



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGreste
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ERIK ASSUNÇÃO FARIAS

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DE SUB-BACIA DO RIO CAPIBARIBE E
IMPACTO NA FORMAÇÃO DE CHEIAS: ESTUDO DE CASO EM RIACHO
URBANO**

Orientador: Prof. Dr. José Almir Cirilo

Caruaru
2023

ERIK ASSUNÇÃO FARIAS

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DE SUB-BACIA DO RIO CAPIBARIBE E
IMPACTO NA FORMAÇÃO DE CHEIAS: ESTUDO DE CASO EM RIACHO
URBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. José Almir Cirilo

Caruaru

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, criador do Universo, por nossa existência, pela dádiva do pensamento legada à raça humana e por sua infinita misericórdia para conosco.

Aos meus pais e meus avós, pelo incentivo e por não medirem esforços para me proporcionar acesso à educação durante toda minha trajetória.

Ao meu orientador, Almir Cirilo, pela confiança depositada em mim e por mostrar o caminho correto. A Mayara Arruda pela grande ajuda no início deste projeto. A Bruna Marques, por sua ajuda no momento mais crítico do desenvolvimento deste trabalho. A toda equipe do Geolab pela paciência e suporte.

À Pórtis Júnior, por todo aprendizado e crescimento proporcionado e portas abertas para minha vida profissional.

Por fim, a todos aqueles que entraram em minha vida durante o período da graduação. De alguma forma eles também fazem parte deste trabalho.

**Modelagem hidrológica de sub-bacia do Rio Capibaribe e impacto na formação de cheias:
Estudo de caso em riacho urbano**

Hydrological modeling of a Capibaribe River sub-basin and its impact on flood formation: Case study in an urban stream

Erik Assunção Farias¹

RESUMO

A falta de uma infraestrutura hídrica adequada causa vários prejuízos à comunidade e aos cofres públicos quando da ocorrência de chuvas intensas. Um dos grandes empecilhos para a implantação dessa infraestrutura em diversos locais é a ausência de dados hidrológicos. Nesse contexto, uma ferramenta poderosa é a regionalização de parâmetros hidrológicos, que consiste em transferir parâmetros obtidos para uma bacia monitorada, denominada doadora, para uma bacia não monitorada, com características físicas e climáticas similares. Este processo permite, dentre outras funcionalidades, avaliar o impacto de intervenções antrópicas nas bacias hidrográficas, como a construção de barramentos. O presente trabalho busca, por meio da utilização integrada entre o Campus Agreste Watershed Model (CAWM IV) – modelo hidrológico desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco para bacias hidrográficas do semiárido – e um modelo de operação de reservatórios, avaliar a eficiência no que diz respeito à contenção de cheias no bairro Bela Vista, na cidade de Surubim – PE, quando da construção de pequenas barragens ao longo da bacia do Riacho Salgado – que em seu trecho urbano atravessa o referido bairro – transferindo, da sub-bacia do Rio Capibaribe localizada a montante da cidade de Toritama – PE, os parâmetros hidrológicos necessários para a simulação. Os indicadores de eficiência do modelo utilizados foram percentual de tendência bias (Pbias), razão entre a raiz do erro médio quadrático e desvio padrão (RSR) e os coeficientes Nash-Sutcliffe, que apresentaram resultados classificados como bons a muito bons para a modelagem da bacia doadora. Verificou-se, na regionalização, a concordância dos picos de vazão com diferentes eventos de cheia registrados no município, bem como uma boa resposta da implantação de um reservatório no que diz respeito à contenção de cheias associadas a precipitações de intensidade média a forte.

Palavras-chave: modelagem hidrológica; controle de cheias; CAWM IV.

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: erik.farias@ufpe.br

ABSTRACT

The lack of adequate water infrastructure causes several losses to the community and public coffers when heavy rains occur. One of the major obstacles to the implementation of this infrastructure in various locations is the lack of hydrological data. In this context, a powerful tool is the regionalization of hydrological parameters, which consists of transferring parameters obtained for a monitored basin, called donor, to a non-monitored basin, with similar physical and climatic characteristics. This process allows, among other functionalities, to evaluate the impact of anthropic interventions in watersheds, such as the construction of dams. The present work seeks, through the integrated use of the Campus Agreste Watershed Model (CAWM IV) – a hydrological model developed at the Federal University of Pernambuco for hydrographic basins in the semi-arid region – and a reservoir operation model, to evaluate the efficiency with regard to containment of floods in the Bela Vista neighborhood, in the city of Surubim – PE, when small dams were built along the Riacho Salgado basin – which in its urban stretch crosses the said neighborhood – transferring, from the sub-basin of the Capibaribe River located upstream of the city of Toritama – PE, the hydrological parameters necessary for the simulation. The model's efficiency indicators used were percentage of trend bias (Pbias), ratio between the root mean squared error and standard deviation (RSR) and the Nash-Sutcliffe coefficients, which presented results classified as good to very good for modeling the donor basin. It was verified, in the regionalization, the agreement of the flow peaks with different flood events registered in the municipality, as well as a good response of the implantation of a reservoir with regard to the containment of floods associated with precipitations of average to heavy intensity.

Keywords: hydrological modeling; flood control; CAWM IV.

DATA DE APROVAÇÃO: 12 de maio de 2023

1 INTRODUÇÃO

Transtornos urbanos relacionados aos recursos hídricos são devidos em geral ao excesso ou falta de água. Na maior parte da região Nordeste do Brasil predomina o clima semiárido, caracterizado pela distribuição irregular de chuvas ao longo do ano, havendo longos períodos de estiagem intercalados de alguns poucos eventos de precipitação, cenário ideal para a ocorrência de calamidades hídricas.

Os baixos índices de precipitação e a irregularidade das chuvas habituaram as classes dirigentes do semiárido a negligenciar problemas relacionados à ocorrência de chuvas intensas. Os processos de mudanças climáticas aumentaram a frequência de chuvas com tempo de retorno superior a vinte anos em cidades do semiárido na última década. Esses processos aliados

a uma má gestão dos recursos hídricos têm gerado diversas calamidades que causam prejuízos aos moradores e aos cofres públicos.

Na cidade de Surubim, localizada no Agreste Setentrional, no trecho médio da bacia do Rio Capibaribe, para o período de 1995 a 2021, foram registrados quatorze eventos de chuva de intensidade moderada a forte e dois de intensidade forte, de acordo com os dados e a classificação utilizada pela APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima.

Registrhou-se em 2020, no município supracitado, dois eventos de chuva onde houve sérios danos à comunidade, sendo um em 18 de março, com intensidade de 91,5 mm, e o outro em 19 de junho, com intensidade de 174,6 mm, segundo a APAC, alagando de diversas ruas, ilhando bairros e o desalojando várias famílias. Chuvas semelhantes não eram vistas no município desde a década de 1960.

O bairro Bela Vista, localizado na parte mais baixa da cidade, cortado pelo Riacho Salgado (canalizado no trecho urbanizado), sempre é o mais afetado quando ocorrem chuvas de intensidade moderada a forte e forte. No evento de 19 de junho de 2020, a praça do bairro foi destruída pela cheia do rio.

A implantação de uma infraestrutura hídrica adequada, aliada ao seu devido monitoramento são fundamentais para que a ocorrência de chuvas intensas não seja acompanhada de transtornos para a população. Desse modo, a construção e o monitoramento de açudes tornam-se, ainda nos dias atuais, um dos principais aliados no combate às cheias.

A indisponibilidade temporal e espacial de dados hidrológicos, em especial de vazões, é um dos principais desafios a superar para que a infraestrutura adequada para contenção de cheias seja implantada. Para superar esse desafio, uma técnica amplamente utilizada é a regionalização de parâmetros hidrológicos, que consiste em transferir os parâmetros obtidos num modelo de chuva-vazão de uma bacia monitorada para uma bacia semelhante não monitorada. As técnicas mais utilizadas de regionalização são: regressão, proximidade espacial e similaridade física.

No presente trabalho, é aplicado o modelo de chuva-vazão conceitual *Campus Agreste Watershed Model IV* (CAWM IV), desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco, visando transferir os parâmetros hidrológicos obtidos para as vazões do Rio Capibaribe na cidade de Toritama, para uma sub-bacia do mesmo localizada na cidade de Surubim, avaliando os impactos na formação de cheias no ponto da praça do bairro Bela Vista, quando da construção de dois reservatórios de contenção.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em avaliar o efeito da construção de reservatórios de contenção ao longo de uma sub-bacia do Rio Capibaribe no controle de cheias no Bairro Bela Vista, na cidade de Surubim-PE, utilizando de modelagem hidrológica e do modelo de operação de barragens.

1.1.2 Objetivos Específicos

O presente trabalho visa atingir os seguintes objetivos específicos:

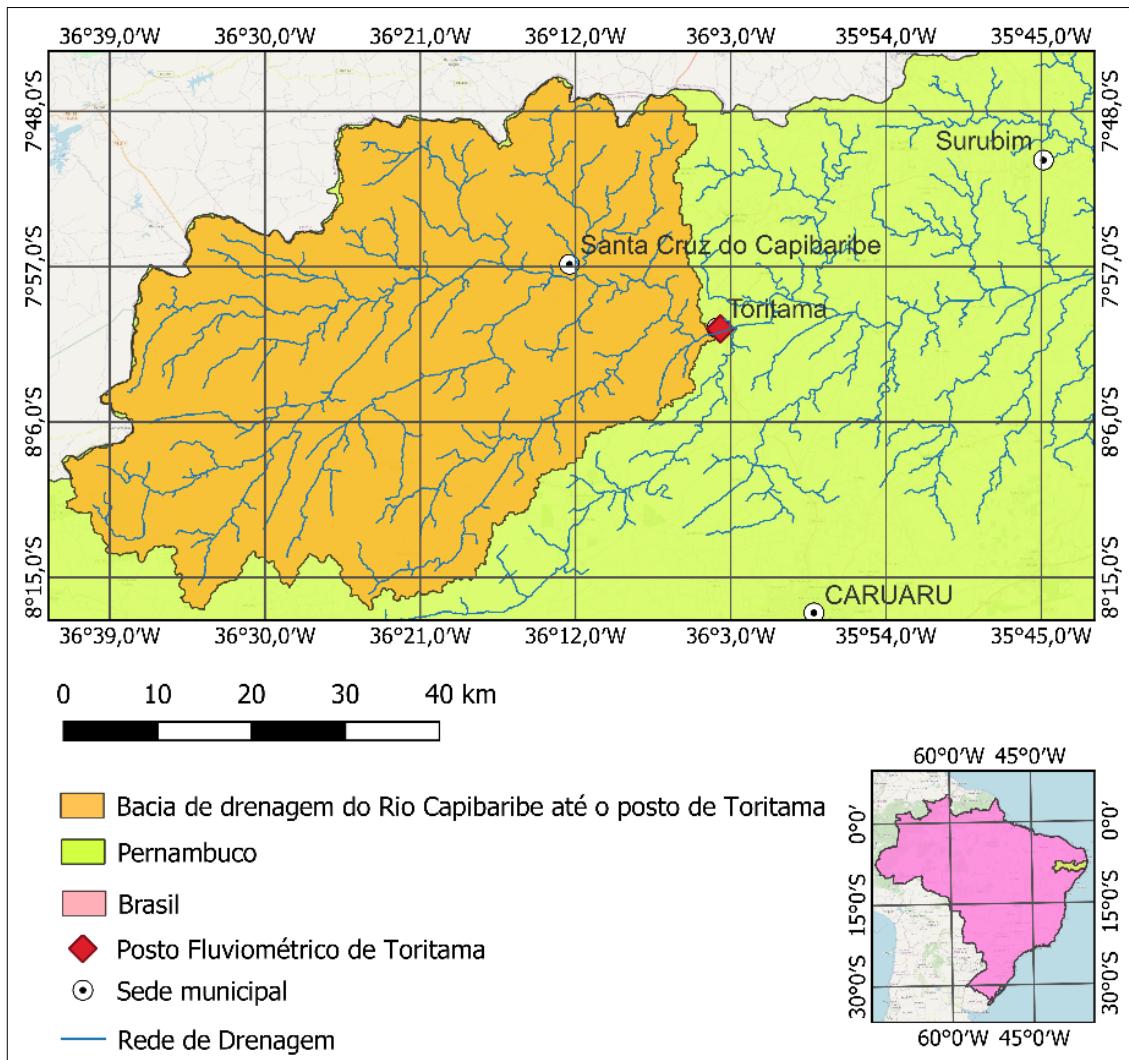
- Estruturar e avaliar o modelo hidrológico CAWM IV para o posto de Toritama;
- Obter o hidrograma de chegada na praça do Bairro Bela Vista quando da transferência dos parâmetros obtidos para a bacia do Riacho Salgado;
- Estimar as vazões vertidas de cada reservatório para obter o hidrograma de chegada amortecido, de modo a avaliar sua eficiência no controle de cheias.

