

# Caracterização do Regime Hidrológico da Bacia do Rio Mundaú Através de Um Modelo Hidrológico Distribuído

Mahelvson Bazilio Chaves <sup>1</sup>  
Adriano Gabriel Sampaio de Amorim <sup>1</sup>  
Paulo Antonio Ferreira Freire <sup>1</sup>  
Carlos Ruberto Fragoso Júnior <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduandos do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Campus A.C. Simões – Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins – Maceió – AL, CEP: 57072-970. E-mail: mbchaves@yahoo.com.br; agsamorim@gmail.com; paulinho.freire@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Campus A.C. Simões – Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins – Maceió – AL, CEP: 57072-970. E-mail: crubertofj@hotmail.com

**Abstract:** The natural and anthropical changes have caused deep impacts on the hydrological cycle at the Mundaú river, increasing the recurrence of droughts and floods which has caused great losses to riverine cities. The knowledge and understanding of the hydrological system are essential to support decision making and thus mitigate the impacts of these events. The aim of this paper is evaluate the regional heterogeneity of the hydrological system at the Mundaú river basin using a hydrologic-mathematical model, called MGB-IPH. This model considers the special heterogeneity of the land use and land cover and as well as climate-hydrological data. The simulated events are calibrated and validated with observed flows, available at five fluviometric stations and thus downsized the uncertainty attached in the model, making it ready to evaluate scenarios of climatical and land-use land-cover changes.

**Palavras-chave:** modelagem, grandes bacias, previsão hidrológica.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente exploração e utilização dos recursos naturais têm provocado profundas alterações no meio ambiente principalmente em bacias hidrográficas, limite territorial de análise representativo do sistema em questão, e que são afetados de acordo com as atividades humanas, decorrentes principalmente: (a) da prática de culturas agrícolas com a utilização de grandes áreas irrigáveis, (b) da pecuária com a substituição da vegetação natural por pasto, (c) construção de barragens alterando o regime hídrico dos rios, (d) o lançamento de poluentes, efluentes domésticos e industriais alterando as propriedades físico-químicas da água, ou (e) de possíveis alterações climáticas decorrente da degradação das florestas e o aumento de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

Estas atividades antrópicas têm contribuído e aumentado as pressões sobre os corpos hídricos, como também a alteração do regime hidrológico em termos quali-quantitativo favorecendo, a contaminação dos corpos hídricos por pesticidas e defensivos agrícolas trazendo mudanças nas propriedades naturais da água e conseqüentemente para a biota aquática e pessoas que venham a ingerir estas águas. No aspecto quantitativo, por exemplo, a ocorrência de secas ou chuvas intensas tem levado a risco de vida e materiais para populações que vivem as margens de rios e encostas, principalmente em países subdesenvolvidos que apresentam situações gritantes como as do nordeste brasileiro.

O conseqüente distúrbio do regime hidrológico de uma bacia, quando alterado pelas pressões antrópicas, pode trazer conseqüências negativas na capacidade de armazenamento de água nos canais de drenagens e posteriormente o comprometimento da disponibilidade hídrica e oferta de água na bacia de drenagem para as populações locais. (Rebouças et al., 2003).

A vasta gama de processos hidrológicos dificulta a análise quantitativa de bacias hidrográficas. Uma estratégia bem conhecida que visa simplificar as interações e processos em bacias hidrográficas para obter entendimento sobre seu comportamento é a modelagem matemática. Esta técnica permite avaliar a reação do sistema frente a diferentes impactos, auxiliando o gestor na tomada de decisões e no gerenciamento. O objetivo deste estudo é caracterizar espacialmente o regime hidrológico da bacia do rio Mundaú/AL através de um modelo hidrológico distribuído, denominado MGB-IPH. O modelo foi calibrado e validado, utilizando séries de vazões de postos fluviométricos situados ao longo do rio Mundaú. A partir deste estudo diversas análises poderão ser realizadas como, por exemplo, a estimativa da magnitude de vazões máximas em período de cheia, estudos futuros de mudanças de cenários climáticos e de uso e cobertura do solo ao longo da bacia, sistema de previsão e alerta, que certamente darão subsídio o planejamento e gerenciamento da bacia.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

A bacia do rio Mundaú possui uma área de aproximadamente 4.098 Km<sup>2</sup>, através de 30 municípios divididos em quantidades iguais entre Pernambuco (PE) e Alagoas (AL). O rio Mundaú nasce no município de Garanhuns – PE e deságua na Lagoa Mundaú em Maceió – AL, parte do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, após percorrer aproximadamente 141 Km. Este rio tem se tornado notícia no cenário nacional nos últimos anos, pela recorrência eventos extremos de cheias, que associado a ocupação desordenada da bacia, tem trazido graves prejuízos a população ribeirinha. A figura 1 apresenta a bacia do Rio Mundaú e sua localização no território nacional.

