



Analysis of Water Balance of the GL3 Watershed

Maria Leidiane Ferreira*, Analia Regina dos Santos Felix**, Janylle Andressa Santos da Silva***, Rafael Carlos de Moura****, Tayran Oliveira dos Santos*****, Jussara Freire de Souza Viana*****, Josicléda Domiciano Galvêncio*****

*Graduanda do curso de Bacharelado em Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE - Brasil; leidiane.ferreira@ufpe.br; **Graduanda do curso de Bacharelado em Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE - Brasil; janylle.andressa@ufpe.br; ***Graduando do curso de Bacharelado em Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE - Brasil; rafael.carlosm@ufpe.br; ****Graduanda do curso de Licenciatura em Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE - Brasil; analia.felix@ufpe.br; *****Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE – Brasil; tayran.oliveira@ufpe.br; *****Pesquisadora Dra. Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE – Brasil; jussarafsouza82@gmail.com; ***** Professora Associada do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA. Recife/PE - Brasil; josicleda.galvencio@ufpe.br

Received 21 August 2025; accepted 31 October 2025

ABSTRACT

Over time, the Northeast region of Brazil has faced increasing challenges in water management, creating an impasse driven by factors such as droughts and the intensification of unplanned urbanization. In this context, in addition to distribution system losses and the impacts of climate change, the issue surrounding water resource management in the state has become more critical. Thus, the hydrological model Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was applied to simulate the daily water balance for the period 1961 to 2020, resulting in the generation of 993 Hydrological Response Units (HRUs) and 60 sub-basins for the GL3 watershed. This modeling enables the identification of water availability during periods of both surplus and deficiency.

The objective of this study is to analyze the initial results of the simulated water balance using SWAT, as part of the group of small coastal river basins (GLs). The GL3 basin holds significant socio-environmental and economic importance, especially for the municipality of Ipojuca, which includes the tourist destination of Porto de Galinhas. However, the region still faces a scarcity of data for effective water monitoring and management.

It is concluded that the SWAT model contributes to estimating the soil–water interactions, understanding the hydrological dynamics of the basin, and supporting integrated management within the framework of the Hydrological Response Unit System of Pernambuco (SUPER), particularly in basins that lack sufficient data for planning.

Keywords: Hydrology; Hydrological Modeling; SWAT.

Análise do Balanço Hídrico da Bacia Hidrográfica GL3

RESUMO

Com o passar do tempo a região Nordeste tem enfrentado desafios crescentes na gestão hídrica gerando um impasse sobre os fatores, como secas e o agravamento da urbanização desordenada. Nesse contexto, além das perdas nos sistemas de distribuição e dos impactos das mudanças climáticas, intensifica-se a problemática em torno da gestão dos recursos hídricos no estado. Assim, o modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) foi aplicado para simular o balanço hídrico diário no período de 1961 a 2020, resultando na geração de 993 Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs) e 60 sub-bacias para a bacia hidrográfica GL3. Essa modelagem permite identificar a disponibilidade hídrica em momentos de excesso ou deficiência de água.

O objetivo deste estudo é analisar os resultados iniciais do balanço hídrico simulados no SWAT, como parte do grupo de bacias de pequenos rios litorâneos (GL's). A bacia GL3 possui grande relevância socioambiental e econômica, especialmente para o

município de Ipojuca, que abriga o ponto turístico de Porto de Galinhas. Contudo, a região ainda enfrenta escassez de dados para o monitoramento e a gestão dos recursos hídricos. Conclui-se que o SWAT contribui para estimar a interação entre solo e água, compreender a dinâmica hidrológica da bacia e subsidiar a gestão integrada no âmbito do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica de Pernambuco (SUPER), em especial bacias que não possuem dados para planejamento.

Palavras-Chave: Hidrologia; Modelagem Hidrológica; SWAT.

1. Introdução

A região Nordeste enfrenta, historicamente, diversos desafios relacionados à escassez de água e a gestão dos recursos hídricos disponíveis, em virtude de fatores geoclimáticos, como as longas estiagens no semiárido, assim como pela infraestrutura deficiente, que implica no acesso da população ao saneamento básico e à água potável. Com as mudanças climáticas as secas na região e o estresse hídrico tem se intensificado, tornando o desafio ainda mais complexo. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2024) o aumento da frequência das secas por causa das mudanças climáticas pode diminuir em até 40% a disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas da região até 2040.

Nas regiões metropolitanas do Nordeste, além dos fatores já citados, a gestão das águas também sofre com a urbanização desordenada e as perdas significativas no sistema de distribuição de água. O crescimento acelerado das cidades sem planejamento leva a ocupação irregular do solo, dificultando a expansão e o acesso aos serviços de saneamento, atingindo, sobretudo, as populações mais vulneráveis que vivem em áreas periféricas. Além disso, o desperdício de água nos sistemas de distribuições defasados agrava a escassez e prejudica o abastecimento.

Assim, estudos da dinâmica hidrológica em bacias hidrográficas pode apoiar projetos de gestão hídrica em diferentes regiões do Brasil, sobretudo no Nordeste. Para isso, é interessante abordar uma análise preliminar do balanço hídrico de uma determinada região. A estimativa do balanço hídrico permite entender a dinâmica da bacia hidrográfica, analisar disponibilidade hídrica e possíveis ações antrópicas sobre o meio natural. De acordo com Pereira et al. (1997), o balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento de água no solo, obtido por meio da aplicação do princípio da conservação de massa para a água.

É importante analisar como se comporta o ciclo da água dentro de uma bacia, sobretudo as variáveis de precipitação (fornece umidade para o solo) e evapotranspiração, que consome a umidade do solo, ou seja, são dois elementos opostos do balanço hídrico que quando comparados indicam se uma região

apresenta deficiência ou excesso de água durante o ano (Camargo 1971). Segundo Silva et al. (2015), a obtenção da evapotranspiração potencial (ETP) permite desenvolver práticas adequadas para gestão hídrica, visto que sua estimativa possibilita prever déficit hídrico da área de estudo, permitindo aplicar medidas preventivas para manutenção do abastecimento e de outras atividades que exigem o consumo de água.

Nesse contexto, os modelos hidrológicos são ferramentas extremamente importantes para compreender os processos hidrológicos e a dinâmica do balanço hídrico em bacias hidrográficas. Dentre os inúmeros modelos existentes, tem-se o Soil and Water Assessment Tool (SWAT), caracterizado como um dos mais utilizados em todo o mundo, por ser robusto na base de dados e por permitir representar diferentes processos físicos em bacias hidrográficas (Neitsch et al., 2011).