2 METODOLOGIA

2.1. Descrição da área de estudo

No presente trabalho são avaliadas sub-bacias do Rio Capibaribe. A primeira delas, monitorada e doadora dos parâmetros hidrológicos, diz respeito à área de drenagem do posto fluviométrico da cidade de Toritama (Figura 1), localizada no Agreste Setentrional de Pernambuco, cobrindo uma área de 2.434,3 km², abrangendo total ou parcialmente os municípios de Belo Jardim, Brejo da Madre de Deus, Caruaru, Jataúba, Pesqueira, Poção, Santa Cruz do Capibaribe, Taquaritinga do Norte e Toritama.

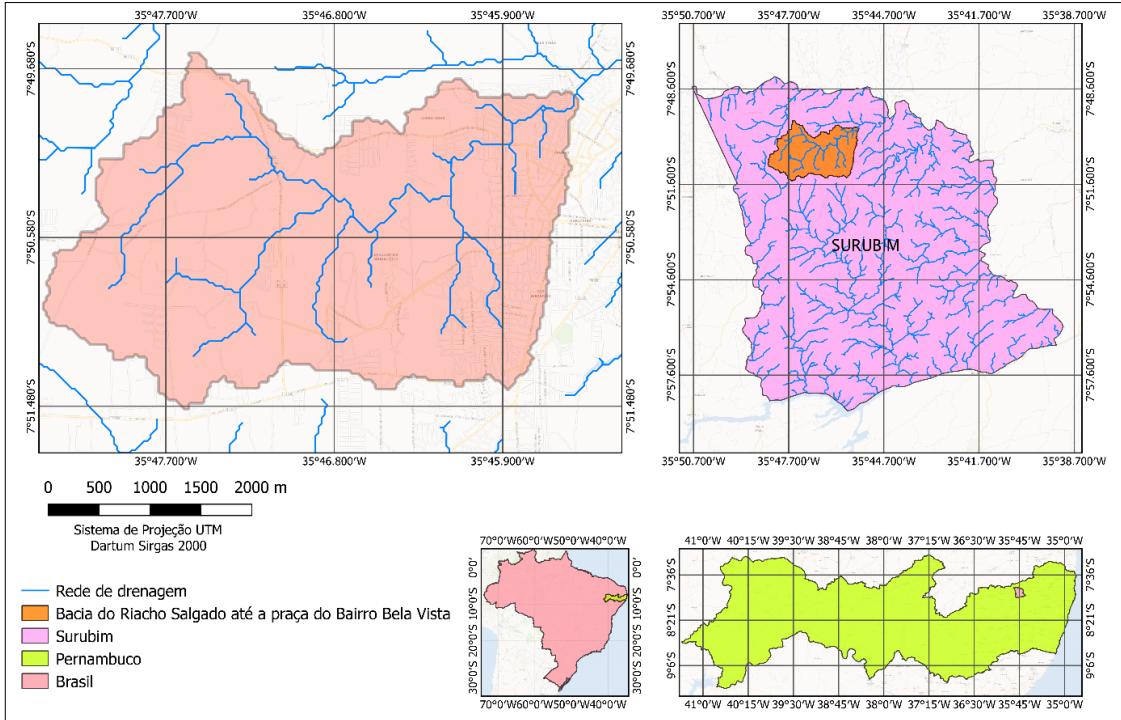
Figura 1 – Localização da bacia de drenagem do posto fluviométrico de Toritama



Fonte: O autor (2023)

Já a segunda bacia, não monitorada e para onde serão transferidos os parâmetros, trata-se da bacia do Riacho Salgado (Figura 2), afluente do Rio Cai-aí, o qual por sua vez desemboca no Rio Capibaribe. A bacia, localizada no município de Surubim, abrange na zona urbana deste, total ou parcialmente, os bairros do Alto São Sebastião, Bela Vista, Centro, Chã do Marinheiro, Lagoa Nova e Vila Social, e se estende pela Zona Rural até as localidades de Lagoa do Choro e Jucá Ferrado, totalizando uma área de 12,185 km².

Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do Riacho Salgado



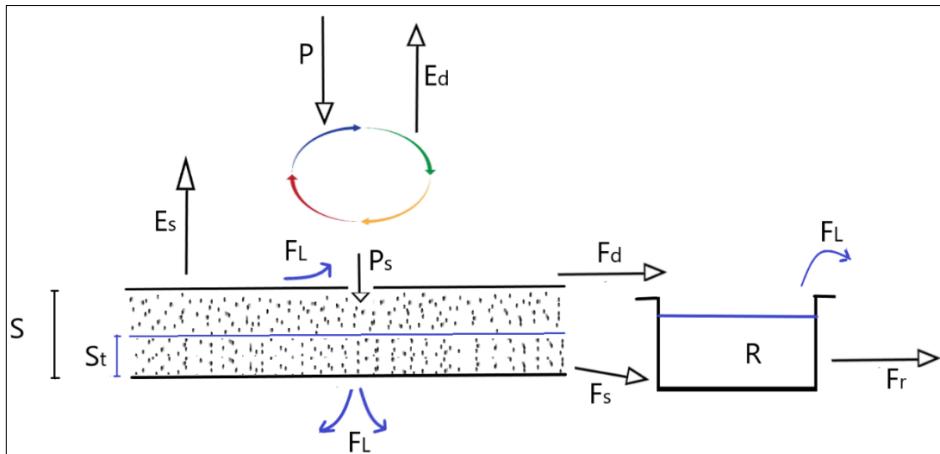
Fonte: O autor (2023)

2.2. Descrição do modelo CAWM

O *Campus Agreste Wateshed Model* é um modelo hidrológico do tipo concentrado, desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco. Sua principal característica é a reduzida quantidade de parâmetros a calibrar. O modelo possui duas versões: CAWM IV, que simula o escoamento superficial em bacias semiáridas e de solos rasos, e o CAWM V, que é aplicado para bacias úmidas de solos profundos. Um de seus objetivos é a regionalização de vazões para bacias com características físicas similares. No presente trabalho, utilizou-se a versão CAWM IV, disponível em planilha do MS Excel.

O modelo utiliza como dados de entrada parâmetros hidrológicos, isto é, séries de precipitações médias, vazões e evaporação, bem como os parâmetros físicos da bacia, obtidos através de sucessivas ações de geoprocessamento sobre o MDT (modelo digital do terreno) do Pernambuco Tridimensional (PE-3D) – única base territorial de alta resolução a laser num estado da América Latina, contando com aproximadamente 3 pontos cotados a cada 4 m² – em softwares do tipo GIS (Geographic Information System, *Sistema de Informação Geográfica*, em português). Os processos físicos analisados no modelo são indicados na Figura 3.

Figura 3 – Esquema do modelo CAWM IV



Fonte: GOMES (2019)

A primeira etapa do modelo consiste no balanço de precipitação-evapotranspiração potencial. Se houver precipitação suficiente, a evaporação potencial (E) é descontada de imediato. Se a precipitação é menor que a evaporação potencial, todo o volume precipitado é transformado em evaporação direta (E_d), e a parcela não atendida (E_n) é extraída da água existente no solo, se houver água.

A parcela de precipitação que não se transforma em evaporação é denominada precipitação efetiva (P_n), que então é dividida em três componentes: recarga do solo (P_s), evapotranspiração suplementar (E_s) e escoamento direto na superfície do terreno (F_d). O balanço hídrico é calculado pelas Equações 1 e 2:

$$P \geq E \rightarrow P_n = P - E \quad (1)$$

$$P \leq E \rightarrow E_d = P \rightarrow E_n = E - E_d \quad (2)$$

A parcela da recarga do solo (P_s), descrita na Equação 3, depende da capacidade máxima de retenção do solo (S), que é um parâmetro de entrada do modelo, e da quantidade de água acumulada no solo a cada tempo (S_t).

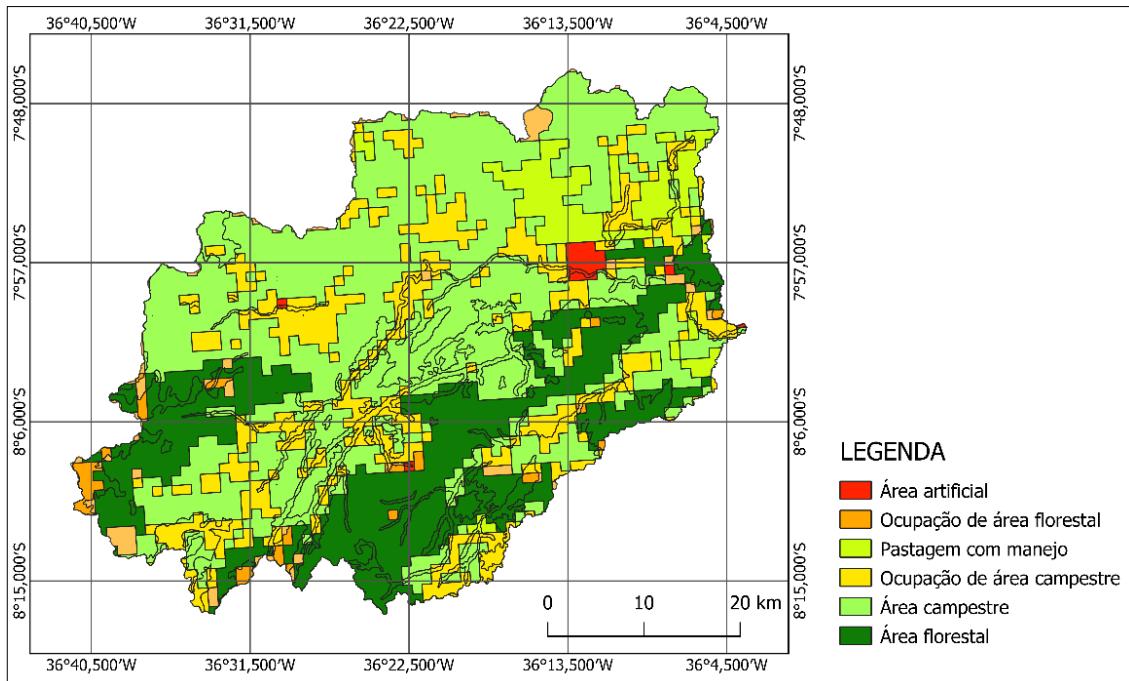
$$P_s = \frac{S \cdot \left(1 - \left(\frac{S_t}{S}\right)^2\right) \cdot \tanh\left(\frac{P_n}{S}\right)}{1 + \frac{S_t}{S} \tanh\left(\frac{P_n}{S}\right)} \quad (3)$$

O parâmetro S , referente à capacidade máxima de retenção de água no solo, é calculado a partir do *Curve Number* médio da bacia (CN), que está relacionado ao uso e ocupação do solo, de acordo com a Equação 4.

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (4)$$

O *Curve Number* médio da bacia é obtido através de mapas de solo da Embrapa e de imagens de satélite de uso e ocupação do solo, por meio de geoprocessamento, onde cada tipo de ocupação possui um CN associado, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Capibaribe referente ao Posto 39130000 (Toritama)



Fonte: O autor (2023)

A evapotranspiração suplementar (Es), descrita pela Equação 5, limita-se à evapotranspiração não-atendida (En), desde que haja água suficiente.

$$E_s = \left(1 - e^{-\frac{\alpha \cdot S_t}{S}} \right) \quad (5)$$

O parâmetro α relaciona-se com as incertezas dos dados de evapotranspiração, e é uma das variáveis de decisão do modelo.

