Software to construct a continuity curve and establish the water availability for the Timbó Creek, a micro - basin affluent of the Poxim - Açú River in the city of São Cristóvão - SE. As a result, the applicability of the Silveira method (1997) was verified for studies in small basins of the region. The stream has very small flows ($Q_{90\%}$ of $0.00004 \text{ m}^3 / \text{h}$) that correlate with the variability of precipitation. Concluding, then, that the water body should be preserved for local subsistence uses and targeted at the revitalization measures of the rulers.

Palavras-Chave: Método Silveira; vazão de referência; outorga.

1) Mestranda em Recursos Hídricos - Universidade Federal de Sergipe - UFS - Av. Marechal Rondon, s / n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão – SE
E-mail: nivიაquiel@hotmail.com

1) Mestrando em Recursos Hídricos - Universidade Federal de Sergipe - UFS - Av. Marechal Rondon, s / n - Jd. Rosa Elze, São Cristóvão – SE
E-mail: ramiro.f@outlook.com

2) Doutorando em Ciências Climáticas – Universidade do Rio Grande do Norte – UFRN – Av. Hermes da Fonseca, s/n – Lagoa Nova, Natal - RN
E-mail: alvinosampaio@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

A limitação dos recursos hídricos devido à dificuldade em quantidade, qualidade ou disponibilidade frente aos conflitos dos usos múltiplos demandam cada vez mais o seu planejamento racional e gestão para a maximização da eficiência do uso da água. (HORIKOSHI; FISCH, 2007; SANTOS et al., 2010). Para isso, os governos necessitam de ferramentas capazes de prover sistemas de gestão de recursos hídricos abrangentes e eficientes (POFF et al., 2011). Então, é muito importante a quantificação das vazões que servem de referência e subsídio para o uso racional da água e outorga de direitos de uso de recursos hídricos (MOREIRA, 2006).

A Outorga é dada a usuários após definição da vazão ecológica. Contudo cada estado estabelece seus próprios critérios de outorga e direito de uso da água (WOLFF et al., 2014). Em Sergipe, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) adota vazões com permanência de 90% no tempo ($Q_{90\%}$) como referência em sua gestão (SERGIPE, 2010). Ressalta-se que o volume hídrico que passa em curso d'água em geral não é constante e a variabilidade temporal pode ser gerada a partir do estabelecimento de uma curva de permanência de vazões, conseguidos através de monitoramento. (COLLISCHONN& DORNELLES, 2013).

O Método Silveira (1997), que se resume a um modelo chuva-vazão simplificado, aplicado especialmente para pequenas bacias, que permite, através da associação de poucos dados de informação, construir um modelo hidrológico simplificado, e a estruturação da curva de permanência com desvios relativamente baixos. As simulações por modelos de chuva-vazão favorecem a estimação de dados de vazão com finalidade de extensão de séries destes dados a partir de series de dados pré-existente. Tschiedel et al. 2017 ressalta que estimar a curva de permanência é importante para se estabelecer a disponibilidade hídrica para diversos fins.

O rio Poxim é um dos principais cursos d'água do Estado de Sergipe, principalmente por sua importância como manancial hídrico para o abastecimento da capital do Estado, Aracaju. O contexto de impactos socioambientais no qual a bacia do Rio Poxim está inserida revela a urgência de ações com fins de controle e gestão dos recursos hídricos e de suas fontes em toda a extensão da bacia e em seus afluentes, independentemente do tamanho e do montante de sua contribuição, (AGUIAR NETTO et al. 2013). Logo, o estudo das vazões do Riacho Timbó, microbacia afluente do Rio Poxim–Açu que por sua vez é um afluente do Grande Rio Poxim é de suma importância para gestão e controle do aporte hídrico no Poxim-Açu.