A bacia em estudo apresenta relevância socioambiental e econômica para a região litorânea de Pernambuco, especialmente no município de Ipojuca, onde se destaca a intensa atividade turística em localidades como Porto de Galinhas (APAC, 2025; Galvêncio, 2021). Contudo, a escassez de dados hidrometeorológicos na região constitui um entrave significativo ao monitoramento e à gestão integrada dos recursos hídricos (Bandim & Galvêncio, 2021; Soares & Galvêncio, 2020).

Nesse contexto, o uso de modelos hidrológicos robustos, como o SWAT (Soil and Water Assessment Tool), torna-se uma estratégia essencial para a estimativa de processos hidrológicos e o suporte técnico à tomada de decisão. Além disso, os resultados obtidos neste estudo contribuirão diretamente para o Sistema de Unidade de Resposta Hidrológica de Pernambuco (SUPER), que atualmente funciona como uma ferramenta estratégica de apoio à gestão hídrica no Estado.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo visa analisar os resultados iniciais do balanço hídrico que foram simulados no SWAT que compõe o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos (GL3).

2. Material e métodos

Área de estudo

O A bacia hidrográfica GL3 está inserida no grupo de bacias de Pequenos Rios Litorâneos (GL's), integrado na Unidade de Planejamento Hídrico (UP16). A bacia está situada no litoral sul do Estado de Pernambuco, abrangendo as coordenadas geográficas entre 08° 25' 59" e 08° 34' 26" de latitude sul, e 34° 58' 02" e 35° 09' 41" de longitude oeste (Figura 1). Limita-se ao norte com a bacia do rio Ipojuca (UP3), ao sul com a bacia do rio Sirinhaém (UP4), a leste com o

Oceano Atlântico e, a oeste, com as bacias dos rios Ipojuca e Sirinhaém.

O grupo GL3 é composto por rios e riachos perenes, tendo em vista que o seu principal curso d'água é o rio Merepe, com uma extensão aproximada de 18 km. Na margem direita do rio Merepe, destacam-se aproximadamente os riachos Canoas, o rio Tapera e o rio Arimbi como os principais cursos d'água.

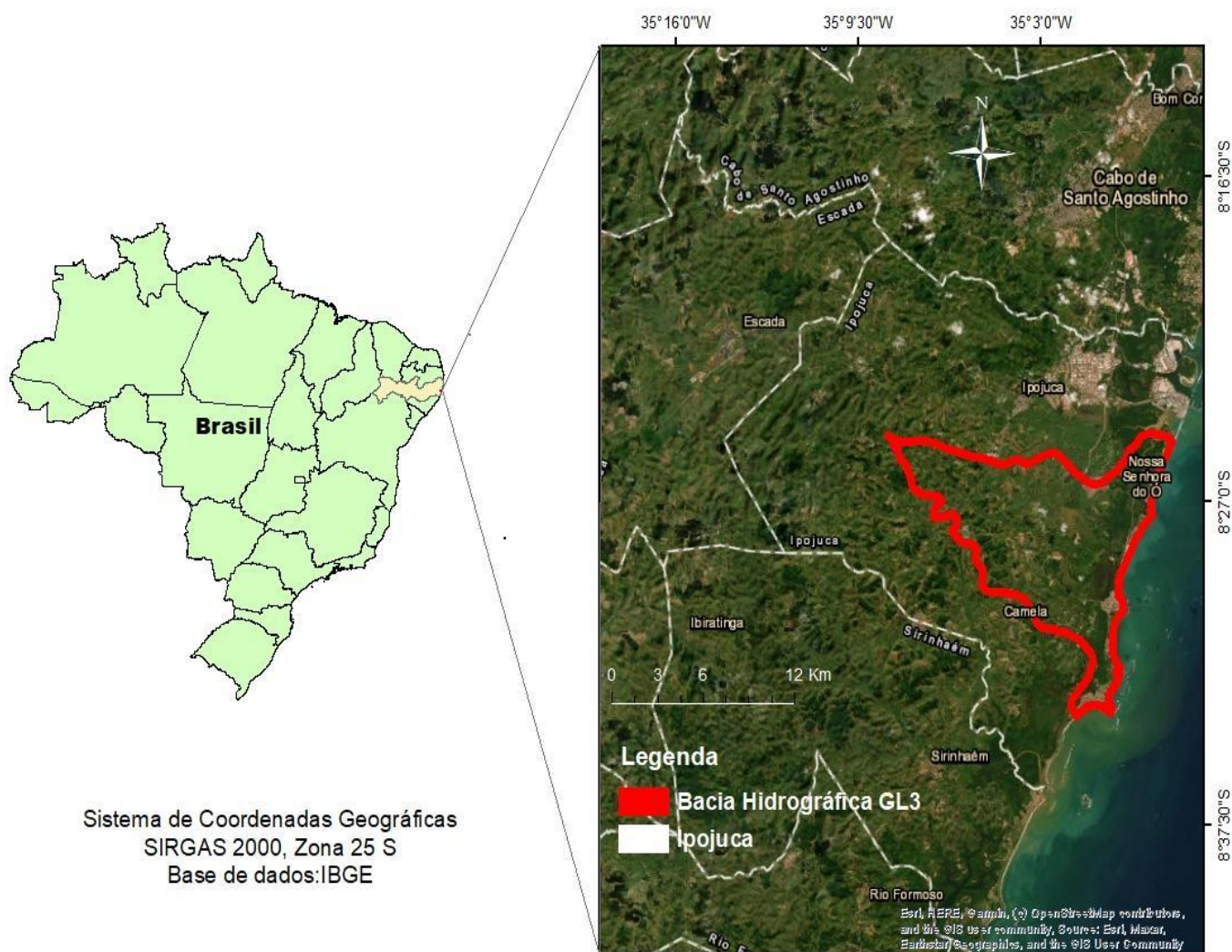


Figura 1 – Localização espacial da bacia hidrográfica GL3.

A bacia hidrográfica GL3 possui característica considerada de pequeno porte, pois corresponde ao tamanho de 128,91 km² e 0,13% da área total do estado de Pernambuco. De modo que a área de estudo viabiliza para a localização apenas do município de Ipojuca, que incluiu as praias de Cupe e Porto de Galinhas. (APAC, 2025). A GL3 se caracteriza por estar associada a áreas de importante relevância entre o turismo e o socioambiental, tendo

como ponto turístico Porto de Galinhas, que é uma zona de robusta pressão antrópica, além de ambientes costeiros, como manguezais e estuários. No entanto, apresenta uma problemática resultante de uma urbanização acelerada e intensa atividade turística.

