

ESTIMATIVA DE VAZÃO DO RIBEIRÃO LAVAPÉS NA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DA MICROCENTRAL HIDRELÉTRICA DA FAZENDA EXPERIMENTAL LAGEADO EM BOTUCATU/SP

**FRANCIENNE GOIS OLIVEIRA¹; ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM² E MANUEL
ESTEBAN LUCAS BORJA³**

¹ Gestora Ambiental, Tecnóloga em Irrigação e Drenagem, Doutora em Agronomia – Energia na Agricultura. Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, franciennegois@yahoo.com.br

² Engenheiro Eletricista, Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura. Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, UNESP/FCA, seraphim@fca.unesp.br

³ Engenheiro Florestal, Doutor em Ciências Agrárias, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroflorestal e Genética da Universidad de Castilla La Mancha, ManuelEsteban.Lucas@uclm.es

1 RESUMO

A carência de dados fluviométricos em pequenas bacias hidrográficas dificulta estudos de aproveitamento hídrico. A estimativa de disponibilidade hídrica de bacias sem dados fluviométricos é normalmente feita com base em modelos hidrológicos como chuva-vazão ou por informações hidrológicas de bacias da mesma região. Os modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão foram desenvolvidos tendo como objetivo a síntese de séries de vazão em determinados locais, para finalidades como a previsão de vazões ou a síntese de vazões em locais carentes de informações. Este estudo teve por objetivo a quantificação da vazão do Ribeirão Lavapés para possível reativação da Microcentral hidrelétrica da Fazenda Experimental Lageado. Para tanto utilizou-se o modelo chuva-vazão Win_IPH2 desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foi introduzido no programa séries de precipitação, evaporação e dados de área da bacia e outros. Fez-se a calibração do programa e com isso foram gerados gráficos e dados da vazão calculada e a curva de permanência. Por meio da metodologia utilizada foi possível quantificar a vazão do Ribeirão Lavapés e gerar a Curva de Permanência para o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2012 com resultados satisfatórios.

Palavras-chaves: chuva-vazão, regionalização de vazão, curva de permanência.

**OLIVEIRA, F. G.; SERAPHIM, O. J.; BORJA, M. E. L.
ESTIMATE OF THE FLOW RATE OF THE LAVAPÉS STREAM IN THE HPMS
HYDROELECTRIC LAGEADO FARM**

2 SUMMARY

The lack of stream flow data on small watershed studies prevents water use research. The estimate of water availability from watersheds with no stream flow data is usually performed based on hydrological models as rainfall-runoff or hydrological information on watersheds from the same region – regionalization of flow. Hydrological models of the rainfall-runoff type

were developed in order to synthesize flow series in specific spots to forecast flows or synthesize flows in spots with lack of information. This study aimed at quantifying the flow of the Lavapés stream for possible reactivation of HPMS hydroelectric Lageado Farm. For this purpose, the Win_IPH2 rainfall-runoff model developed by the Institute of Hydraulic Research at the Rio Grande do Sul Federal University was used. Precipitation and evaporation series and data on the watershed area were introduced in the program. Calibration of the program was performed, and afterward, graphics, data on the calculated flow and flow-duration curve were obtained. The methodology of this study allowed quantification of the Lavapés stream flow and generation of the Permanence Curve in the period from January 2009 to December 2012 with satisfactory results.

Keywords: rainfall-runoff, regionalization of flow, flow-duration curve.

3 INTRODUÇÃO

A realidade brasileira contempla uma carência enorme de energia para propriedades e aglomerados rurais em pontos isolados da rede interligada de transmissão de energia elétrica, assim como para localidades próximas a perímetros urbanos e distritos agroindustriais de grande demanda energética. Entretanto quando se parte para o estudo de viabilidade econômica e social dos aproveitamentos de pequeno porte, depara-se com a quase total ausência de dados fluviométricos de pequenos mananciais para o desenvolvimento das avaliações de potencialidades energéticas (SILVEIRA, et al., 1998).

