

T03 – Recursos Hídricos, Saneamento e Gestão de Resíduos

**AVALIAÇÃO DO USO DE MODELOS CHUVA-VAZÃO NA DETERMINAÇÃO DA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA DO RIO SIRIRI, SERGIPE**

*Murilo Guilherme de Melo Neto ¹ ; Felipe Xavier de Almeida ²; Alan de Gois Barbosa ³;
Ludmilson Abritta Mendes ⁴*

RESUMO: A efetividade da gestão dos recursos hídricos exige o adequado monitoramento das variáveis hidrológicas. A previsão do comportamento de uma bacia e de suas variáveis hidrológicas pode ser feita a partir do uso de modelos hidrológicos, como os modelos chuva-vazão, por exemplo. O presente trabalho tem como objetivo a determinação da disponibilidade hídrica da bacia do rio Siriri através do modelo chuva-vazão que melhor se adequa à bacia. A partir da calibração e da validação dos parâmetros dos modelos chuva-vazão SMAP e IPH-II, foi possível utilizar o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe para avaliar a aderência das vazões calculadas pelos modelos com as vazões observadas no posto fluviométrico Siriri, em operação na bacia. A partir do modelo SMAP, avaliado como o de melhor desempenho, foi possível gerar uma série de vazões sintéticas e o preenchimento de falhas para a estação fluviométrica de Siriri. Os testes estatísticos de estacionariedade e de homogeneidade comprovaram que a série estendida se mantém sem tendência ou viés. O cálculo da disponibilidade hídrica da bacia foi feito determinando-se, para a série estendida, a vazão Q_{90} , critério estadual de outorga, que é apresentada na curva de permanência da série em estudo.

Palavras-Chave: Recursos hídricos; Chuva-vazão; Disponibilidade hídrica.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui 12% da reserva de água doce do mundo, a maior do planeta, porém sua distribuição é heterogênea, pois as regiões Sudeste e Nordeste, as mais populosas, se encontram distantes das maiores reservas hídricas, na região Norte (GOMES, 2011). Aliado a isso, regiões em que predominam o clima semiárido, como a Nordeste, possuem índices pluviométricos abaixo dos 1000 mm/ano. Esses fatores, segundo Branco (2018) geram necessidade de se definir critérios e parâmetros de avaliação de disponibilidade hídrica. Desta forma, as estações pluviométricas e fluviométricas são fundamentais para o monitoramento hidrológico, permitindo uma melhor gestão dos recursos hídricos.

Decorrente dos postos fluviométricos nem sempre possuem séries extensas ou sem falhas, os modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão permitem gerar séries sintéticas que

¹ Afiliação: LAMEC / Universidade Federal de Sergipe
Email: murilo-_guilherme@outlook.com

² Afiliação: DEC / Universidade Federal de Sergipe
Email: felipexalmeida07@gmail.com

³ Afiliação: LAMEC / Universidade Federal de Sergipe
Email: alan.1995.barbosa@gmail.com

⁴ Afiliação: LAMEC / Universidade Federal de Sergipe
Email: ludmilsonmendes@yahoo.com.br

podem ser usadas para auxiliar na gestão da bacia e preencher as falhas de leitura das séries de vazão. Entre esses modelos, destacam-se o SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*) e o IPH-II.