Banco de Dados

Na modelagem inicial da bacia o SWAT necessita de três diferentes arquivos geoespaciais da

área de estudo, composto pelo modelo digital de elevação (MDE), mapa de tipos de solo e o mapa de uso e ocupação do solo. Além desses dados, são necessários dados tabulares referentes às condições climáticas da região de estudo (precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa).

O MDE utilizado possui resolução espacial de 90m e foi obtido pelo site do INPE Topodata (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>) (Figura 2). O MDE é utilizado para a delimitação automatizada da bacia, para gerar a rede de drenagem da área e dividir a bacia em sub-bacias de acordo com o relevo. O modelo digital de elevação também é utilizado para o cálculo de parâmetros de área, declividade média e elevação para cada sub-bacia.

O mapa de uso e ocupação do solo foi obtido por meio do MapBiomas, Coleção 10 de 2024 (<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>).

Para a área de estudo foram identificadas doze classes de uso e ocupação do solo. As classes são compostas por formação florestal, mangue, campo alagado ou área pantanosa, pastagem, cana-de-açúcar, mosaico de usos, praia, duna e areal, área urbanizada, outras áreas não

vegetadas, mineração, apicum (área de transição entre terra firme e manguezal), rio, lago e oceano (Figura 3).

O mapa de tipos de solos foi obtido a partir de dados fornecidos pela Embrapa – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (<https://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>). (Figura 4). Quatro tipos de solo compõem a bacia, são eles: Gleissolo, Latossolo Amarelo Distrófico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Neossolo Flúvico Distrófico. A maior parte da bacia é composta de Neossolo Quartzarênico Órtico.

Os dados climáticos, exigidos pelo modelo, foram obtidos de duas estações meteorológicas com códigos 29 e 241, da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) (www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php) e INMET (www.portal.inmet.gov.br).

Após tratados, os dados foram organizados em formato txt, formato exigido pelo modelo. A série de dados climáticos diários é referente ao período de 06 de julho de 1961 a 31 de agosto de 2020. Os dados dessas estações também foram utilizados para alimentar o gerador climático (WXGEN) o modelo, que utiliza médias mensais de diversas variáveis climáticas.

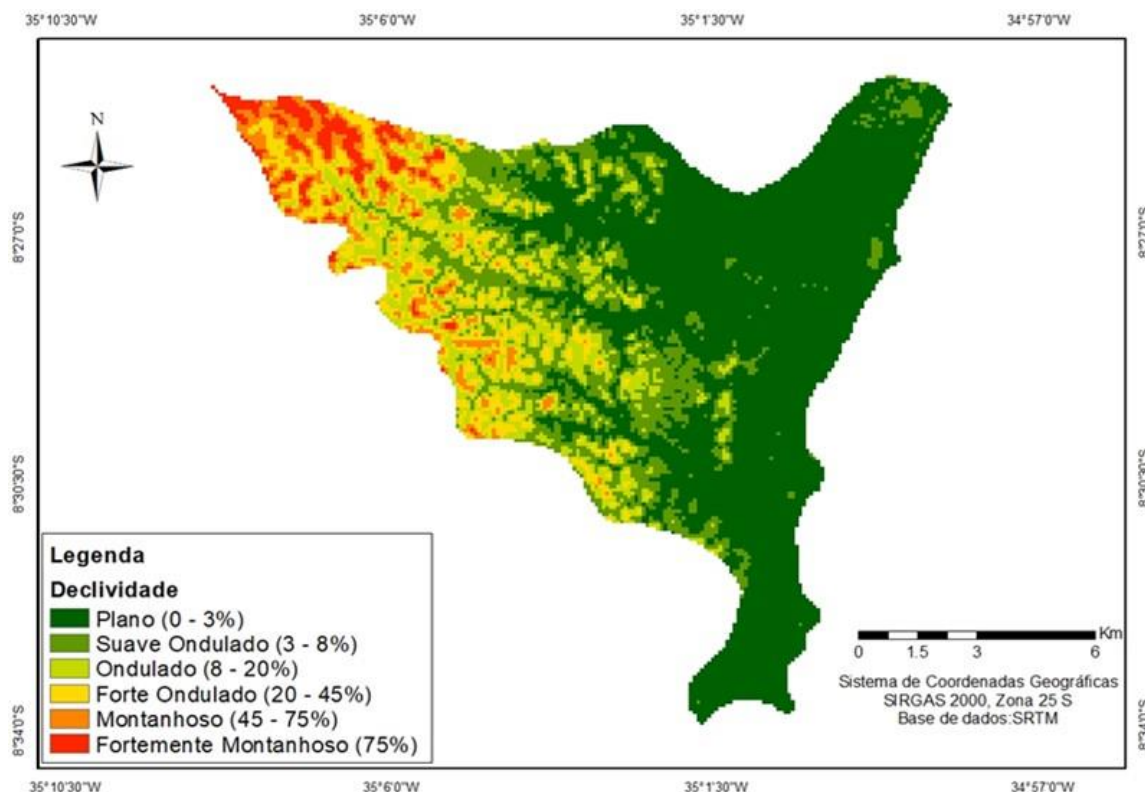


Figura 2 – Modelo Digital de Elevação da GL3 e os valores da declividade.

