

DETALHAMENTO HIDROMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO PARAÍBA

Francisco F. N. Marcuzzo¹; Nayhara L. Oliveira²; Murilo R. D. Cardoso³, Arthur F. Tschiedel⁴

RESUMO – Através da análise morfométrica é possível determinar a linearidade, a área e a hipsometria da bacia hidrográfica. No presente trabalho objetivou-se o estudo morfométrico da bacia do Rio Paraíba a fim de esclarecer e atentar os órgãos responsáveis para possíveis fenômenos ambientais que afetem a dinâmica local e regional. Para desenvolvimento deste estudo, imagens do projeto SRTM com resolução de 90 metros foram inseridas e mosaicadas em um programa GIS. Com o MDE delimitado a partir do recorte da bacia foi possível realizar o estudo de parâmetros tais como linearidade, área, comprimento e por fim, determinar a hipsometria da bacia do Rio Paraíba. A análise hipsométrica desta bacia revelou os valores dos Coeficientes de Massividade e Orográfico, respectivamente $2,64 \text{ km}^{-1}$ e $1,35$, bem como a Amplitude Altimétrica da bacia, 1710 metros (extraída por SRTM), a Relação de Relevo, equivalente a $12,25 \cdot 10^{-3}$ e o Índice de Rugosidade da bacia, correspondente a $0,376$. Mediante esta análise concluí-se que a bacia do Rio Paraíba encontra-se em uma área vulnerável a enchentes e alagamentos devido a sua geomorfologia e a má distribuição de chuvas durante o ano.

ABSTRACT – By morphometric analysis, and can determine the linear, area and hypsometric watershed. This work aimed to study morphometric Paraíba River Basin in order to clarify the responsible bodies and look for possible environmental phenomena that affect local and regional dynamics. For this study, SRTM project images with a resolution of 90 meters and mosaics were inserted in a GIS. With the MOU delimited from the bowl cut was possible to study parameters such as linearity, area, length, and finally determine the hypsometric Paraíba River basin. The analysis revealed that basin hypsometric values of the coefficients of Massive and terrain, respectively 2.64 km^{-1} and 1.35 , and the altimetric amplitude of the basin, 1710 meters (extracted by SRTM), the relief ratio, equivalent to $12,25 \cdot 10^{-3}$ Roughness index and the basin, corresponding to 0.376 . Through this analysis it was concluded that the basin of the Paraíba River is in an area vulnerable to floods and flooding due to its geomorphology and the poor distribution of rainfall during the year.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, geomorfologia, hipsometria.

¹ Eng^o, Dr., Pesquisador em Geociências / Hidrologia, CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) – Rua Banco da Província, nº105 - Santa Tereza - CEP 90840-030, Porto Alegre/RS. Tel.: (51) 3406-7324. francisco.marcuzzo@cprm.gov.br.

² Acadêmica em Saneamento Ambiental, IFG (Instituto Federal de Educação e Tecnologia de Goiás) – Rua 75, nº 46, Centro - CEP: 74055-110, Tel. (62) 3534-1647 – Goiânia/GO. nayhara_lo@hotmail.com

³ Geógrafo, Mestrando em Geografia, UFG (Universidade Federal de Goiás) – Caixa Postal: 131, Campus Samambaia (Campus II), Conjunto Itatiaia – CEP 74001-970. Tel.: (62) 3521-1000 – Goiânia/GO. muriloshinobi@gmail.com.

⁴ Acadêmico em Engenharia Ambiental, IPH/UFRGS (Instituto de Pesquisas Hidráulicas / Universidade Federal do Rio Grande do Sul) – Caixa Postal: 15029, Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970. Tel.: (51) 3406-7342 – Porto Alegre/RS. arthurtidel@hotmail.com

1 – INTRODUÇÃO

A bacia do Rio Paraíba se encontra em uma região que sofre com constantes alagamentos devido aos diversos fatores morfológicos apresentados no local. Partindo desse pressuposto, é importante entender empiricamente porque ocorrem tantos alagamentos nessa bacia. Há diversos fatores que contribuem para os constantes alagamentos na região da bacia do Rio Paraíba. A principal razão para que isso ocorra é a sua geomorfologia, mas esses fenômenos são acentuados também pelo uso antrópico que gera, entre outras coisas, impermeabilização do solo (Braun *et al.*, 2008). Outro fator que colabora para os alagamentos é a distribuição temporal da precipitação pluviométrica na região que concentra seus maiores valores nos meses de janeiro e fevereiro, conseqüentemente, esses meses são onde há maior probabilidade de ocorrência de alagamentos e enchentes. Entretanto, esse período pode variar em anos de anomalias climáticas, como anos de El Niño, por exemplo (Nery *et al.*, 2000).

