



Caracterização hidrológica de uma sub - bacia hidrográfica do Rio Piranhas - Açú

Julho/2023

Bruno Wendel Pereira Silva¹, Gilberto Coelho², Karine Maciel de Carvalho³

Resumo

Este trabalho possui o intuito de estudar e analisar fisiograficamente e hidrológicamente uma sub – bacia do rio Piranhas – Açú, localizada no município de Jardim de Piranhas, Rio Grande do Norte. foram utilizados 5 (cinco) Modelos Digitais de Elevação (MDE) com resolução espacial de 12,5m gerados pelo sensor Alos PALSAR e os mesmos foram processados pelo software ArcGIS Pro da ESRI. O resultado foi uma bacia de 6º ordem que foi delimitada, possuindo uma área de 69,36 km² e um perímetro de 59,13 km. A precipitação média nesta bacia foi obtida por dois métodos diferentes, sendo o mais eficiente utilizando mapas interpolados do Worldclim e resultou em uma precipitação anual média de 758,5mm; porém, o método de Polígonos de Thiessen, em que a precipitação anual média resultante foi de 723,8mm, demonstrou ser mais confiável, por apresentar um banco de dados mais recentes de estações pluviométricas cadastradas no SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos) da Agência Nacional de Águas (ANA), e pela resolução baixa dos mapas do worldclim. Já o software SisCAH 1.0 foi capaz de gerar resultados confiáveis para as vazões mínimas de referência da região, em que $Q_{7,10} = 0,49\text{m}^3/\text{s}$; $Q_{90} = 2,39\text{m}^3/\text{s}$ e $Q_{95} = 1,74\text{m}^3/\text{s}$.

Palavras – Chave: Recursos Hídricos; Modelos Digitais de Elevação; Geoprocessamento; Precipitação; Vazões Mínimas.

1 – Discente do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras (UFLA);
2 – Dr. Do departamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras (UFLA);
3 – Engenheira Agrícola formada na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

1. Introdução

Os índices hidrológicos de sustentabilidade ambiental, juntamente com índices geomorfológicos de uma bacia hidrográfica, podem ser muito importantes para determinar o manejo do uso da água. A delimitação de bacias hidrográficas, bem como a análise de dados registrados em estações de medições fluviométricas e pluviométricas, permite a geração de informações importantes para condicionar o uso ambientalmente correto, das águas dos rios e drenos que a compõem, sendo assim, um pilar central de gestão de recursos hídricos.

De acordo com Azevedo *et al.* (2020), técnicas de geoprocessamento se tornaram uma ferramenta muito utilizada para realizar análises do comportamento morfométrico de uma bacia, e estas podem gerar informações de bacias pouco estudadas.

Atualmente, é possível fazer a caracterização física de uma bacia hidrográfica derivando atributos topográficos primários e secundários através do processamento de dados altimétricos (modelos digitais de elevação - MDE). Os MDEs são representações digitais do terreno na forma de células onde cada uma delas possui informação sobre a elevação do local (KOEENDER, 2015). O uso de MDEs nas últimas décadas está possibilitando uma melhor simulação do fluxo de água e uma maior precisão na delimitação de bacias e sub-bacias de drenagem (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Segundo Chaves (2002), Modelos Digitais de Elevação podem representar digitalmente o comportamento do fluxo de água em uma bacia.

A delimitação de uma bacia hidrográfica, bem como a classificação de sua ordem, determinação da área de drenagem, a determinação do comprimento do curso d'água principal, aliados a dados altimétricos da mesma, possibilitam o cálculo de variáveis que caracterizam fisiograficamente tal região de estudo, como área, perímetro da bacia hidrográfica, declividade e rede de drenagem. Com essas informações, é possível gerar índices que relacionam o formato da área, com a propensão de ocorrência de enchentes

De acordo com Amorim *et al.* (2020) os indicadores hidrológicos regionais, como por exemplo $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} e vazão média de longo termo podem ser parâmetros essenciais para a realização a outorga do uso da água. Esses indicadores podem ser obtidos a partir da curva de permanência do curso d'água em estudo. A curva de permanência é um importante parâmetro fluviométrico, e consiste na relação entre a magnitude e a frequência de vazões para um intervalo de tempo, em uma bacia hidrográfica onde se observa a estimativa da percentagem de tempo em que uma dada vazão é igualada ou excedida em um período histórico (ALÉSIO *et al.*, 2015).

A vazão de referência estabelece um valor de vazão limite de captação da água de mananciais. É com base neste valor que são implementados os sistemas de outorga (RIBEIRO, 2000; CÂMARA, 2003).

O município de Jardim de Piranhas, no estado do Rio Grande do Norte, possui sua área urbana às margens do rio Piranhas, e possui estações pluviométricas e fluviométricas que coletam dados essenciais para se realizar um estudo hidrológico. O objetivo deste trabalho, é de caracterizar fisiograficamente, bem como a pluviosidade média e as vazões de referência uma sub-bacia hidrográfica que contemple esta região que sofre com déficit hídrico e estiagens. Com os parâmetros fisiográficos e hidrológicos definidos, pode-se realizar um gerenciamento melhor e mais sustentável do uso da água, na área em análise.

