

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**IV Seminário da  
Rede Agrohidro**

# **Água e Agricultura:**

***incertezas e  
desafios para a  
sustentabilidade  
frente às  
mudanças do  
clima e do uso  
da terra***

**ANAIS**

*Lineu Neiva Rodrigues  
Maria Fernanda Moura  
Raimundo Cosme de Oliveira Junior*  
Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2016



# MODELAGEM DE PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS DE MESOESCALA ESCASSAMENTE MONITORADAS NA MATA ATLÂNTICA, RJ, BRASIL

**ANNIKA KÜNNE; SANTIAGO PENEDO; SVEN KRALISCH;  
AZENETH E. SCHULER; RACHEL B. PRADO; JULIANA M. SANTOS;  
WOLFGANG-ALBERT FLÜGEL**

## RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Guapi-Macacu (BHGM), situada na região metropolitana do Rio de Janeiro, é responsável pelo abastecimento de mais de dois milhões de pessoas. A região é sujeita a inundações e deslizamentos no período chuvoso, e escassez hídrica na estação seca, com riscos para o abastecimento doméstico e agrícola nos anos de menor precipitação. Ferramentas de modelagem podem colaborar para a gestão integrado de recursos hídricos e apoiar a tomada de decisão. Este estudo utilizou o modelo hidrológico J2K, desenvolvido na plataforma Jena Adaptable Modeling System (JAMS), para representar o comportamento hidrológico da BHGM. Os procedimentos de parametrização e calibração do modelo foram baseados em dados de campo e de séries temporais meteorológicas e de vazão. O modelo parametrizado para a BHGM foi aplicado numa bacia adjacente, a Bacia Dois Rios (BHDR). Os indicadores de desempenho do modelo foram satisfatórios a bons para ambas as bacias e mostraram a viabilidade de aplicar conjuntos de parâmetros obtidos a partir de bacias instrumentadas em âmbito regional, i.e., em bacias semelhantes quanto às características geomorfológicas e climatológicas.

Termos para indexação: modelo hidrológico J2K, bacias esparsamente monitoradas, processos hidrológicos nos trópicos.



# **HYDROLOGICAL PROCESSES MODELLING IN SPARSELY GAUGED MESO-SCALE BASINS OF ATLANTIC FOREST, RIO DE JANEIRO, BRAZIL**

## **ABSTRACT**

The basin of Guapi-Macacu river (BHGM), located in the metropolitan region of Rio de Janeiro, supplies water to approximately two million people. The region is prone to floods and landslides during rainy season, and water deficit during dry season, with risks of urban and agricultural water supply shortages in drier years. Modelling tools can collaborate to Integrated Water Resources Management and support decision making. This study used J2K model, developed at Jena Adaptable Modelling System (JAMS) platform, to simulate hydrological dynamics of Guapi-Macacu Basin. Model parameterization and calibration procedures were based on field data and available climate and discharge time series. Model, once parameterized to BHGM, was then applied to an adjacent basin called “Dois Rios Basin” (BHDR). Efficiency indicators were satisfactory to good in both basins and showed the feasibility of applying parameter from a gauged basin to regional analysis, i.e., onto basins with similar geomorphological and climatological characteristics.

Index terms: hydrological model J2K, sparsely gauged basins, hydrological processes in tropics.

## **INTRODUÇÃO**

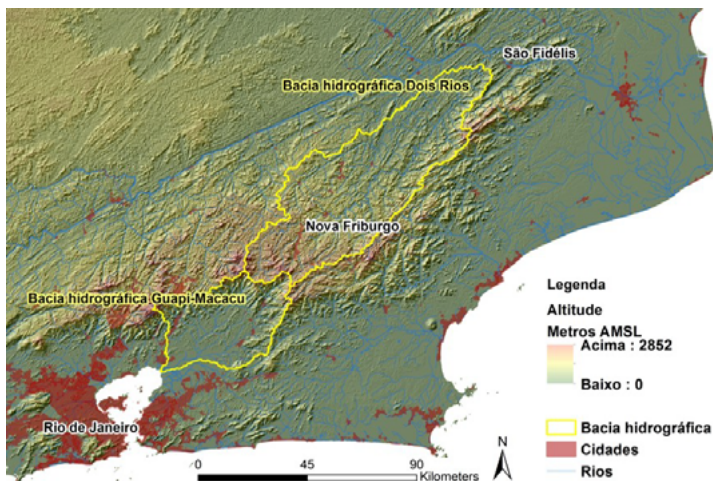
Para garantir segurança hídrica do abastecimento doméstico, agrícola e industrial necessita de medidas de gestão que devem ter por base dados de séries históricas e a compreensão da hidrologia das bacias de captação. A análise hidrológica baseada em séries de dados hidrometeorológicos aliada à modelagem, proporciona o entendimento da dinâmica da bacia, além de identificar incertezas de medição e tendências nas séries climáticas.