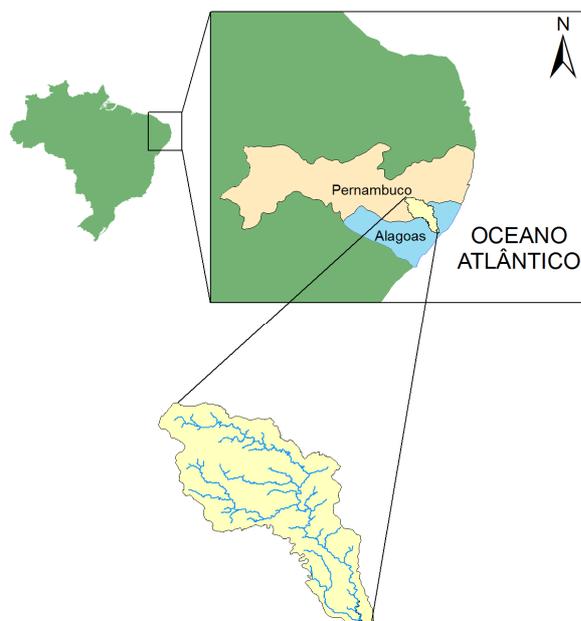


Figura 1 – Localização da área de estudo

### 2.2 Curta descrição do modelo MGB-IPH

O modelo hidrológico utilizado no estudo em questão é denominado Modelo de Grandes Bacias (MGB), desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) por Collischonn (2001). O modelo MGB-IPH é um modelo distribuído, desenvolvido para aplicações eficazes em bacias com área superior a 10.000 Km<sup>2</sup>. Os modelos distribuídos caracterizam-se por levar em consideração a heterogeneidade da bacia hidrográfica, agrupando áreas semelhantes e descrevendo os processos físicos para cada uma destas unidades. A bacia hidrográfica é simplificada em mini-bacias agrupadas numa sub-bacia, onde cada mini-bacia contribui para um trecho do rio e posteriormente ao exutório, podendo assim reunir aspectos físicos semelhantes (p.e. cobertura do solo, vegetação) discretizando a bacia hidrográfica.

A estrutura atual do modelo MGB-IPH é a discretização em mini-bacias, formadas a partir de um modelo digital de elevação através de ferramentas de um software de geoprocessamento. Cada mini-bacia pode ainda conter diversos tipos de uso e cobertura do solo, definidos com base no conceito de Unidades de Resposta Hidrológica (URA) (Grouped Response Unit – GRU), descrito por Kouwen et al (1993) citado por Colischonn (2001). A figura abaixo ilustra a discretização de uma sub-bacia com diferentes tipos de cobertura e uso do solo, bem como a diversidade de parâmetros que podem influenciar nos processos hidrológicos.

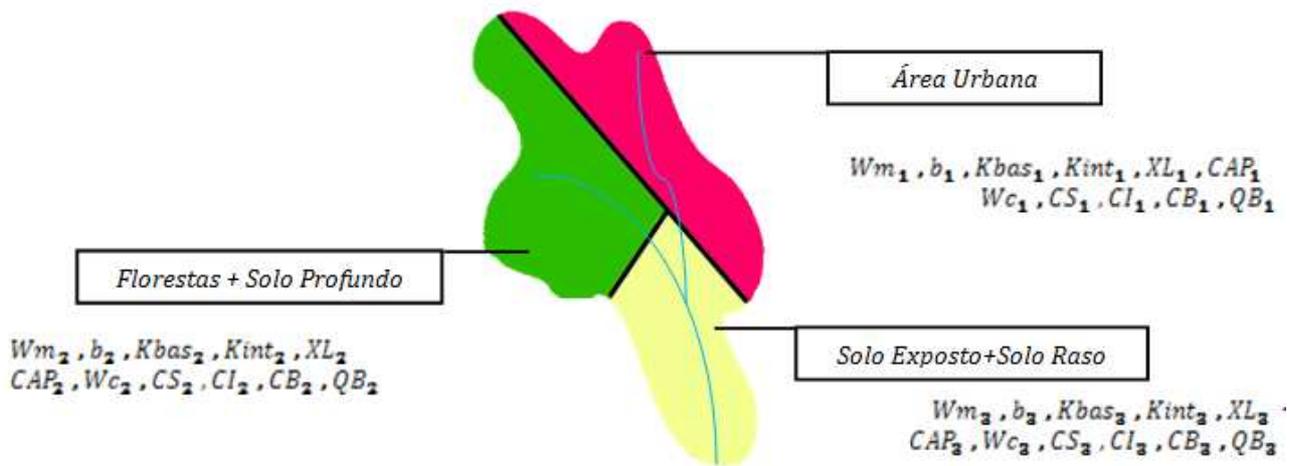


Figura 2 – Exemplo de diferentes URH em uma sub-bacia

O módulo de balanço de água no solo foi baseado na geração de escoamento superficial por excesso de capacidade de armazenamento sendo simplificado pela consideração de uma relação estatística entre a umidade do solo e a fração de área de solo saturada, o módulo de evapotranspiração foi desenvolvido de acordo com o método de Penman – Monteith descrito por Shuttleworth (1993) e Wigmosta et al (1994), e a metodologia de Muskingun-Cunge, na forma descrita por Tucci (2002) foi utilizada para o escoamento na rede de drenagem (Collischonn, 2001).