2. Metodologia

A área de estudo corresponde à uma Sub - Bacia Hidrográfica do rio Piranhas – Açú, rio este que, Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESPA) se encontra completamente dentro do semiárido nordestino, e deságua na costa atlântica da costa marítima potiguar. A área urbana o município de Jardim de Piranhas (RN) nas coordenadas geográficas 6° 22' 44" Sul e 37° 21' 3" Oeste, que possui duas estações pluviométricas e uma estação fluviométrica com dados mais consistentes cadastradas no SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos) da Agência Nacional de Águas (ANA), e, além das estações localizadas na sede do município, foram selecionadas mais duas estações pluviométricas nas proximidades, para se realizar um estudo hidrológico da região do município, que está localizada em clima semiárido quente, BSh segundo a Classificação Climática de Köppen (Köppen, 1936), em que as chuvas são escassas e irregulares, variando de 250 a 750 mm por anos, geralmente distribuídas de novembro à abril.

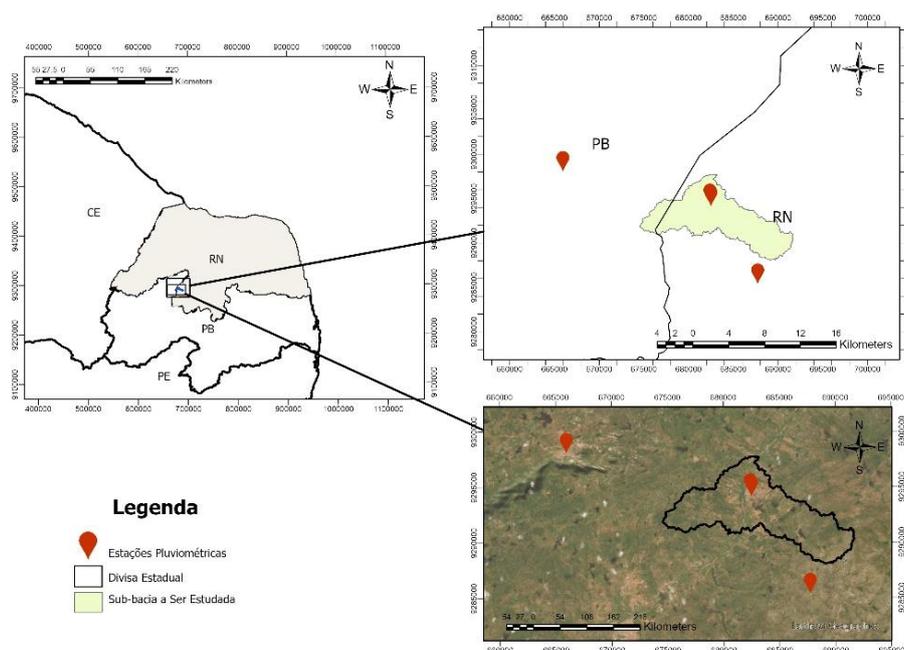


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo selecionada (região urbana do município Jardim de Piranhas – RN). O sistema de projeção em que este mapa se encontra é WGS 1984 UTM Zone 24S.

Tabela 1. Estações pluviométricas selecionadas no SNIRH, com suas respectivas coordenadas, e duração da série histórica.

Estação	Código	Série Histórica	Latitude	Longitude
Jardim de Piranhas I	637019	1962 - 1983	-6,38	-37,35
Jardim de Piranhas II	637072	1994 - 2018	-6,38	-37,35
Açude Lagoinha	637010	1993 - 2022	-6,46	-37,30
Brejo do Cruz	637023	1962 - 1983	-6,35	-37,50

Para realizar as operações de geoprocessamento, foi utilizado o software ArcGISPro versão de teste gratuito, da ESRI. Foram utilizados 5 Modelos Digitais de Elevação (MDE's) gerados pelo sensor Alos PALSAR, com resolução espacial de 12,5m obtidos por meio da plataforma ASF Data Search da Earth Data (<https://search.asf.alaska.edu/>).

Após a obtenção dos arquivos, os mesmos foram importados para o ArcGISPro, onde por meio da função *mosaic to new raster*, foi realizado um mosaico, onde houve a convergência das cinco cenas em uma única imagem.

Utilizando então o mosaico gerado, foi realizado a correção do mesmo, eliminando as células em que não possuíam valores (*no data*) por meio de uma álgebra de mapas. E após isso, foram corrigidas as depressões espúrias que restaram no MDE por meio da função *fill*.

Realizado o pré-processamento dos MDE's, foi utilizado o mosaico corrigido, para se gerar um mapa de direção de fluxo, por meio da função *Flow Direction*, configurada para realizar o processamento pelo método D8, em que cada célula do MDE possui 8 vizinhas e a água vai escorrer para a direção daquela célula que possuir maior diferença de elevação em relação a célula de referência (modelo gravitacional). Depois, foi gerado o mapa de acúmulo de fluxo pela função *Flow Accumulation*.