Com os avanços das novas geotecnologias e produtos orbitais, disponibilizados gratuitamente, como imagens de Radar (SRTM), o estudo mais rápido e detalhado das bacias hidrográficas tem sido viabilizado (Araújo *et al.*, 2009). A análise morfométrica de bacias hidrográficas por meio de MDE, tanto de dados ASTER quanto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission / Missão Topográfica do Radar Shuttle), é uma prática que vem sendo amplamente difundida no meio acadêmico, principalmente por sua confiabilidade e praticidade na obtenção de resultados (Barros e Steinke, 2009); (Cardoso e Marcuzzo, 2010). A modelagem hidrológica e a utilização de SIG têm evoluído para o ponto em que os benefícios de cada sistema podem ser totalmente integrados dentro de uma poderosa ferramenta de análise em bacias hidrográficas (Machado, 2003).

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Divisão territorial municipal, população e clima da bacia do Rio Paraíba

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba (Figura 1) está localizada no estado da Paraíba. A bacia do rio Paraíba possui uma área total de 19456,73 km² e perímetro de 1077,98 km. A bacia hidrográfica do Rio Paraíba possui 78 municípios com parte ou todo território inseridos na bacia (Figura 1). O maior território municipal da bacia do Rio Paraíba pertence ao município de Monteiro (área de 996,88 km² e perímetro de 156,58 km) e o menor, o município de Sobrado (área de 41,98 km² e perímetro de 33,3 km), ambos no estado da Paraíba. Segundo dados do IBGE (2010), toda a população residente nos municípios da bacia do Rio Paraíba somam 1.181.514 pessoas, sendo que o município de maior população é o de Campina Grande, com 385.213 habitantes (33%) e o de menor população é o município de Parari, com 1.256 habitantes (0,1%). A maior densidade populacional

XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste

pertence ao município de Campina Grande, com 648.31 habitantes.km⁻² e a menor fica com o município de São João do Tigre com 5,39 habitantes.km⁻².

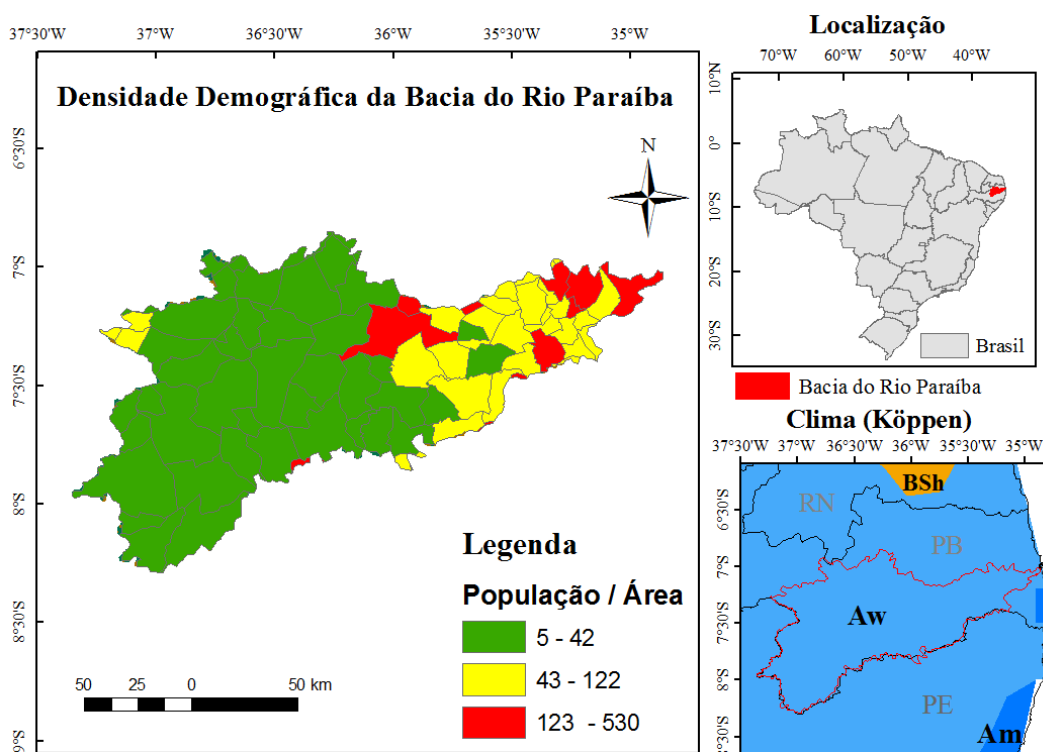


Figura 1 - Densidade de habitantes por quilômetro quadrado, clima e localização da bacia do Rio Paraíba.

O clima da bacia do Rio Paraíba, segundo a classificação de Köppen, é o Tropical (Aw), com estação seca no inverno (Figura 1) (Peel *et al* (2007)). As massas de ar que atuam na bacia do Rio Paraíba são: Massa Equatorial Atlântica, Massa Tropical Atlântica e a Massa Polar Atlântica. Assim a região da bacia do Rio Paraíba apresenta temperaturas elevadas durante o ano todo, com pequena queda nos meses de inverno, e pela concentração da pluviosidade entre o final do verão e o inverno, com grande destaque para o outono (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

2.2 - Vegetação, uso do solo e principais rios

O uso do solo na bacia do Rio Paraíba é caracterizado intensivamente pela prática da agricultura e da pecuária, contudo há também uma grande porção ocupada por vegetação remanescente (Figura 2).

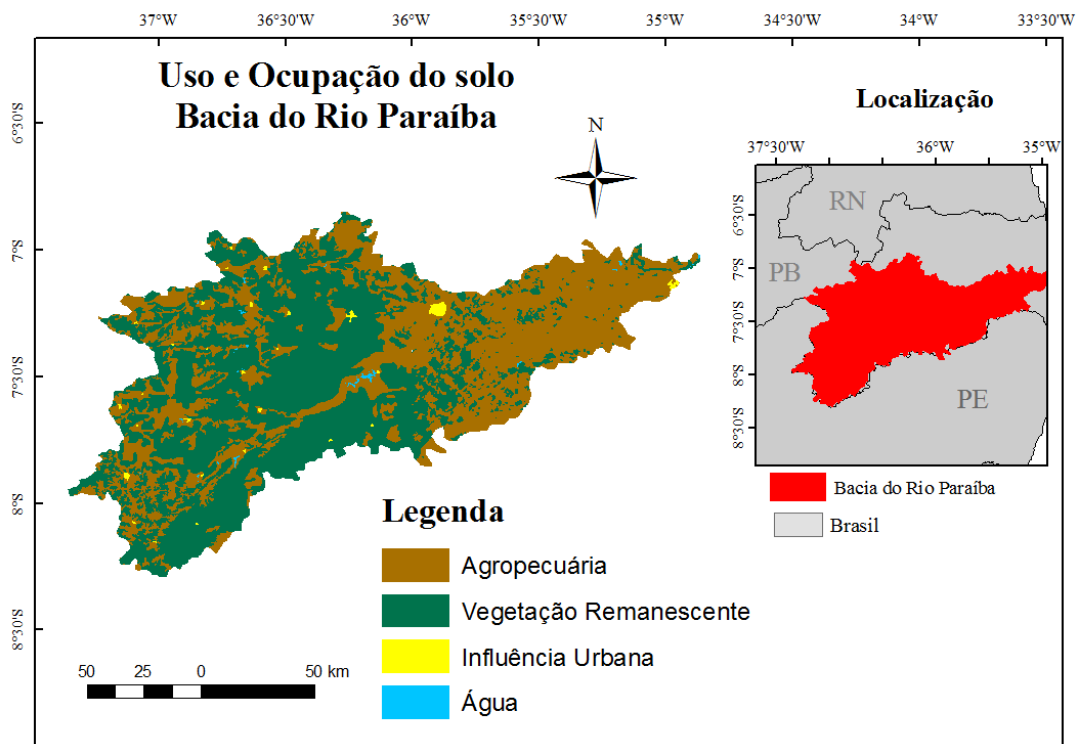


Figura 2 - Uso e ocupação do solo da bacia do Rio Paraíba.

