

## Avaliação da escolha de diferentes funções-objetivo na calibração automática do modelo hidrológico SMAP

### Renato de Queiroz Porto

Graduando - Engenharia Civil,  
UFPB/CT/LARHENA - Campus  
universitário - João Pessoa - PB  
- 58059-900  
Fone: (83) 3216 -7684 - email:  
renatodequeiroz@yahoo.com.br

**Davi de Carvalho Diniz Melo**  
di\_diniz@yahoo.com.br

**Cristiano das Neves Almeida**  
Professor-Adjunto de Engenharia  
Civil, UFPB/CT/LARHENA  
- Campus universitário - João  
Pessoa - PB - 58059-900  
Fone: (83) 3216 -7684 - email:  
almeida74br@yahoo.com.br

**Alain Marie Bernard Passerat  
de Silans**  
alainsilans@yahoo.com.br

### Resumo

Este trabalho apresenta um estudo sobre a influência da escolha de uma função objetivo (FO) nos parâmetros calibrados do modelo hidrológico conceitual do tipo chuva-vazão, SMAP. Para isto, foram efetuadas simulações com FO's, a fim de verificar o comportamento dos parâmetros calibrados. A aplicação foi realizada em três sub-bacias do rio Gramame, localizado no litoral da Paraíba. Os resultados mostram uma significativa variação dos parâmetros frente ao uso de diferentes FO's utilizadas.

*Palavras-chave:* Calibração automática. Sensibilidade de parâmetros. Algoritmos genéticos.

### Abstract

This paper presents a study about the influence of the choice of a objective function (OF) on the calibrated parameters of the SMAP, a hydrologic rainfall runoff model. Thus, to carry out the study simulations were done with OF's, in order to verify the behaviour of the calibrated parameters. The application was carried through in three sub-watersheds of the Gramame river, located on the coast of Paraíba State. The results show a significant variation of the parameters depending on the use of the different OF's used.

*Keywords:* Automatic Calibration. Parameters Sensibility. Genetics Algorithms.

## 1 Introdução

A calibração manual de modelos hidrológicos pode ser um processo muito lento, repetitivo e tedioso, especialmente quando o modelo utilizado tem um grande número de parâmetros e o usuário é inexperiente (COLLISCHONN E TUCCI, 2003). Para solucionar este problema, desde a década de 60 têm sido desenvolvidas diferentes técnicas para a calibração automática de modelos hidrológicos. Atualmente, um grande número de técnicas encontra-se disponível. Um procedimento típico para estimar os valores ótimos de parâmetros de modelos chuva-vazão considera os seguintes elementos: função objetivo (FO); algoritmo de otimização; critério de parada (BRAVO, 2007). Uma das etapas deste processo consiste na escolha da FO que irá ser maximizada ou minimizada através de algum método de otimização.

Entretanto, a escolha adequada de uma função objetivo não é uma tarefa simples, e depende sobremaneira do uso futuro do modelo hidrológico (NASCIMENTO, 2007). Observa-se que não existe um critério definido para a seleção de uma FO, quando o objetivo é calibrar os parâmetros para serem utilizados em outras bacias com características semelhantes à bacia que foi inicialmente simulada. Tornando assim, a avaliação de qual função objetivo utilizar no processo de calibração, bastante subjetivo, e como consequência, resultados imprecisos e incertezas neste processo de regionalização de parâmetros.

Deste modo, buscou-se neste trabalho, avaliar um conjunto de FO's, com o intuito de averiguar as diferentes respostas dos parâmetros do modelo chuva-vazão SMAP mensal (LOPES et al., 1982), frente ao uso de algumas destas funções. Um total de cinco FO's foi escolhido para a otimização dos parâmetros do modelo hidrológico concentrado SMAP. As funções

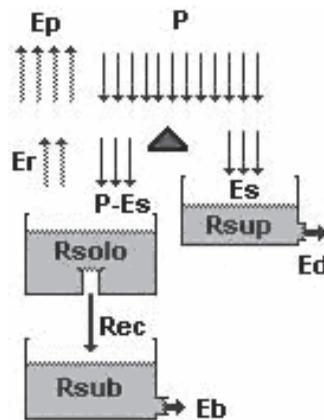
objetivo escolhidas enfatizam diferentes magnitudes de vazões, algumas priorizam vazões de baixa, outras de grande magnitude, ou então, para nenhuma destas vazões é dada uma importância significativa, enfatizando o melhor ajuste dos valores relativos.