Para a hidrografia, utilizou-se uma área de acúmulo de 10 ha (640 pixels) e para a hierarquização da rede de drenagem, seguiu-se a metodologia proposta por HORTON (1945) e modificada por STRAHLER (1957).

Utilizando álgebra de mapas, que definia o ponto de foz de todos os drenos de ordem 6, e em seguida, uma nova álgebra de mapas foi realizada para individualizar uma sub – bacia hidrográfica que abrangia somente a área em estudo, e a partir dessa individualização, transformamos essa área delimitada em um arquivo vetorial por meio da função *Raster to Polygon*.

Após a individualização da bacia inicia-se os processamentos de análise da mesma. Os dados contidos nos atributos do vetor podem conter informações como área (Km²), perímetro (km) e comprimento axial (Km); variáveis que são utilizadas para realizar algumas caracterizações importantes da bacia por meio de índices: Coeficiente de compacidade e fator de forma, que são calculados a partir de expressões e conceitos propostos por Villela & Mattos (1975).

$$K_C = \sqrt{0,28} \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Equação 1: Coeficiente de Compacidade.

Sendo que:

- P = Perímetro da bacia hidrográfica (Km);
- A = Área da bacia hidrográfica (Km²).

Em que, segundo Chaves (2002), quanto mais próximo o valor de K_C for de 1,0, mais propensa à ocorrência de enchentes essa bacia hidrográfica será.

$$K_F = \frac{A}{L^2}$$

Equação 2: Fator de forma.

No qual:

- A = Área da bacia hidrográfica (Km²);

- L = Comprimento axial da bacia (Km).

Quanto maior o valor do Fator de Forma, mais circular é a bacia, e mais propensa a mesma tem para a ocorrência de enchentes.

Utilizando a função *slope*, foi gerado o mapa de declividade da bacia. Os dados obtidos foram classificados em intervalos definidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos solos, realizado por Santos et al. (2018) pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em que cada intervalo em porcentagem representa uma fase de relevo segundo a tabela 1.

Tabela 2. Classificação das fases de relevo de acordo com a declividade do terreno em porcentagem, determinada pela EMBRAPA (2018).

Declividade (%)	Fases de Relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave Ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte Ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Em seguida, foi realizado o recorte da hidrografia do MDE sobre o formato da bacia, e em seguida, foi possível ordenar os drenos novamente, porém somente dentro da bacia. As funções utilizadas aqui foram as mesmas utilizadas anteriormente (*Extract by mask e Stream Order*).

Para estudar a precipitação média da bacia, foram escolhidos dois métodos. Um por polígonos de Thiessen, utilizando os dados obtidos das estações pluviométricas disponíveis no SNIRH e verificando a área de influência de cada estação sobre a bacia. Com esses dados, aplica-se a seguinte equação:

$$P = \frac{\sum I A_i \times P_i}{A}$$

Equação 3: Precipitação média na bacia hidrográfica.

Em que:

- A_i = Área de influência da estação fluviométrica sobre a bacia hidrográfica;
- P_i = Precipitação anual média da estação fluviométrica estudada;
- A = Área total da bacia hidrográfica (somatório de todas as áreas de influência A_i).

Tabela 2. Estações pluviométricas selecionadas no SNIRH, com suas respectivas coordenadas, e duração da série histórica.

Estação	Código	Série Histórica	Latitude	Longitude
Jardim de Piranhas I	637019	1962 - 1983	-6,38	-37,35
Jardim de Piranhas II	637072	1994 - 2018	-6,38	-37,35
Açude Lagoinha	637010	1993 - 2022	-6,46	-37,30
Brejo do Cruz	637023	1962 - 1983	-6,35	-37,50

A área de influência de cada estação pluviométrica na bacia hidrográfica foi obtida por meio da metodologia dos polígonos de Thiessen, sendo que tal metodologia encontra-se disponível no pacote de ferramentas para análise espacial do ArcGisPro.

Um outro método utilizado para calcular a precipitação média na bacia foram arquivos raster obtidos pelo WorldClim, que já são interpolados. Os dados escolhidos foram da versão 2.0, e é uma série de dados obtidos de 1970 a 2000 (30 anos), em que cada célula possui 1,0 Km² e o valor de precipitação mensal total média desses 30 anos. Por meio de uma álgebra de mapas, é gerado um arquivo que contém o valor de precipitação total anual média ao longo de toda bacia.

Para a obtenção das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{95}), foi utilizado o software SisCAH versão 1.0 (Sistema Computacional para Análise Hidrológica), que foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), e é de livre utilização.