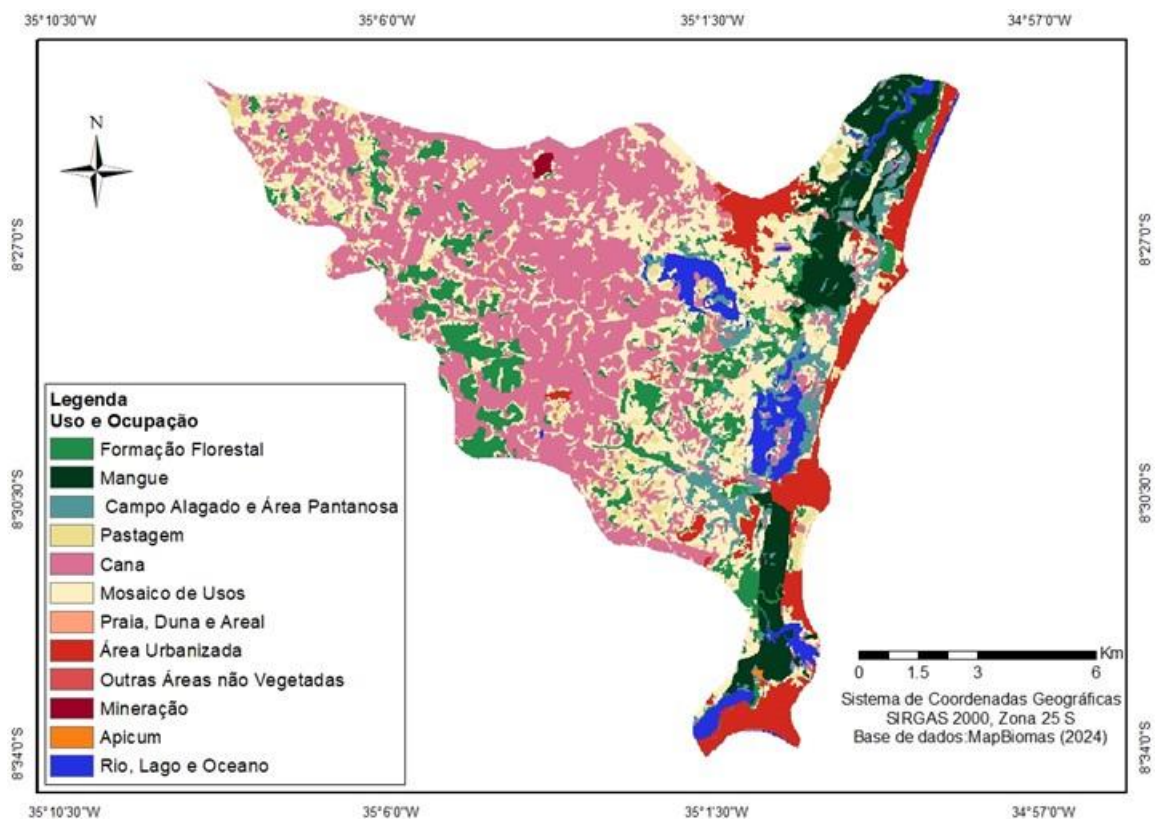


Figura 3 – Uso e Ocupação da Terra.

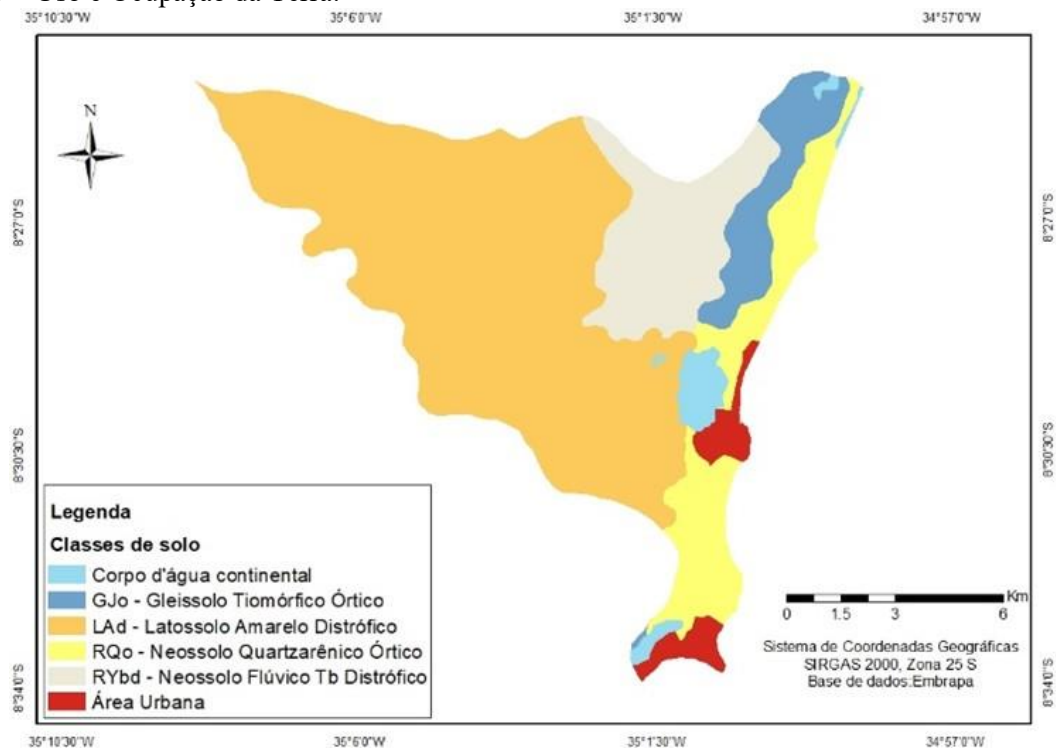


Figura 4 – Tipos de solo da GL3.

Modelo Soil and Water Assessment Tools (SWAT)

O modelo SWAT foi desenvolvido pelo Agricultural Research Service/United States Department of Agriculture (ARS/USDA) dos Estados Unidos. O balanço hídrico no solo no modelo foi obtido pelo modelo proposto por Arnold et al., 1998.

O escoamento superficial foi calculado usando o método da Curva Número (CN) do *Soil Conservation Service* (SCS) (Neitsch et al., 2011). A evapotranspiração potencial (ETP) pode ser calculada por três métodos, sendo eles: Penman-Monteith (Allen, 1986; Allen et al., 1998), Priestley & Taylor (Priestley/Taylor, 1972) e Hargreaves & Samani (Hargreaves et al., 1985). Para este estudo aplicou-se os métodos de Penman-Monteith, considerado o mais robusto, com maior quantidade de variáveis envolvidas na estimativa da evapotranspiração.

Resultado e Discussão

A Figura 5 apresenta a compartimentação hidrográfica da bacia em 60 sub-bacias (delimitação em vermelho) sobre um modelo hipsométrico classificado em cinco faixas de elevação (1–19; 19–40; 40–64; 64–92; 92–147 m), com a rede de drenagem principal e afluentes em azul. Por se tratar de uma bacia com trechos em nível próximo ao mar, o SWAT enfrentou limitações na discretização dos eixos norte e sul, onde a variação altimétrica é mínima.

O padrão espacial revela um forte gradiente topográfico do interior para o litoral: as maiores cotas ocorrem no setor oeste–centro-oeste, onde predominam as classes de 64–92 e 92–147 m (tons castanhos e lilás), e decrescem progressivamente rumo ao leste e nordeste, onde a planície costeira baixa (1–19 m, em verde) se torna dominante. Essa organização do relevo condiciona uma rede de drenagem essencialmente dendrítica, com cabeceiras situadas nos interflúvios mais elevados do centro-oeste (sub-bacias como 1, 3, 4, 5, 35 e 36) e confluências orientadas para leste/sudeste, descarregando em sub-bacias de menor cota próximas ao litoral (por exemplo, 38, 39, 40, 53–55, 58–60). Observa-se também, ao norte e ao extremo sudeste, grandes manchas contínuas de baixa elevação que configuram superfícies muito planas; nelas, o traçado

de canais é retilíneo a pouco definido, o que sugere pequena energia de relevo, baixa capacidade de entalhe e maior sensibilidade a variações do nível de base e a artefatos do MDE.