2. Objetivo

Esta pesquisa tem como objetivo, a aplicação do Método Silveira para determinar as vazões mínimas de referência para o Riacho Timbó localizada no município de São Cristovão/SE

utilizando o Software REF – ET para estimativa da série de dados de Evapotranspiração Potencial (ET_0), afim subsidiar a tomada de decisão para gestão e outorga de água deste manancial.

2.1 Objetivos específicos

Estimativa da ET_0 através do Software REF – ET; Determinação das vazões mínimas pelo Método Silveira; Construção da curva de permanência e Hidrograma; Constatação das vazões passíveis de outorga considerando $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

O riacho Timbó é o curso d'água principal de uma microbacia situada na sub-bacia do rio Poxim-Açu, um dos dois principais afluentes da sub-bacia do Grande Poxim juntamente com o rio Poxim-Mirim. O Grande Poxim integra a bacia hidrográfica do Rio Sergipe sendo um dos rios mais importantes desta bacia. Seu exutório situa-se na região litorânea da capital sergipana, onde encontra o Rio Sergipe visto na figura 1, em um ambiente estuarino semi-praial composto de uma praia fluvial conhecida por Praia Formosa ou Praia 13 de Julho, e em um sistema manguezal intra-urbano bastante antropizado conhecido por Maré do Apicum (ARACAJU, 2005).



Figura 1 - Foz do Rio Poxim na confluência com o Rio Sergipe e a Maré do Apicum. Fonte: Neto, 2011

O Grande Poxim além de sua importância socioambiental é o principal manancial hídrico que abastece a capital e parte também é ponto de lançamento de efluentes urbanos e industriais, além de sofrer com os diversos impactos da atividade agrícola em seu território (ARACAJU, 2005). O riacho Timbó observado na figura 2, é parte integrante dos sistemas hídricos da bacia do Grande Poxim/Sergipe, possui extensão aproximada de 1km da nascente até o seu exutório em uma área de charco (porção de terreno alagadiço enlameado) distante cerca de 683,5 m da embocadura do canal do vertedor da Barragem do Poxim-Açu, possui uma área de aproximadamente 40 ha ou 0,40 Km², situa-se no município de São Cristóvão, próximo ao Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe e um pequeno povoamento da região. É utilizado para subsistência de comunidades locais, atividades agrícolas e agropecuárias e alvo de pesquisas e estudos por estudantes da UFS.

A cobertura do solo na área do riacho Timbó é composta por pastagens, vegetação arbustiva e árvores de médio e grande porte, próximo a microbacia situa-se um Campo de Adestramento Militar do Exército Brasileiro. A mata ciliar apresenta-se pouco extensa, com faixas medindo cerca de 2 a 3 metros de largura. Na localidade observamos ocupações esparsas constituindo a povoação local e uma faixa impermeabilidade continua correspondendo a rodovia. A classificação climática da área em estudo enquadra-se no tipo AS, tropical úmido.



Figura 2 - Carta de localização da microbacia do riacho Timbó e sua área de entorno.

3.2 Estimativa da ET₀ potencial através do Software REF – ET

Os dados de precipitação foram obtidos de uma série de 2 anos e meio da estação situada na área perimetral a microbacia, instalada na área do Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, visto que é uma bacia experimental, monitorada recentemente, com poucos dados climáticos, mas previsão de incentivos vindouros, dados da Estação de Aracaju, INMET – BDMEP – à divisa com o município de São Cristóvão para estimativa da Evapotranspiração Potencial (ET₀). Foram utilizados um conjunto de dados climáticos (data [dia/mês/ano], precipitação [mm], temperatura máxima [°C], temperatura mínima [°C], temperatura média [°C], insolação, umidade relativa [%], velocidade média do vento [ms⁻¹], pressão atmosférica [mb], nebulosidade). Cujos dados obtidos pelo BDMEP – INMET, da estação de Aracaju- SE (OMM: 83096) posicionada nas coordenadas latitude em graus -10.95, longitude em graus -37.04, altitude de 4.72 m. Esta estação encontra-se operante desde 01/03/1910 e o período de dados solicitados foi de 01/06/2015 a 31/01/2018, totalizando 988 dias de dados.