O escoamento direto (Fd), é então obtido subtraindo-se da precipitação efetiva as parcelas referentes à recarga do solo (Ps) e à evapotranspiração suplementar (Es), de acordo com a Equação 6. Deve ser, necessariamente, maior que zero.

$$F_d = P_n - P_s - E_s \quad (6)$$

Existe uma reserva de água no solo que percola até aumentar o volume da calha fluvial. O fluxo de água associado a essa percolação, F_s , é obtido através da Equação 7, e depende de um parâmetro a ser calibrado, K_s , que se relaciona com a permeabilidade do solo.

$$F_s = K_s \cdot S_t \quad (7)$$

O escoamento na calha fluvial (F_r), é concebido como uma função não-linear do volume de água nela armazenado (R), de acordo com a Equação 8.

$$F_r = K \cdot R^b \quad (8)$$

Onde $b = 5/3$, valor que vem se ajustando bem em diversas simulações realizadas. O Parâmetro K relaciona-se com as características físicas da bacia, sendo função da área desta (A_b). Para bacias cuja área seja superior a 6.000 km^2 , o parâmetro K é calculado de acordo com a Equação 9. Já em bacias com área inferior a 6.000 km^2 , utiliza-se a Equação 10 para o cálculo do parâmetro K .

$$K = 34,343A_b^{-0,853} \quad (9)$$

$$K = 0,3745A_b^{-0,489} + 0,0146 \quad (10)$$

As perdas de água no sistema (F_L) advindas de causas diversas, como retenção pela vegetação e em depressões e infiltração em fendas do solo, são dadas pela Equação 11.

$$F_L = K_L \cdot R^p \quad (11)$$

Onde K_L originalmente é um parâmetro a calibrar, e o valor do expoente p é admitido entre 1 e 2, ficando geralmente próximo de 1, apenas assumindo valores maiores quando a simulação trata de grandes vazões. Na versão atual esse parâmetro tem sido calculado internamente, a partir do balanço hídrico no início da simulação, restando apenas o parâmetro K_s a calibrar.

Uma vez obtidos os parâmetros de entrada, calibra-se o modelo CAWM IV para a bacia desejada num determinado intervalo de tempo. Em seguida, é feita a verificação do modelo através dos seguintes indicadores de performance: *Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe* (NSE) e suas derivações (NSE_{logQ} e NSE_{sqrtQ}), *percentual de tendência bias* (Pbias%) e a *razão entre a raiz do erro médio quadrático e desvio padrão* (RSR). A Tabela 1 apresenta a classificação dos indicadores para as simulações hidrológicas.

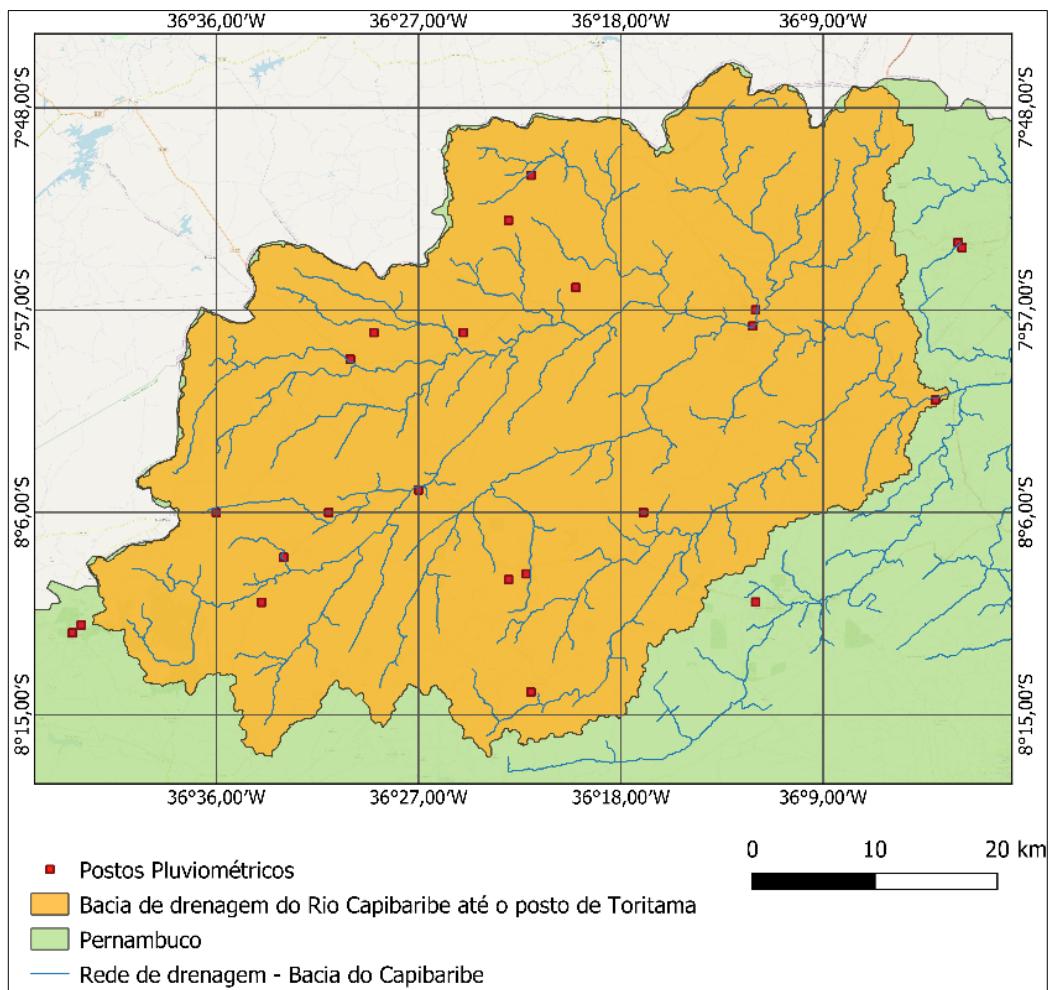
Tabela 1 – Classificação dos indicadores para as simulações hidrológicas

Classificação	NSE	PBIAS (%)	RSR
Muito boa	$0,75 < \text{NSE} < 1,00$	$\text{PBIAS} < \pm 10$	$0,00 \leq \text{RSR} \leq 0,50$
Boa	$0,65 < \text{NSE} < 0,75$	$\pm 10 < \text{PBIAS} < \pm 15$	$0,50 < \text{RSR} \leq 0,60$
Satisfatória	$0,50 < \text{NSE} < 0,65$	$\pm 15 < \text{PBIAS} < \pm 25$	$0,60 < \text{RSR} \leq 0,70$
Insatisfatória	$\text{NSE} < 0,50$	$\text{PBIAS} > \pm 25$	$\text{RSR} > 0,70$

Fonte: Adaptado de Moriasi et al. (2007)

2.3. Dados hidrológicos

Um dos dados de entrada do modelo é a precipitação média diária da bacia em estudo. Para a obtenção da mesma, foram analisados postos na área e no entorno da bacia, e selecionou-se aqueles com mais de 10 anos de dados, totalizando 24 postos (Apêndice A), mostrados na Figura 5. As séries históricas de precipitação foram obtidas da base de dados da ANA.

Figura 5 – Postos pluviométricos utilizados para o cálculo da chuva média

Fonte: O autor (2023)

Outro dado de entrada diz respeito à série histórica de vazões do de interesse. Para o presente trabalho, foram obtidas da base de dados da ANA as vazões para o posto 39130000, localizado na cidade de Toritama (Figura 1). Vale registrar que os dados de vazão no posto têm apresentado lacunas, o que dificulta o processo de calibração.

2.4. Dados de evaporação

Os dados de evaporação utilizados no presente trabalho foram de evaporação total, oriundos da Normal Climatológica para o intervalo de 1991 a 2020, no posto de Surubim (Tabela 2), obtidos da base de dados do INMET.

Tabela 2 – Valores da normal climatológica para o posto de Surubim

Normal Climatológica - Surubim	
(1991-2020)	
Mês	Evaporação total (mm)
Janeiro	179,7
Fevereiro	171,3
Março	170,7
Abril	138,0
Maio	112,4
Junho	83,0
Julho	84,4
Agosto	107,3
Setembro	148,9
Outubro	190,3
Novembro	204,1
Dezembro	211,3
Anual	1801,4

Fonte: Adaptado do INMET (2020)

Não havia valor disponível para o mês de setembro em Surubim para a normal climatológica de 1991 a 2020. Para corrigir a falha, foi aplicada uma regressão linear para o dado referente ao posto de Água Branca (AL). Verificou-se semelhança com o dado para o mesmo mês e posto na normal climatológica de 1981 a 1990.

2.5. Descrição do modelo de operação de reservatórios

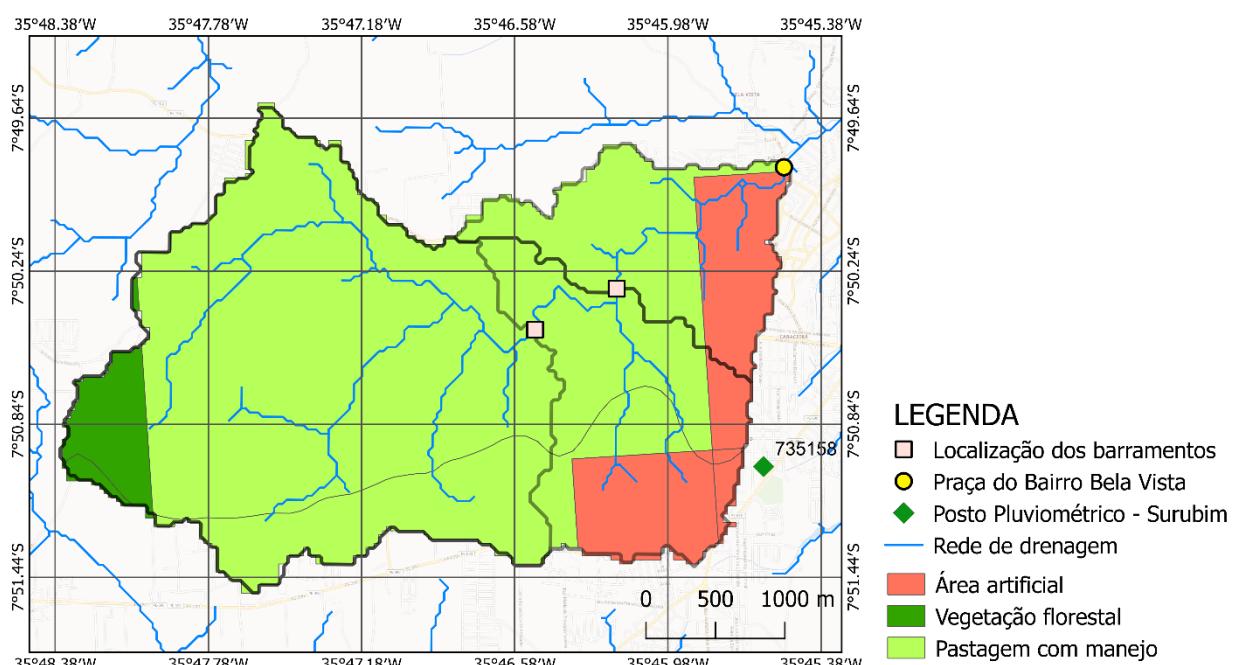
Para o presente trabalho, considerou-se dois reservatórios utilizados apenas para detenção de escoamentos, inexistindo captação de água. Considerou-se também uma manutenção, onde no início de cada mês toda a água é retirada até que o N.A. atinja a cota correspondente a 15% de sua capacidade máxima.

O modelo de operação utilizado consiste num balanço de massa, que avalia a entrada e saída de água do reservatório num determinado intervalo de tempo. Foi desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco, e encontra-se disponível em planilha do MS Excel.

Para a realização da simulação, são necessários dados de entrada relativos às características hidrológicas do local, isto é, as séries de vazões e precipitações diárias. A série de precipitações foi obtida da base de dados da APAC para o posto de Surubim, uma vez que toda a área da bacia do Riacho Salgado está sob influência direta desse posto.

Para a obtenção das vazões diárias, foram transferidos os parâmetros obtidos na simulação do CAWM IV em Toritama para o ponto do barramento de cada reservatório. Dado que o uso do solo varia, predominando um tipo de uso em cada sub-bacia (Figura 6), o parâmetro S relativo à máxima capacidade de retenção de água pelo solo torna-se único para a simulação das vazões em cada uma delas.