Em termos de morfometria espacial, as sub-bacias de montante, localizadas nas transições 40–64 e 64–92 m, tendem a apresentar interflúvios mais estreitos e maior densidade de drenagem, favorecendo respostas hidrológicas rápidas quando os solos são rasos ou pouco permeáveis; já as sub-bacias a jusante, instaladas sobre a planície de 1–19 m, funcionam como áreas de acumulação e dissipação de energia, com maior probabilidade de extravasamento, formação de áreas encharcadas e deposição de sedimentos finos. A distribuição numérica das sub-bacias indica um encadeamento hierárquico coerente com o gradiente hipsométrico: trechos de cabeceira no oeste e noroeste (1–8, 14, 18), corredores de transferência no centro (9–16, 24–33, 45–49) e zonas receptoras no leste e sudeste (20–23, 34, 37–41, 50–60).

Com apenas essa figura é possível sugerir implicações hidrológicas claras: (i) maior geração de escoamento superficial e picos de vazão nas encostas do centro-oeste, com transferência rápida para os canais troncais; (ii) tendência à concentração de cheias e alagamentos na planície litorânea, onde a baixa declividade reduz a capacidade de escoamento e aumenta o tempo de residência; (iii) possível desconexão ou intermitência de cursos d'água nas franjas norte e sul muito próximas do nível do mar, o que pode dificultar a discretização e a definição de direções de fluxo em modelos baseados em MDE; e (iv) necessidade de verificação de “burn-in” da hidrografia oficial e de inspeção de depressões espúrias nas áreas planas.

Nessas porções da bacia, a rede de drenagem é composta por pequenos cursos d'água, frequentemente desconectados da região central durante a interpretação do Modelo Digital de Elevação (MDE). Essa característica, associada à baixa altitude e à resolução do MDE utilizado, comprometeu a representação hidrológica dessas áreas, um comportamento comum em bacias de baixa declividade, como a GL3. Dessa forma, apenas o setor leste-oeste da bacia pôde ser adequadamente modelado, por concentrar a maior densidade de drenagem. Essa limitação é recorrente em

diversos estudos hidrológicos, que também não incluem pequenas bacias costeiras devido às mesmas restrições topográficas e de resolução dos dados disponíveis.

Após a sobreposição dos mapas de tipos e uso do solo e das informações de declividade, respeitando a área delimitada pelas subbacias, foram definidas as URHs. Esse processo resultou em 993 Unidades de Respostas Hidrológicas, com definição do nível de sensibilidade de 0%. O número de URHs geradas varia para cada subbacia. A Tabela 1 apresenta a quantidade de URHs geradas para cada sub-bacia, assim como a porcentagem de área ocupada por cada subbacia na GL3.

Na Tabela 1 observa-se que a sub-bacia 4 apresenta um maior número de URHs, assim como apresenta a maior área da bacia. Essa subbacia possui uma altitude que varia de 1 a 40m, no geral. Possui um tipo de solo (Latosolo amarelo distrófico) e basicamente três tipos de uso do solo (cana-de-açúcar, área urbana e mosaico de usos). Por outro lado, as subbacias 25, 44, 51 e 52 apresentaram um menor número de URHs, por terem uma área menor. Esses resultados sugerem as seguintes implicações sobre a modelagem SWAT e gestão em pequenas bacias com as características aqui analisadas. Para esse tipo de estudo é importante ajustar os limiares das HRU (mínimo de uso/solo/slope), reduzir densidades extremas em subbacias muito pequenas (p. ex., 11, 25, 52, 39, 57) para evitar fragmentação artificial e custos computacionais desnecessários. Possível merge de HRUs raríssimas (<1–3% da subbacia) conforme o objetivo do estudo (vazão, sedimentos, nutrientes). Necessidade de MDE com maior detalhe, por exemplo, o PE3D para áreas costeiras e planas. Recomenda para essas áreas é importante trabalho de campo para obter informações da área e incluir no modelo.

A Figura 6 representa o balanço hídrico médio anual simulado pelo modelo SWAT para a bacia em estudo, expressando os principais fluxos de entrada, saída e armazenamento no sistema solo–planta–atmosfera–aquífero. O total anual de precipitação é de 2.275,6 mm, que constitui a principal fonte de entrada de água no sistema. Parte significativa dessa precipitação é transformada em escoamento superficial (923,23 mm), o que representa cerca de 40,6% da

chuva total, evidenciando que a bacia possui alta capacidade de geração de escoamento direto, típica de áreas com solos de baixa infiltração e uso do solo mais impermeabilizado. O valor médio do número de curva ($CN = 82,13$) confirma essa tendência, indicando predominância de escoamento hortoniano e baixa retenção de água no solo.

A evapotranspiração real (583,8 mm) corresponde a aproximadamente 25,7% da precipitação, enquanto a evapotranspiração potencial (1.189,5 mm) é mais que o dobro, revelando que o sistema opera sob déficit hídrico, ou seja, a vegetação transpira menos do que poderia devido à limitação de água disponível na zona radicular. A baixa proporção de evapotranspiração em relação à precipitação sugere que o solo armazena pouca água, resultado de sua reduzida capacidade de campo e rápida drenagem superficial.

Em termos de fluxo subterrâneo, a percolação para o aquífero raso atinge 704,97 mm, indicando que parte considerável da precipitação infiltra além da zona radicular. Deste volume, 647,71 mm retornam à superfície como escoamento de base (baseflow), representando cerca de 40% da vazão total, o que caracteriza um regime parcialmente sustentado por fluxo subterrâneo. Há ainda uma revaporação (revap) de 21,48 mm da água subterrânea de volta para a zona radicular.

A vazão total gerada pela bacia (soma do escoamento superficial, fluxo lateral e baseflow) é de 1.607,94 mm, correspondendo a 71% da precipitação anual, valor elevado que confirma a rápida resposta hidrológica da bacia e a limitada capacidade de armazenamento hídrico. A relação entre baseflow e vazão total ($BFI \approx 0,40$) indica que, embora o escoamento superficial predomine, existe uma contribuição significativa do lençol freático para o regime de vazão, principalmente durante o período seco.