Na calibração automática dos parâmetros do modelo chuva-vazão SMAP, utilizou-se método dos Algoritmos Genéticos, SCE-UA (Shuffled Complex Evolution), que buscou minimizar cada FO. Esse modelo foi aplicado na bacia hidrográfica do rio Gramame, localizada na região litorânea do Estado da Paraíba. O modelo foi aplicado em três sub-bacias: Gramame, Mamuaba e Mumbaba. Para cada uma destas três sub-bacias foram realizadas simulações com todas as FO's abordadas neste trabalho, tendo como período de calibração, janeiro de 1972 a dezembro de 1974.

A pesquisa realizada encontra-se na interface de duas áreas: recursos hídricos e informática. Devido à escassez de dados hidrológicos de campo, a área de recursos hídricos tem que recorrer frequentemente a técnicas de otimização e informática, a fim de gerar dados sintéticos de vazões. Assim, este trabalho tem como objetivo, mostrar a influência da escolha de diferentes FO's nos resultados da calibração automática do modelo hidrológico SMAP e analisar o quão grande é a variação dos parâmetros deste modelo.

## 2 Modelo SMAP

O modelo SMAP (LOPES et al., 1982) é um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo chuva-vazão, sendo o mesmo conceitual e concentrado. O modelo realiza o balanço da umidade do solo baseado em dois reservatórios lineares que representam o solo (camada superior) e o aquífero (reservatório subterrâneo). A Figura 1 apresenta a estrutura da versão mensal do modelo.



**Figura 1:** Estrutura do modelo SMAP em sua versão mensal.

**Fonte:** LOPES et. al. (1982).

O modelo é composto de 4 funções de transferência, e possui os seguintes parâmetros:

- Str - capacidade de saturação do solo (mm)
- Pes - parâmetro de escoamento superficial
- Crec - coeficiente de recarga
- Kkt - constante de recessão

Os dados de entrada são: a série mensal de chuva e as médias mensais multianuais de evaporação potencial (tanque classe A). Para a calibração são necessários de 2 a 9 anos de dados de vazão média mensal.

## 3 Algoritmos genéticos

Quando se pretende realizar a calibração automática de modelos hidrológicos, o uso de Algoritmos Genéticos se torna uma ferramenta importante e muito eficiente na busca de soluções ótimas globais, pois não impõem muitas das limitações encontradas nos métodos de busca tradicionais. Os Algoritmos Genéticos são métodos de otimização e busca inspirados

nos mecanismos de evolução de populações de seres vivos, consistem em tentar várias soluções e utilizar informação obtida neste processo de forma a encontrar soluções cada vez melhores (DINIZ, 1999).

Existem diversos algoritmos de otimização para realizar a calibração automática de modelos hidrológicos. Esses algoritmos são usualmente classificados em dois grupos, os de busca local e os chamados de busca global, como Algoritmos Genéticos (NASCIMENTO, 2007).

### 3.1 Algoritmo SCE-UA

Neste algoritmo, uma população de “s” pontos é selecionada aleatoriamente no espaço de pesquisa dos parâmetros, ela é dividida em algumas comunidades (complexos ou conjuntos) com o espaço de pesquisa dos parâmetros explorado em diferentes direções. Após algumas gerações, as comunidades são envolvidas entre si através de um processo de mistura. Para assegurar que o processo de evolução seja competitivo, é dada maior chance aos pontos de menor valor da função objetivo, para participar na geração de descendentes. Ocasionalmente, descendentes são substituídos por outros para garantir que a evolução não se perca fora do espaço possível de busca. Os novos descendentes, assim formados, substituem os piores pontos do subcomplexo corrente, garantindo que cada ponto tenha pelo menos uma chance de contribuir para o processo de reprodução antes que seja substituído ou descartado. Assim, nenhuma informação contida na amostra é descartada.

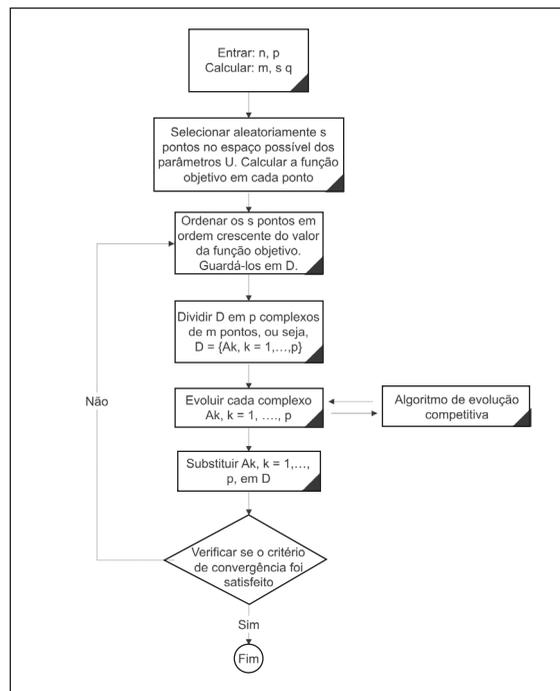


Figura 2: Fluxograma do algoritmo SCE- UA.