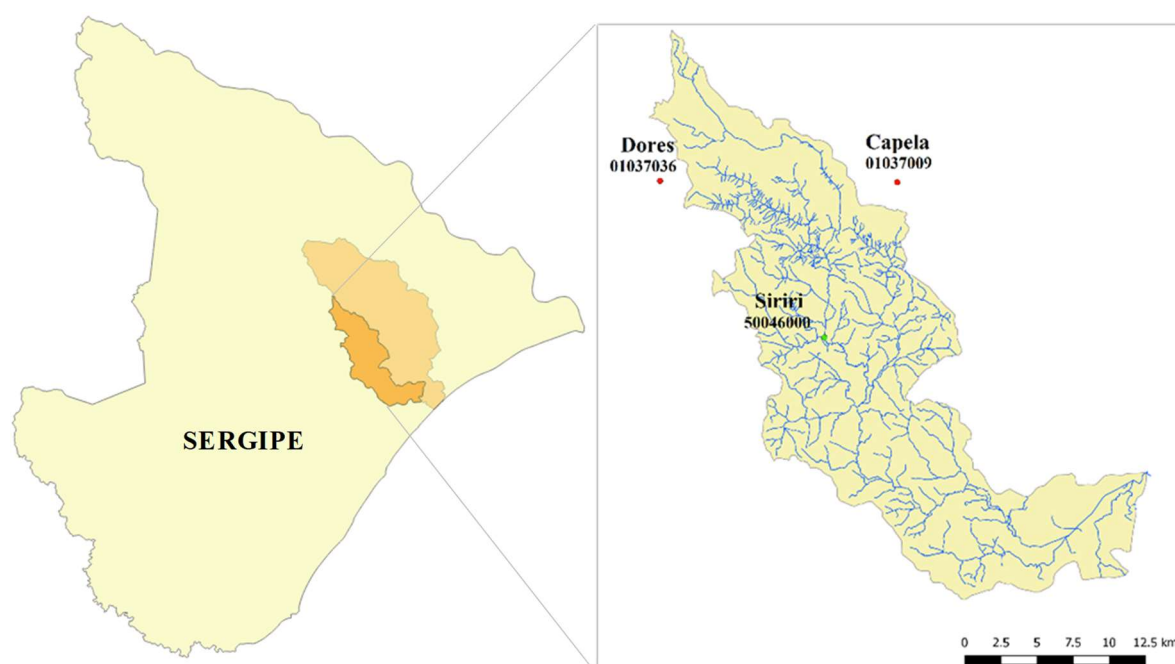
O objetivo deste trabalho é avaliar a disponibilidade hídrica na bacia de contribuição do posto fluviométrico Siriri, situado no rio Siriri, Sergipe, a partir da aplicação de modelos chuva-vazão para a expansão da série histórica de vazões. Assim, também é objetivo deste estudo determinar o melhor modelo chuva-vazão para simular a bacia, bem como seus parâmetros.

2 METODOLOGIA

2.1 Região de estudo

A bacia do rio Siriri (Figura 1), possui 431,60 km² de superfície (ISHIZAWA et al., 2018), situa-se no estado de Sergipe e engloba nove municípios: Capela, Carmópolis, Divina Pastora, General Maynard, Maruim, Nossa Senhora das Dores, Rosário do Catete, Santo Amaro das Brotas e Siriri (SERGIPE, 2004, apud ARAÚJO et al., 2009). O rio Siriri, com 54,75 km de extensão (ISHIZAWA et al., 2018), é o principal curso d'água da bacia e um dos afluentes pela margem direita do rio Japarutuba (SERGIPE, 2016).

Figura 1: Mapa da bacia do rio Siriri e localização dos postos utilizados no estudo



2.2 Monitoramento hidrológico

Neste estudo foram utilizados os postos pluviométricos de Nossa Senhora das Dores (01037036) e Capela (01037009), por possuírem menos falhas e terem períodos coincidentes de registro com o posto fluviométrico Siriri (50046000), assim como adotados no estudo de Barbosa (2017). A Tabela 1 apresenta as informações sobre esses postos (ANA, 2018).

Tabela 1 - Postos pluviométricos e fluviométrico para uso nos modelos chuva-vazão

Estação	Tipo	Código	Operação	Latitude	Longitude	Operador
N.Sra. das Dores	Pluviométrica	01037036	86 anos	-10:30:0	-37:13:0	DNOCS
Capela	Pluviométrica	01037009	45 anos	-10:30:0	-37:4:0	SUDENE
Siriri (DNOS)	Fluviométrica	50046000	32 anos	-10:35:50	-37:6:44	ANA

Fonte: ANA (2018)

Os dados mensais de evapotranspiração da região (Tabela 2) foram obtidos do estudo de Dantas (2015), que utilizou o posto evapormétrico Estância, o mais próximo da bacia.