Os dados inseridos no software foram os dados de vazão da estação fluviométrica de código 3747000 e nome Jardim de Piranhas, com dados de vazão que vão de 1973 a 2014. Estes dados foram pré-processados dentro do próprio SisCAH, em que foram desconsiderados os anos com mais de 5% de falhas e com início do ano hidrológico no mês de outubro. Com os dados pré-processados, foi selecionado o ícone de nome *Mínimas*, onde ajustamos o tempo de duração para 7 dias.

Após isso, selecionou-se o ícone de nome *Análise Estatística* que realiza as operações para calcular as vazões mínimas do corpo hídrico. Ajustando o período de retorno para 10 anos, o software calcula o valor de $Q_{7,10}$ já indicando qual foi a distribuição de probabilidade que melhor se aplicou.

No SisCAH também foi selecionado o ícone de nome *Permanência*, que quando realizado, o software processa os dados e realiza operações para plotar uma curva de permanência. Por meio desta curva de permanência, foi possível visualizar resultados para as

vazões Q_{90} e Q_{95} , vazões estas que são parâmetros importantes para processos de outorga do uso de recursos hídricos.

3. Resultados e discussão

A partir dos processamentos dos MDE obtidos pelo sensor Alos Palsar foi delimitada uma sub-bacia hidrográfica de 6º ordem do rio Piranhas, que, segundo os dados gerados, possui uma área de 69,36 km² e um perímetro de 59,13 km; e apresentou dados de altimetria que variam de 116 a 248 metros de altitude acima do nível do mar, como podemos ver na figura 2. Segundo os dados estatísticos do raster, a altitude média da bacia é de 146,07 metros acima do nível do mar.

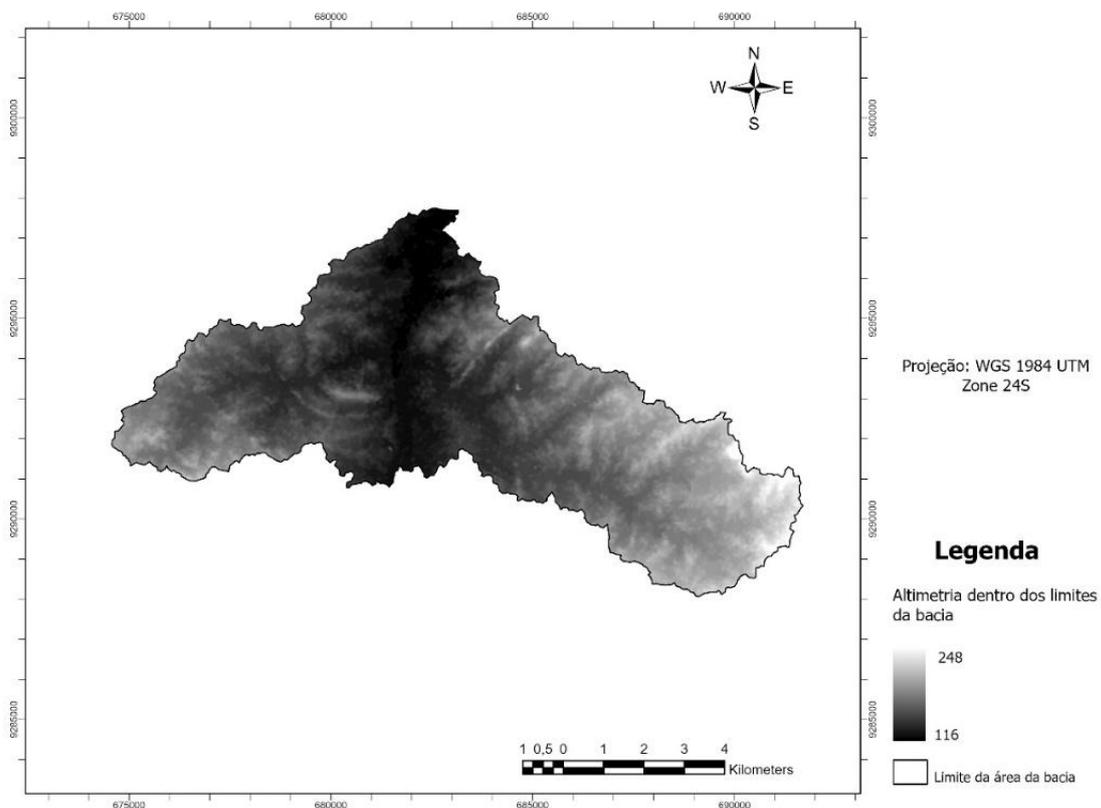


Figura 2: Modelo Digital de Elevação da sub – bacia individualizada.

Com os dados obtidos de área e perímetro da bacia, bem como o comprimento axial da bacia, foi possível obter um valor de $K_c = 1,98$ caracterizando uma bacia com baixa propensão à ocorrência de enchentes; e um valor de $K_f = 1,26$, que demonstra ser uma bacia hidrográfica de formato alongado, entretanto, seu alongamento não ocorre no sentido do curso d'água principal.