Quando ocorre a necessidade de estudo da disponibilidade hídrica do pequeno manancial, o profissional habilitado, deparando-se com a carência de dados fluviométricos para a avaliação pretendida, fica sujeito a grandes incertezas quanto aos resultados da quantificação de vazões. Em consequência, por avaliações incorretas pode considerar viável um aproveitamento inviável. Do modo inverso, também pode considerar inviável um aproveitamento adequado à sociedade.

O modelo hidrológico é uma ferramenta extremamente útil, que permite, por meio de equações dos processos dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. Entretanto, os modelos hidrológicos possuem limitações básicas como a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos, além da dificuldade em definir todas as relações existentes entre os diferentes componentes da bacia hidrográfica em termos matemáticos (TUCCI, 2005).

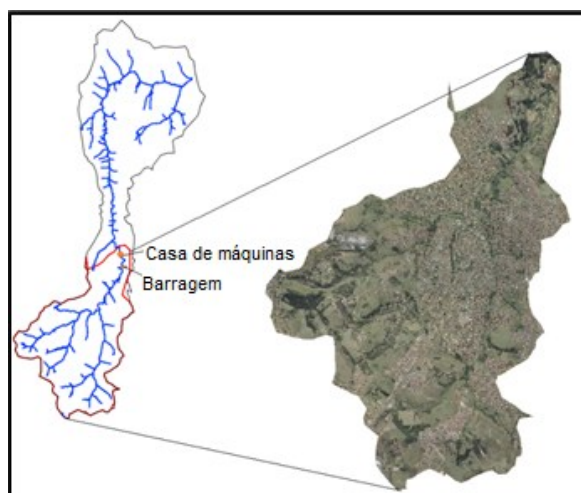
O processo de modelagem supõe a existência de amostra de eventos que possibilitem o ajuste dos parâmetros de modo a representar as condições locais do escoamento em estudo. Ocorre que muitas vezes a necessidade de informações recai em locais com ausência de dados. Uma rede hidrológica raramente cobre todos os locais de interesse em uma bacia hidrográfica, o que gera lacunas espaciais que precisam ser preenchidas. Em regiões com dados deficientes é possível estender as séries de vazões através de modelos hidrológicos chuva-vazão e obter séries de vazões mais representativas (VENDRUSCOLO, 2005).

Existe uma grande necessidade de estudos hidrológicos confiáveis para pequenas bacias que levem em conta a carência de dados fluviométricos. Contudo, este estudo teve por objetivo estimar a vazão do Ribeirão Lavapés na área de contribuição da Microcentral Hidrelétrica Lageado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada envolve a parte inicial da bacia do Ribeirão Lavapés, onde a principal nascente deste curso d' água, até a barragem da Microcentral Hidrelétrica da Fazenda Lageado, área urbana do município de Botucatu. Possui extensão de 44,01 km² e está geograficamente localizada nas coordenadas 22°43'12" de latitude Sul e 48°29'43" de longitude Oeste, com altitudes variando entre 715 e 920 metros (Figura 1).

Figura 1. Localização da área de contribuição da Microcentral Hidrelétrica Lageado na Bacia do Ribeirão Lavapés no município de Botucatu/SP.



4.1 Dados da área de contribuição

Os dados da bacia: área em quilômetros quadrados, área impermeável, comprimento do talvegue do Ribeirão Lavapés e desnível foram obtidos junto ao banco de dados do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas de Botucatu – GEPAG.

O Coeficiente forma do histograma tempo área foi obtido de acordo com as recomendações do Manual de conceitos do IPH2 (BRAVO et al., 2006a), onde este valor pode ser 1, 2 ou 1,5. O valor do tempo de concentração foi calculado utilizando a equação “Califórnia Culverts Practice” de 1942 (Equação 1), que é uma adaptação da equação de Kirpich de 1940 (PAIVA e PAIVA, 2003).

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (1)$$

Onde: tc - tempo de concentração [min]; L - comprimento do talvegue [km] e H - desnível entre duas seções de análise [m].