No conjunto, o balanço hídrico demonstra que a bacia apresenta um comportamento hidrológico de resposta rápida, com predominância do escoamento superficial e menor infiltração, o que pode aumentar o risco de inundações e erosão. Por outro lado, a evapotranspiração reduzida e a pequena recarga profunda apontam para baixa retenção e recarga

hídrica, o que pode agravar condições de estiagem. Assim, medidas de gestão integrada, como ampliação de áreas vegetadas, adoção de práticas de conservação do solo e incremento da infiltração (p. ex., pavimentos permeáveis, bacias de retenção e recuperação de matas ciliares), são essenciais para reduzir o escoamento superficial e aumentar a disponibilidade de água subterrânea.

De forma geral, a Figura 6. sintetiza um balanço em que a maior parte da precipitação é rapidamente transformada em escoamento, com evapotranspiração limitada e recarga restrita. Esse padrão é típico de bacias costeiras com alta urbanização, solos rasos e declividades suaves, e reforça a necessidade de intervenções que promovam maior infiltração e armazenamento no solo, de modo a

melhorar a resiliência hídrica do sistema.

Com base no padrão altimétrico e na localização litorânea da bacia, pode-se destacar que a bacia no contexto das mudanças climáticas, as simulações e observações recentes (ANA, 2024; Galvêncio et al., 2023; Soares & Galvêncio, 2020) indicam tendência de aumento da temperatura média e da irregularidade das chuvas, com eventos extremos mais frequentes, alternando períodos secos prolongados e chuvas intensas de curta duração. Esse padrão tende a ampliar a vulnerabilidade das zonas costeiras e de baixa altitude, justamente aquelas predominantes nas sub-bacias 38 a 60, por aumentarem o risco de alagamentos, salinização de aquíferos rasos e erosão costeira.

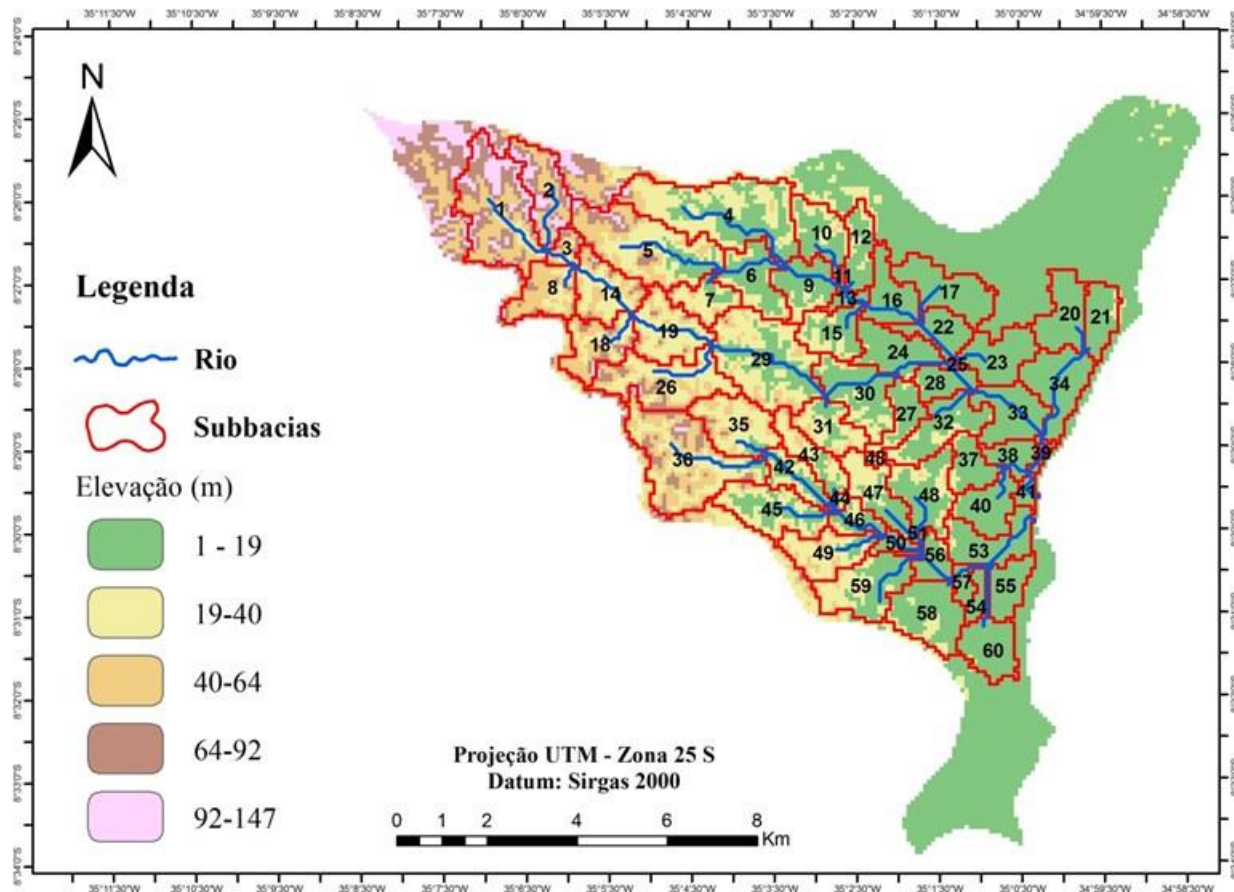


Figura 5. Elevação da área da Bacia do GL3 e as sub-bacias delimitadas pelo SWAT.