Fonte: DINIZ, (1999).

A Figura 2 ilustra o processo de execução do algoritmo SCE-UA.

Maiores informações acerca do algoritmo SCE-UA podem ser encontradas em DUAN et. al. (1992) e DINIZ (1999).

## 4 Funções objetivo

Na otimização de modelos hidrológicos uma das partes fundamentais é o estabelecimento da função objetivo (TUCCI, 1998), já que as mesmas têm função de auxiliar o processo de simulação, uma vez que fornecem valores que devem ser minimizados. A forma mais simples e direta de avaliar a capacidade do modelo em representar os processos hidrológicos de uma dada bacia é comparando as vazões simuladas com as vazões observadas (NASCIMENTO, 2007), sendo que, quanto mais próximo estiver o hidrograma das vazões calculadas com o das vazões observadas, mais bem calibrados serão os parâmetros do modelo.

Em geral, o modelo de otimização é constituído por uma FO  $F(X_1, X_2, \dots, X_n)$  que se quer maximizar ou minimizar, onde  $X_1, X_2, \dots, X_n$  são as  $n$  variáveis de decisão do problema. Além da FO, comparecem também as  $m$  funções de restrição  $g_i(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , determinando a região viável das variáveis de decisão. Assim, pode-se representar o problema de otimização através de:

$$\text{Max (Min) } F(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} g_i(X_1, X_2, \dots, X_n) &> b_1; < b_1; = b_1 \\ g_i(X_1, X_2, \dots, X_n) &> b_2; < b_2; = b_2 \\ g_i(X_1, X_2, \dots, X_n) &> b_m; < b_m; = b_m \end{aligned} \quad (2)$$

Onde, além das variáveis definidas anteriormente,  $b_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ , são parâmetros do modelo. O conjunto de valores das variáveis de decisão  $X_1, X_2, \dots, X_n$  que satisfaz a Eq. (2) é chamado de solução viável. Dentre as soluções viáveis, aquela que também satisfaz a equação (1) é chamada de solução ótima.

Neste trabalho foram escolhidas cinco funções objetivo para calibração do modelo hidrológico SMAP. Procurou-se utilizar funções objetivo que enfatizam as vazões de baixa e grande magnitude ou nenhuma destas vazões.

A FO dada pela Eq. (3), prioriza vazões de grande magnitude, já que a mesma dá um peso maior para as vazões maiores, onde  $Q_{obs}$  e  $Q_{calc}$  representam a vazão observada e calculada, respectivamente.

$$FO1 = \sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{calc}) \quad (3)$$

A Equação (4) apresenta a FO inversa, esta função atribui um maior peso às vazões menores, invertendo as propriedades da FO 1.

$$FO2 = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{1}{Q_{obs}} \right) - \left( \frac{1}{Q_{calc}} \right) \right]^2 \quad (4)$$

A próxima FO não dá importância nem às vazões máximas e nem às mínimas como as FO's 1 e 2, respectivamente.

$$FO3 = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(Q_{obs} - Q_{calc})}{Q_{obs}} \right]^2 \quad (5)$$

As FO's 4 e 5 também serão utilizadas para a otimização dos parâmetros, a FO 4 representa o erro médio quadrático relativo e a FO 5 calcula o erro médio absoluto.

$$FO4 = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{obs} - Q_{calc}}{Q_{obs}} \right)^2 \quad (6)$$

$$FO5 = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{obs} - Q_{calc}|}{n} \quad (7)$$

Para cada sub-bacia foram realizadas simulações com o conjunto de FO's mostrados anteriormente, buscando a minimização de cada uma delas, i.e., o valor ótimo dos parâmetros calibrados do modelo SMAP.

## 5 Área de estudo

Para a aplicação do modelo hidrológico SMAP, foi escolhida a bacia hidrográfica do rio Gramame, localizada no litoral do Estado da Paraíba. Esta bacia encontra-se situada entre os paralelos de  $7^\circ 11'$  e  $7^\circ 23'$  (Sul) e os meridianos de  $34^\circ 48'$  e  $35^\circ 10'$  (Oeste), conforme a Fig. 3. Possui uma área de drenagem de aproximadamente  $589 \text{ km}^2$ , onde escoam três rios principais: Gramame, Mamuaba e Mumbaba. Nela localiza-se o açude Gramame-Mamuaba, com 56 milhões de  $\text{m}^3$ , o qual é responsável pelo abastecimento de cerca de 24% da população do Estado da Paraíba. Nesta região ainda estão instaladas as principais indústrias do Estado. Desta forma, esta bacia tem uma importância fundamental para o desenvolvimento socioeconômico da Paraíba. O período chuvoso está compreendido entre março e julho, tendo uma precipitação anual

média de aproximadamente 1600 mm. A evaporação, medida em tanque classe A apresenta um valor médio de 1.300 mm/ano. (PDRH Gramame, 2000).