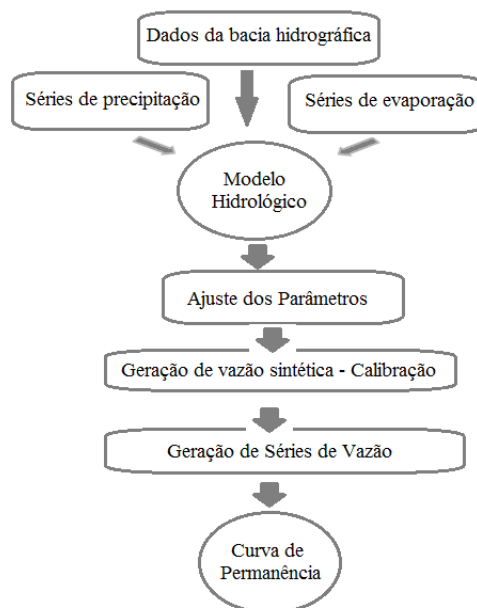
4.2 Dados Pluviométricos e de Evaporação

Os dados pluviométricos e de evaporação foram obtidos na Estação Climatológica da Fazenda Experimental Lageado, setor de Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu/SP. Trabalhou-se com os anos de 2009, 2010, 2011 e 2012.

4.3 Métodos

A Figura 2 apresentada a estrutura metodológica da utilização do programa.

Figura 2. Estrutura metodológica do Win_IPH2.



4.4 Definição dos Dados de Entrada para Simulação do Processo Chuva-Vazão

O modelo IPH II na versão Win_IPH2 elaborada por Bravo et al. (2006a) foi a ferramenta utilizada neste trabalho para simular a vazão a partir dos dados de precipitação e evaporação.

- Discretização temporal - intervalo de tempo da simulação: 1440 min que corresponde a 1 dia;
- Dados da bacia: Área da bacia: 44,01 km²; Área impermeável: 31,47 km² - 71,5% da área total; Coeficiente de forma do histograma tempo área sintético: 1,5 (BRAVO, 2006b); Tempo de concentração: 2 horas;

4.5 Calibração

Para a calibração do modelo são necessários dados de vazão, mas, como a bacia em estudo não possui estes dados, neste caso a única forma de checar se um método de calibração pode atingir o ótimo global é testá-lo usando uma série de vazões geradas pelo próprio modelo utilizando-se os parâmetros da Tabela 1 onde se adotou os intervalos dos valores sugeridos na literatura, como no trabalho de Collischonn e Tucci, (2001).

Gerada a vazão sintética, a partir dos dados de precipitação e vazão inicia-se a etapa de calibração automática monobjetivo - Algoritmo SCE-UA ajustando-se os limites dos parâmetros conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Valores dos parâmetros do modelo IPH II para geração da serie sintética e limites utilizados na calibração do Modelo IPH II (COLLISCHONN e TUCCI, 2001).

Parâmetro	Unidade	Valor	Limite Mínimo	Limite Máximo
I_o	$\text{mm} \cdot \Delta t^{-1}$	50,0	10,0	300,0
I_b	$\text{mm} \cdot \Delta t^{-1}$	1,0	0,1	5,0
h	-	0,8	0,01	1,00
K_s	Δt^{-1}	5,0	0,01	10,0
K_{sub}	Δt^{-1}	100,0	10,0	500,0
R_{max}	mm	4,0	1,0	5,0
Alfa	-	2,0	0,01	20,0

Onde: I_o - Capacidade de infiltração para $t = 0$ [$\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$]; I_b - Capacidade de infiltração mínima [$\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$]; h - Parâmetro de decaimento da infiltração no solo [adm]; K_s - Parâmetro de propagação do escoamento superficial [horas]; K_{sub} - Parâmetro de propagação do escoamento subterrâneo [horas] e R_{max} - Capacidade máxima do reservatório de intercepção [mm];

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 são apresentados os hidrogramas das vazões calculadas (linha azul) e simuladas (linha preta) pelo modelo no processo de verificação, com uso dos parâmetros obtidos do processo de calibração, e as séries das precipitações (na parte superior das figuras) utilizadas como modo de entrada no programa.