Tabela 1. Quantidade de URHs geradas em cada sub-bacia da Bacia GL3

Subbacias	HRUs	Área (%)	Subbacias	HRUs	Área (%)
1	32	4,36	31	14	1,52
2	29	2,09	32	19	2,05
3	16	0,56	33	17	1,91
4	33	5,28	34	17	2,23
5	29	4,45	35	19	2,23
6	15	1,91	36	24	4,77
7	12	1,22	37	19	1,17
8	27	1,70	38	10	0,82
9	11	1,58	39	8	0,25
10	16	1,68	40	12	1,54
11	6	0,09	41	8	0,33
12	13	1,24	42	11	1,18
13	6	0,34	43	12	1,35
14	29	2,01	44	3	0,11
15	14	1,53	45	15	2,41
16	13	1,51	46	14	0,77
17	19	2,19	47	9	1,68
18	22	1,84	48	20	2,30
19	30	2,27	49	18	1,81
20	18	1,75	50	11	0,40
21	10	1,18	51	3	0,10
22	15	1,24	52	4	0,07
23	21	1,81	53	27	1,84
24	18	1,84	54	13	0,45
25	2	0,03	55	12	1,14
26	21	3,15	56	16	0,79
27	15	1,14	57	15	0,47
28	15	0,97	58	31	2,32
29	23	4,48	59	22	2,48
30	24	2,35	60	16	1,72

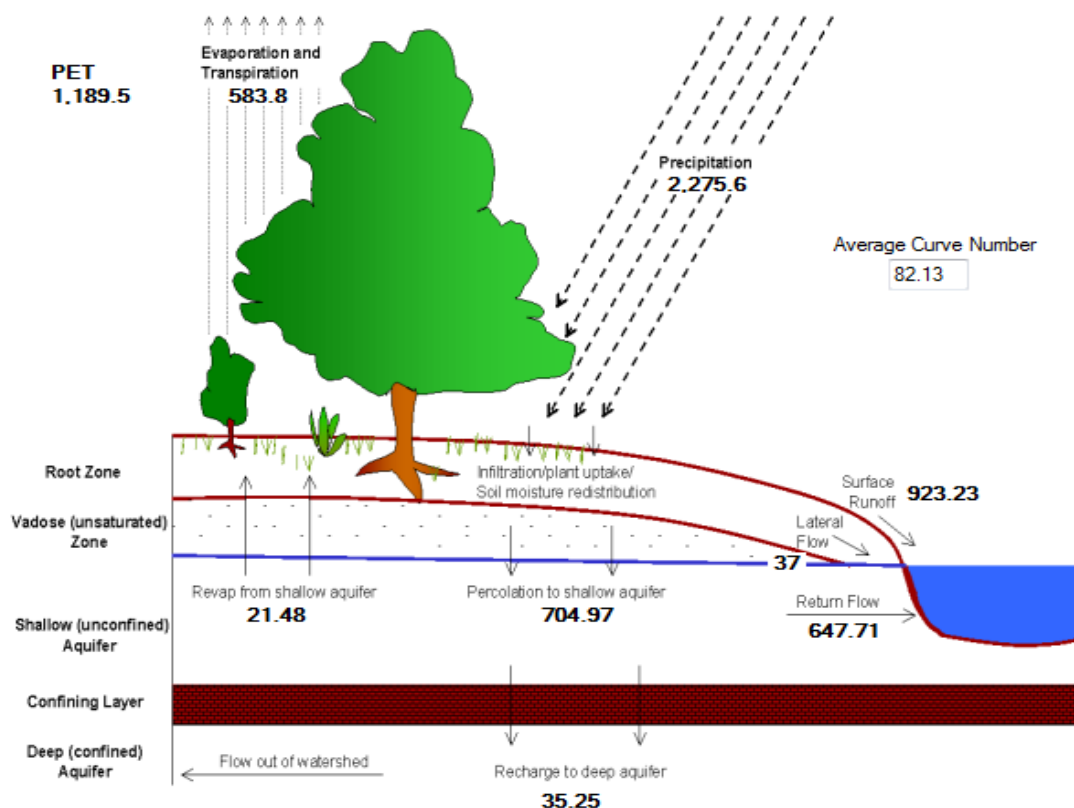


Figura 6 - Média do balanço hídrico da bacia GL3 entre 1961 e 2020.

A Tabela 2 mostra o a área ocupada por cada uso do solo na bacia após o processamento do modelo. É possível destacar que a maior área da bacia é composta por agricultura (38.39%) e cana-de-açúcar (36.71%), e as menores por solo exposto - Barren (0.19), pastagem – pasture (1.58%) e área urbana – Residential (2.08%).

Tabela 2: Área ocupada por cada uso do solo após a reclassificação do modelo e sua nomenclatura.

Uso da Terra	Sigla	Área [ha]	Área (%)
Forest-Mixed	FRST	924,2688	10,41
Pasture	PAST	140,5024	1,58
Sugarcane	SUGC	3260,332	36,71
Agricultural Land-Generic	AGRL	3409,299	38,39
Barren	BARR	16,9280	0,19
Water	WATR	417,2752	4,70
Residential	URBN	184,5152	2,08
Wetlands-Mixed	WETL	305,5504	3,44
Wetlands-Non-Forested	WETN	222,6032	2,51
Total da Bacia		8881,275	100,01*

Observa-se que os resultados mostram a predominância de atividades agrícolas na bacia. Nesse viés, os dois usos que ocupam a maior parte da bacia representam aproximadamente 75% da bacia. Os outros usos com mais destaques incluem a Floresta Mista (FRST), com 10,41% e a Água (WATR) com 4,70%.

O processo de delineamento automatizado da bacia por meio do MDE definiu a quantidade de sub-bacias na área de estudo, assim como as áreas ocupadas por cada uma delas, cujas informações são utilizadas para a geração das URHs. A área da maior sub-bacia definida pelo modelo não ultrapassou os 5km². Segundo Krysanova et al. (1998), cada área subdividida pelo modelo não deve ultrapassar 100 km², visto que áreas maiores do que esse valor podem sofrer efeitos de escala, ou seja, diferentes usos e tipos de solo, alterações atmosféricas, diferenças na rede de drenagem, resultando em processos hidrológicos com comportamento distintos.

A Unidade de Respostas Hidrológicas permitiu mostrar em cada sub-bacia todas as características de uso do solo, tipos de solo e declividade da região, pois foram mantidos o nível de 0% de sensibilidade, devido a baixa altitude da bacia. De acordo com Santos et al.

(2015), a indicação de zero 0% no nível de sensibilidade permite que todos os tipos de uso e ocupação e tipo de solo, bem como intervalos de declive, sejam considerados na criação das URHs. Castro (2013) obteve 628 URHs geradas pelo modelo SWAT na bacia experimental do alto rio Jardim, no Distrito Federal.

No que se refere ao balanço hídrico da bacia observou-se que a maior parte é infiltrada no solo e escoia superficialmente, e outra parte é evapotranspirada (ET_r). No entanto, percebe-se uma superestimativa da precipitação na área, mesmo sendo uma bacia localizada em região litorânea, onde há maior quantidade de chuva. Por isso, acredita-se seja necessário analisar as variáveis meteorológicas inseridas no modelo, sobretudo os valores de precipitação.