Tabela 2 - Dados de evapotranspiração (mm)

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Estância	222	194	189	163	142	122	124	149	165	193	196	209	2068

Fonte: Adaptado de Dantas (2015)

2.3 Preenchimento das Falhas e Área de Influência

Seguindo as informações de Sergipe (2016) e do HidroWeb (ANA, 2018) foram selecionados os postos pluviométricos utilizados para o preenchimento de falhas dos postos 1037036 e 1037009 pelo método da ponderação regional. Com o auxílio do software QGIS 2.18, foi possível, pelo Método dos Polígonos de Thiessen, determinar a área de influência de cada posto pluviométrico sobre a área de estudo.

2.4 Modelos chuva-vazão SMAP e IPH-II

O modelo SMAP utiliza séries baseadas em precipitações e evapotranspirações potenciais diárias ou mensais para estimar uma série de vazão (PAIVA *et al.*, 2006). Conforme Buchianeri (2004), na versão mensal, existem dois reservatórios hipotéticos que são definidos como reservatório da água no solo (R_{solo}) e reservatório de água subterrânea (R_{sub}) e através de quatro funções de transferência da água entre eles e para fora deles. Para o cálculo das transferências, o software utiliza quatro parâmetros, definidos por Paiva *et al.* (2006) como: *Sat*, o volume máximo armazenado no reservatório em milímetros; *Pes*, o parâmetro regulador do escoamento superficial; *Crec*, parâmetro regulador do escoamento subterrâneo; e o *Kkt*, o coeficiente de recessão do escoamento base.

O IPH-II é um modelo hidrológico do tipo chuva-vazão desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS) (PAULA, 2015). O modelo é composto de quatro algoritmos descritos por GERMANO *et al.* (1998) como: algoritmos de perdas, de separação do escoamento, de escoamento superficial e de escoamento subterrâneo. Para a simulação da vazão, são necessários os dados de entrada de precipitação e evaporação, além dos dados da bacia e as condições iniciais.

2.5 Calibração e Validação dos modelos

Para a calibração e validação dos modelos, foram considerados períodos concomitantes de dados de vazão do posto fluviométrico 50046000 e precipitação dos postos pluviométricos 01037009 e 01037036, de forma a incluir anos secos e úmidos, conforme recomendações de Lopes (1999). Na calibração foram considerados os dados de chuva e vazão de janeiro/1978 a dezembro/1980 e, na validação, de janeiro/1975 a dezembro/1977.

No processo de calibração dos parâmetros do modelo SMAP (*Sat*, *Pes*, *Crec* e *Kkt*), foi utilizado o Solver do Microsoft Excel para maximizar o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), de forma a aproximar os valores da vazão simulada com a vazão observada no posto Siriri DNOS (50046000). De acordo com Silva *et al.* (2008, apud BALTOKOSKI, 2010) para o modelo ter seu desempenho considerado bom, o valor do NSE deve ser maior que 0,75. Valores menores que 0,36 indicam que o modelo é ineficiente. Já os valores entre esses dois intervalos são considerados aceitáveis. A etapa de validação consistiu em manter os quatro parâmetros do SMAP e verificar o valor obtido do NSE.

O modelo IPH-II gera de forma automática o melhor ajuste da vazão maximizando o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe. A validação da série no modelo seguiu-se de forma que os dados de precipitação para a série de validação fossem introduzidos, os valores dos parâmetros permanecessem inalterados em relação à série de calibração e apenas fossem feitos ajustes nas condições iniciais da bacia.