Figura 6 – Uso e ocupação do solo na bacia do Riacho Salgado



Fonte: O autor (2023)

Os demais dados de entrada dizem respeito às características físicas do reservatório, listadas a seguir:

1. Capacidade máxima de acumulação;
2. Cota de coroamento;
3. Cota da soleira do vertedouro;
4. Comprimento do vertedouro;
5. Curva cota-área-volume.

Inseridos os dados de entrada, é feito então o balanço hídrico para o período desejado. No presente trabalho, foi simulada a operação mensal dos reservatórios, para março e junho de 2020. O balanço hídrico é calculado pela Equação 12, com um intervalo de 1h entre cada passo.

$$V_{t+1h} = V_t + \frac{V_{afl} + V_{prec} - V_{evap}}{24} \quad (12)$$

Onde:

V_{t+1h} ≡ Volume armazenado após 1h;

V_t ≡ Volume armazenado no início do intervalo de tempo;

V_{afl} ≡ Volume afluente ao reservatório no intervalo de tempo;

V_{prec} ≡ Volume precipitado sobre o reservatório no intervalo de tempo;

V_{evap} ≡ Volume evaporado do reservatório no intervalo de tempo.

O volume médio a cada hora (V_{medio}), que é a média entre o volume em 1h e o volume do passo anterior, é dado pela Equação 13.

$$V_{medio} = \frac{V_{t+1h} + V_t}{2} \quad (13)$$

A partir do volume médio para 1h determina-se a cota média para 1h, calculada pela equação de cota-volume do reservatório. Em seguida, é feita uma verificação para determinar se a cota calculada é maior ou menor que a cota da soleira do vertedouro. Se a cota calculada for menor, nenhuma vazão é vertida. Se for maior, obtém-se a vazão vertida (Q_{vert}) através da Equação 14.

$$Q_{vert} = 2,2 \cdot L_{vert} \cdot (Z_{t+1h} - Z_{vert})^{1,5} \quad (14)$$

Onde:

L_{vert} – Comprimento do vertedouro;

Z_{t+1h} – Cota da água calculada para o intervalo de tempo;

Z_{vert} – Cota da soleira do vertedouro.

As cotas e vazões de cada passo de 1 hora são calculadas até o passo de $t+1\text{dia}$. A vazão defluente média diária – variável de interesse do estudo – do reservatório é obtida ao final desse processo, e então incrementada à vazão calculada pelo CAWM para o ponto de interesse quando da construção do reservatório, obtendo-se, desse modo, o hidrograma de chegada amortecido. O procedimento foi realizado para dois eventos em dois cenários diferentes, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Eventos e cenários de simulação do hidrograma amortecido

Evento	Cenário 1	Cenário 2
Março de 2020	1 reservatório	2 reservatórios
Junho de 2020		

Fonte: O autor (2023)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão evidenciados, nesta ordem, os resultados associados à modelagem hidrológica para a sub-bacia do Capibaribe referente ao Posto 39130000 (Toritama), à transferência dos parâmetros hidrológicos obtidos para a bacia do Riacho Salgado em Surubim, e por fim os hidrogramas diários obtidos para os dois cenários nos eventos de março e junho de 2020.

3.1. Modelagem hidrológica

Para a modelagem hidrológica do posto 39130000 (Toritama), adotou-se um intervalo de tempo de 26 anos, entre 1º de janeiro de 1973 e 31 de dezembro de 1998. Tomou-se como período de calibração do modelo a fração de dias correspondente a 70% do intervalo total, contados a partir da data inicial, isto é, entre 01/01/1973 e 16/03/1991. Os demais 30% correspondem ao intervalo onde são verificados os parâmetros da calibração, sendo neste trabalho, o período compreendido entre 17/03/1991 e 31/12/1998.

As Tabelas 4, 5 e 6, a seguir, mostram as variáveis utilizadas na implementação do CAWM IV, na sua versão mais recente, que incluem parâmetros da bacia, parâmetros para cálculos e as possíveis variáveis de decisão. Nas Tabelas 7 e 8 estão contidas as variáveis do balanço hídrico de longo período e os indicadores de eficiência do modelo, obtidos após a calibração do modelo.

Tabela 4 – Parâmetros de entrada – Posto 39130000

PARÂMETROS DA BACIA	
Nome da bacia - UP02 - Capibaribe	Rio Capibaribe
	Posto 39130000
Área da bacia - Ab (km ²)	2434,3
Largura equivalente da seção dos rios - Be (m) (típico entre 1 e 5)	2,5
Coeficiente de rugosidade de Manning - n	0,035
Gerar planilha	SIM
Nome da planilha com o modelo CAWM da bacia	CAWM
Tipo de planilha	Calibração
Tamanho sugerido do período de verificação dos resultados	30%
Função objetivo da calibração	MAX(NSE/MAE)
Método de otimização	GRG Nonlinear
Valor da função objetivo obtido	383

Fonte: O autor (2023)

Tabela 5 – Parâmetros para cálculos – Posto 39130000

PARÂMETROS PARA CÁLCULOS	
Intervalo de tempo - Δt (s)	86400
Parâmetro do escoamento na calha (calculado) - K	0,02287
Coeficiente do expoente das perdas na calha (entre 1 e 2) - p	0,95
Coeficiente da função de evapotranspiração - α (padrão 1,4)	4

Fonte: O autor (2023)

Tabela 6 – Possíveis variáveis de decisão – Posto 39130000

POSSÍVEIS VARIÁVEIS DE DECISÃO	
Parâmetro de percolação do fluxo sub-superficial para a calha - K_S	0,000158
Parâmetro de perdas na calha - K_L	0,5252
Coeficiente do expoente de escoamento na calha ($\approx 5/3$) - b	1,667
Capacidade de armazenamento no solo - S - SUBmax	86

Fonte: O autor (2023)

Tabela 7 – Balanço hídrico de longo período – Posto 39130000

BALANÇO HÍDRICO DE LONGO PERÍODO	
EVAP POTENCIAL (mm)	32791,68
EVAP REAL MÁX (mm)	12948,19
LÂMINA Q OBS (mm)	905,66
VOL PRECIP (mm)	13853,85
EVAP REAL (mm)	11946,34
ESCOADO (mm)	927,44
SOLO INICIO (mm)	0,00
SOLO FIM (mm)	0,00
Armazenamento SUPERFICIAL INICIO (mm)	5,00
Armazenamento SUPERFICIAL FINAL (mm)	0,23
PERDAS (mm)	984,83
BALANÇO (mm)	0,00

Fonte: O autor (2023)

Tabela 8 – Indicadores de eficiência do modelo – Posto 39130000

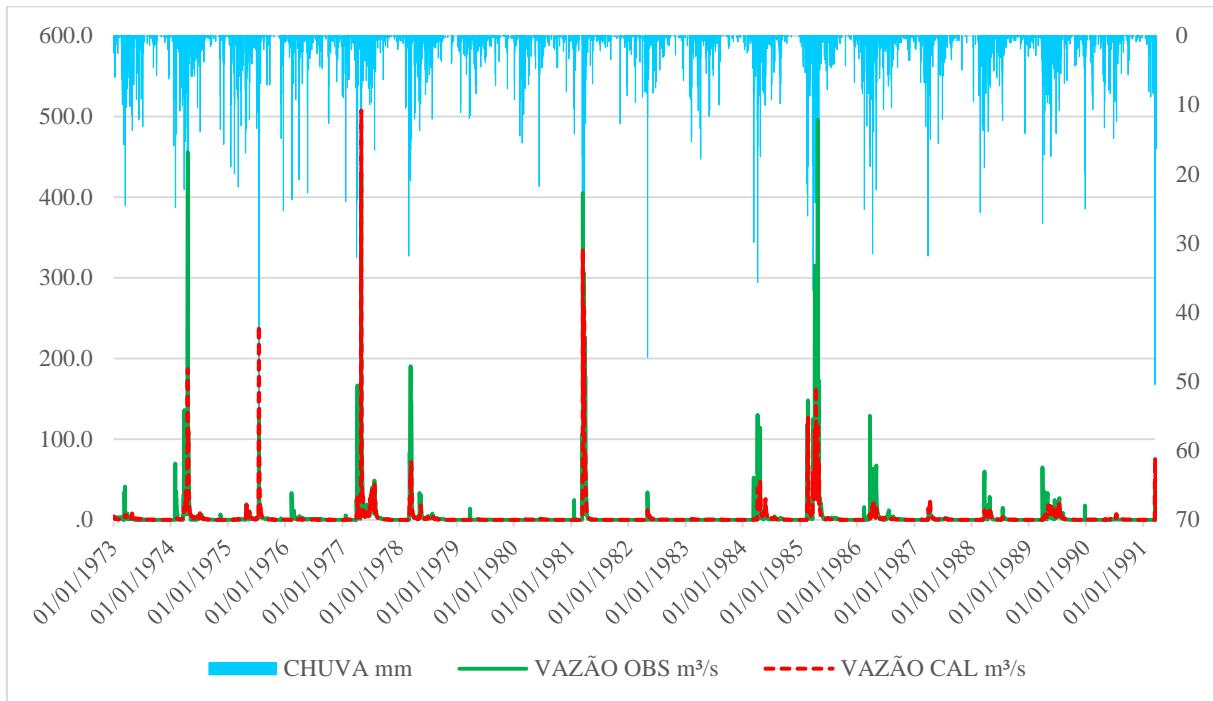
INDICADORES DE EFICIÊNCIA DO MODELO - GLOBAL	
Período completo: Data inicial	01/01/1973
Período completo: Data final	31/12/1998
Vazão média observada (m ³ /s)	2,69
Vazão média calculada (m ³ /s)	2,75
Coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe - NSE	0,62
NSE considerando a raiz quadrada dos valores - NSEsqrt	0,71
NSE considerando os logaritmos dos valores - NSElog	-2,20
Percentual de tendência - Pbias	2,41
Raiz do erro médio quadrático - RMSE	10,47
Erro médio absoluto - MAE	2,15
Razão entre o RMSE e o desvio padrão - RSR	0,62
Coeficiente de determinação - R ²	0,62

Fonte: O autor (2023)

De acordo com a Tabela 1, o modelo apresentou resultados classificados como *muito bons* segundo o percentual de tendência bias (Pbias), e *satisfatórios* para a razão entre a raiz do erro médio quadrático e desvio padrão (RSR). Segundo Traore et al. (2014), valores mais altos de NSE indicam melhores ajustes para as vazões mais elevadas, NSE_{sqrtQ} representa de forma mais adequada as vazões intermediárias e NSE_{logQ} as vazões mais baixas. Assim, obteve-se resultados classificados como *satisfatórios* para as vazões mais altas, *bons* para as vazões médias e *não satisfatórios* para as vazões mais baixas.