Já as estatísticas dos dados obtidos pelo mapa de declividade da bacia, mostram que a declividade máxima atingida na área é de 66,48%, o que caracteriza uma zona de relevo montanhoso de acordo com a classificação da EMBRAPA; entretanto, a declividade média em toda área da bacia possui valor de 5,38%, caracterizando o relevo da bacia como suave-ondulado (figura 3).

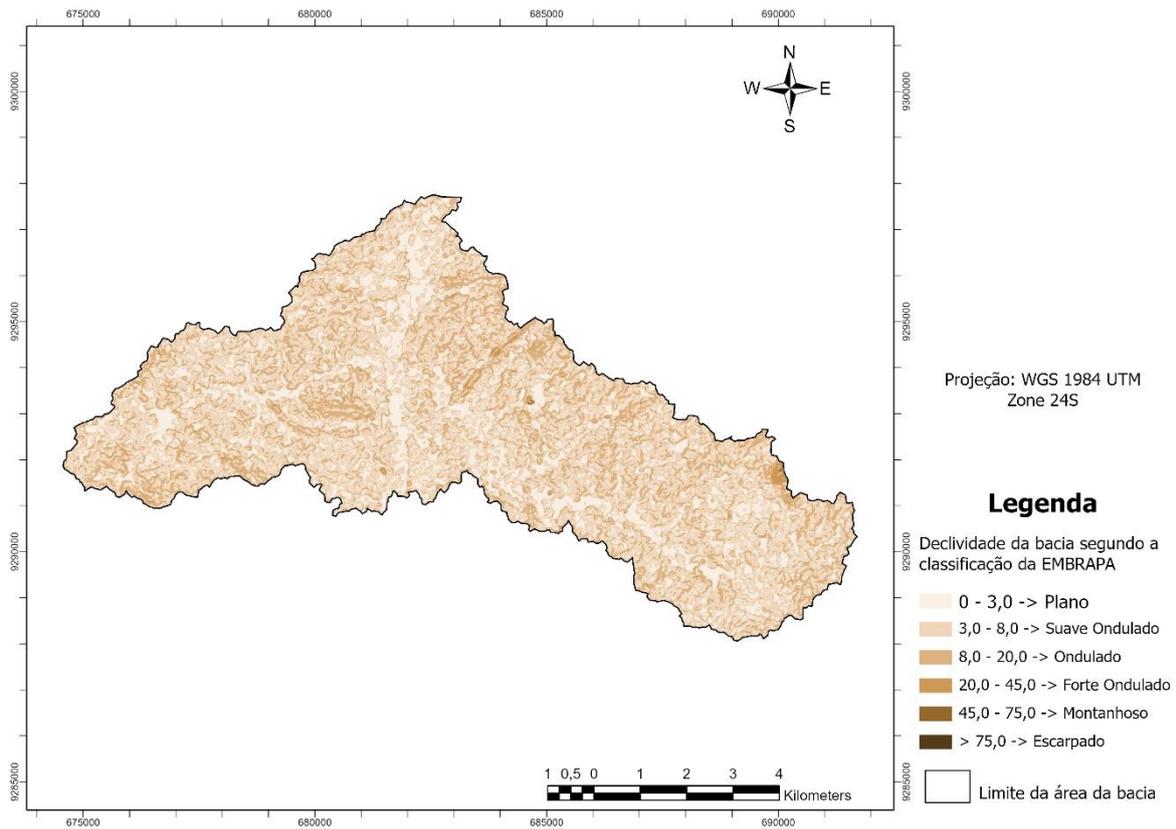


Figura 3: Mapa de declividade da bacia hidrográfica de acordo com a classificação da EMBRAPA (2018).

Pelo mapa da hidrografia ordenada pelo método de Strahler (1957). Nota-se que o próprio rio Piranhas, assume a maior ordem nas proximidades da foz desta bacia, destacando-se como o curso d'água principal da área. É possível notar que o rio possui seu curso no sentido setentrional, e não no sentido longitudinal (sentido no o alongamento no formato da bacia ocorre).