Conclusões

As estimativas obtidas para a GL3 com o SWAT são consideradas animadoras, uma vez que a bacia não possui informações da dinâmica hidrológica que ocorre nela, por ser uma bacia pequena e não instrumentalizada. Análises e estimativas mais ajustadas da GL3 e comparadas com dados observados da região poderão gerar resultados mais robustos que poderão nortear outros trabalhos futuros na bacia. Devido a qualidade do modelo digital de elevação e da dificuldade do modelo SWAT em representar áreas com altitude no nível do mar, as extremidades da bacia não foram modeladas, algo que pode ser trabalhado e discutido com o avanço das pesquisas na bacia.

A melhoria das informações e os ajustes quanto a discretização da bacia por causa do MDE serão analisados e ajustados para posterior aplicação da calibração, pois as informações geradas para essa bacia alimentarão a plataforma SUP_{er} (Sistema de Unidade de Resposta Hidrológica para Pernambuco), que é uma ferramenta de auxílio a gestão de bacias do Estado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq pelo auxílio financeiro do processo CNPQ/MCTI/FNDCT Nº 59/2022 pela concessão das bolsas, através do processo, 05853/2022-0, da primeira autora. A FACEPE através do projeto/processo APQ-0044-3.07/24. À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO), por disponibilizar toda a estrutura técnica e organizacional necessária para o desenvolvimento da pesquisa. A equipe do projeto

também participa do INCT de Segurança hídrica, financiado pelo CNPq, na qual agradecemos pelo apoio.

6. Referências

- Allen, R. G. (1986). "A Penman for all seasons. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.12, pp.348-368.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. & Smith, M. (1998). "Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements". Rome, FAO. 301 p.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2024). *Impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil: resumo executivo*. Brasília: ANA. Disponível em https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-lanca-estudo-sobre-impactos-da-mudanca-climatica-nos-recursos-hidricos-das-diferentes-regioes-do-brasil/resumo-executivo_26012024.pdf
- Arnold, J. G. Et Al. Large Area Hydrologic Modeling And Assessment Part I: Model Development1. *Jawra Journal Of The American Water Resources Association*, [S.L.], V. 34, N. 1, P. 73-89, Fev. 1998. Wiley. [Http://Dx.Doi.Org/10.1111/J.1752-1688.1998.Tb05961.X](http://Dx.Doi.Org/10.1111/J.1752-1688.1998.Tb05961.X).
- Arnold, J. G.; Moriasi, D. N.; Gassman, P. W.; Abbaspour, K. C.; White, M. J.; Srinivasan, R. et al. SWAT: Model use calibration and validation. *Transactions of ASABE*, v. 55, n. 4, p. 1494-1508, 2012.
- Aragão, Ricardo et al. Modelagem do escoamento na sub-bacia do rio Japarutuba-Mirim (SE) através do modelo SWAT. 2012.
- APAC Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-gl-3/186-bacias-hidrograficas-gl-3/224-gl-3>. Acesso em: 02 de setembro de 2025.
- Bandim, C. G. de A., & Galvêncio, J. D. (2021). Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: Estudo de caso avenida Caxangá. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 14(1), 058–067.

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p058-067>.

Brighenti, Tássia Mattos et al. Análise de sensibilidade como primeiro passo para modelagem hidrológica: Estudo de caso do o modelo SWAT. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017). Anais [recurso eletrônico]. [Porto Alegre: ABRH, 2017], 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). SRTM – Portal Embrapa: Brasil em Relevo – Pernambuco. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/pe/pe.htm>. Acesso em: 08 agosto. 2025.

EMBRAPA. Sistema de Informação de Solos Brasileiros. Disponível em: <https://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 12 agosto. 2025.

Galvêncio, J. D. (2021). Impacto do aumento de CO₂ nas Precipitações do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 14(3), 1828–1839. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1828-1839>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Malhas territoriais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 6 set. 2025.

Liu, J.F.; Chen, S.P.; Han, X.G. Modeling gross primary production of two steppes in Northern China using MODIS time series and climate data. *Procedia Environmental Sciences*, [s. l.], v. 13, p. 742–754, 2012.

MAPBIOMAS BRASIL. Coleções MapBiomass. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 6 set. 2025.

Medeiros, Waneska Maria Vasconcelos; SILVA, Carlos Ernando da; LINS, Ruceline Paiva Melo. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 13, n. 2, p. e2054, 2018.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Williams, J. R., 2005.

Soil and water assessment tool. Input/output file documentation: Version 2005. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Temple.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams Grassland, J. R., Soil And Water Research Laboratory. (2011). “Soil and Water Assessment Tool theoretical Documentation Version 2009”. Agricultural Research Service Blackland Research Center – Texas Agrilife Research. Texas A&M University System.

Santos, Cloves VB et al. Uso de sensoriamento remoto na análise da temperatura da superfície em áreas de floresta tropical sazonalmente seca. 2020.

Soares, Gabriel Antonio Silva et al. Análise do balanço hídrico da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, Serra Talhada, Pernambuco. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 5, n. 2, 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14613167>

Silva, J. N. B. da, Galvêncio, J. D., Miranda, R. de Q., & Moura, M. S. B. de. (2024B). Estimativa Temporal E Espacial Do Desempenho Dos Modelos De Regressão Calibrados Para Os Fluxos De Carbono Em Área De Floresta Tropical Sazonalmente Seca De Caatinga. *Revista Da Casa Da Geografia De Sobral (RCGS)*, 26(1), 183–206. <https://doi.org/10.35701/rcgs.v26.975>

Silveira, N., Tibúrcio, I., Soares, G., Galvêncio, J., Santos, D., & Montenegro, S. (2023). Temporal Analysis of Water Quality for the Nilo Coelho Reservoir, Terra Nova, Pernambuco, Brazil. *Water*, 15(16), 2899.

SONG, X., ZHANG, J., ZHAN, C., XUAN, Y., YE, M. & XU, C. (2015) Global sensitivity analysis in hydrological modeling: Review of concepts, methods, theoretical framework, and applications. *J. Hydrol.* 523(225), pp. 739–757.

Wang, J., Li, X., Lu, L. & Fang, F. (2013) Parameter sensitivity analysis of crop growth models based on the extended Fourier Amplitude Sensitivity Test method. *Environ. Model. Softw.* 48, pp. 171–182.

Tiburcio, Igor Maciel et al. Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: aplicabilidade do Sistema de Unidades de

Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER). Revista Brasileira de Geografia Física, v. 16, n. 3, p. 1657-1670, 2023.

Uagoda, Rogério Elias Soares. Análise da predição do balanço hídrico da bacia do ribeirão do Gama-DF através do modelo SWAT. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, n. 03, p. 880-893, 2017.