A Bacia do Guapi-Macacu, com cabeceiras em um dos raros remanescentes da Mata Atlântica, é responsável pelo abastecimento de dois milhões de pessoas em vários municípios fluminenses, além do uso industrial e agrícola. Nesta região, com clima marcado por estações úmidas e secas distintas, eventos extremos de precipitação nos períodos chuvosos causam inundações e deslizamentos de terras na bacia, enquanto períodos de seca podem levar à escassez de água para abastecimento agrícola e doméstico. Com o objetivo de contribuir para a compreensão da hidrologia na região, o estudo analisou o sistema de bacias hidrográficas do Guapi-Macacu através de dados secundários e medições de campo, usou o modelo J2K para simular a dinâmica hidrológica considerando as condições ambientais específicas da bacia, e avaliou a transferência do modelo parametrizado na BHGM a uma bacia adjacente, Bacia de Dois Rios, com características similares geomorfológicas, pedológicas, de uso da terra e de clima, avaliando o desempenho do modelo nas duas bacias.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A região de estudo compreende duas bacias situadas no interior do estado do Rio de Janeiro ao norte-leste da megacidade do Rio de Janeiro no bioma Mata Atlântica, a Bacia do Guapi-Macacu, com 1.265 km<sup>2</sup> e a Bacia de Dois Rios, com 3.120 km<sup>2</sup> (Figura 1). A Serra dos Órgãos, cadeia de montanhas que se estende no sentido SW-NE, atua como divisor de drenagem entre as duas bacias hidrográficas. O clima da região é ca-

racterizado por estações distintas de verão chuvoso e inverno seco. O procedimento metodológico consistiu nas seguintes etapas: (1) desenho e implementação de rede de monitoramento hidroclimático em sub-bacias pequenas de 10 km<sup>2</sup> a 36 km<sup>2</sup>, visando estudar processos hidrológicos em resoluções espacial e temporal (10 minutos a 1 hora) mais detalhadas; (2) análise estatística e avaliação dos dados hidroclimáticos secundários do Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA), do Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da Embrapa Solos; (3) aplicação do modelo hidrológico distribuído e de base física JAMS/J2K (KRAUSE, 2001; KRALISCH et al., 2007) para simular processos hidrológicos (evapotranspiração, infiltração no solo, escoamento superficial, interfluxo rápido e lento, fluxo de base, etc.) em bacias de meso e macroescala considerando os processos em escala do campo pelo uso dos conceitos de HRU (unidade de resposta hidrológica) e topologia (FLÜGEL, 1996; PFENNIG; WOLF, 2007). A modelagem foi feita em passo de tempo diário e mensal.



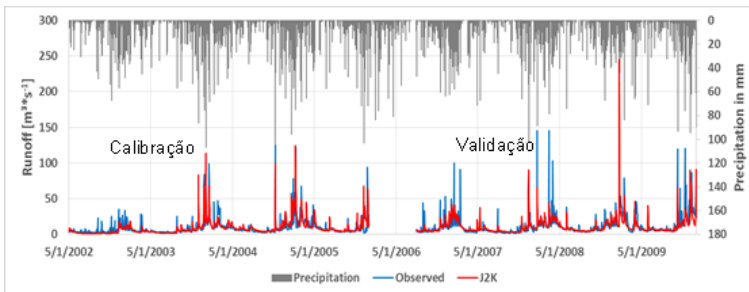
**Figura 1.** Localização das bacias do Rio Guapi-Macacu e Dois Rios no Estado do Rio de Janeiro.

O conceito de unidade de resposta hidrológica (URH) origina-se da compreensão de que uma sub-bacia pode ser dividida em áreas com características homogêneas sobre a resposta hidrológica de geomorfologia, geologia, declividade, exposição, solo e uso da terra. Cada unidade de resposta hidrológica (URH) é associada aos valores de um conjunto de parâmetros representativos de suas características, os quais serão utilizados nos cálculos de fluxos hidrológicos do modelo.

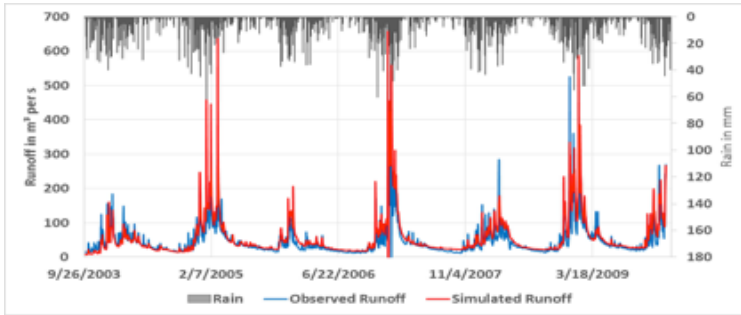
Após a divisão das bacias em unidades de resposta hidrológica, a etapa de aplicação do modelo J2K compreendeu: (a) parametrização do modelo para a BHGM, a partir dos dados secundários e de campo, utilizando-se um período da série temporal de dados de clima e vazão para calibração; (b) validação do modelo para a bacia com aplicação em outro período da série temporal; (c) aplicação do modelo com os parâmetros da BHGM na Bacia Dois Rios (BHDR). As simulações em ambas as bacias foram avaliadas pelos mesmos indicadores de desempenho: coeficiente de determinação ( $r^2$ ), o índice de Nash-Sutcliffe (NS), e seu logaritmo (logNS) e a probabilidade de viés (Pbias).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação do escoamento mostra que o modelo físico J2K representa a dinâmica hidrológica diária com desempenho de satisfatório a bom, tanto visualmente quanto estatisticamente (Figuras 2 e 3 e Tabela 1). A parametrização do modelo J2K para o rio Macacu foi transferida para a bacia de Dois Rios sem alterações ou nova calibração.