### 2.3 Avaliação da eficiência do modelo

O MGB-IPH considera dois tipos de parâmetros: fixos e calibráveis. Segundo Collischonn (2002), os parâmetros fixos não interferem profundamente nos resultados, contudo podem apresentar variabilidade temporal. Como exemplo, pode-se citar o parâmetro de Índice de Área Foliar (IAF), descrito em Collischonn (2001) que pode ser obtido em bibliografia. Enquanto isso, os parâmetros tidos como calibráveis, são os que apresentam variação com sub-bacia e blocos, ou seja, estes parâmetros permitem modificar as diferentes relações entre os diferentes tipos de escoamento e as diferentes coberturas de solo. Dentre estes parâmetros pode-se citar o parâmetro *b* que relaciona o armazenamento de água e a capacidade máxima de armazenar água de determinada URH ou ainda o *Wm*, que é uma medida da capacidade de armazenamento de água no solo, podendo ser chamado também de profundidade do solo. Os demais parâmetros equacionados nos diversos modelos de interceptação, evapotranspiração, escoamento e que podem ser utilizados para calibração são: *CB*, *CS*, *CI*, *Kint*, *Kbas*, *CAP* e o *Wc*.

A avaliação desses parâmetros e sua eficiência no modelo foi realizada utilizando uma função objetivo para balizar o processo. A função objetivo utilizada foi o coeficiente de correlação de Pearson ao quadrado ( $R^2$ ), descritos pela equação a seguir:

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs}) \cdot (Qcalc_i - \overline{Qcalc})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Qcalc_i - \overline{Qcalc})^2}} \right)^2 \quad \text{Equação 1}$$

onde: *Qobs* é a vazão observada, *Qcalc* é a vazão calculada e o índice *i* é o passo de tempo.

### 2.4 Dados de entrada

Para a representação de uma bacia hidrográfica num modelo distribuído, faz-se necessário a manipulação de uma gama relativamente extensa de dados. As principais informações de entrada num modelo hidrológico deste tipo podem ser obtidas em modelos numéricos de terrenos, mapas de tipos de solos e imagens de satélite através de técnicas de geoprocessamento. Em complemento as informações físicas da bacia, os dados hidrológicos como precipitação, vazões observadas, dados climatológicos como temperatura e velocidade do vento entre outros podem ser obtidos juntamente com agências de monitoramento de recursos hídricos, meio ambiente e do setor agrícola. As informações obtidas por geoprocessamento e outros dados são apresentados no fluxograma a seguir.

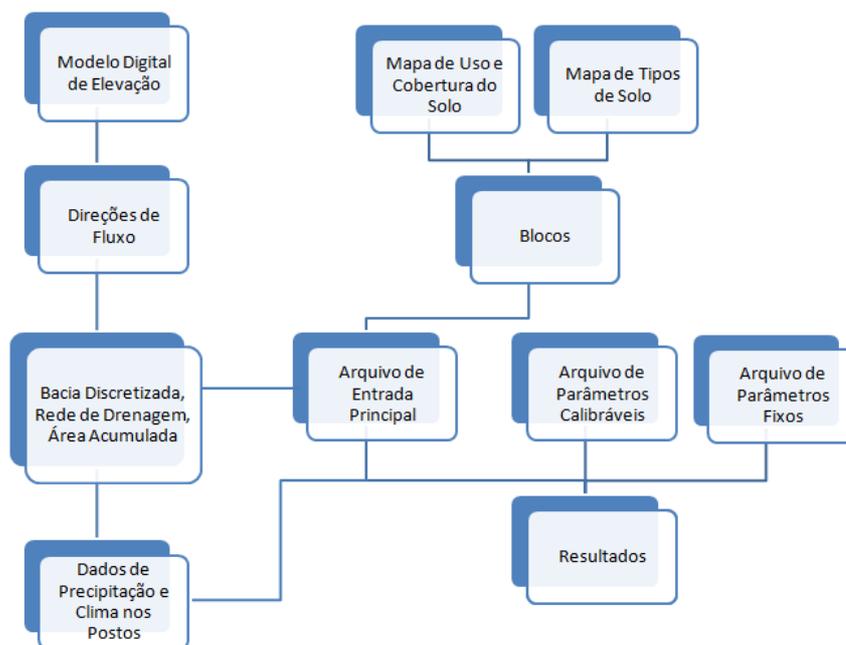


Figura 3 – Fluxograma dos dados de entrada do modelo

Como entrada para o MGB-IPH, foram considerados 22 postos pluviométricos distribuídos ao longo da bacia e, para subsidiar a calibração, foram utilizados cinco postos fluviométricos, como pode ser visto nas tabelas 1 e 2 e figura 4.

Tabela 1 – Postos pluviométricos considerados na análise

Número	Posto	Código
1	Flores	737027
2	Caetés	836008
3	Canhotinho	836009
4	Garanhuns	836014
5	Jucati (Pindorama)	836020
6	Lajedo	836022
7	Paranatam (Itacoatira)	836027
8	Murici-Ponte	935012
9	Pilar (Manguaba)	935014
10	Rio Largo	935021
11	Fazenda Boa Fortuna	935056
12	Bom Conselho	936001
13	Brejão	936003
14	Santana do Mundaú	936045
15	São José da Laje	936047
16	União dos Palmares	936053
17	União dos Palmares (RFN)	936054
18	Atalaia	936110
19	Viçosa	936111
20	São José da Laje	936112
21	União dos Palmares	936113
22	Flores (DNOCS)	936114

Tabela 2 – Postos fluviométricos considerados na análise

Número	Posto	Código
1	Santana do Mundaú	397000
2	São José da Laje	397200
3	União dos Palmares	397400
4	Murici-Ponte	397600
5	Fazenda Boa Fortuna	397700