2.6 Preenchimento da Série de Vazão e Testes Estatísticos

A partir dos melhores resultados de NSE, foi escolhido o melhor modelo chuva-vazão para preenchimento e extensão da série histórica de vazões. Foram feitos testes de hipótese de estacionariedade e de homogeneidade para a série de vazão média anual, a fim de verificar se as observações amostrais são invariantes em relação à cronologia de suas ocorrências.

2.7 Disponibilidade Hídrica

A disponibilidade hídrica foi calculada pela curva de permanência construída para a série de vazões preenchida e estendida. Assim foi determinada a vazão com 90% de permanência ($Q_{90\%}$), critério de disponibilidade hídrica previsto na legislação estadual.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Determinação do Melhor Modelo Chuva-Vazão

Pela comparação visual entre as curvas de vazão observada e vazão simulada obtidas nos modelos, foi possível inferir que o modelo SMAP tem um melhor desempenho para simular a bacia do Siriri do que o modelo IPH-II. Enquanto que no modelo SMAP a curva de vazão simulada aproxima-se bastante da curva de vazão observada, no modelo IPH-II essa tendência é bem menos notável. Além disso, é possível também notar, pelos resultados obtidos para o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe, o melhor desempenho do modelo SMAP, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe

Série	NSE para SMAP	Desempenho do SMAP*	NSE para IPH II	Desempenho do IPH-II*
Calibração	0,7520	Bom	0,6125	Aceitável
Validação	0,7076	Aceitável	0,1500	Ineficiente

*De acordo com Silva et al. (2008, apud BALTOKOSKI, 2010)

Fonte: Autor (2018).

Portanto, para preencher e estender a série histórica de vazões do posto fluviométrico Siriri, foi escolhido o modelo SMAP. Os valores dos parâmetros do modelo SMAP utilizados na simulação da bacia são, portanto: $Sat = 2600$ mm; $Pes = 4,4$; $Crec = 6,4$ e $Kkt = 6$ meses.

3.2 Preenchimento da Série de Vazão e Testes Estatísticos

Utilizando-se os parâmetros do modelo SMAP obtidos na calibração e validados, foi realizado o preenchimento e a extensão da série de vazões do posto Siriri entre janeiro/1953 e dezembro/2000. A nova série foi submetida aos testes de hipótese de estacionariedade e de homogeneidade. Sabendo que os testes estatísticos partem da premissa de que os dados da amostra precisam ser independentes, foi calculada a série de vazão média anual, porque a vazão média de um mês apresenta um grau de dependência em relação ao mês anterior maior do que a vazão média de um ano em relação à do ano anterior. A Tabela 4 apresenta o resultado dos testes.

Tabela 4 - Resultados dos testes estatísticos

Série	T para Estacionariedade	Validade da Hipótese Nula	T para Homogeneidade	Validade da Hipótese Nula
Vazão Média Anual	0,96	Aceita	1,69	Aceita

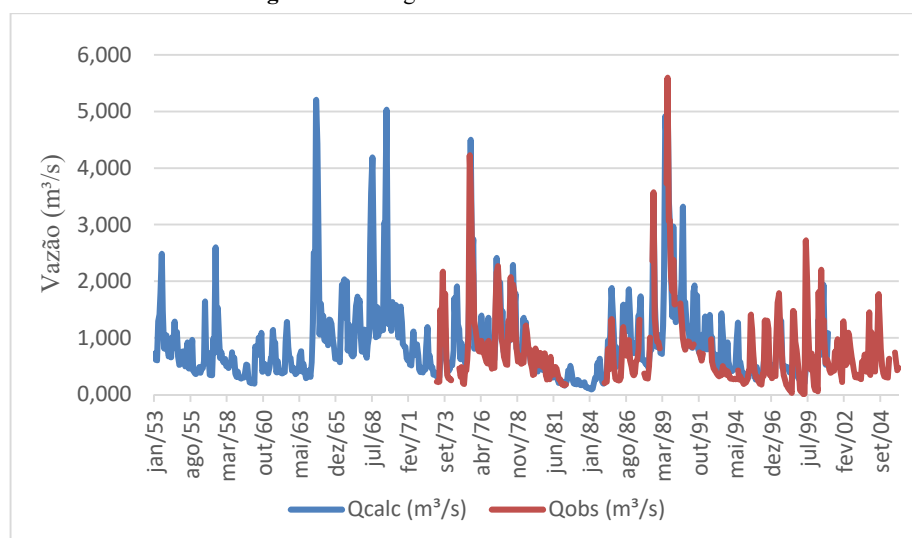
Fonte: Autor (2018).