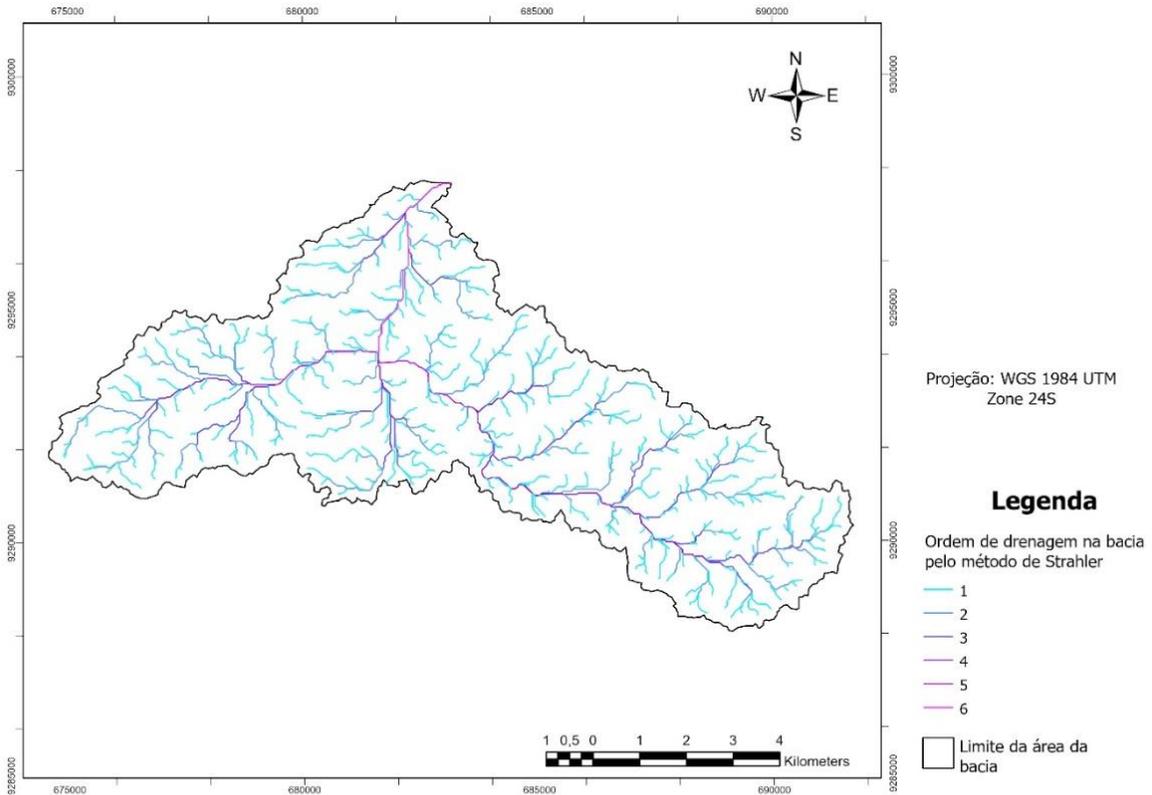


Figura 4: mapa de drenagem da bacia hidrográfica de acordo com a classificação de Strahler (1957).

Das quatro estações pluviométricas selecionadas para realizar o estudo da precipitação média na bacia por meio de Polígonos de Thiessen, somente Três demonstraram possuir área de influência dentro da bacia, como podemos ver no mapa da bacia (figura 5).

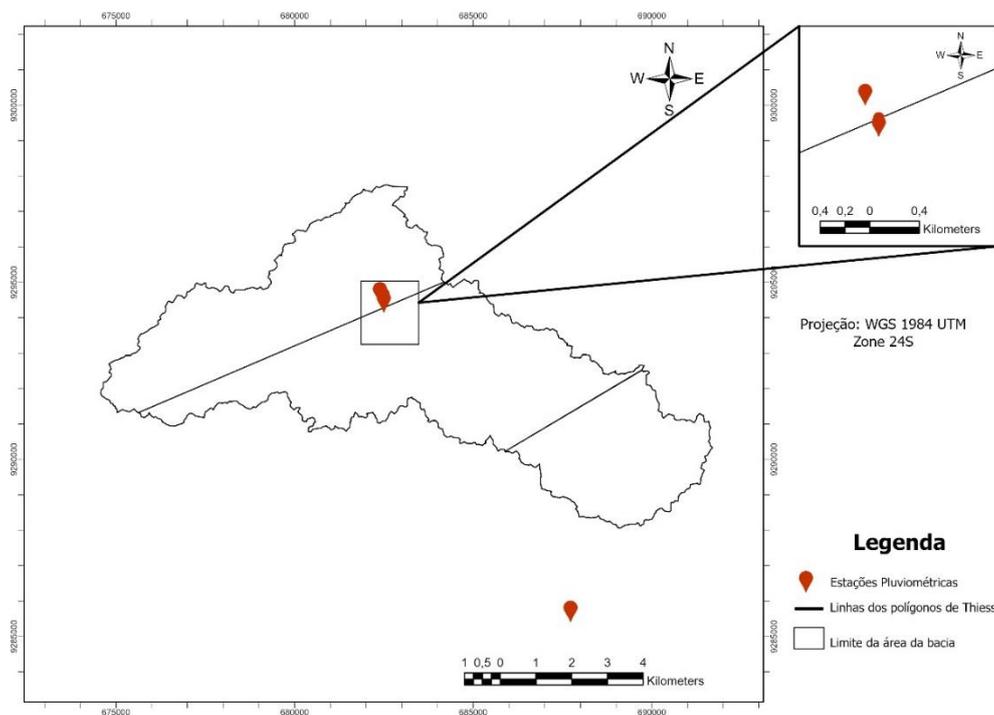


Figura 5: área de influência de três estações pluviométricas sobre a bacia. Detalhe no canto superior direito da imagem, para a proximidade entre duas das estações.