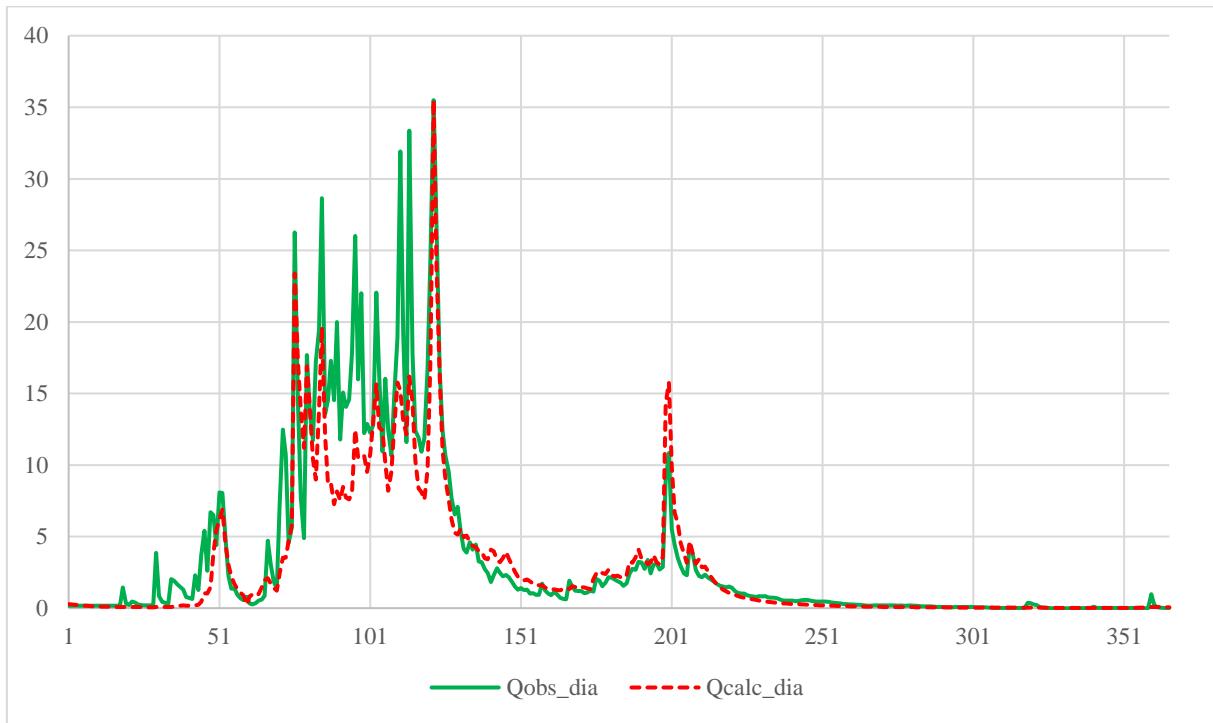
Nas Figuras 7, 8, 9 e 10 são apresentadas a calibração do modelo chuva-vazão diário, as vazões médias no período de calibração para cada dia do ano, a verificação do modelo chuva-vazão diário e a simulação histórica do modelo para o posto 39130000.

Figura 7 – Calibração do modelo chuva-vazão diário – Posto 39130000



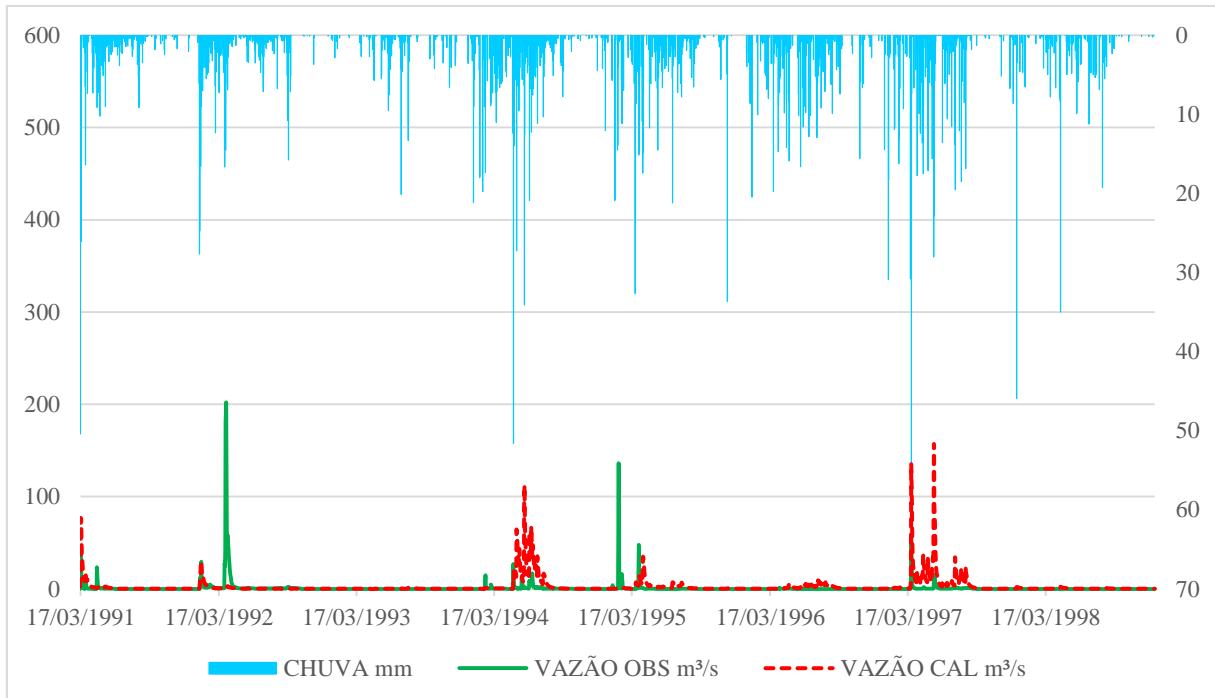
Fonte: O autor (2023)

Figura 8 – Vazão média no período de calibração por dia do ano – Posto 39130000



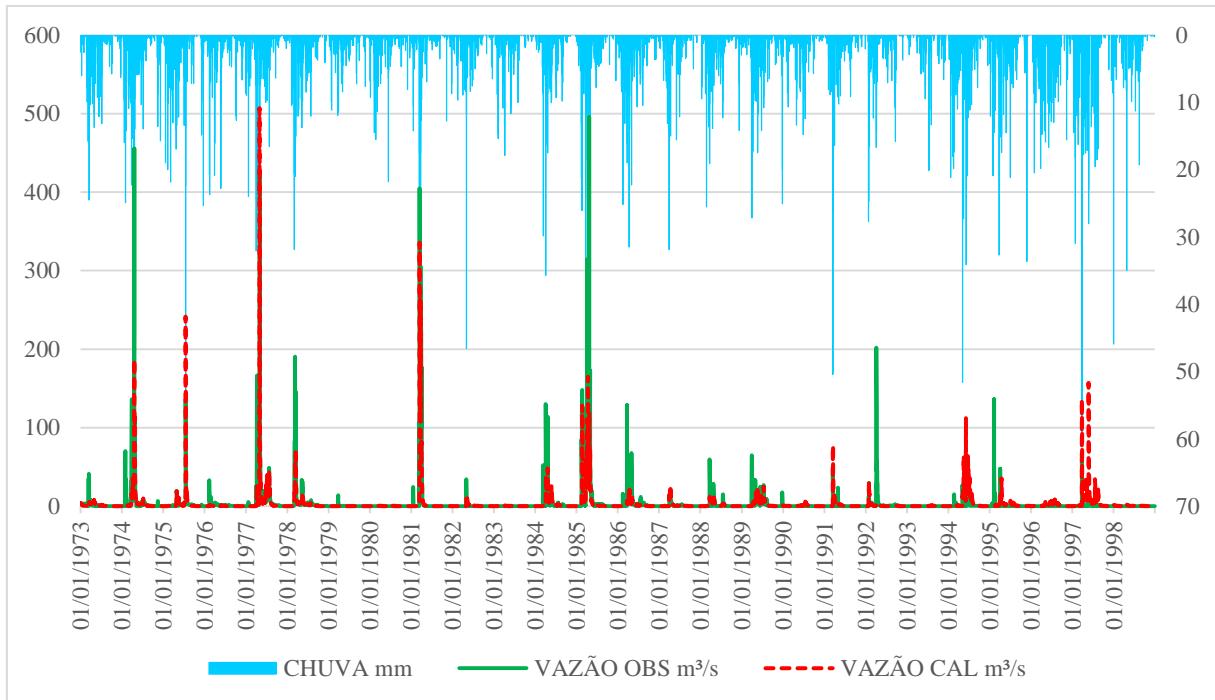
Fonte: O autor (2023)

Figura 9 – Verificação do modelo chuva-vazão diário – Posto 39130000



Fonte: O autor (2023)

Figura 10 – Simulação histórica do modelo chuva-vazão diário – Posto 39130000

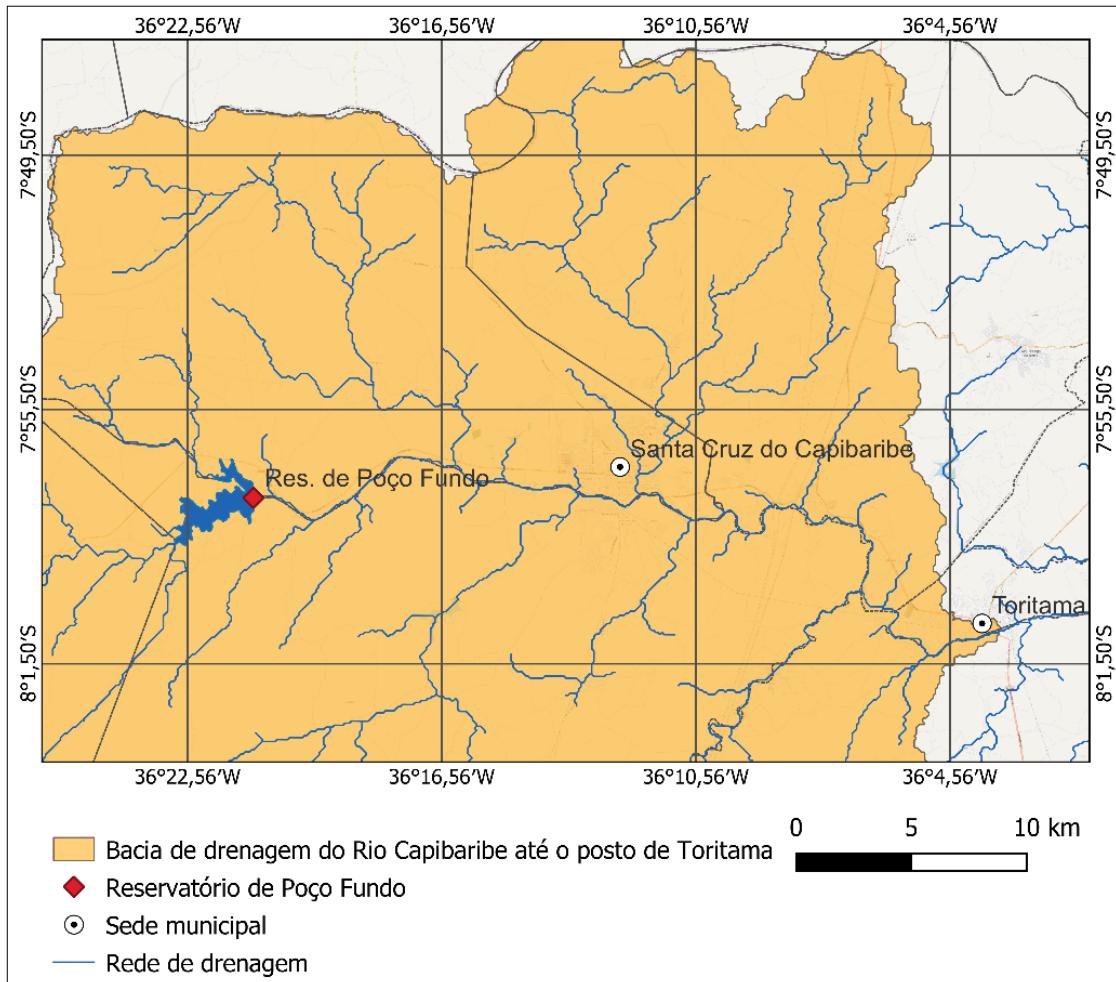


Fonte: O autor (2023)

De modo geral, obtiveram-se resultados satisfatórios para a modelagem. No entanto, é válido salientar que a construção de reservatórios a montante de um posto pode prejudicar a análise. À montante do posto de Toritama, foi construído entre 1984 e 1987 o reservatório de Poço

Fundo, localizado na Zona Rural do município de Santa Cruz do Capibaribe (Figura 11). Sua capacidade máxima de acumulação, segundo a APAC, é de 27,75 milhões de metros cúbicos.