As vazões médias observadas e simuladas de longo período na bacia são similares. O modelo WIN_IPH2 reproduziu adequadamente a vazão média.

Figura 3. Verificação dos parâmetros do Modelo no período de 01/01 a 31/12/2009.

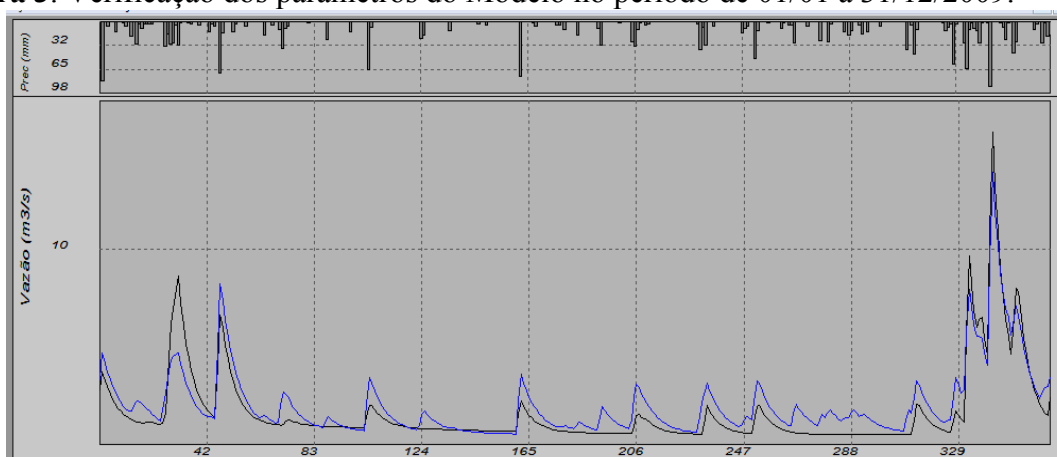
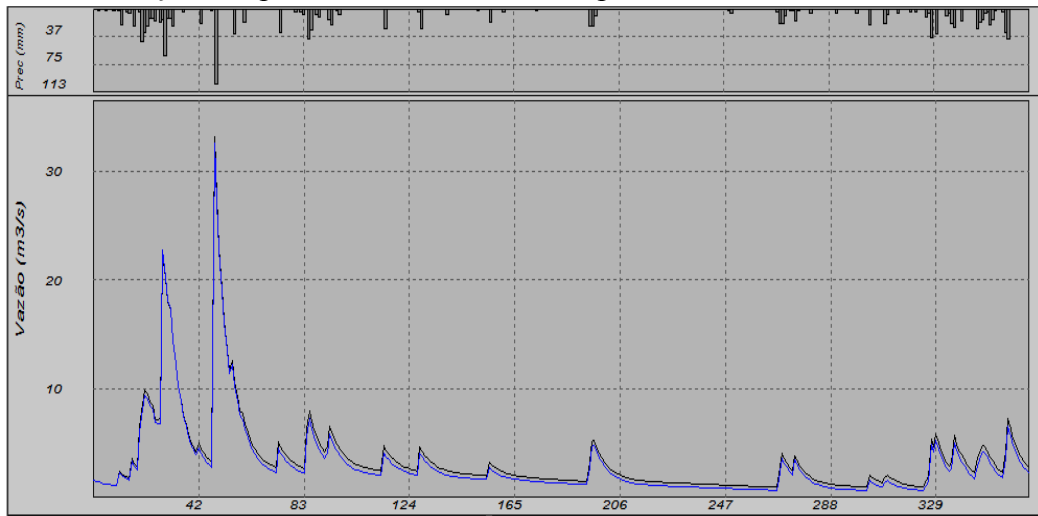
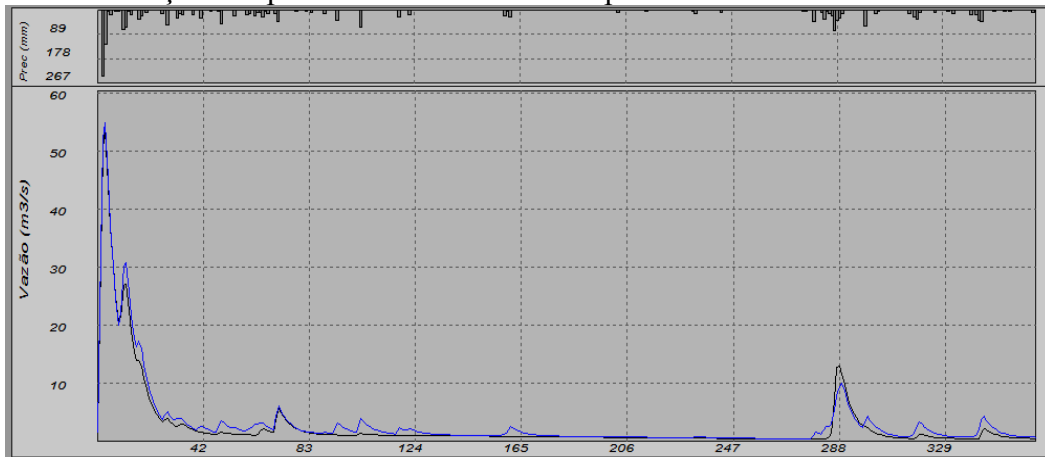
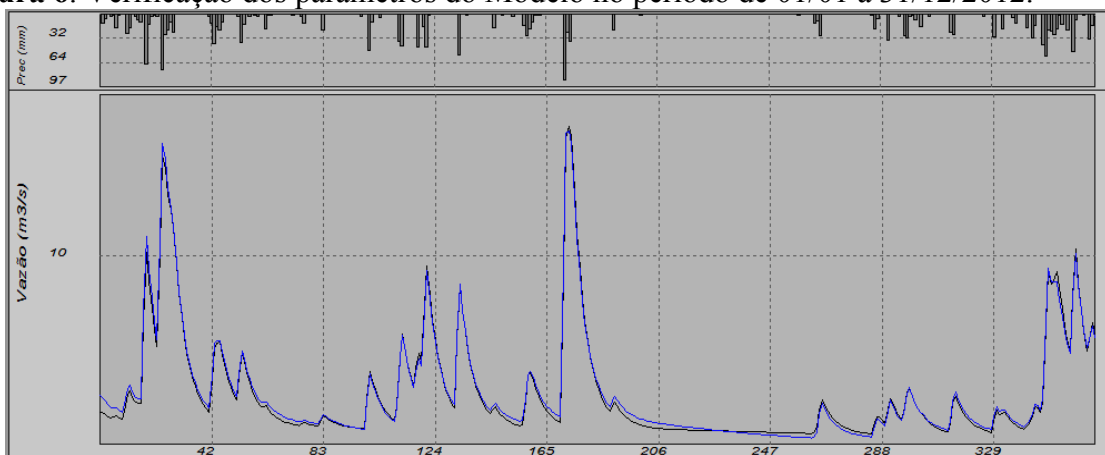
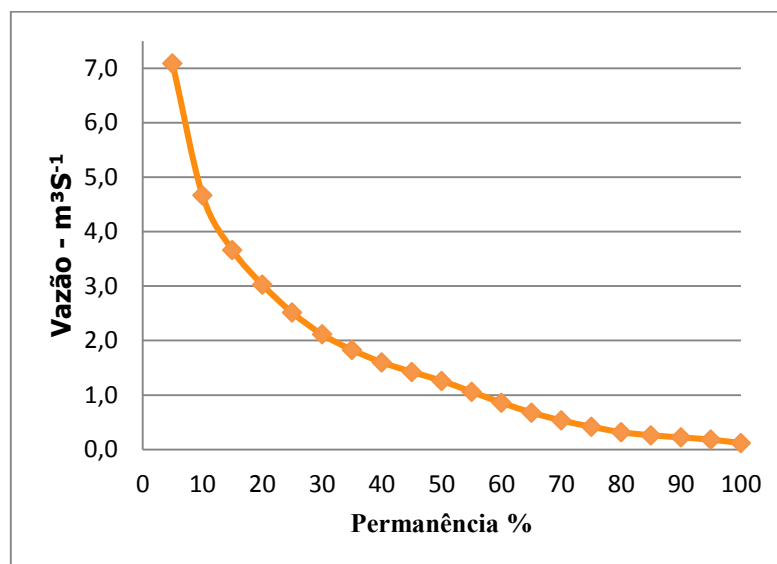