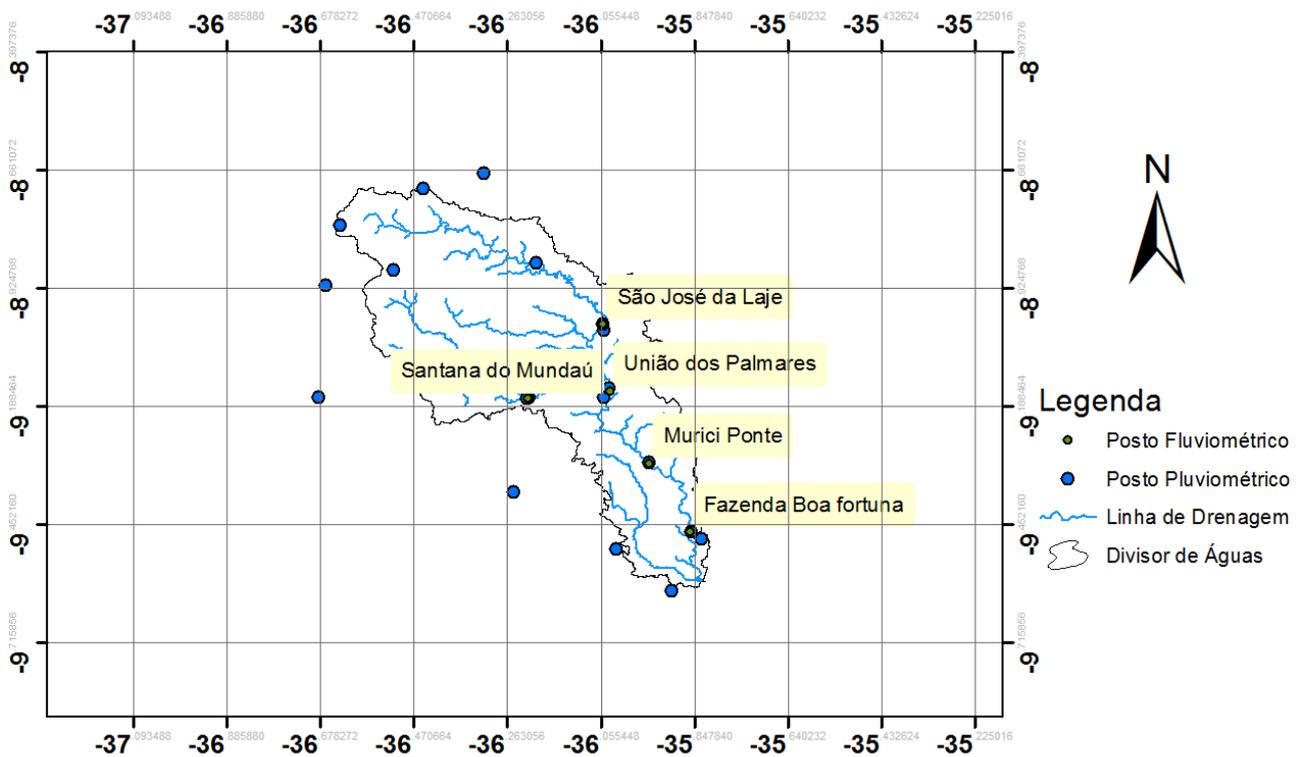


Figura 4 – Disposição espacial dos postos pluviométricos e fluviométricos

Para a escolha do período de simulação, foi verificada a disponibilidade temporal dos dados fluviométricos e pluviométricos através de diagramas de Gantt. Conforme as figuras abaixo, concluiu-se que o melhor período para a realização da interpolação da precipitação pelo método do inverso da distância seria o período 01/01/1990 a 31/12/2008 e para efeito de comparação, seriam utilizadas as vazões observadas do período 01/01/1995 a 30/11/2008, período um pouco anterior ao início do monitoramento completo dos postos fluviométricos.