Figura 11 – Localização do reservatório de Poço Fundo



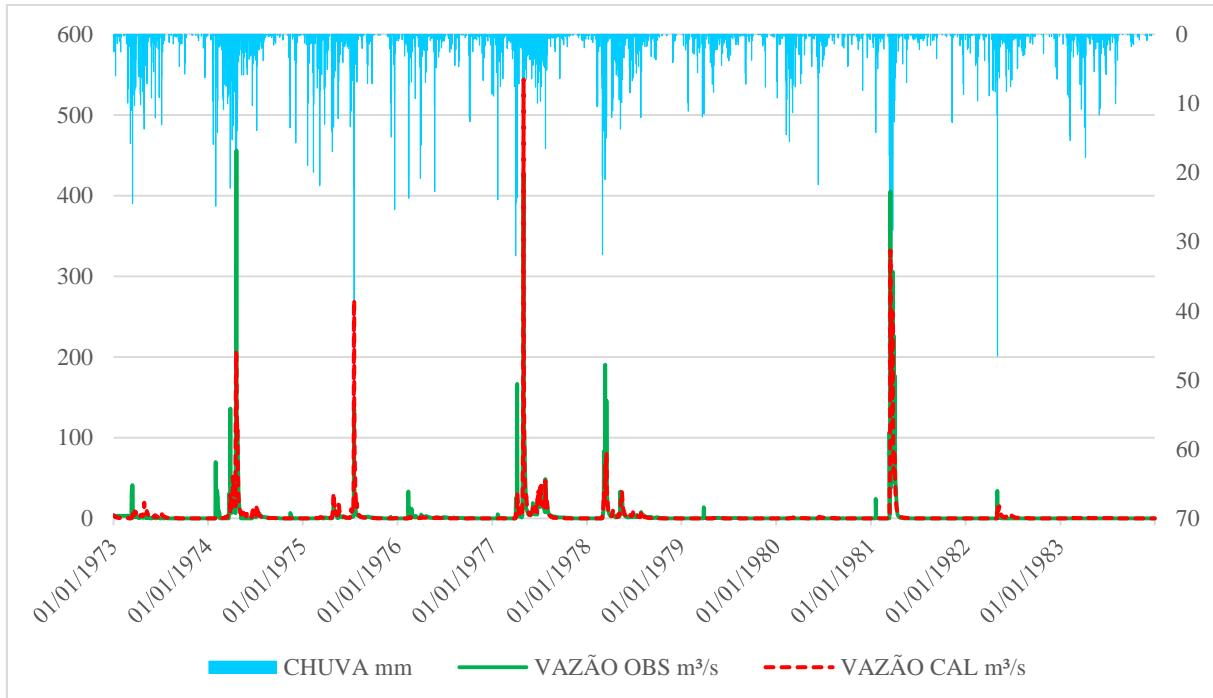
Fonte: O autor (2023)

A fim de verificar a eficiência do modelo sem a interferência do reservatório, foi feita uma nova simulação para o posto 39130000, com os mesmos parâmetros calibrados, para o período compreendido entre 01/01/1973 e 31/12/1983, anterior à construção do reservatório de Poço Fundo. Os indicadores de eficiência do modelo para a nova simulação são mostrados na Tabela 9, e a simulação histórica do modelo na Figura 12.

Tabela 9 – Indicadores de eficiência do modelo (1973 a 1983) – Posto 39130000

INDICADORES DE EFICIÊNCIA DO MODELO: GLOBAL	
Período completo: Data inicial	01/01/1973
Período completo: Data final	31/12/1983
Vazão média observada (m ³ /s)	3,14
Vazão média calculada (m ³ /s)	3,33
Coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe - NSE	0,77
NSE considerando a raiz quadrada dos valores - NSEsqrt	0,85
NSE considerando os logaritmos dos valores - NSElog	-2,56
Percentual de tendência - Pbias	6,11
Raiz do erro médio quadrático - RMSE	9,46
Erro médio absoluto - MAE	1,80
Razão entre o RMSE e o desvio padrão - RSR	0,48
Coeficiente de determinação - R ²	0,77

Fonte: O autor (2023)

Figura 12 – Simulação histórica do modelo chuva-vazão diário (1973 a 1983) – Posto 39130000

Fonte: O autor (2023)

Verificou-se uma melhora significativa nos indicadores de eficiência no período anterior à construção do reservatório. Obtiveram-se valores do percentual de tendência bias (Pbias) e da razão entre a raiz do erro médio quadrático e desvio padrão (RSR) classificados como *muito bons*, assim como aqueles obtidos para os coeficientes de Nash-Sutcliffe para as vazões altas e médias (NSE e NSE_{sqrtQ}). Apenas o valor de NSE_{logQ}, relacionado às vazões mais baixas, foi

classificado como insatisfatório. Assim, é possível inferir que os resultados obtidos na modelagem foram *bons* de acordo com os critérios estabelecidos na Tabela 1.

3.2. Simulação das vazões diárias no Riacho Salgado a partir da transferência de parâmetros hidrológicos

Após a realização da simulação para o posto 39130000, transferiu-se os parâmetros K_s (referente à percolação do fluxo subsuperficial para a calha), K_L (relativo às perdas na calha), p (coeficiente do expoente das perdas na calha) e α (coeficiente da função de evapotranspiração) para simular as vazões do Riacho Salgado no ponto da praça do Bairro Bela Vista.

Realizou-se a simulação para o período compreendido entre 01/02/1994 e 31/12/2021. Nas Tabelas 10, 11 e 12 encontram-se os parâmetros da bacia, parâmetros para cálculos e as possíveis variáveis de decisão utilizadas.

Tabela 10 – Parâmetros de entrada – Riacho Salgado

PARÂMETROS DA BACIA	
Nome da bacia - UP02 - Capibaribe	Riacho Salgado
	Praça do Bairro Bela Vista
Área da bacia - Ab (km^2)	12,19
Largura equivalente da seção dos rios - Be (m) (típico entre 1 e 5)	1,5
Coeficiente de rugosidade de Manning - n	0,035
Gerar planilha	SIM
Nome da planilha com o modelo CAWM da bacia	CAWM
Tipo de planilha	Simulação

Fonte: O autor (2023)

Tabela 11 – Parâmetros para cálculos – Riacho Salgado

PARÂMETROS PARA CÁLCULOS	
Intervalo de tempo - Δt (s)	86400
Parâmetro do escoamento na calha (calculado) - K	0,1249
Coeficiente do expoente das perdas na calha (entre 1 e 2) - p (transferido)	0,95
Coeficiente da função de evapotranspiração - α (padrão 1,4) (transferido)	4

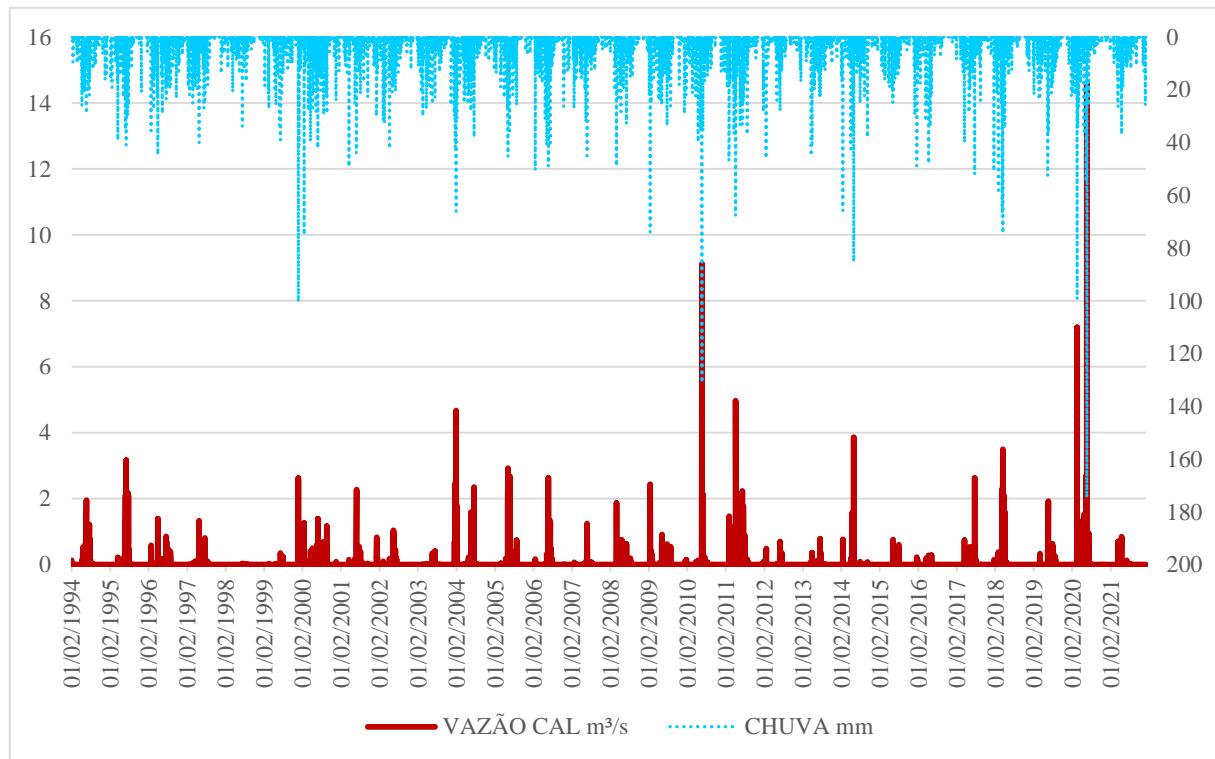
Fonte: O autor (2023)

Tabela 12 – Possíveis variáveis de decisão – Riacho Salgado

POSSÍVEIS VARIÁVEIS DE DECISÃO	
Parâmetro de percolação do fluxo subsuperficial para a calha - Ks (transferido)	0,000158
Parâmetro de perdas na calha - KL (transferido)	0,5252
Coeficiente do expoente de escoamento na calha ($\approx 5/3$) - b	1,667
Capacidade de armazenamento no solo - S - SUBmax	69

Fonte: O autor (2023)

Na Figura 13, é mostrada a simulação histórica das vazões diárias para o período escolhido. Verificou-se a coincidência dos picos de vazão calculados com diversos eventos de cheias registrados no município durante o intervalo de tempo de simulação, podendo-se citar os eventos ocorridos em junho de 2010 e abril de 2018, além daqueles ocorridos em março e junho de 2020, avaliados mais adiante no presente trabalho.

Figura 13 – Simulação histórica do modelo chuva-vazão diário – Riacho Salgado – Praça do bairro Bela Vista

Fonte: O autor (2023)

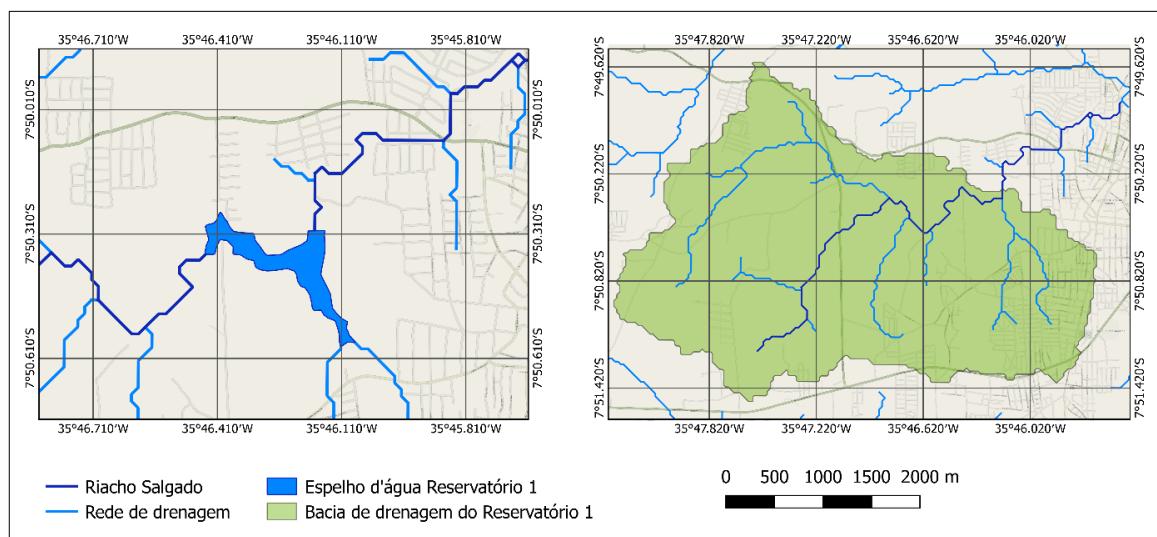
Ao comparar os eventos de cheia registrados com a série histórica de precipitações e as vazões calculadas, observou-se que a vazão diária média para o início de inundações no local é de cerca de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$, ocorrendo sempre que a precipitação diária é superior a 50mm, isto é, de intensidade média a forte, segundo a classificação adotada pela APAC.