Para o nível de significância de 95%, a decisão é a de não rejeitar a hipótese H_0 de que os dados da série são homogêneos e estacionários. Assim, a série não possui tendências temporais, saltos ou ciclos estatisticamente significativos.

3.3 Disponibilidade Hídrica

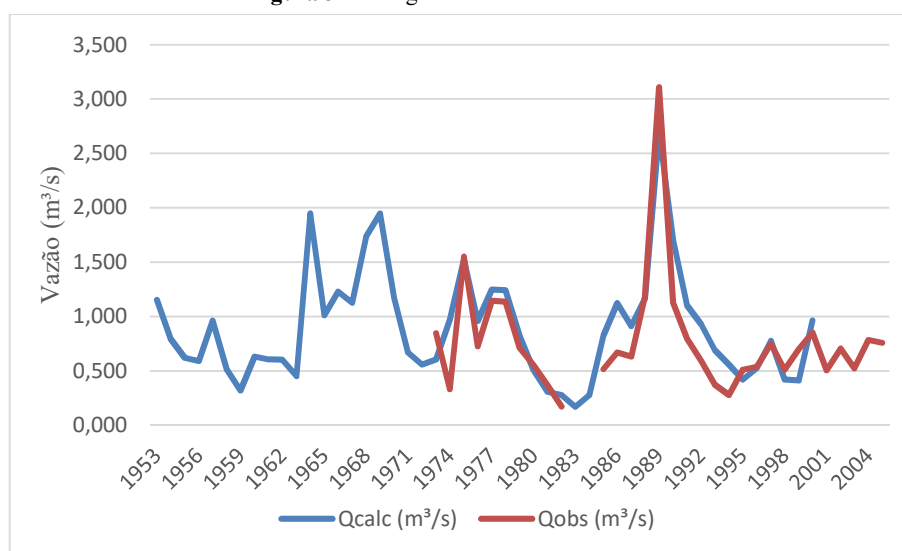
Para obter o valor da $Q_{90\%}$ e, portanto, a disponibilidade hídrica da bacia conforme critérios estaduais foi necessária a curva de permanência. As Figuras 2, 3, 4 e 5 apresentam, respectivamente, os hidrogramas de vazão média mensal, vazão média anual e as curvas de permanência mensal e anual. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos das curvas de permanência das séries de vazão mensal e anual, calculada e observada.

Figura 2: Hidrograma de vazão média mensal



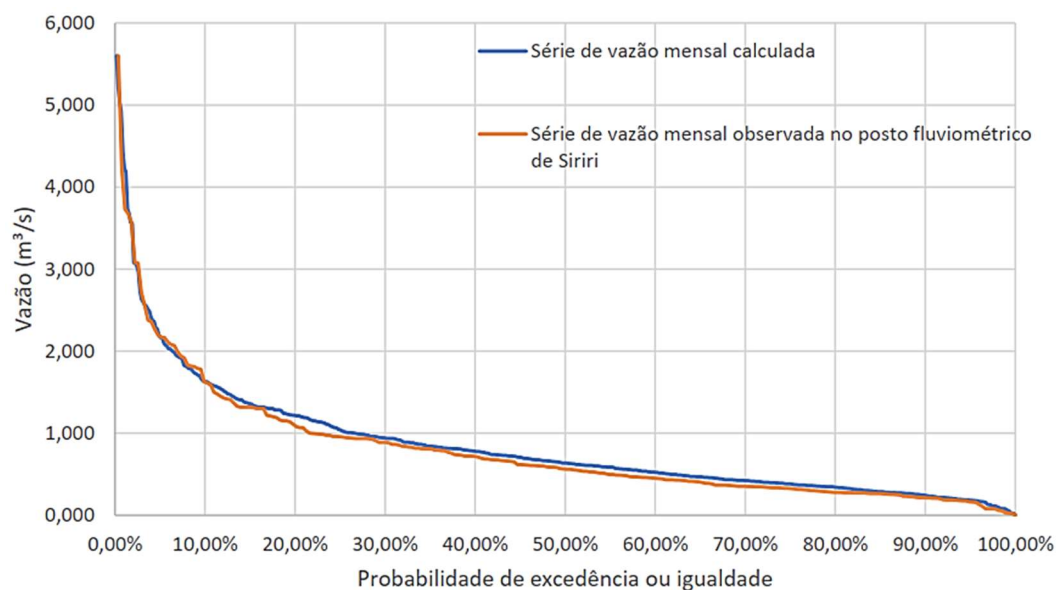
Fonte: Autor (2018)

Figura 3: Hidrograma de vazão média anual



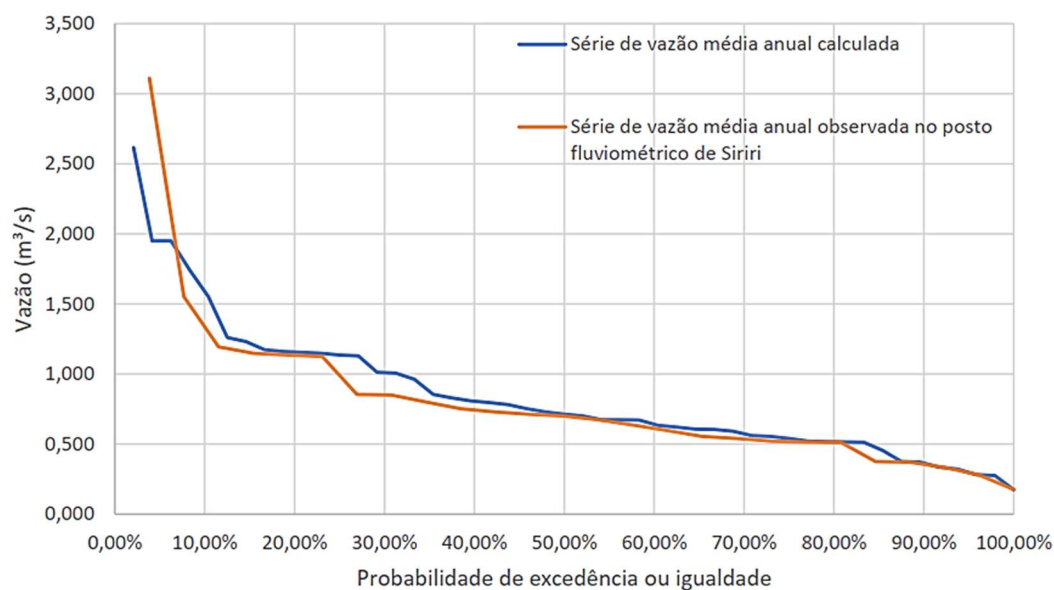
Fonte: Autor (2018).

Figura 4: Curvas de permanência mensal observada e calculada



Fonte: Autor (2018).

Figura 5: Curvas de permanência anual observada e calculada



Fonte: Autor (2018)

Tabela 5 - Valores da vazão $Q_{90\%}$ para as séries históricas de vazão

Série	Vazão $Q_{90\%}$ (m³/s)
Vazão Mensal Calculada	0,239
Vazão Mensal Observada	0,212
Vazão Média Anual Calculada	0,371
Vazão Média Anual Observada	0,355

Fonte: Autor (2018).