Os resultados gerados nas operações, atribuíram as áreas de influência dessas três estações na bacia hidrográfica, como mostra a tabela abaixo:

Tabela 3. Estações que demonstraram ter área influência na bacia hidrográfica, com suas respectivas precipitações anuais médias.

Estação	Código	Área de influência (Km ²)	Precipitação anual média (mm)
Jardim de Piranhas I	637019	30,49	751,1
Jardim de Piranhas II	637072	24,43	714,4
Açude Lagoinha	637010	14,44	681,9

Com a aplicação dos dados da tabela 03 na equação 03, o resultado de precipitação média na bacia, foi de 723,8mm por ano.

Enquanto na utilização de dados do Worldclim, gerou um arquivo raster que varia de 781mm nos locais que chovem mais, e 733mm nos locais que chovem menos, dentro da área da bacia. Os dados numéricos do raster gerou um valor de precipitação média na bacia de 758,5mm por ano (figura 6).

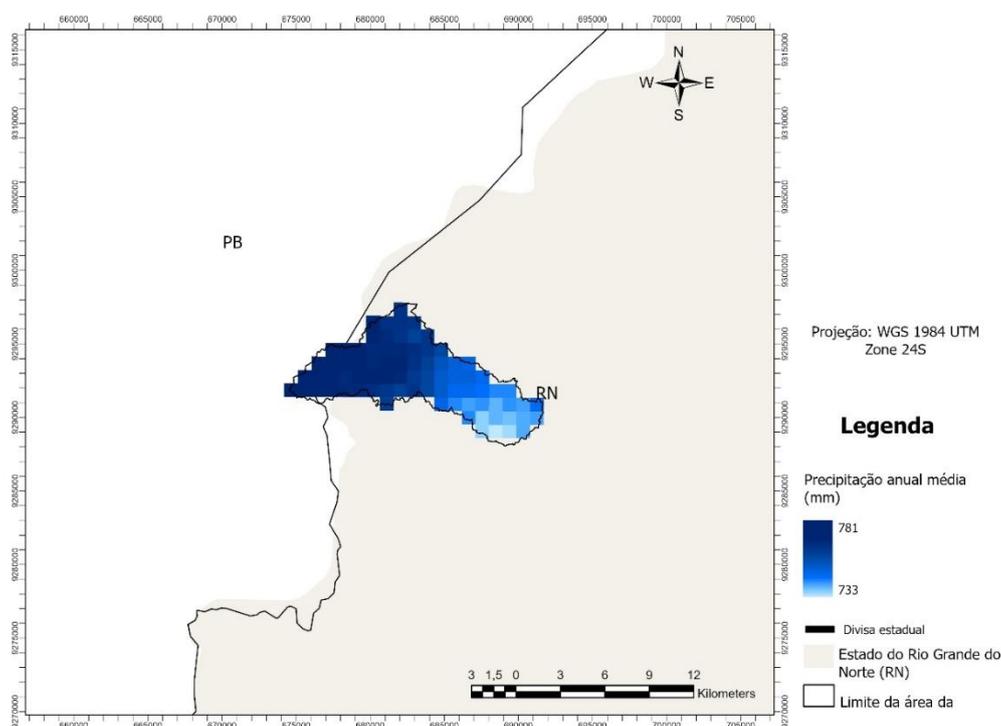


Figura 6: Mapa interpolado de precipitação anual média gerado pelos dados do Worldclim.

Já com os dados de vazão obtidos da estação fluviométrica em estudo que foram importados e pré - processados pelo SisCAH versão 1.0, e suas operações geraram um resultado para $Q_{7,10} = 0,49 \text{ m}^3/\text{s}$, em que a distribuição mais adequada foi a distribuição Logpearson 3. Nota-se que esta vazão mínima de referência para esta região possui valor menor, comparado com outros rios de domínio federal e rios de regiões mais chuvosas.

	Distribuição	Nº de eventos	Interv. conf. sup. (95%)	Evento (m^3/s)
	Weibull	39	1,02	0,27
	Pearson 3	39	1,11	0,34
▶	Logpearson 3	39	0,69	0,49
	Lognormal 2	39	2,02	1,08
	Lognormal 3	39	1,13	0,31

Figura 7: Tela da vazão mínima $Q_{7,10}$ gerada pelo software SisCAH 1.0.

Também foi gerado uma curva de permanência associando valores de vazão, com o percentual do tempo em que esses valores foram igualados ou ultrapassados na bacia hidrográfica durante o período da série histórica analisada (figura 7).

Sendo assim, os valores obtidos para as vazões mínimas de referência $Q_{95} = 1,74 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{90} = 2,39 \text{ m}^3/\text{s}$. Sendo que, a Agência Nacional de águas (ANA), normalmente adota Q_{95} como vazão outorgável (tabela 4).

Tabela 4: associação do tempo de permanência e seus respectivos valores de vazão para a bacia hidrográfica em estudo.