Figura 4. Verificação dos parâmetros do Modelo no período de 01/01 a 31/12/2010.**Figura 5.** Verificação dos parâmetros do Modelo no período de 01/01 a 31/12/2011.**Figura 6.** Verificação dos parâmetros do Modelo no período de 01/01 a 31/12/2012.

As séries de vazões de verificação foram utilizadas neste procedimento para avaliar o desempenho do modelo, a partir das vazões simuladas para o conjunto de parâmetros obtidos da calibração com as estatísticas pontuais de entrada.

Na Figura 7 pode se observar a curva de permanência calculada pelo Win_IPH2. A curva representa a relação entre a magnitude e a frequência de vazões no período de um ano, para a área de estudos na bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés, fornecendo a porcentagem de tempo que uma dada vazão é igualada ou superada no período definido.

Figura 7. Curva de Permanência do período de 01/01/2009 a 31/12/2012.



Na Tabela 2 são apresentados valores da curva de permanência espacializados em vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) pela porcentagem do período de 01 de janeiro de 2009 a 31 de dezembro de 2012 calculados pelo Win_IPH2.

Tabela 2. Valores espacializados da curva de permanência no período de 2009 a 2012.

Permanência %	5	10	15	20	25	30	35	40	50
Vazão $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$	7,09	4,67	3,66	3,03	2,51	2,11	1,82	1,60	1,26
Permanência %	55	60	70	75	80	85	90	95	100
Vazão $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$	1,06	0,86	0,53	0,42	0,31	0,26	0,22	0,18	0,12

De acordo com Eletrobrás (2000), para as microcentrais hidrelétricas a vazão de projeto para sistemas isolados (vazão de turbina) é a vazão com 95% de permanência, e sistemas interligados à rede de energia adota-se a vazão a 50% de permanência.

6 CONCLUSÕES

Por meio da metodologia utilizada foi possível quantificar a vazão do Ribeirão Lavapés e gerar a Curva de Permanência para do período de janeiro de 2009 a dezembro de 2012 com resultados satisfatórios.

O programa Win_IPH2 mostrou-se uma ferramenta viável para atender os objetivos tanto na quantificação de vazão quanto na geração da curva de permanência na área sem registros fluviométricos.

7 REFERENCIAS

BRAVO, J.M.; ALASSIA, G.G.P.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C.E.M.. **Manual de usuários do WIN_IPH2**. Versão 1.0. Porto Alegre, 2006a. 62 p.

BRAVO, J.M.; ALASSIA, G.G.P.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C.E.M. **Manual de conceitos do WIN_IPH2**. Versão 1.0. Porto Alegre, 2006b. 27 p.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. . **Calibração automática global do modelo IPH2**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2001, Aracaju SE. Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2001.

ELETROBRÁS. Ministério das Minas e Energia. **Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Rio de Janeiro. 2000. 458p.**

Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas – GEPAG. Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu. UNESP. **Banco de dados georreferenciado**. 2012.

IPH - INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAÚLICAS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – Porto Alegre. 2006. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/iph/>
SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V.3, n.3, p.111-131, 1998.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre, 2003, 628p.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. 2. Ed. Porto Alegre. Editora da Universidade. ABRH/UFRG, 2005. 678p.

VENDRUSCULO, J. **Regionalização dos parâmetros de um modelo chuva-vazão para estimativa de vazões em bacias sem monitoramento sistemático**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.