O programa Reference Evapotranspiration Calculation Software (REF-ET versão 2.0) é gratuito e foi baixado do site oficial da University of Idaho, no portal Kimberly Research and Extension Center. O REF-ET utiliza vários modelos para o cálculo da Evapotranspiração Potencial (ET₀), neste trabalho foi considerado o método preconizado pela The Food and Agriculture Organization (FAO) 56 PM ET₀ mm/d que utiliza o modelo padrão de Penman-Monteith (ALLEN, et al, 1998), descrito pela Equação 1:

$$ETO = \frac{0,408\Delta.(Rn - G) + \frac{900}{T + 273,15} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34.U_2)} \quad \text{Eq.1}$$

em que: $ETO_{(PM-56)}$ é a evapotranspiração de Penman-Monteith FAO-56 (mm d^{-1}); R_n é o saldo radiação a superfície ($\text{MJ m}^2 \text{d}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^2 \text{d}^{-1}$); T é a temperatura do ar média ($^{\circ}\text{C}$); u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de vapor de saturação (kPa); e_a é a pressão real de vapor (kPa); Δ é a tangente à curva da pressão de saturação do vapor d'água ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); e γ é o coeficiente psicrométrico ($0,0666 \text{ kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$). Estes parâmetros foram obtidos seguindo os procedimentos constantes no Boletim N° 56 da FAO (Allen et al., 1998) para situações onde haja a carência de dados e o método seja aplicável.

3.3 Determinação das vazões mínimas pelo Método Silveira

Para alcance do volume mínimo de vazões do curso do riacho, utilizou-se o Método Silveira (1997) modelo hidrológico simplificado onde se torna possível obter uma série de vazões históricas para dado curso d'água, através de poucos dados de entrada (caso desse estudo), como séries históricas de precipitação, de evapotranspiração e pequeno número de medição de vazão em campo. As equações que regem o modelo são as seguintes: A precipitação diária é subtraída dos valores de evapotranspiração diários e caso $P_t - E_t > 0$, haverá saldo para escoamento, como na equação 2:

$$P_{RT} = P_T - E_T \quad \text{Eq.2}$$

em que: P_{RT} : Precipitação residual total; P_t : Precipitação total; E_t : Evapotranspiração total.

Logo a precipitação efetiva se comporta desta forma na equação 3:

$$P_{ef}(t) = (1 - C_{inf}) P_r(t) \quad \text{Eq.3}$$

em que: $P_{ef}(t)$ – Precipitação efetiva; C_{inf} – Coeficiente de infiltração.

O volume infiltrado (V_i) foi obtido na pela equação 4:

$$V_i = C_{inf} \cdot P_r(t) \quad \text{Eq.4}$$

O modelo solução para o reservatório é pela equação 5:

$$Q_b(t) = Q_b(t-1) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{Kb}} + V_i(t) \cdot (1 - e^{-\frac{\Delta t}{kb}}) \quad \text{Eq.5}$$

Em que: $Q_b(t)$ – Vazão de escoamento subterrâneo em mm/dia variando no tempo;

Quando $P_r(t) > 0$ o resultado deve incorporar o valor de escoamento superficial, pela equação 6:

$$Q(t) = [Q_s(t) + Q_b(t)] \quad \text{Eq.6}$$

Em que: $Q(t)$ – Vazão total em mm/dia; $Q_s(t) = P_{ef}(t)$ – Precipitação efetiva = Componente de escoamento superficial.