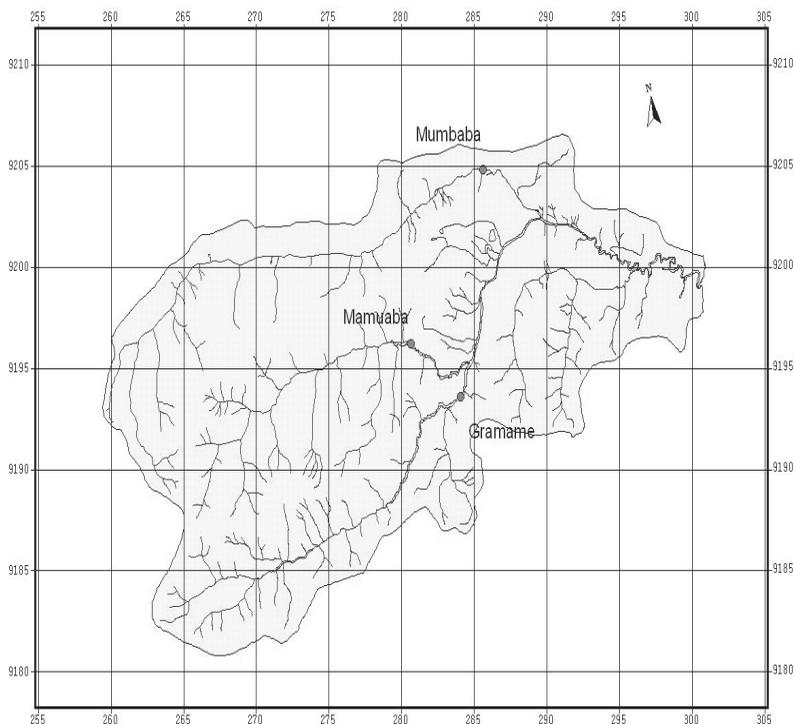


Figura 3: Bacia hidrográfica do rio Gramame e os postos fluviométricos de cada sub-bacia.

## 6 Resultados

Conforme descrito no item 4, uma série de simulações foi realizada com o modelo SMAP nas três sub-bacias do rio Gramame, utilizando as cinco FO's. Para cada simulação verificou-se a faixa de variação dos 4 parâmetros para cada FO utilizada. As Tabelas (1), (2) e (3) apresentam esta faixa de variação para cada sub-bacia.

Tabela 1: Variação dos parâmetros na sub-bacia do rio Gramame.

Parâmetros / FO	FO 1	FO 2	FO 3	FO 4	FO 5	Média	D. Padrão
Str	1366.82	400.00	1297.82	1367.70	1339.38	1154.34	422.65
Pés	8.20	6.18	10.00	8.18	8.01	8.11	1.35
Crec	6.47	4.27	0.00	6.44	2.89	4.02	2.71
Kkt	6.00	6.00	5.21	6.00	6.00	5.84	0.35

Tabela 2: Variação dos parâmetros na sub-bacia do rio Mamuaba.

Parâmetros / FO	FO 1	FO 2	FO 3	FO 4	FO 5	Média	D. Padrão
Str	5000.00	721.48	5000.00	5000.00	5000.00	4144.30	1913.41
Pes	3.55	10.00	4.03	3.55	3.72	4.97	2.82
Crec	1.07	6.21	0.61	1.07	1.23	2.04	2.34
Kkt	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	0.00

Tabela 3: Variação dos parâmetros na sub-bacia do rio Mumbaba.

Parâmetros / FO	FO 1	FO 2	FO 3	FO 4	FO 5	Média	D. Padrão
Str	5000.00	794.23	5000.00	5000.00	5000.00	4158.85	1880.88
Pes	2.86	10.00	5.18	2.86	2.72	4.72	3.12
Crec	1.35	69.79	1.32	1.35	1.40	15.04	30.61
Kkt	6.00	0.01	6.00	6.00	6.00	4.80	2.68

De acordo com os resultados apresentados por estas tabelas, algumas abordagens podem ser feitas. Fazendo uma primeira análise com relação às FO's, observa-se nas tabelas anteriores, uma grande variação entre os parâmetros calibrados pela FO 2 com as demais FO's, em todas as sub-bacias. Outro ponto a destacar é o fato das FO 1 e FO 4 terem um comportamento muito semelhante, apesar de uma representar a função quadrática e a outra, o erro médio quadrático relativo.

Partindo agora para uma análise com relação aos parâmetros calibrados, nota-se que o parâmetro Str variou de 400 a 5000, que são os limites apresentados pelo autor do modelo utilizado. No entanto, se fossem descartados os resultados da FO 2, esta variação ficaria entre 1154.34 e 5000. Um outro dado interessante é que o Kkt pouco variou de uma FO para outra, assim como, foi pequena sua variação em relação às sub-bacias, com exceção da simulação para o rio Mumbaba considerando a FO 2. Para os parâmetros Pes e Crec, a faixa de variação foi respectivamente: 2,72 a 10,0 e 0,0 a 69,79. Percebe-se também que as bacias Gramame e Mamuaba apresentam maior semelhança entre os parâmetros calibrados, enquanto que no rio Mumbaba, estes parâmetros destoaram dos resultados encontrados para as outras duas bacias. Para ressaltar melhor essa situação, foram traçados os gráficos correspondentes a cada parâmetro calibrado, comparando dessa vez, os resultados entre as sub-bacias, conforme apresentam as figuras a seguir.

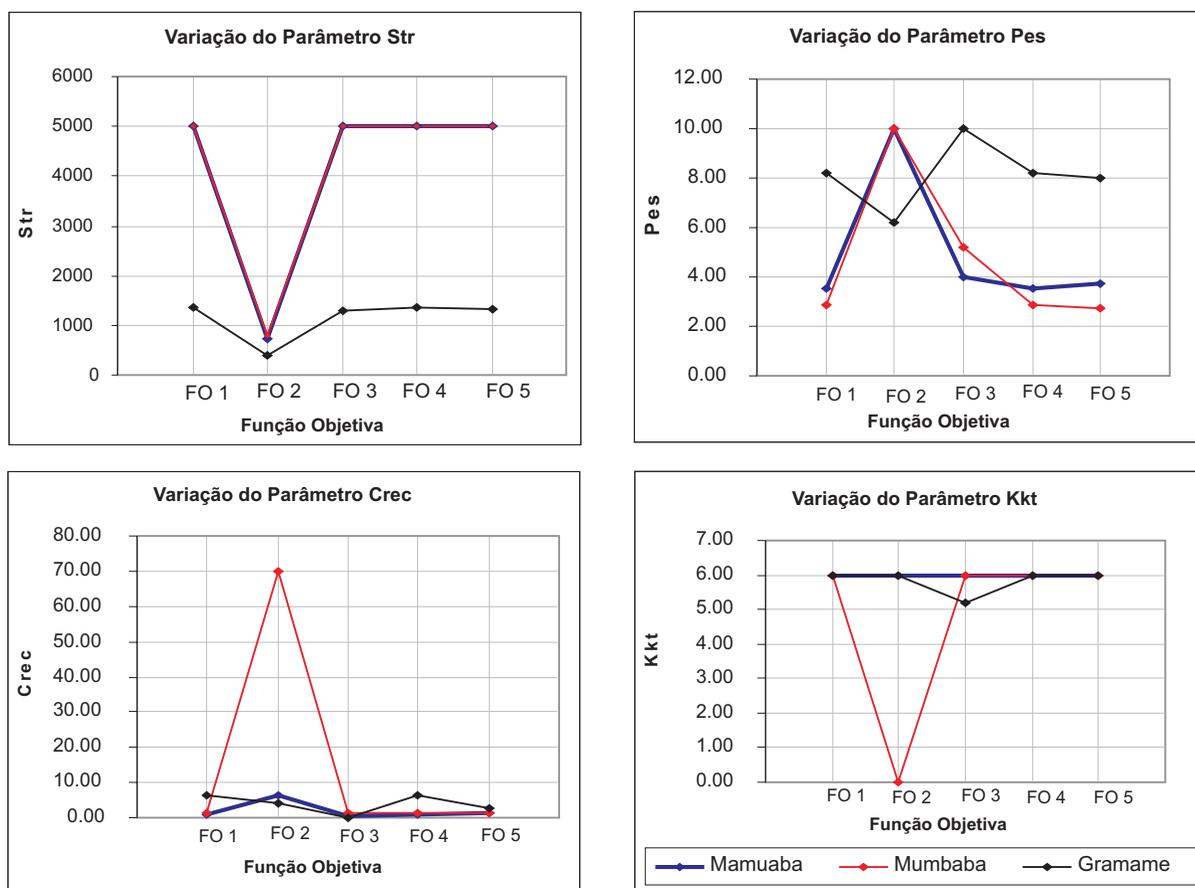


Figura 4: Comparação entre os parâmetros calibrados para cada sub-bacia.