**Figura 2.** Série temporal da precipitação e da vazão observada e simulada (J2K) do Rio Macacu na estação de Parque Ribeira durante calibração e validação e do critério de eficiência.



**Figura 3.** Série temporal da precipitação e da vazão observada e simulada na Bacia de Dois Rios na estação de Dois Rios, com o mesmo conjunto de parâmetros e sem calibração.

**Tabela 1.** Indicadores de eficiência do modelo com o mesmo conjunto de parâmetros para a bacia do Guapi-Macacu (na calibração e na validação), e para a Bacia Dois Rios (apenas validação).

Nome da bacia e da etapa	Coefficiente de determinação R <sup>2</sup>	Coefficiente de Nash-Sutcliffe NS	Logaritmo do coef. logNS	Porcentagem de viés Pbias
Guapi-Macacu				
Calibração	0,6	0,56	0,38	-0,21
Validação	0,44	0,4	0,73	-5,18
Dois Rios				
Validação	0,76	0,56	0,55	9,74

O coeficiente de variação mostrou valor superior para a bacia de transferência (Dois Rios), em relação à bacia de calibração e validação (Guapi-Macacu), enquanto o coeficiente de Nash-Sutcliffe mostrou desempenho equivalente na Bacia Dois Rios em relação à bacia de calibração, com queda no valor deste parâmetro para o período de validação na Bacia do Guapi-Macacu. Distintamente, o parâmetro de porcentagem de viés mostra elevação nos valores absolutos tanto no período de validação (na BHGM) como na bacia de transferência (BHDR), em relação ao resultado obtido na calibração na BHGM (viés de -0,21%), permanecendo negativo no período de validação (viés de -5,18%), enquanto na nova

bacia (BHDR) apresenta valor positivo (9,74%). A análise visual dos gráficos mostra que, embora a simulação das vazões médias seja coerente em ambas as bacias, o cálculo das vazões de pico é, de maneira geral, subestimado na Guapi-Macacu e superestimado na Dois Rios. É possível que o resultado de viés esteja associado ao desempenho do modelo no cálculo das vazões de pico nas duas bacias.

O comportamento da hidrógrafa na ascensão da vazão em evento de chuva relaciona-se às características geomorfológicas e de solo da bacia, responsáveis pela resposta rápida do fluxo à precipitação. Os resultados mostram que a pesquisa de campo foi importante para encontrar parâmetros mais adequados e representativos para classes de solos, geologia e uso da terra, enquanto as medições deram informações adicionais sobre processos hidrológicos na região, por exemplo, o escoamento superficial e o interfluxo.

## **CONCLUSÕES**

O estudo buscou estabelecer uma base para a modelagem de bacias em regiões adjacentes, com características ambientais similares. Tal procedimento é particularmente útil para bacias que não dispõem de séries temporais suficientemente longas para uma calibração razoável. Porém, para tal tipo de aplicação, é necessário o conhecimento das características do meio físico que definem os parâmetros do modelo hidrológico utilizado (geologia, geomorfologia, solos e uso da terra).

Os resultados de desempenho dos modelos mostram a viabilidade da construção de cenários para responder questões relativas à disponibilidade de água, crucial para a região, no caso de ocorrência de eventos extremos com alcance anual.



## REFERÊNCIAS

FLÜGEL, W. -A. Hydrological Response Units (HRU) as modelling entities for 28 hydrological river basin simulation and their methodological potential for modelling 29 complex environmental process systems- Results from the Sieg catchment. **Die Erde**, v. 127, p. 42-62, 1996.

KRALISCH, S.; KRAUSE, P.; FINK, M.; FISCHER, C.; FLÜGEL, W. -A. Component based environmental modelling using the JAMS framework. In: KULASIRI, D.; OXLEY, L. (Ed.). THE MODSIM 2007 INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION, 2007, Christchurch. **Proceedings...** New Zealand: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand , 2007.

KRAUSE, P. **J2000 - Ein Modellsystem zur physikalisch basierten Nachbildung der hydrologischen Prozesse in großen Flusseinzugsgebieten**. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität, 2001.

PFENNIG, B.; WOLF, M. Extraction of process-based topographic model units using SRTM elevation data for Prediction in Ungauged Basins (PUB) in different landscapes. In: KULASIRI, D.; OXLEY, L. (Ed.). THE MODSIM 2007 INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION, 2007, Christchurch. **Proceedings...** New Zealand: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand , 2007. p. 85-691.