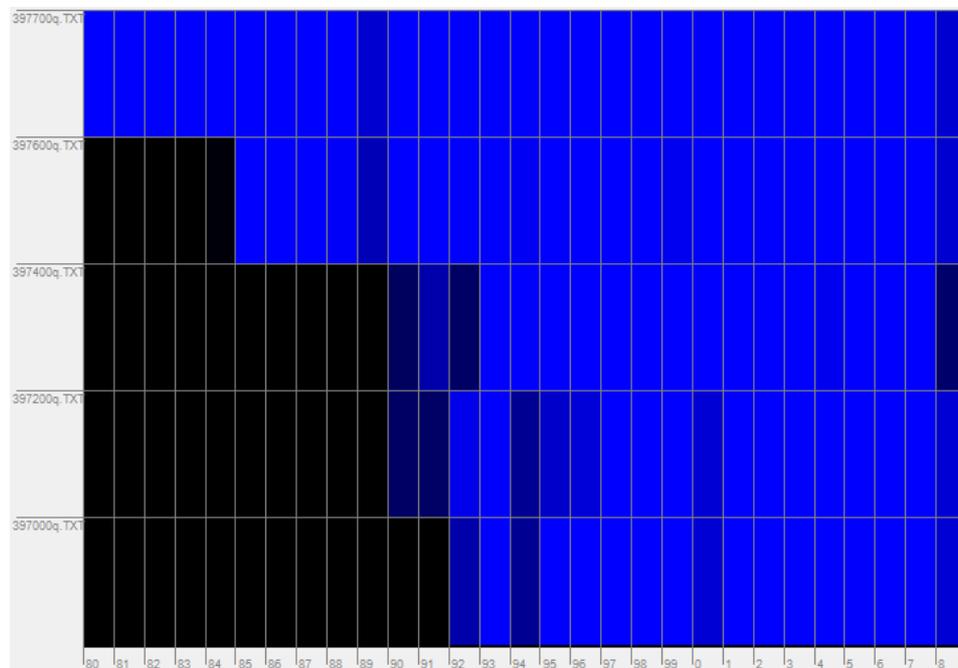


Figura 5 – Diagrama de Gantt dos dados de vazão (em preto os períodos sem dados e nos níveis azuis, os diferentes níveis de dados disponíveis; no eixo x – tempo em anos, no eixo y – código do posto fluviométrico)

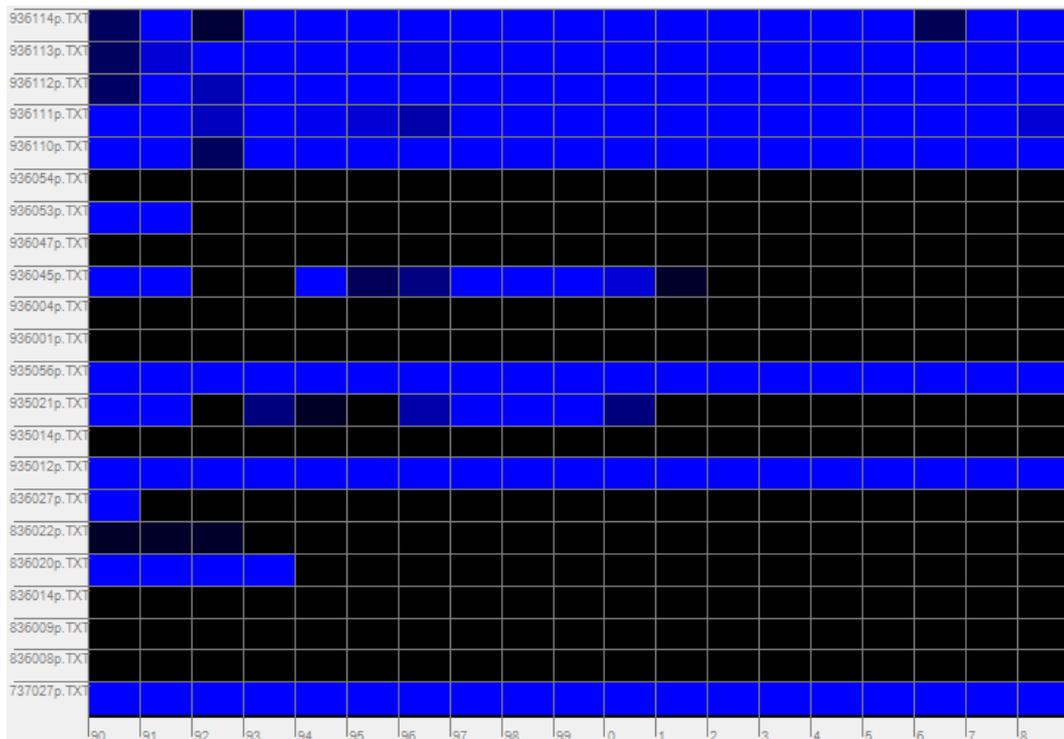


Figura 6 – Diagrama de Gantt dos dados de precipitação (em preto os períodos sem dados e nos níveis azuis, os diferentes níveis de dados disponíveis; no eixo x – tempo em anos, no eixo y – código do posto pluviométrico)

Os dados climáticos foram obtidos numa única estação inserida no município de Garanhuns – PE, onde foram utilizadas as médias das séries diárias de temperatura, umidade relativa, insolação, velocidade do vento e pressão, visto que os postos não possuíam dados diários do mesmo período da simulação.

Os mapas de URH (blocos) foram concebidos a partir dos mapas disponíveis no sítio eletrônico do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais – IBAMA. Após a reclassificação dos mapas através de técnicas de geoprocessamento, foram obtidos mapas contendo quatro classes de uso e cobertura do solo: solos rasos e florestas (RF), solos profundos e florestas (PF), solos profundos e áreas agrícolas (PA) e solos rasos e áreas agrícolas (RA), como pode ser visto na figura a seguir.

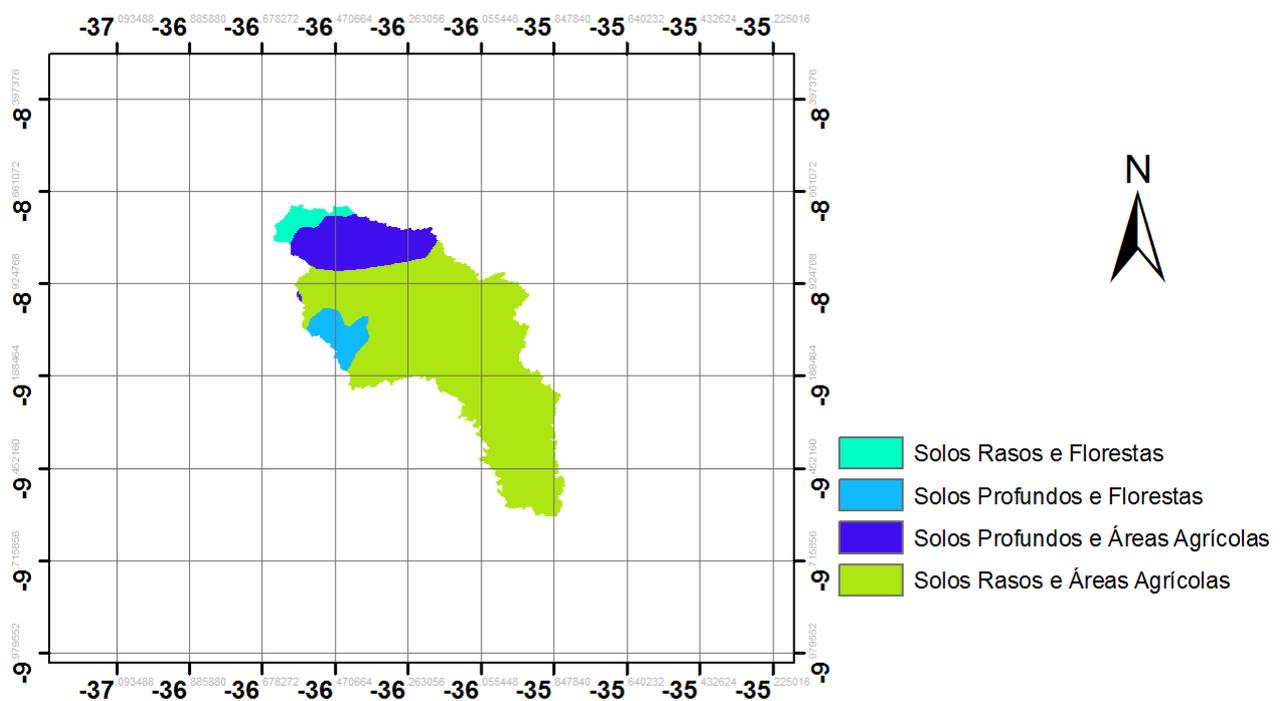


Figura 7 – Mapa de URHs

Este agrupamento de informações permite ao modelo identificar potencialidades de geração de escoamento superficial, sub-superficial e subterrâneo, devido às diferentes profundidades do solo e cobertura vegetal.

### 3. RESULTADOS

O período de 13 anos foi dividido em dois grupos. Os dados de 1995 a 2005 foram utilizados para a calibração do modelo, enquanto que o período de 2006 a 2008 foi utilizado na validação e verificação do processo de calibração. O melhor ajuste obtido no modelo foi obtido através dos parâmetros calibráveis exibidos abaixo, na tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros calibrados o modelo

Parâmetro	Sub-bacia																			
	1				2				3				4				5			
	RF	RA	PA	PF	RF	RA	PA	PF	RF	RA	PA	PF	RF	RA	PA	PF	RF	RA	PA	PF
Wm	170	170	1115	1110	170	170	1115	1110	100	100	350	350	18	18	45	45	100	100	400	400
b	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Kbas	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	2	2	2	2	0.7	0.7	0.7	0.7
Kint	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	1.4	1.4	1.4	1.4	0.2	0.2	0.6	2.0	2.0	4.0	4.0
XL	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wc	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

As tabelas a seguir mostram os valores obtidos com as funções objetivo utilizadas nos postos fluviométricos de cada uma das 5 mini-bacias. No período de calibração, o coeficiente de Pearson ao quadrado apresentou boas correlações para os postos situados mais a jusante da bacia, sendo a melhor correlação no posto Fazenda Boa Fortuna e a menor correlação no posto São José da Laje.

Tabela 4 – Valores da função objetivo avaliada no período de calibração

Posto	Código	R <sup>2</sup>
Santana do Mundaú	39700000	0,534275
São José da Laje	39720000	0,397839
União dos Palmares	39740000	0,747583
Murici-Ponte	39760000	0,805283
Fazenda Boa Fortuna	39770000	0,859271

No período de validação, os resultados obtidos são exibidos a seguir na tabela 5. A melhor correlação foi obtida no posto Fazenda Boa Fortuna enquanto a menor correlação foi obtida no posto São José da Laje

Tabela 5 – Valores da função objetivo avaliada no período de validação

Posto	Código	R <sup>2</sup>
Santana do Mundaú	39700000	0,640052
São José da Laje	39720000	0,229292
União dos Palmares	39740000	0,606917
Murici-Ponte	39760000	0,763238
Fazenda Boa Fortuna	39770000	0,774032

Nos postos Santana do Mundaú e São José da Laje houve maior dificuldade para o ajuste da calibração manual. A ocorrência de baixas correlações entre os dados calculados e os observados pode ser atribuída fato da pequena quantidade de postos pluviométricos na região, principalmente no período modelado num região de informação crucial, já que são postos de cabeceira. Contudo, o efeito das baixas correlações dos postos de cabeceira são minimizados nas propagações dos valores calculados mais a jusante, sendo o último posto, anterior a foz na Lagoa Mundaú, o que possui melhor correlação (0,77). As figuras a seguir ilustram os hidrogramas do período de validação e calibração da simulação realizada na bacia do rio Mundaú.

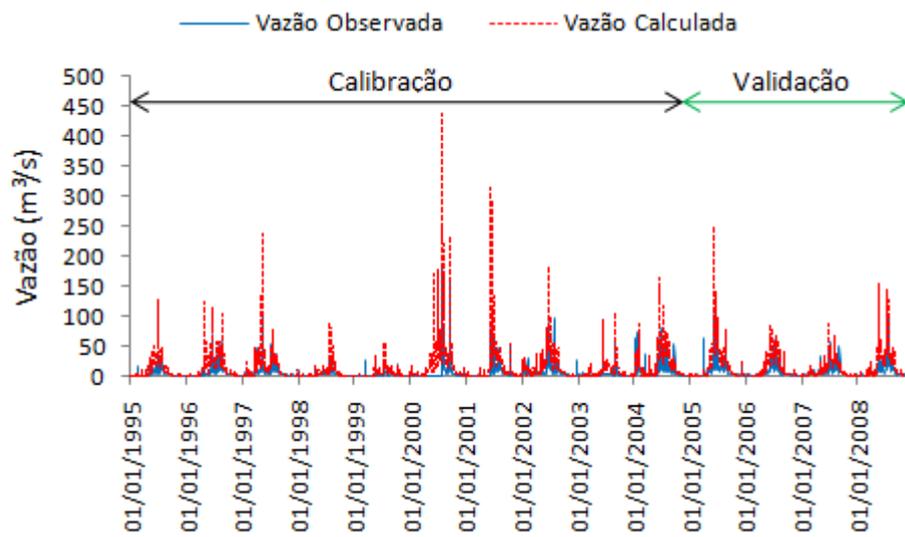


Figura 8 – Hidrograma do posto Santana do Mundaú

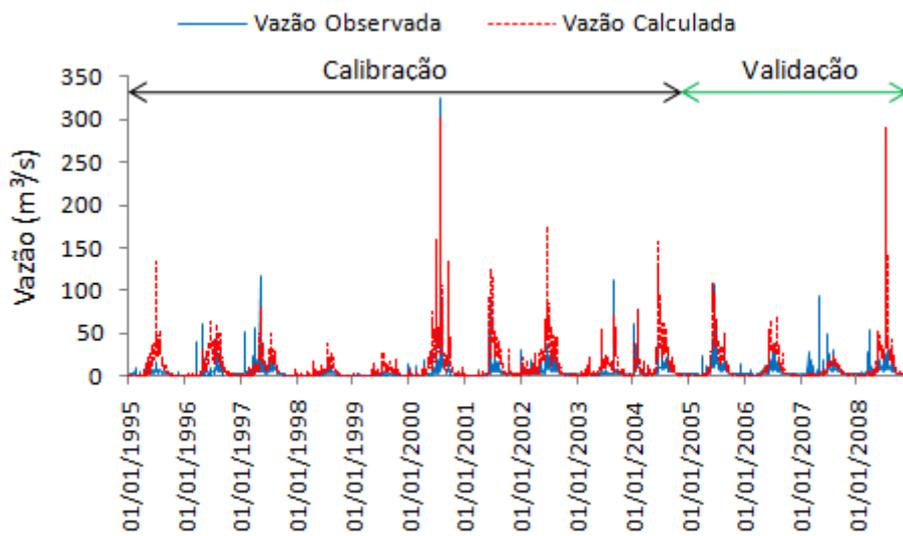


Figura 9 – Hidrograma do posto São José da Laje

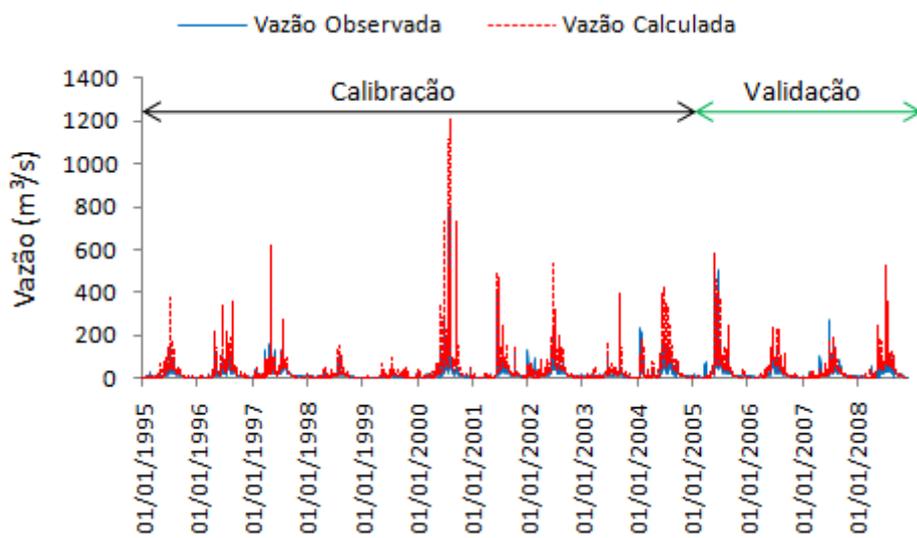


Figura 10 – Hidrograma do posto União dos Palmares

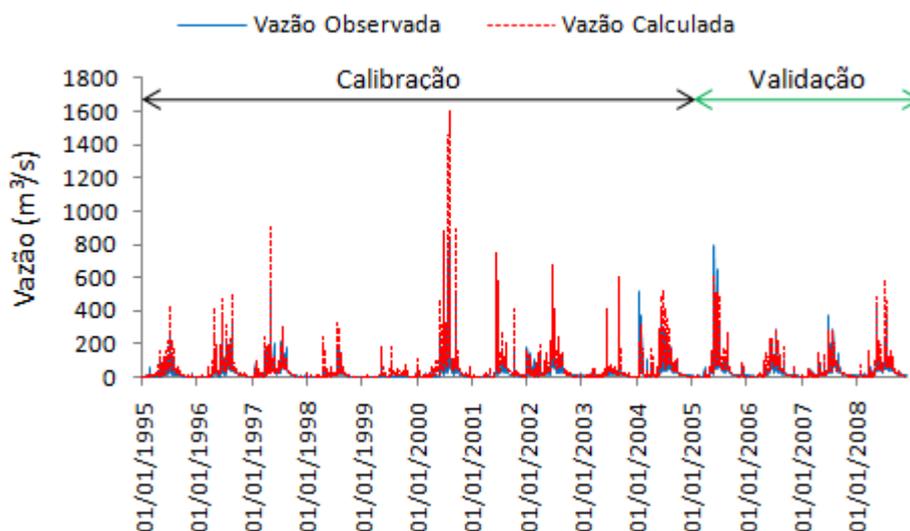


Figura 11 - Hidrograma do posto Murici-Ponte

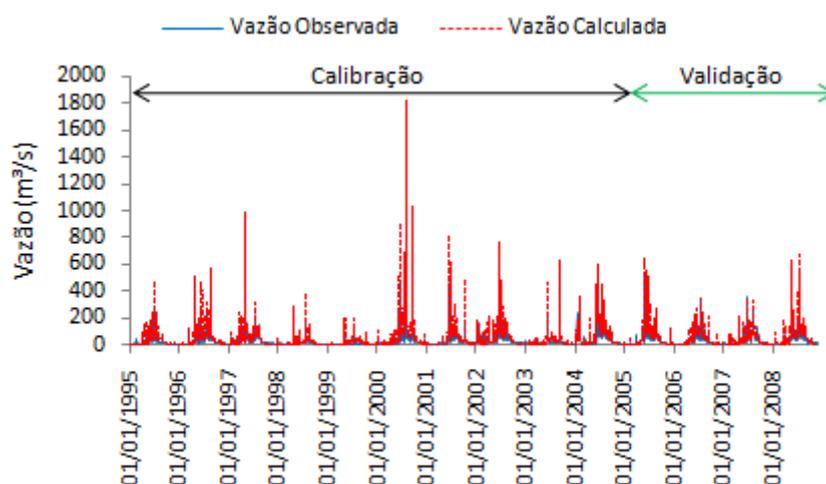


Figura 12 – Hidrograma do posto Fazenda Boa Fortuna

#### 4. CONCLUSÕES

A eficiência da aplicação de um modelo hidrológico é resultado direto da disponibilidade e qualidade de dados da bacia em estudo. No estudo realizado, verificou-se a deficiência quali-quantitativa de dados pluviométricos da região, e também de clima, sendo este último um problema mais comum às bacias do país. Os dados da representação física da bacia foram obtidos com certa facilidade e considerável qualidade principalmente para delimitação da bacia, através do modelo digital de elevação e agrupamento de características para os mapas das URH.

Considerando a finalidade deste trabalho, o modelo MGB-IPH apresentou bons resultados de correlação, principalmente no posto da seção de maior representatividade: o Fazenda Boa Fortuna, dado o interesse em posteriores estudos de avaliação das recentes cheias na região. Contudo, ainda serão abordadas precipitações oriundas de fontes não comuns, como a estimada por satélite para melhoria da calibração nos postos de cabeceira, como realizado por Collischohn (2005).

Por fim, verificou-se o forte embasamento conceitual do modelo MGB-IPH e através disso, sua necessidade de dados consistentes e representativos para um bom desempenho de correlação e também o potencial do MGB-IPH como ferramenta para gerenciamento dos recursos hídricos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao PET Engenharia Ambiental pela concessão de bolsa a Mahelvson Bazilio Chaves, ao CNPq pela concessão de bolsa de estudos a Paulo Antonio Ferreira Freire e a Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização dos dados utilizados no estudo.

## 6. REFERÊNCIAS

- COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; SILVA, B.C.; TUCCI, C.E.M **Simulação Hidrológica da Bacia do Rio São Francisco Usando Precipitação Estimada pelo Satélite TRMM: Resultados Preliminares**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa. Anais. 2005.
- COLLISCHONN, W. 2001. . 207 p. tese (doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- KOUWEN, N.; PIETRONIRO, A.; HARRINGTON, R.A.. 1993. "**Grouping Response Units for Distributed Hydrologic Modelling**", J. of Water Resources Management and Planning, ASCE, 119(3), 289-305.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. 2003. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Editora Rima, 2003.
- SHUTTLEWORTH, W.J. Evaporation In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of hydrology**. McGraw-Hill New York. 1993.
- SILVA, B. C. ; COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. . **Simulação da bacia do rio São Francisco através do modelo hidrológico MGB-IPH**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, São Luís MA. Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004.
- TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669p. 1998.
- WIGMOSTA, M.S.; VAIL, L.W.; LETTENMAIER, D.P. **A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain**. Water Resources Research Vol 30 No. 6 pp. 1665-1679. 1994.