Os gráficos da Fig. 4 apresentam a faixa de variação de cada parâmetro nas três sub-bacias. De posse desses resultados, foram traçados os hidrogramas para cada sub-bacia, considerando o período de calibração entre janeiro de 1972 e dezembro de 1974. Nos hidrogramas foram superpostos os valores das vazões observadas com os resultados das simulações com todas as FO's. Nas Fig. 5, 6 e 7, são mostrados os valores observados e calculados para cada FO.

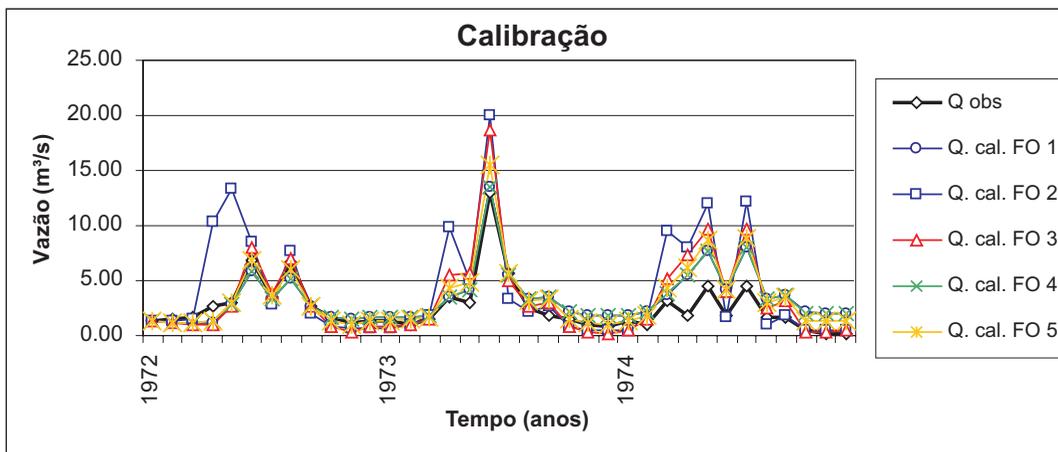


Figura 5: Hidrogramas das vazões observadas e calculadas para cada FO na sub-bacia do rio Gramame.

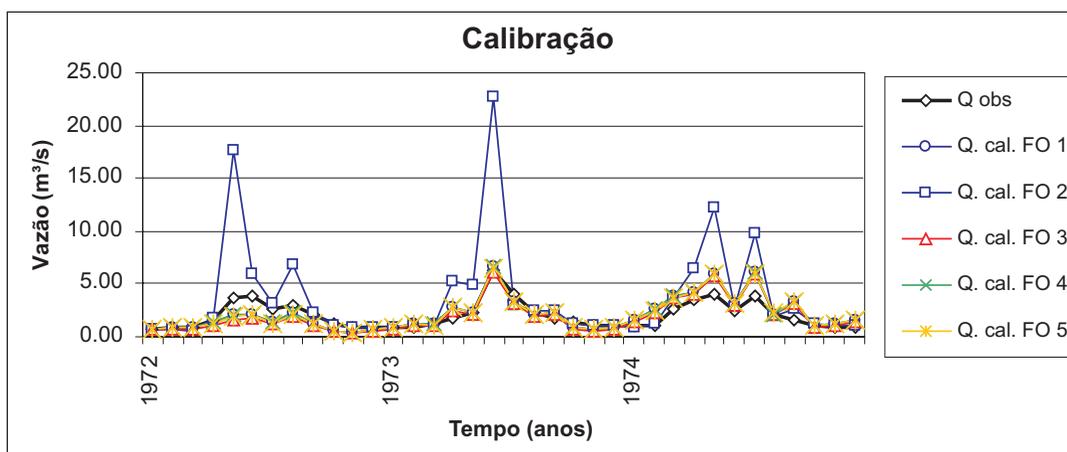


Figura 6: Hidrogramas das vazões observadas e calculadas para cada FO na sub-bacia do rio Mamuaba.

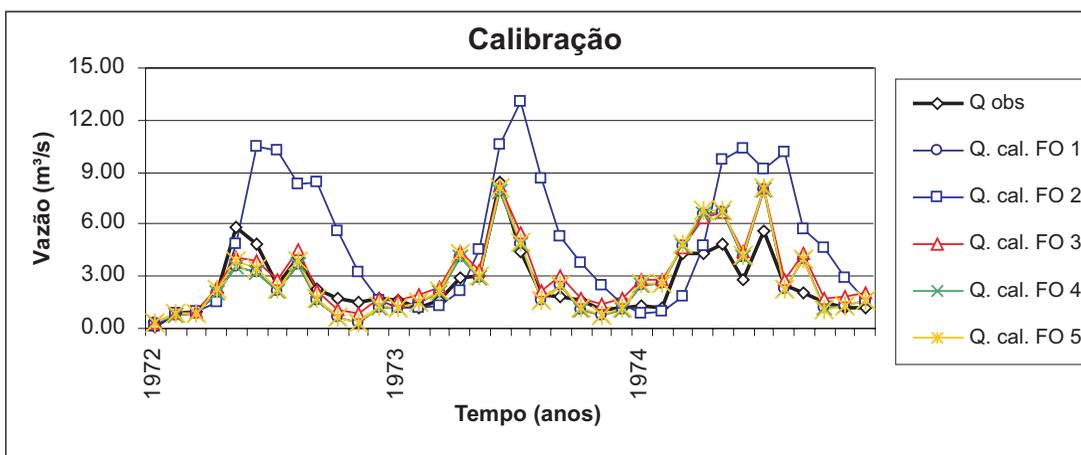


Figura 7: Hidrogramas das vazões observadas e calculadas para cada FO na sub-bacia do rio Mumbaba.

O cálculo realizado por cada FO, ajustou de maneira razoável cada hidrograma, de acordo com as características da FO, exceto, nos resultados utilizando a FO 2 na sub-bacia do rio Mumbaba, já que a mesma não conseguiu ajustar as vazões de pequena magnitude, tampouco, as de grande magnitude.

Observa-se que em todas as sub-bacias, os resultados das vazões calculadas que menos se aproximaram das vazões observadas foram quando a otimização foi realizada com a FO 2. Era de se esperar este comportamento, pois os valores obtidos dos parâmetros calibrados com essa FO resultaram numa vazão calculada com valores bem distintos dos valores calculados pelas demais FO's e também das vazões observadas.

Outro aspecto interessante, é que não houve uma única FO que conseguisse o melhor ajuste entre os hidrogramas observado e calculado nas três sub-bacias. Nas Tab. (4), (5) e (6), são apresentados alguns parâmetros estatísticos, entre os quais: média, desvio-padrão, valores máximos e mínimos das vazões e a correlação entre as vazões observadas e as calculadas.

**Tabela 4:** Parâmetros estatísticos para a sub-bacia do rio Gramame.

Parâmetros Estatísticos	Q. Calc. (m3/s)	Q. cal. FO 1 (m3/s)	Q. cal. FO 2 (m3/s)	Q. cal. FO 3 (m3/s)	Q. cal. FO 4 (m3/s)	Q. cal. FO 5 (m3/s)
<b>Média</b>	2.59	3.34	4.15	3.35	3.34	3.37
<b>Desv. pad.</b>	2.42	2.48	4.87	3.80	2.48	3.01
<b>Mínimo</b>	0.20	1.10	0.43	0.22	1.10	0.99
<b>Máximo</b>	12.98	13.53	20.07	18.73	13.53	15.53
<b>Correlação</b>	-	0.88	0.79	0.91	0.88	0.90
<b>Média erro</b>	-	1.05	0.77	0.55	1.04	0.72

**Tabela 5:** Parâmetros estatísticos para a sub-bacia do rio Mamuaba.

Parâmetros Estatísticos	Q. Obs. (m3/s)	Q. cal. FO 1 (m3/s)	Q. cal. FO 2 (m3/s)	Q. cal. FO 3 (m3/s)	Q. cal. FO 4 (m3/s)	Q. cal. FO 5 (m3/s)
<b>Média</b>	2.04	2.15	3.79	1.96	2.15	2.11
<b>Desv. pad.</b>	1.31	1.63	4.96	1.59	1.63	1.59
<b>Mínimo</b>	0.76	0.39	0.60	0.34	0.39	0.40
<b>Máximo</b>	6.33	6.81	23.11	6.27	6.81	6.57
<b>Correlação</b>	-	0.83	0.86	0.80	0.83	0.81
<b>Média erro</b>	-	0.35	0.57	0.36	0.35	0.35

**Tabela 6:** Parâmetros estatísticos para a sub-bacia do rio Mumbaba.

Parâmetros Estatísticos	Q. Obs. (m3/s)	Q. cal. FO 1 (m3/s)	Q. cal. FO 2 (m3/s)	Q. cal. FO 3 (m3/s)	Q. cal. FO 4 (m3/s)	Q. cal. FO 5 (m3/s)
<b>Média</b>	2.56	2.71	4.85	3.10	2.71	2.79
<b>Desv. pad.</b>	1.78	2.06	3.78	1.98	2.06	2.10
<b>Mínimo</b>	0.06	0.32	0.12	0.35	0.32	0.34
<b>Máximo</b>	8.41	7.95	13.05	8.24	7.95	8.08
<b>Correlação</b>	-	0.87	0.64	0.89	0.87	0.87
<b>Média erro</b>	-	0.43	1.09	0.48	0.43	0.44

Conforme os resultados obtidos nas figuras 7 a 9 e nas tabelas 4 a 6, nas sub-bacias do rio Gramame, Mamuaba e Mumbaba, as FO's que obtiveram melhor ajuste para os hidrogramas e também apresentaram os parâmetros estatísticos mais próximos entre as vazões observadas e calculadas, foram respectivamente: FO 1, FO 5 e FO's 1 e 4.