3.3. Simulação das vazões diárias no Riacho Salgado quando da construção de reservatórios

3.3.1. Cenário 1 – 1 reservatório

A escolha do local e do tamanho do primeiro reservatório foi pautada segundo critérios topográficos e de proximidade do local afetado, de modo que a área drenada fosse maximizada, comportando o maior volume de água possível, ao mesmo tempo que seu espelho d'água não coincidisse com áreas previamente urbanizadas. Na Figura 14 são mostrados o espelho d'água e a área drenada pelo Reservatório 1, que na zona urbana, abrange os bairros da Chã do Marinheiro, Vila Social e parcialmente o Alto São Sebastião.

Figura 14 – Espelho d'água e área de drenagem do reservatório 1



Fonte: O autor (2023)

Na Tabela 13, são mostradas as características do reservatório 1, obtidas por meio de geoprocessamento sobre o modelo digital do terreno do PE3D, e utilizadas como parâmetro de entrada no modelo de operação de reservatórios. A tabela contendo as informações de cota-área-volume do mesmo encontra-se no apêndice B.

Tabela 13 – Características do reservatório 1

CARACTERÍSTICAS DO RESERVATÓRIO 1	
Capacidade máxima de acumulação (m ³)	540.782
Cota de coroamento (m)	377
Cota da soleira do vertedouro (m)	374
Comprimento do vertedouro (m)	12

Fonte: O autor (2023)

De acordo com a APAC, a precipitação registrada no município de Surubim no dia 18 de março de 2020 foi de 91,5mm, classificada como moderada a forte. A vazão diária calculada na simulação para a data foi de 7,20 m³/s. Registrhou-se vários pontos de alagamento pela cidade e houve transbordo das águas do Riacho Salgado, como mostrado na Figura 15.

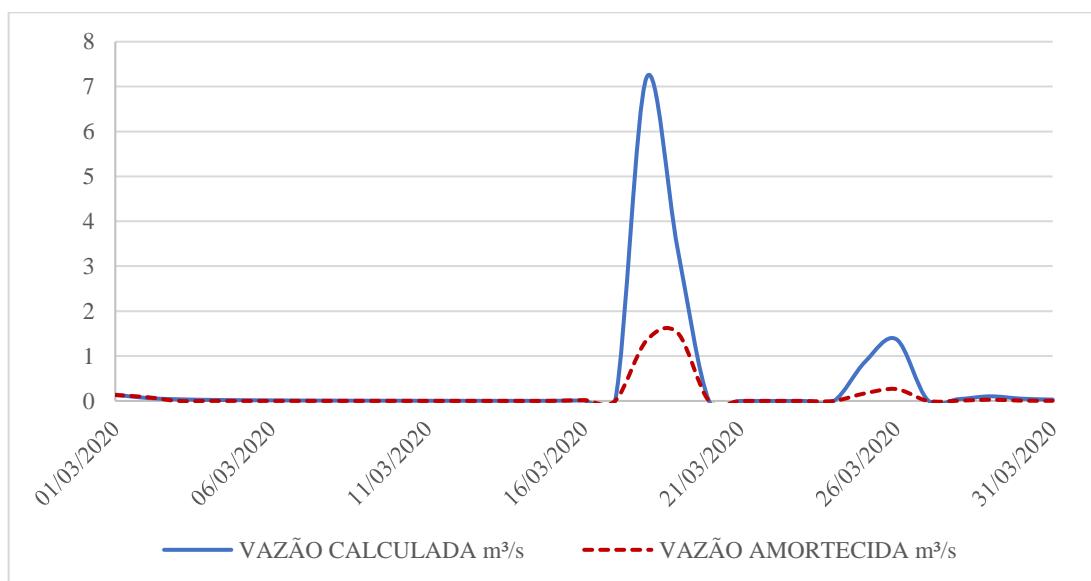
Figura 15 – Cheia no Riacho Salgado devida às chuvas em 18/03/2020. À esquerda, passagem molhada entre os bairros Centro e Lagoa Nova. À direita, praça do bairro Bela Vista horas após a chuva.



Fonte: Luiz Carlos Mota (2020)

Na simulação de operação do reservatório 1, obteve-se uma vazão defluente média diária de 0,31 m³/s para o dia 18/03/2020, sendo este o único dia do mês no qual houve extravasamento de água do reservatório. A vazão obtida na simulação para o Riacho Salgado com a presença do reservatório 1 (Figura 16) na data foi de 1,34 m³/s, representando uma redução de 81%, e muito abaixo do valor de 3,5 m³/s para o qual há transbordamento das águas do riacho, citado na seção 3.2 deste trabalho.

Figura 16 – Vazões diárias calculadas para o Riacho Salgado no cenário 1 (março de 2020)



Fonte: O autor (2023)

No evento de 19 de junho de 2020, de acordo com a APAC registrou-se uma precipitação diária de 174,6 mm, classificada como forte, recorde na série histórica do município. A vazão diária calculada na simulação para a data foi de 14,48 m³/s. Registre-se que os transtornos nesse evento foram inéditos até então, incluindo a destruição da praça do bairro Bela Vista pela correnteza mostrada na Figura 17, e a morte de uma pessoa.

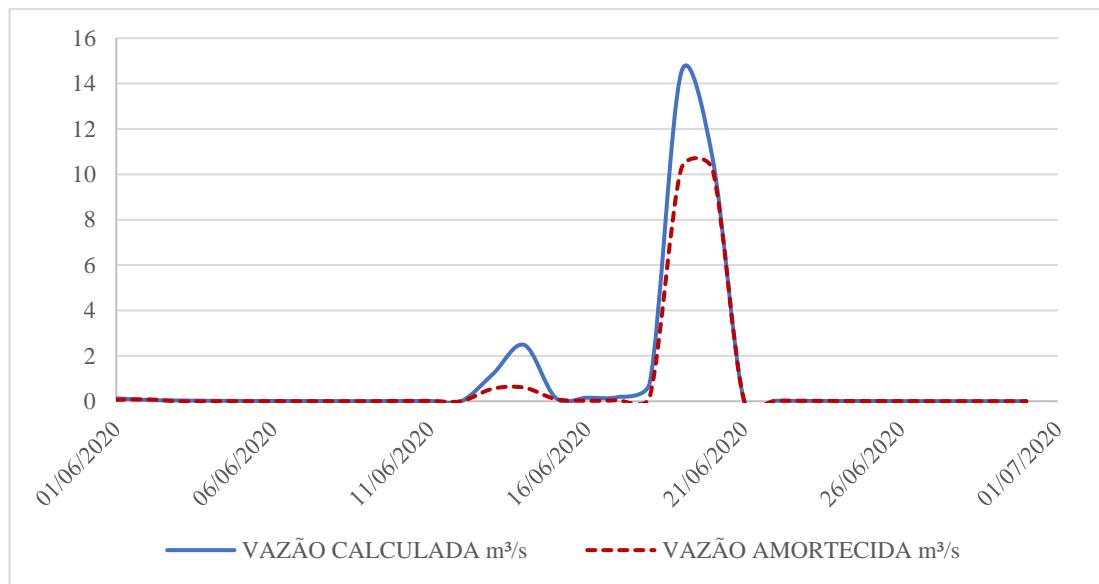
Figura 17 – Cheia no Riacho Salgado devida às chuvas em 19/06/2020 na praça do bairro Bela Vista



Fonte: Luiz Carlos Mota (2020)

Na simulação de operação do reservatório 1, obteve-se uma vazão defluente média diária de 7,42 m³/s para o dia 19/06/2020, havendo extravasamento de água até o dia 25/06/2020. A vazão obtida na simulação para o Riacho Salgado com a presença do reservatório 1 (Figura 18) na data foi de 10,24 m³/s, o que representa uma redução de 29%.

Figura 18 – Vazões diárias calculadas para o Riacho Salgado no cenário 1 (junho de 2020)



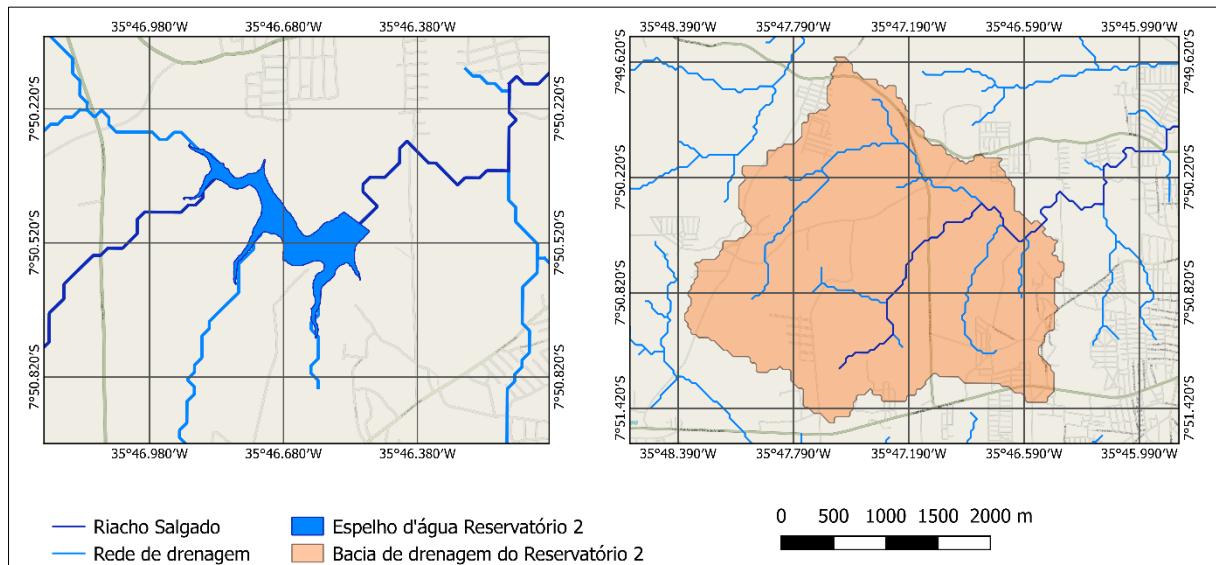
Fonte: O autor (2023)

Nota-se que mesmo sendo capaz de reduzir significativamente as vazões, o reservatório 1 ainda não foi suficiente para conter as cheias de 19 de junho de 2020, visto que o valor da vazão amortecida simulado é ainda maior que o calculado para o dia 18 de março do mesmo ano.

3.3.2. Cenário 2 – 2 reservatórios

Levando em conta os mesmos critérios adotados para a escolha do local do reservatório 1, posicionou-se o reservatório 2 um pouco mais acima na bacia (Figura 19). A área drenada pelo reservatório 2 corresponde basicamente à área rural da bacia e a partes do bairro da Chã do Marinheiro.

Figura 19 – Espelho d’água e área de drenagem do reservatório 2



Fonte: O autor (2023)

As características do reservatório 2 são mostradas na Tabela 14. A tabela contendo as informações de cota-área-volume do mesmo encontra-se no apêndice B.