Permanência (%)	Vazão (m^3/s)
95	1,74131
90	2,39467
85	2,98139
80	3,55605
75	4,24654
70	4,99379
65	5,84905
60	6,78793
55	7,72355
50	8,64434

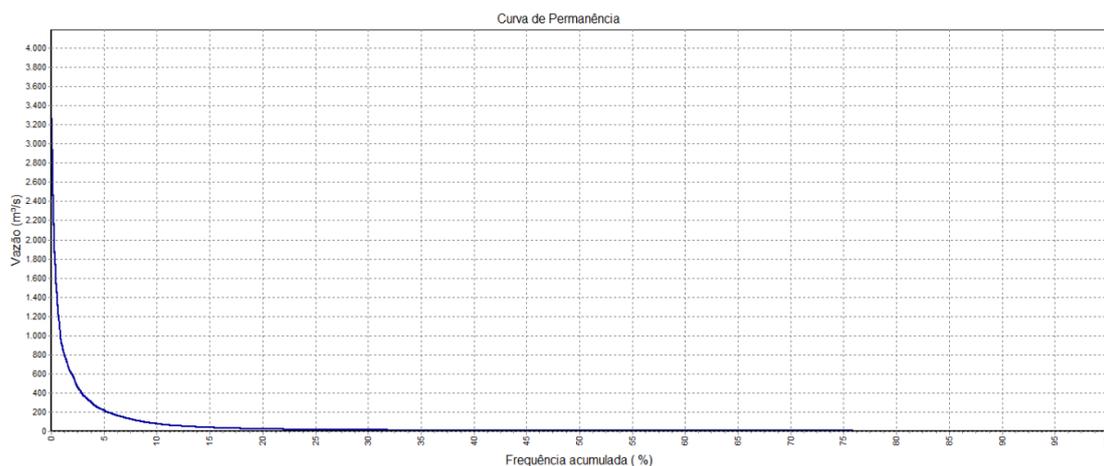


Figura 8: Curva de permanência gerada pelo software SisCAH 1.0.

4. Conclusão

Os processamentos realizados nos Modelos Digitais de Elevação obtidos, foram capazes de gerar de forma fidedigna e eficiente uma pequena bacia hidrográfica com relevo predominantemente suave ondulado, e com drenos que chegam até a 6º ordem.

Os índices calculados (Índice de compactidade e Fator de forma) demonstraram ser uma sub – bacia com baixa propensão à picos de enchentes. Dos dois métodos utilizados para o cálculo de precipitação média, o mais confiável para esta área foi o método dos polígonos de Thiessen, enquanto o método de cálculo por dados do WorlClim se mostrou menos representativo.

Nota-se que a região tende a ter déficits hídricos, pois para os padrões brasileiros, possui uma baixa distribuição de chuvas ao longo ano, e baixas vazões em comparação com outros rios de domínio federal, como o rio São Francisco por exemplo. Por ser uma região remota e semiárida, estudos como este que foi realizado, são muito importantes para a realização de um bom gerenciamento do uso da água de forma sustentável, garantindo o abastecimento hídrico utilizando uma vazão ecológica.

5. Referências bibliográficas

AESA – PB. Disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-de-bacias/pianco-piranhas-acu/>. Acesso em junho de 2023

ALVES, F. B.; JUNIOR, J. C. A. **Análise do Regime de Vazões Com Auxílio de Equações de Chuvas Intensas**. Revista Espaço Acadêmico, v. 6, artigo 6. 2018

AMORIM, J. da S. et al. Streamflow regionalization for the Mortes River Basin upstream from the Funil Hydropower Plant, MG. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 15, n. 3, 2020. DOI: 10.4136/ambi-agua.2495.

CAMARA, A. C. F. C. **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB)**. Porto Alegre: UFRGS. 2003. 219p.

CHAVES, M. A. **Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes Para a Bacia Amazônica**. Viçosa: UFV, 2002

KOEFENDER, A. **Regionalização de vazões Q7,10, Q90% e Q50% na bacia hidrográfica do rio Ibicuí (sub-bacia 76)**. Porto Alegre: UFRGS, 2015

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. Handbuch der Klimatologie, vol. 1, no. 1, 1936, pp. 1-44.

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2 ed., 2008.

OLIVEIRA, S. N. et al. **Delimitação Automática de Bacias de Drenagens e Análise Multivariada de Atributos Morfométricos Usando Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Corrigido**. Revista Brasileira de Geomorfologia - Ano 8, nº 1 (2007)

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso**. Porto Alegre: IPH/URGS, 2000. 200p. Tese Doutorado.

RODRIGUES, J. A. M.; et al. Indicadores hidrológicos para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Manuel da Natividade, Tocantins. **REVISTA SCIENTIA AGRARIA (SA)**, 2015, Nº 4, VOL 16, PÁGINA 58-79.

SANTOS et al. EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – 5. ed.**, rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018

STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Geophysical Union Trans., v.38, p.912-920, 1957.

Villela S.M., Mattos A. 1975. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 245p.