## 7 Conclusões

O objetivo principal deste trabalho foi realizar uma avaliação da escolha de diferentes FO's na calibração automática do modelo hidrológico SMAP na bacia do rio Gramame, situada na região litorânea do estado da Paraíba, com o auxílio do algoritmo genético SCE-UA na busca dos ótimos globais de cada FO.

Após a realização de várias simulações com as diferentes FO's, constatou-se que os valores das vazões calculadas são alterados sensivelmente, devido à variação existente nos parâmetros calibrados automaticamente. Essa variação foi decorrente do uso de FO's que priorizavam vazões de diferentes magnitudes, confirmando a idéia de que, dependendo do tipo de FO utilizada, os parâmetros a serem calibrados, têm seus valores influenciados pelas mesmas.

Apesar de não ser objeto de estudo deste trabalho, pode-se ver com os resultados obtidos que uma prática comum na hidrologia, a regionalização de parâmetros de modelos deve ser realizada com os devidos cuidados. Nota-se, pelo estudo realizado, que mesmo em sub-bacias hidrográficas com área pequenas, e estando numa bacia hidrográfica considerada hidrologicamente homogênea, os parâmetros ótimos determinados pelo método dos Algoritmos Genéticos podem sofrer variações consideráveis.

## Referências

- BARTH, F. T. et al. *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo: ABRH, 1987.
- BRAVO, J. M. et al. Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. *Anais...* São Paulo, ABRH, 2007. Não paginado
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico. *Revista Brasileira dos Recursos Hídricos*. Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 27-41, 2003.
- DINIZ, L. S. *Calibração automática de modelos chuva-vazão usando um algoritmo genético*. 1994. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal da Paraíba, 1994.
- DINIZ, L. S. *Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais*. Porto Alegre: ABRH, 1999. p. 151-164.
- DUAN, Q.; GUPTA, V. K.; SOROOSHIAN, S. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, Boston, v. 28, n. 4, p. 1015-1031, 1992.
- GAN, T. Y.; BIFTU, G. F. Automatic calibration of conceptual rainfall: runoff models: optimization algorithms, catchments conditions and model structure. *Water Resources Research*, Boston, v. 32, n.12, p. 3513-3524, 1996.
- LOPES, J. E. G.; BRAGA JUNIOR, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. SMAP, a simplified hydrologic model. SYMPOSIUM ON RAINFALL RUNOFF MODELING. 1982, Mississipi. *Proceedings...* Mississipi: ASCE, 1982. Não paginado
- NASCIMENTO, L. S. V.; REIS JUNIOR, D. S.; MARTINS, E. S. P. R. Avaliação do algoritmo evolucionário MOPSO na calibração multiobjetivo do modelo SMAP no estado do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. *Anais...* São Paulo, ABRH, 2007. Não paginado.
- PROÁGUA. *Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Gramame: diagnóstico*. João Pessoa: SEMARH/SCIENTEC, 2000. v. 2.
- TASSI, R. et al. Avaliação do impacto de diferentes funções-objetivo na calibração automática do modelo hidrológico IPH-II. CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, 22., 2006, Ciudad de Guayana. *Proceedings...* Ciudad de Guayana, Venezuela, 2006. Não paginado.
- TUCCI, C. E. M. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: ABRH, 1998. 669 p.

## **SOBRE OS AUTORES**

### **Renato de Queiroz Porto**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba e bolsista de Iniciação Científica.

### **Davi de Carvalho Diniz Melo**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba e bolsista de Iniciação Científica.

### **Cristiano das Neves Almeida**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (1998), mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2001) e doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2006). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal da Paraíba.

### **Alain Marie Bernard Passerat de Silans**

Possui graduação em Engenharia Hidráulica - Université de Toulouse III (Paul Sabatier) (1972), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (1980) e doutorado em Eng. Mecânica Recursos Hídricos - Université de Grenoble I (Scientifique Et Medicale - Joseph Fourier) (1986). Professor aposentado pela Universidade Federal da Paraíba, atualmente trabalha na AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.