Quando $Pr(t)=0$ temos a equação 7, em que:

$$Q(t) = Q_b(t) \quad \text{Eq.7}$$

Para a transformação das vazões de mm/dia para $m^3.s^{-1}$ adotou-se a equação 8, em que A é a área da bacia em Km^2 , $Q(t)$ é a vazão em $mm.dia^{-1}$.

$$Q = \frac{A.Q(t)}{86,4} \quad \text{Eq.8}$$

Para obter o valor de K_b deve-se obter as medidas de vazões amostrais, e em caso de ausência de precipitações, pode adotar as seguintes equações, 9, 10 e 11:

$$Q_2 = Q_1 \cdot e^{-\frac{\Delta t}{K_{1b}}} \therefore Q_2 \cdot e^{\frac{\Delta t}{K_{2b}}} \quad \text{Eq.9}$$

$$K_{1b} = \Delta t \cdot \ln \frac{Q_1}{Q_2} \therefore K_{2b} = \Delta t \cdot \ln \frac{Q_2}{Q_3} \quad \text{Eq.10}$$

$$K_b = \frac{(K_{1b} + K_{2b})}{\Delta t} \quad \text{Eq.11}$$

Em que: Δt : Intervalo de tempo entre as tomadas de vazões; K_b : Indica o decaimento do regime de vazões ao longo do tempo.

O ajuste do hidrograma se dá em função da variação manual do C_{inf} pelo método da tentativa e erro, Silveira (1997) sugere que o valor de C_{inf} deve oscilar entre 0,1 e 0,6. Silveira (1997) sugere que devemos observar a metodologia como será realizada a medição das vazões no campo, pois elas devem ser coletadas de pelo menos 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.

3.4 Construção da curva de permanência e Hidrograma

Tanto o hidrograma criado pelo método Silveira (1997), quando a curva de permanência são construídas sobre dados de vazões simuladas pelo modelo chuva-vazão implementado pelo pesquisador. Sendo que o hidrograma tem a finalidade de demonstrar que os valores de vazões simuladas são ajustadas pela variação do C_{inf} desta forma evidenciando a adequação do modelo ao regime da bacia em análise. A curva de permanência mostra de maneira simples a relação entre a magnitude e frequência com que vazões de um curso d'água são igualadas ou superadas em um dado período de tempo. Para construção da curva de permanência do riacho Timbó foram utilizadas as ferramentas estatísticas do MS Excel a partir da determinação dos valores atrelados aos percentis

5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%, 97%, 98%, no período temporal em estudo, limitado pela série de precipitações. Para efeito de resultados deseja-se obter as vazões $Q_{40\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{60\%}$, $Q_{70\%}$, $Q_{80\%}$, $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$.

4. RESULTADOS

4.1 Estimativa da ET₀ potencial através do Software REF – ET

Os dados de ET₀ calculados pelo Software REF - ET apresentam conformidade de comportamento quando comparados as precipitações obtidas na microbacia do riacho Timbó. Como podemos observar na figura 3, os dados concentram-se em uma faixa quase que linear que convergem com as precipitações também plotadas. Mostrando similaridade entre os fenômenos climáticos nas duas regiões conforme previsto por Silveira (1997). Logo, estes dados de ET₀ mostram-se satisfatórios para o cálculo das vazões estimadas para microbacia do riacho Timbó.