Tabela 14 – Características do reservatório 2

CARACTERÍSTICAS DO RESERVATÓRIO 2

Capacidade máxima de acumulação (m ³)	368.236
Cota de coroamento (m)	383
Cota da soleira do vertedouro (m)	380
Comprimento do vertedouro (m)	25

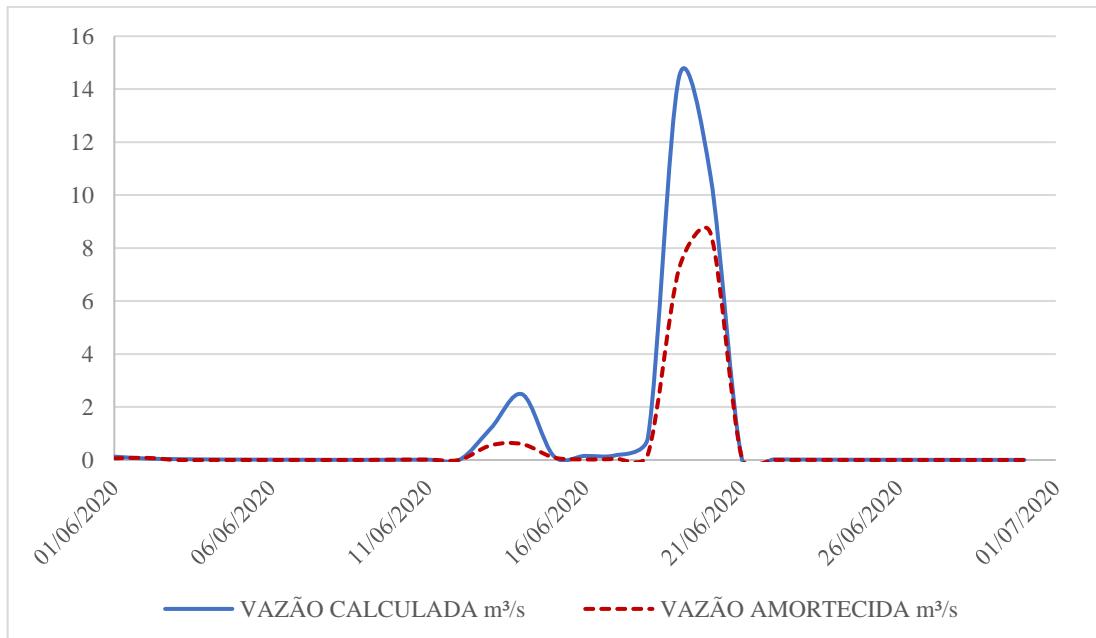
Fonte: O autor (2023)

Dado que o reservatório 1 apresentou bom desempenho no controle da cheia de 18 de março de 2020, avaliou-se para o cenário 2 apenas o evento de 19 de junho daquele ano.

Registre-se que na operação com dois reservatórios, apenas a vazão do reservatório 1 é incrementada ao fluxo de água na calha do Riacho Salgado. Na simulação da operação do reservatório 2, obteve-se uma vazão diária média de 6,25 m³/s para o dia do evento. Na simulação do reservatório 1, doravante drenando majoritariamente as áreas urbanizadas, a vazão diária média obtida na data foi de 4,43 m³/s.

Com a presença dos dois reservatórios, calculou-se para o dia 19 de junho uma vazão de 7,24 m³/s, (Figura 20) ainda muito superior ao patamar de 3,5 m³/s onde se inicia o extravasamento do riacho, e semelhante à vazão simulada para o dia 18 de março daquele ano.

Figura 20 – Vazões diárias calculadas para o Riacho Salgado no cenário 2 (junho de 2020)



Fonte: O autor (2023)

4 CONCLUSÕES

De acordo com o que foi exposto no trabalho, pode-se dizer que o modelo CAWM IV mostrou resultados bons para a simulação de vazões na cidade de Toritama. Os indicadores obtidos para o período global de simulação mostraram-se satisfatórios. Entretanto, a eficácia do modelo foi afetada pelo do reservatório de Poço Fundo. Na simulação realizada para o período no qual não houve influência do reservatório, obtiveram-se indicadores classificados como bons a muito bons, o que corrobora a afirmação supracitada.

No que diz respeito à simulação na cidade de Surubim, os resultados mostraram-se promissores quando foi verificada a concordância de picos de vazões simuladas com diversos eventos de cheia registrados na cidade, evidenciando a eficácia do modelo CAWM IV para a regionalização de vazões em bacias não monitoradas.

Na simulação de vazões nos reservatórios, é válido ressaltar a sensibilidade do modelo às equações de cota-área-volume. Um único coeficiente inadequado é capaz de calcular um volume de água horário vertido maior que a capacidade máxima de acumulação do reservatório. Desse modo, a escolha meticulosa dos coeficientes das curvas de cota-área-volume definirá a eficácia do modelo de operação.

Para a simulação das vazões amortecidas com um reservatório, como foi possível observar no cenário para o dia 18/03/2020, verificou-se que sua construção é eficaz para o controle de cheias devidas a chuvas de intensidade média a forte, isto é, cujo volume diário encontra-se na faixa de 50 a 100mm. Entretanto, para a chuva recorde na série histórica do município, registrada no dia 20 de junho de 2020, em ambos os cenários, com um ou dois reservatórios, não houve uma redução adequada da onda de cheia calculada.

Portanto, pode-se concluir que a construção de um reservatório na bacia do Riacho Salgado é uma solução adequada para conter a onda de cheia na praça do bairro Bela Vista advinda de precipitações de intensidade média a forte. Porém, a construção de um segundo reservatório mostrou-se ineficaz para a contenção de cheias maiores, sendo necessário avaliar outras soluções que, aliadas à construção do primeiro reservatório, sejam capazes de conter as cheias devidas às chuvas de intensidade forte.

5 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos.** Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 01 jan. 2023.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Histórico de Chuvas.** Disponível em: <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em 02 abr. 2023.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Níveis de Avisos.** Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/113-sobre-meteorologia/617-niveis-de-avisos>>. Acesso em 02 abr. 2023.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Reservatórios**. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/monitoramento/190-monitoramento/526-reservatorios-2>>. Acesso em 02 abr. 2023.

AZEVEDO, Pedro V. de; PEREIRA, Emerson R. R.; SILVA, Vicente P. R. da; SOUSA, Francisco de A. S. de; SOUSA, Inajá F. de: **Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil**. Produzido na Universidade Federal de Campina Grande e publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Campina Grande, 2011.

CANHOLI, Aluísio Pardo: **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CIRILO, J. A.; VERÇOSA, L. F. M.; GOMES, M. M. A.; FEITOZA, M. A. B.; FERRAZ, G. F.; SILVA, B. M. Development and application of a rainfall-runoff model for semi-arid regions. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v.25, c15, 2020.

GOMES, Mayara Maria de Arruda: **Abordagem integrada de modelagem hidrológica e operação de barragens para avaliação da eficiência do controle de cheias na bacia do rio Capibaribe**. Dissertação de mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. GUIMARÃES, Daniel P.; SANS, Luiz M. A.: **Análise temporal da distribuição de chuvas no sertão nordestino**. Artigo apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. – Aracaju, 2007.

MOURA, Vanessa: **Com recorde histórico de chuva, Surubim registra uma morte e três famílias desabrigadas**. Disponível em:

<https://jc.ne10.uol.com.br/pernambuco/2020/06/5613485-com-recorde-historico-de-chuva-surubim-registra-uma-morte-e-tres-familias-desabrigadas.html>. Acesso em 21 fev. 2022.

TUCCI, Carlos E.M.: **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.

APÊNDICE A – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS

Tabela A.1 – Postos pluviométricos utilizados para o cálculo da chuva média na sub-bacia do Capibaribe referente ao posto 39130000 - Toritama

CÓDIGO DA ESTAÇÃO	NOME DA ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	OPERADOR	DISPONIBILIDADE DE DADOS	
836093	POÇÃO	POÇÃO - PE	CPRM	31/01/1986	01/01/2023
836092	BREJO DA MADRE DE DEUS	BREJO DA MADRE DE DEUS - PE	CPRM	31/01/1986	01/01/2023
836068	BREJO DA MADRE DE DEUS	BREJO DA MADRE DE DEUS - PE	EMATER	31/07/1979	01/12/1992
836054	TORITAMA (TORRES)	TORITAMA - PE	SUDENE	31/01/1963	01/08/1990
836051	SÍTIO SEVERO	JATAÚBA - PE	SUDENE	31/10/1967	01/03/1993
836050	SÍTIO MUQUEM	JATAÚBA - PE	SUDENE	30/11/1967	01/01/1995
836048	SÍTIO LAGOA DO FÉLIX	PESQUEIRA - PE	SUDENE	30/11/1967	01/04/1993
836046	SÍTIO APOLINÁRIO	BREJO DA MADRE DE DEUS - PE	SUDENE	31/10/1967	01/02/1994
836045	SERRA DO VENTO	BELO JARDIM - PE	SUDENE	31/10/1967	01/09/1994
836034	POÇÃO	POÇÃO - PE	SUDENE	31/07/1962	01/06/1993
836028	PASSAGEM DO TÓ	JATAÚBA - PE	SUDENE	31/10/1967	01/01/1995
836023	MANDAÇAIA	BREJO DA MADRE DE DEUS - PE	SUDENE	31/01/1963	01/04/1993
836012	FAZENDA NOVA	BREJO DA MADRE DE DEUS - PE	SUDENE	31/10/1929	01/03/1978
836005	BREJO DA MADRE DE DEUS	BREJO DA MADRE DE DEUS - PE	DNOCS	31/08/1911	01/12/1988
736042	TAQUARITINGA DO NORTE	TAQUARITINGA DO NORTE - PE	CPRM	31/01/1986	01/08/2022
736041	SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE	SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE - PE	CPRM	30/04/1986	01/01/2023
736040	JATAÚBA	JATAÚBA - PE	CPRM	31/01/1986	01/01/2023
736036	VILA DO PARÁ	SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE - PE	SUDENE	31/07/1962	01/01/1987
736033	SÍTIO SALGADO	SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE - PE	SUDENE	30/11/1967	01/12/1989
736032	SÍTIO MULUNGU	SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE - PE	SUDENE	31/10/1967	01/06/1990
736031	TAQUARITINGA DO NORTE	TAQUARITINGA DO NORTE - PE	DNOCS	31/07/1911	01/09/1992
736030	SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE	SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE - PE	SUDENE	31/08/1962	01/02/1988
736029	POÇO FUNDO	SANTA CRUZ DO CAPIBARIBE - PE	SUDENE	31/10/1967	01/03/1992
736028	JATAÚBA (JATOBÁ)	JATAÚBA - PE	SUDENE	31/12/1962	01/09/1991

**APÊNDICE B – DADOS DE COTA, ÁREA E VOLUME DOS RESERVATÓRIOS
CONSIDERADOS**

Tabela B.1 – Cota-área-volume do Reservatório 1

COTA (m)	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)
363,4	825,0	825,0
363,9	6.725,0	2.712,5
364,4	10.675,0	7.062,5
364,9	14.350,0	13.318,8
365,4	19.625,0	21.812,5
365,9	25.000,0	32.968,8
366,4	29.900,0	46.693,8
366,9	35.900,0	63.143,8
367,4	42.075,0	82.637,5
367,9	47.275,0	104.975,0
368,4	53.775,0	130.237,5
368,9	59.850,0	158.643,8
369,4	65.600,0	190.006,3
369,9	70.150,0	223.943,8
370,4	73.300,0	259.806,3
370,9	76.225,0	297.187,5
371,4	78.625,0	335.900,0
371,9	80.300,0	375.631,3
372,4	81.350,0	416.043,8
372,9	81.900,0	456.856,3
373,4	82.350,0	497.918,8
373,9	82.650,0	539.168,8
374,4	82.750,0	580.518,8
374,9	82.875,0	621.925,0
375,4	83.025,0	663.400,0
375,9	83.150,0	704.943,8

Tabela B.2 – Cota-área-volume do Reservatório 2

COTA (m)	ÁREA (m²)	VOLUME (m³)
372,3	2.697,7	2.697,7
372,8	6.294,6	4.945,8
373,3	10.790,8	9.217,1
373,8	15.287,0	15.736,6
374,3	17.085,4	23.829,7
374,8	23.380,1	33.946,0
375,3	27.876,2	46.760,1
375,8	34.170,8	62.271,9
376,3	43.163,2	81.605,4
376,8	46.760,1	104.086,2
377,3	53.054,7	129.039,9
377,8	62.047,1	157.815,4
378,3	67.442,5	190.187,7
378,8	80.031,7	227.056,3
379,3	88.124,8	269.095,4
379,8	100.714,1	316.305,1
380,3	107.008,7	368.235,8
380,8	116.001,0	423.988,3
381,3	121.396,4	483.337,6
381,8	131.288,0	546.508,7
382,3	135.784,2	613.276,8
382,8	137.582,6	681.618,5

ERIK ASSUNÇÃO FARIAS

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DE SUB-BACIA DO RIO CAPIBARIBE E
IMPACTO NA FORMAÇÃO DE CHEIAS: ESTUDO DE CASO EM RIACHO
URBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Recursos Hídricos

Aprovado em 12 de maio de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Almir Cirilo (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Larissa Ferreira David Romão Batista (Examinadora externa)
Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco