

## SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO POR MEIO DE CHUVA DE SATÉLITE MERGE/CPTEC

Daniela Maciel dos Santos<sup>1</sup> (IC), Benedito Cláudio da Silva(PG)<sup>1</sup> Christie Andre de Souza (PG)<sup>2</sup>

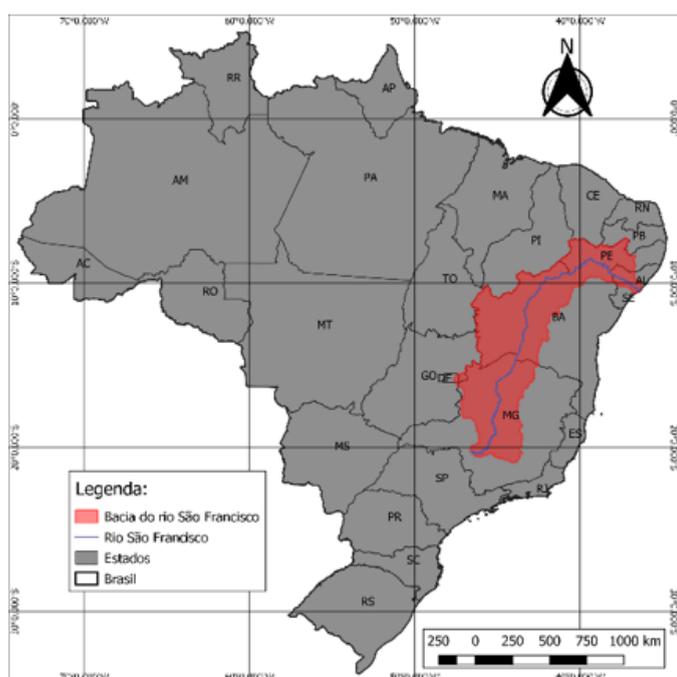
<sup>1</sup> Universidade Federal de Itajubá

**Palavras-chave:** Bacias hidrográficas. Modelos Hidrológicos. GPM-IMERG.

### Introdução

A bacia do rio São Francisco é uma das doze regiões hidrográficas do Brasil, e possui grande importância para o país não somente pelo volume de água que é transportado, mas pelo potencial hídrico que pode ser aproveitado. A bacia abrange uma área de drenagem de cerca de 640 mil km<sup>2</sup>, o que corresponde a 8% do território nacional, percorrendo 2.830 km em sete estados brasileiros e atingindo mais de 521 municípios (SILVA, 2005). Na Figura 1 é apresentada a localização geográfica da bacia

Figura 1 - Mapa da localização da bacia do rio São Francisco



Fonte: Mello e Silva (2022)

Na bacia do Rio São Francisco estão localizadas importantes usinas hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional - SIN, como Paulo Afonso (BA), Três Marias (MG), Xingó (AL/SE), Sobradinho (BA/PE) e Itaparica (PE). Além da geração hidrelétrica de energia, são encontrados outros usos de grande importância como a irrigação e o abastecimento das populações.

A precipitação média anual na bacia é de 1.036 mm, variando em cada região, desde 600 mm no semiárido nordestino – entre Sobradinho e Xingó (BA) – até mais de 1.400 mm nas nascentes – Alto São Francisco (MG) (Freitas, 2022). Dessa forma, fica evidente a importância de uma gestão de recursos hídricos aplicados às descargas de vazões na região devido às influências regionais e nacionais que as vazões afluentes da bacia representam.

A vazão do rio São Francisco é recorrentemente avaliada, para evitar sua redução e o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (CBHSF) acompanha todas essas avaliações com objetivo de preservar as condições hídricas da bacia. Dessa forma, modelos hidrológicos capazes de realizar previsão de vazão são de grande importância na gestão de recursos hídricos, podendo partir de empresas privadas e órgãos governamentais, juntamente com o poder municipal, a fim de prover estratégias frente a déficits de água em períodos de estiagem e também previsões de cheias.

Entretanto, uma das dificuldades para realizar previsões de vazão é ter a disponibilidade de dados de precipitação em tempo real. Ainda são poucos os postos pluviométricos com essa característica. Por isso, em grande escala, as estimativas de chuva baseadas em satélites podem ser uma importante fonte de dados adicionais. A estimativa de chuva por satélite está baseada na medição da radiação emitida ou refletida pela atmosfera, detectada pelos sensores a bordo dos satélites.

Agências meteorológicas de diversos países disponibilizam, atualmente, produtos de estimativa de chuva baseadas nessas medições indiretas.

Concluindo, o presente trabalho apresenta simulações de vazões a partir de chuva de satélites por meio do modelo hidrológico MGB, o qual se trata de um modelo conceitual com forte embasamento físico que utiliza os dados meteorológicos. A partir da assimilação da chuva de satélite pelo MGB, geram-se dados de vazão para cada uma das subbacias inseridas no modelo, o que torna possível uma estimativa mais precisa das vazões de uma determinada região, garantindo maiores subsídios para a gestão dos recursos hídricos para a bacia hidrográfica do rio São Francisco.

## Metodologia

O MGB é um modelo conceitual que foi desenvolvido por (COLLISCHONN, 2001). Basicamente, compõe-se de módulos para o cálculo de balanço de água no solo, evapotranspiração, propagação de escoamento dentro de uma célula e pela rede de drenagem. A versão do modelo MGB utilizada foi ajustada no trabalho de Silva (2005). Os processos representados no MGB são: interceptação, balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos nas minibacias e escoamento na rede de drenagem. Os dados principais de entrada são a precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica (COLLISCHONN et al., 2007). A estrutura do modelo pode ser apresentada conforme Figura 2 assim como os processos representados na modelagem.

A simulação dos processos de interceptação, evapotranspiração, geração de escoamento e o balanço de água no solo ocorrem de forma independente, em cada URH dentro de uma célula. Esses processos são representados como reservatórios, em que o volume depende de parâmetros associados ao processo. Por exemplo, o Índice de Área Foliar (IAF) é um parâmetro que no modelo é usado para calcular o volume do reservatório da interceptação.

Assim, os escoamentos resultantes de todas URHs em uma célula são somados e armazenados em diferentes reservatórios de acordo com sua natureza superficial,

subsuperficial e subterrânea (COLLISCHONN et al., 2007). Um reservatório linear simples simula o aporte de cada tipo de escoamento gerado na célula até a rede de drenagem e o escoamento ao longo da rede de drenagem é propagado até a célula de jusante ao longo do trecho de rio que conecta as duas células (FÉLIX e DA PAZ, 2016).

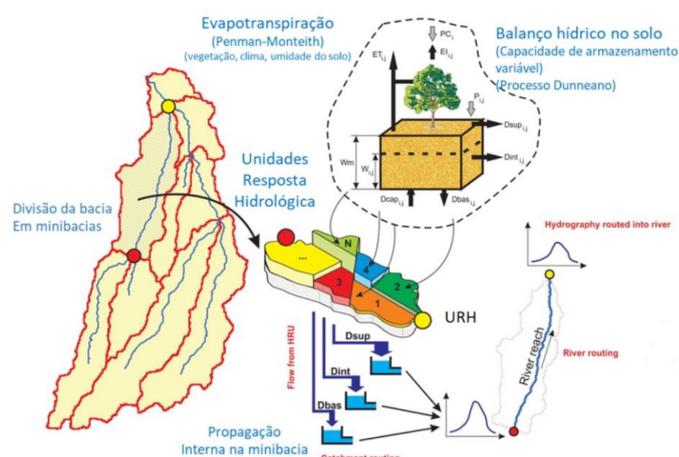


Figura 2. Estrutura do modelo MGB-IPH.

Os dados de precipitação utilizados são do GPM-IMERG V06, e passaram a ser emitidos a partir de 2014, com o lançamento do satélite Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG), e sua missão consiste em obter dados de chuva e neve para uma resolução espacial de (0,1° x 0,1°) e temporal (30 minutos). Além disso, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) desenvolve e fornece dados para o MERGE, e a partir deste são feitos os downloads dos dados de chuva de satélite (ROZANTE et al., 2018).

Logo em seguida, realizou-se através de um script de recorte na plataforma do Google Colaboratory um recorte nos dados de chuva em formato .grib2, para cada mês dos anos coletados nas coordenadas geográficas (nas coordenadas MinLat -21.0 MaxLat -7.0 e longitudes MinLon -48.0 MaxLon -36.0)

Por fim, os dados de chuva foram interpolados usando rotinas computacionais em Fortran, através da plataforma Visual Studio (2019). Por meio da interpolação foi possível gerar as vazões pelo MGB e os resultados foram analisados em planilhas, gerando gráficos de comparação entre as vazões observadas e

calculadas para cada uma das 27 subbacias consideradas no ajuste do modelo MGB (Tabela 1 e Figura ).

Tabela 1 - Subbacias do rio São Francisco simuladas pelo MGB

Sub-bacia	Posto Fluviométrico	Rio	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )
01	Porto das Andorinhas	São Francisco	13.867
02	Velho da Taipa	Pará	7.329
03	Ponte da Taquara	Paraopeba	8.729
04	Usina Três Marias	São Francisco	50.784
05	Pirapora-Barreiro	São Francisco	62.089
06	Ponte do Licínio - jusante	Das Velhas	10.637
07	Várzea da Palma	Das Velhas	26.406
08	Cachoeira da Manteiga	São Francisco	106.749
09	Porto dos Poções	Preto	9.407
10	Porto da Extrema	Paracatu	30.100
11	Porto Alegre	Paracatu	41.453
12	Santo Inácio	Urucuaia	23.860
13	São Francisco	São Francisco	183.839
14	Boca da Caatinga	Verde Grande	30.089
15	Juvenília	Carinhanha	16.312
16	Bom Jesus da Lapa	São Francisco	271.635
17	Porto Novo	Corrente	31.320
18	Morpará	São Francisco	346.825
19	Fazenda Macambira	Grande	40698
20	Boqueirão	Grande	70866
21	Usina Sobradinho	São Francisco	503.937
22	Ibó	São Francisco	564.658
23	Floresta	Pajeú	12.275
24	Usina Itaparica	São Francisco	596.495
25	Usinas Paulo Afonso e Moxotó	São Francisco	609.233
26	Pão de Açúcar	São Francisco	608.900
27	Foz	São Francisco	638.560

Fonte: Silva (2005)

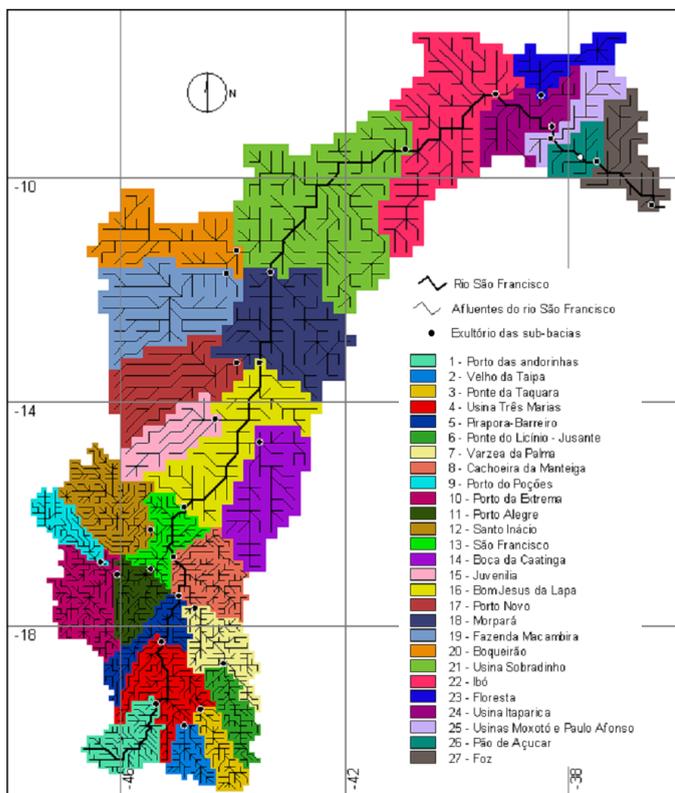


Figura 3 - Subbacias simuladas pelo modelo MGB

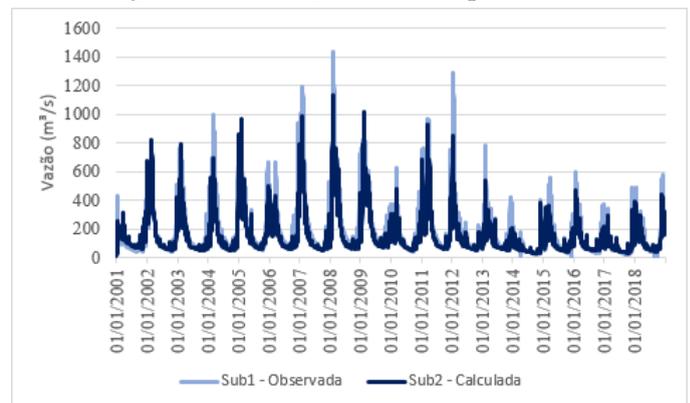
## Resultados e discussão

Como resultados da pesquisa, destaca-se, primeiramente, os gráficos de comparação de vazão calculados e observados para cada sub-bacia do rio São Francisco através do MGB.

A simulações de vazões a partir de chuva de satélites do modelo nas sub-bacias foi realizado para o período de 2001 a 2023, As Figuras 4 e 5 apresentam os dados de vazão da sub-bacia 1 e 16 servindo de informação de dados observados e calculados.

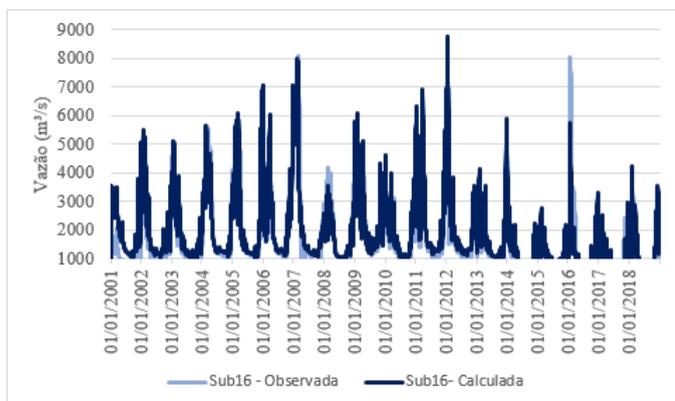
Na tabela 2 são apresentados os resultados das estatísticas de ajuste do modelo. Espera-se que os valores de NS e NSlog estejam entre 0,5 e 1,0 para um bom resultado. Já o valor de  $\Delta V$  deve se situar entre -20 e +20, sendo zero o ideal. Os resultados mostram que o modelo de simulação por meio de chuva de satélite é capaz de representar adequadamente a maioria das sub-bacias do rio São Francisco. As bacias com piores resultados são aquelas localizadas em regiões semiáridas. Porém, os resultados ainda podem ser melhorados.