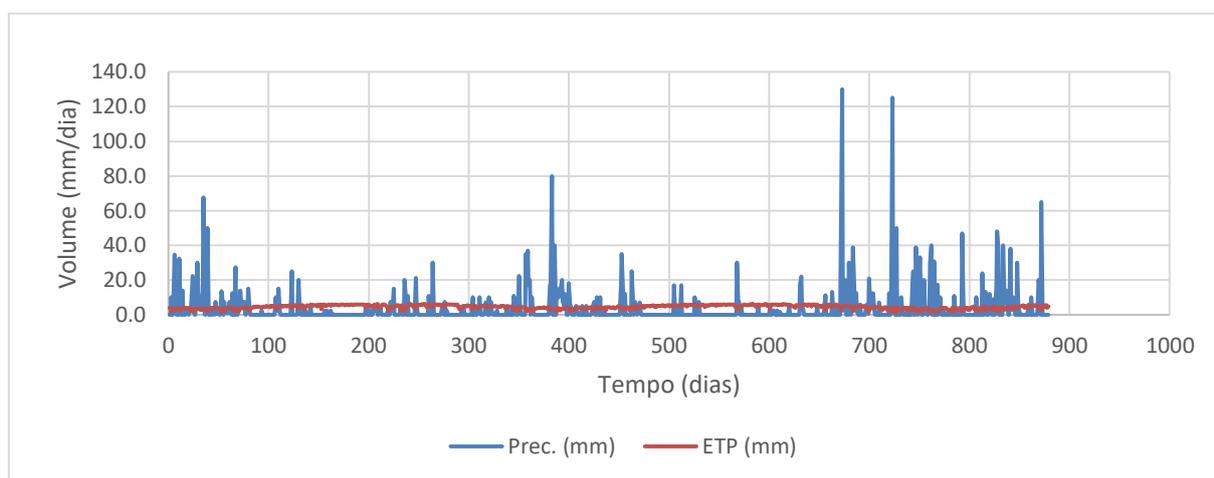


Figura 3. Evapotranspiração Potencial por FAO 56 x Precipitação no riacho Timbó

4.2 Determinação das vazões mínimas pelo Método Silveira (1997)

Conforme podemos observar na figura 4, onde temos um gráfico de vazões confrontadas com gráfico de precipitações na microbacia - riacho Timbó, ambos os gráficos apresentam comportamentos similares, ou seja, as vazões oscilam nas mesmas intensidades que as precipitações, subtraindo-se das precipitações apenas as cotas correspondentes a ET₀. Fato que demonstra que o método Silveira (1997) não considera a parcela da precipitação desviada por outros fenômenos como, por exemplo: acumulação em rochas e plantas. Então, infere-se por esse método que as vazões sempre irão apresentar comportamento e variação na intensidade de forma proporcional às precipitações.

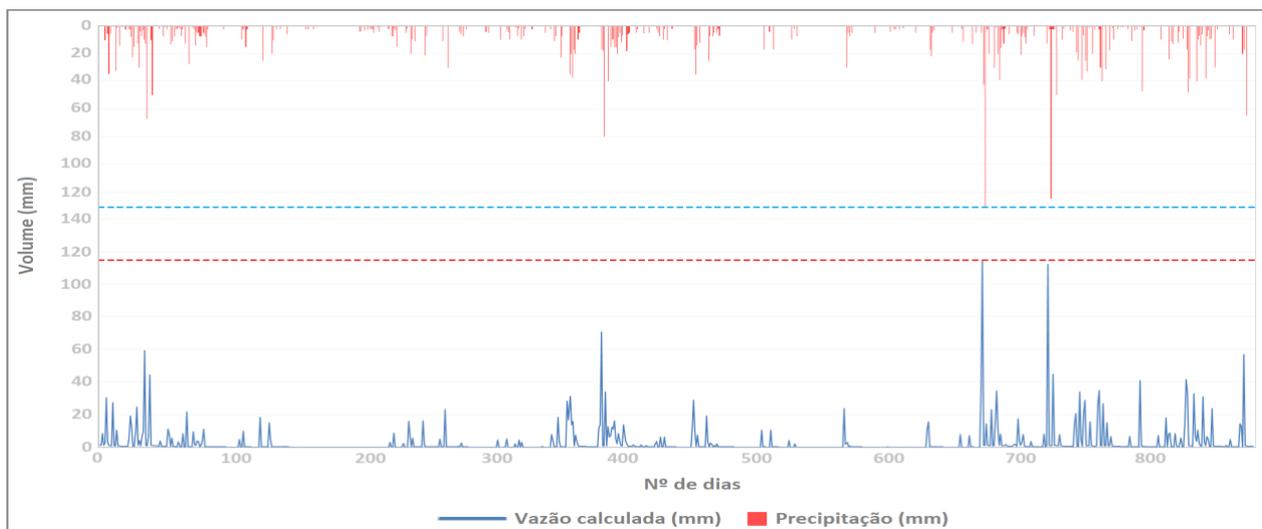


Figura 4. Variação temporal das vazões calculadas pelo Método Silveira (1997) para o riacho Timbó x precipitações mensuradas.