Quando se compara a $Q_{90\%}$ da série de vazões mensais, nota-se que, com o preenchimento da série, obtém-se um valor disponibilidade hídrica 12,7% maior do que o obtido a partir dos registros com falhas no posto fluviométrico. Existe uma diferença maior entre as curvas de permanência mensais do que entre as curvas de permanência anuais, comprovando o que diz Collischonn e Tassi (2008).

4 CONCLUSÕES

Através do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe, foi possível determinar o SMAP como melhor modelo chuva-vazão para análise da bacia do Siriri, bem como determinar os valores dos parâmetros de solo *Sat*, *Pes*, *Crec* e *Kkt* do modelo para a bacia.

O preenchimento da série de vazões do posto fluviométrico Siriri, realizado a partir do uso do modelo SMAP foi realizado. A análise da tendência da série média mensal através de testes estatísticos não paramétricos (estacionariedade e homogeneidade) provou que a hipótese nula é aceita para ambos os testes, sendo assim, a série histórica de vazão preenchida é considerada homogênea e estacionária.

Por fim, a disponibilidade hídrica da bacia foi determinada através da curva de permanência com base nos critérios estaduais de outorga, demonstrando o impacto positivo da extensão da série e do preenchimento de falhas para a disponibilidade hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Inventário das estações pluviométricas**. Brasília: ANA, 2009.

_____. **Portal HidroWeb**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 10 jan. 2018.

ARAÚJO, C. E. d. S et al. **Caracterização dos aquíferos da bacia do rio Siriri e estimativa de recarga subterrânea com os modelos WEAP e SMAP**. In: I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo [S.l.:s.n.], 2009.

BALTOKOSKI, V. et al. **Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro – Pato Branco (PR)**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V. 34, s.n., p. 253-261, 2010.

BARBOSA, A. G. **Avaliação de alterações no comportamento das séries hidrológicas em bacias hidrográficas sergipanas e seus impactos sobre a disponibilidade hídrica.** Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC. Relatório final. Universidade Federal de Sergipe, 2017.

BRANCO, O. E. A. **Avaliação da disponibilidade hídrica: conceitos e aplicabilidade.** Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-H%C3%ADrica.pdf>. Acesso em 17 mar. 2018.

COLLISCHONN, W., TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia.** v.5. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

DANTAS, C. S. M. **Aplicação do modelo chuva-vazão SMAP para avaliação hidro- lógica da bacia do rio Piauitinga, Sergipe.** Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Sergipe, 2015.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. **Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, n. 4, p. 103-120, 1998.

ISHIZAWA, Y. B. *et al.* **Caracterização fisiográfica da bacia do rio Siriri pelo uso de SIG.** In: XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Maceió: ABRHidro, 2018.

LOPES, J. E. G. **Soil moisture accouting procedure.** [S.l.], 1999

NAGUETTI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 2007.

PAIVA, R. C. D.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. **Estimativa das vazões naturais nas sub-bacias do vacaraí mirim através de modelo simplificado.** In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. Curitiba: ABRH, 2006.

PAULA, S. C. **Precipitação estimada por satélite para uso em modelo concentrado chuva-vazão aplicado em diferentes escalas de bacias.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos – SRH. **Atlas digital sobre recursos hídricos de Sergipe.** Aracaju: SEMARH/SRH, 2016. CD-ROM.

SERGIPE. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Resolução nº01 de 19 de abril de 2001. **Dispõe sobre Critérios para a Outorga de Uso de Recursos Hídricos.** Disponível em: <http://www.semarh.se.gov.br/recursoshidricos/wp-content/uploads/2018/01/RESOLU%C3%87%C3%83O-01-CONERH-Crit%C3%A9rios-outorgas.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.

SILVA, V. S. V. **Estimativa de precipitação pontual em diferentes escalas para uso em modelo concentrado chuva-vazão.** Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.