Figura 4 - Simulação de vazão para sub-bacia 1



Fonte: Autor

Figura 5 - Simulação de vazão para sub-bacia 16



Fonte: Autor

Tabela 2 - Resultados das simulações do modelo MGB com a chuva de satélite

Nº	Rio	Local	NS	NS <sub>log</sub>	ΔV (%)
1	São Francisco	Porto Andorinhas	0.745	0.842	-24.421
2	Pará	Velho da Taipa	0.618	0.667	-20.957
3	Paraopeba	Ponte da Taquara	0.682	0.683	10.294
4	São Francisco	UHE Três Marias	0.756	0.773	-12.192
5	São Francisco	Pirapora	0.811	0.906	-5.568
6	Velhas	Ponte do Licínio	0.735	0.78	8.301
7	Velhas	Várzea da Palma	0.835	0.812	14.734
8	São Francisco	Cachoeira da Manteiga	0.914	0.904	2.32
9	Preto	Porto dos Poções	0.714	0.615	10.29
10	Paracatu	Porto da Extrema	0.869	0.279	9.79
11	Paracatu	Porto Alegre	0.864	0.749	7.801
12	Urucuia	Santo Inácio	0.811	0.618	16.174
13	São Francisco	São Francisco	0.921	0.829	10.92
14	Verde Grande	Boca da Caatinga	0.329	0.039	-0.927
15	Carinhanha	Juvenília	0.486	0.414	21.17
16	São Francisco	Bom Jesus da Lapa	0.892	0.412	8.223
17	Corrente	Porto Novo	0.459	0.398	17.289
18	São Francisco	Morpará	0.877	0.831	12.324
19	Grande	Fazenda Macambira	0.25	0.096	-12.72
20	Grande	Boqueirão	0.681	0.695	1.419
21	São Francisco	Sobradinho	0.758	0.461	27.521
22	São Francisco	Ibó	0.941	0.96	-0.641
23	Pajeú	Floresta	0.138	-0.026	-74.937
24	São Francisco	Itaparica	0.253	0.231	-10.449
25	São Francisco	Paulo Afonso - Moxotó	0.148	0.137	-16.861
26	São Francisco	Pão de Açúcar	0.97	0.973	5.126
27	São Francisco	Foz	0.87	0.893	10.401

## Conclusões

O objetivo do presente estudo foi observar a simulação hidrológica da bacia por meio de simulações de vazões a partir de chuva de satélites utilizando o MGB para as 27 sub-bacias.

Pode-se concluir que as simulações geradas foram satisfatórias e servem de informação complementar para gestão de futuros estudos hídricos.

Entretanto, notou-se que as sub-bacias localizadas em regiões de aridez no clima tiveram um resultado abaixo em comparação com as outras sub-bacias.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo financiamento do projeto Incorporação de Previsões Climáticas e Hidrológicas na Gestão da Alocação de Água no Rio São Francisco (Edital Pró-Recursos Hídricos), e à UNIFEI pela concessão da bolsa de iniciação Científica da primeira autora, os agradecimentos.

## Referências

CASSALHO, F. ; RENNO, C. D. ; REIS, J. B. C. ; SILVA, B. C. . Hydrologic Validation of MERGE Precipitation Products over Anthropogenic Watersheds. **Water**, v. 12, p. 1268, 2020.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Porto Alegre: UFRGS. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 194p. 2001.

COLLISCHONN, W. ; Allasia, D.G. ; SILVA, B. C. ; TUCCI, C. E. M. . The MGB-IPH model for large scale rainfall runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, p. 878-895, 2007.

FREITAS, A. A.; DRUMOND, A.; CARVALHO, V. S. B.; REBOITA, M. S.; SILVA, B. C.; UVO, C. B.. Drought Assessment in São Francisco River Basin, Brazil: Characterization through SPI and Associated Anomalous Climate Patterns. **Atmosphere**, v. 13, p. 41, 2022.

MELLO, I. C.; SILVA, B. C. Simulação Hidrológica da bacia do Rio São Francisco. **V Simpósio de Iniciação Científica da UNIFEI**. Itajubá, 2022.

SILVA, Benedito Cláudio. 2005. **Previsão Hidroclimática de Vazão para a Bacia do Rio São Francisco**. Tese de doutorado: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, UFRGS.