4.3 Construção da curva de permanência e Hidrograma

De acordo com o hidrograma apresentado na figura 5, onde são confrontadas as vazões sintéticas com as vazões naturais medidas, o método se apresenta bastante eficaz na medida em que os desvios percebidos são mínimos em relação às vazões sintéticas naturais. Demonstrando assim a viabilidade do método para estimativas do comportamento hidrológico da microbacia do riacho Timbó.

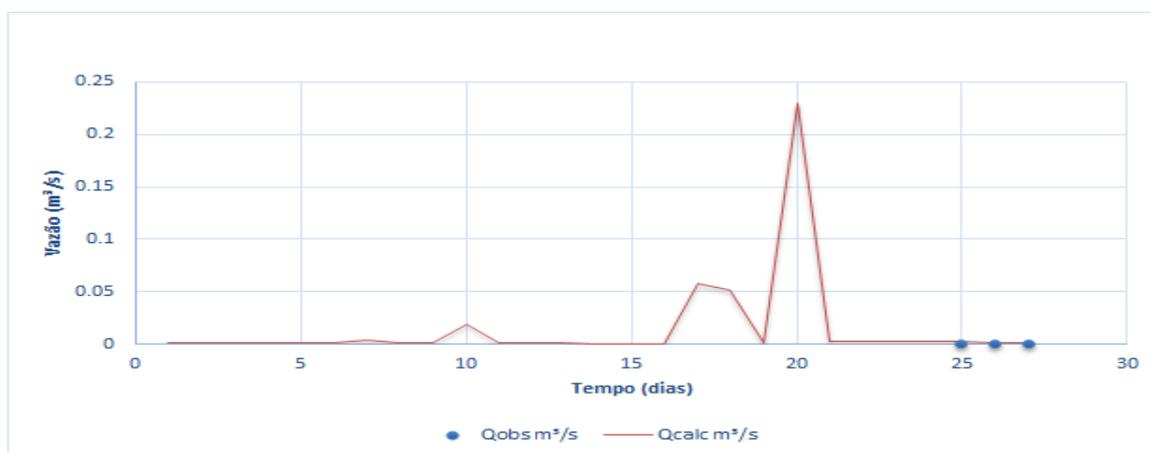


Figura 5. Hidrograma ajustado do regime chuva-vazão do riacho Timbó

Com base nos resultados apresentados no hidrograma anterior, o método Silveira (1997) é válido. Com base nele foi possível criar a curva de permanência, demonstrada na figura 6, obtendo as vazões de referência necessárias á gestão de recursos hídricos e, por conseguinte, verificar as vazões e possíveis outorgas na microbacia em estudo. Onde se observa que no riacho em estudo, as vazões de referencia obtidos são seriamente baixos, com $Q_{90\%}$ de $0,00004 \text{ m}^3/\text{h}$ e $Q_{95\%}$ de $0,00001$

m³/h. Causados pela degradação ambiental: desmatamento e assoreamento no leito aquático constatados no local.

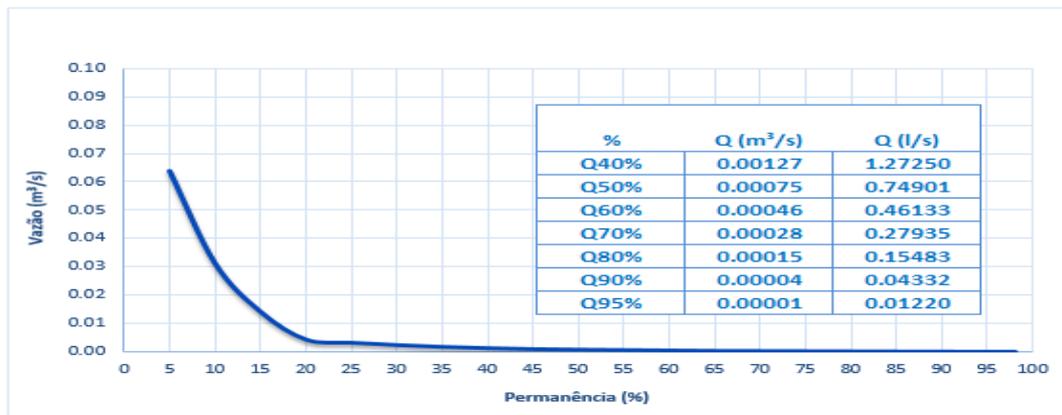


Figura 6. Curva de permanência calculada utilizando o método Silveira (1997) para o riacho Timbó com as vazões de referência.

CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos o método Silveira se mostrou bastante eficiente na determinação da série sintética de vazões e sua potencialidade para uso com finalidade de gestão de recursos hídricos na bacia estudada, incentivando sua utilização em outras áreas. Foi possível também, perceber o avançado estágio de degradação ambiental evidenciada na mesma, haja vista que as vazões simuladas resultaram volumes muito baixos, mostrando a vulnerabilidade hidrológica dessa bacia. Em virtude da escassez hídrica na bacia, não é recomendável a liberação de captação de volumes de água que não sejam destinadas ao abastecimento humano e dessedentação de animais. Qualquer outro uso pode comprometer a manutenção do regime hidrológico da bacia ou sua total escassez

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus. A CAPES e CNPq financiadora da pesquisa. Aos funcionários da Estação de Meteorologia do Campus Rural da UFS, que deram suporte na coleta de dados e a Universidade Federal de Sergipe – UFS, por subsidiar a execução desse trabalho.

REFERÊNCIAS

AGUIAR NETTO, A. O. et al. *Physical and chemical characteristics of water from the hydrographic basin of the Poxim River, Sergipe State, Brazil*. Environmental Modeling and Assessment, v. 184, p. 4417-4426, 2013.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements*. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56, Roma, p.300, 1998

ARACAJU-SE. *Anuário Estatístico*. Departamento de Estudos e Pesquisas/Secretaria Municipal de Planejamento. 2005. 1.CD ROM.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. *Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais*. Editora ABRH, 2013.

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. *Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no município de Taubaté, SP, Brasil*. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 32-46, jul./dez. 2007.

INMET. *Instituto Nacional de Meteorologia*. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 20/07/2018.

MOREIRA, F. D.; AGUIAR NETTO, A. O. *Problemas ambientais na subbacia hidrográfica do rio Poxim - Açu*; In: Seminário Latino Americano de Geografia Física, 4., 2006, Maringá. Anais... Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2006. v.1.p. 1-10.

POFF N. L. RICHTER, B.; ARTHINGTON, A. H.; BUNN, S.; NAIMAN, B.; KENDY E.; *Ecological Limits of Hydrologic Alteration. Environmental Flows for Regional Water Management*. The Nature Conservancy, 2011.

SANTOS, G. O. et al. *Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo*. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 142-149, out./dez. 2010.

SERGIPE. *Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos: Diagnóstico das disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas, considerando a qualidade e quantidade da água*. Volume 1: Levantamento, inventário e estudo dos recursos hídricos superficiais. Tomo II: Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe. Aracaju: SEMARH, 2010c.

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.

TSCHIEDEL, A. F.; PIZZOL, M. C. D.; NÉRIS, J. L. M.; RIPPEL, M. L.; PAIVA, R. C. D.; BRASIL, C. *Determinação de Curva de Permanência em pequenas bacias utilizando o Método Silveira*. XXII Simpósio de Bacia Hidrográfica - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Florianópolis – SC. 2017.

WOLFF, W.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R. *Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo*. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.4 –Out/Dez 2014, 21-33.t.