Os principais rios da bacia do Rio Paraíba são, em quilômetros lineares: Paraíba (263), Taperoá (112), Umbuzeiro (53), Boa Vista (52), Ingá (42), Sucuru (41) (Figura 3).

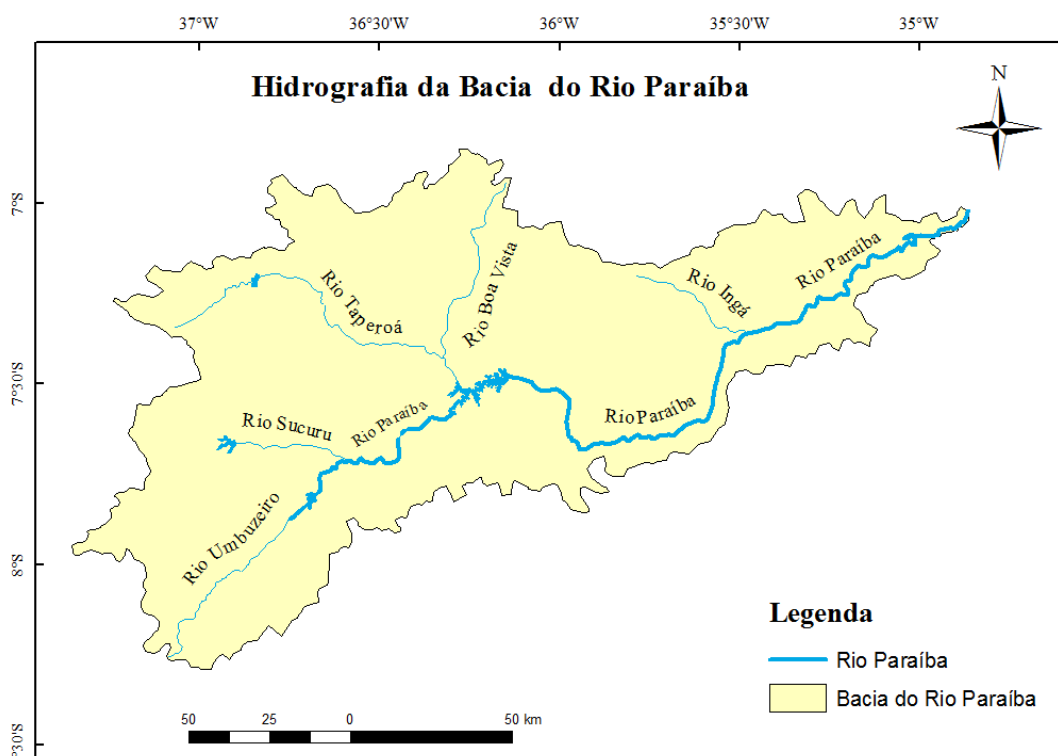


Figura 3 - Hidrografia com os principais cursos d'água da bacia do Rio Paraíba.

2.3 - Imagem utilizada no estudo – SRTM

No presente trabalho foram utilizados dados do projeto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) obtidos da NASA (2002). As imagens de radar SRTM com resolução de 90 metros foram agrupadas em um programa GIS (Geographic Information System) visando estabelecer os limites da bacia do Rio Paraíba (Figura 4). O MDE (Modelo Digital de Elevação) foi posteriormente delimitado o que permitiu analisar a hipsometria da bacia. A maior parte da bacia do Rio Paraíba está inserida no bioma da Caatinga (92%) e uma pequena parte a leste no bioma Mata Atlântica (8%) (Figura 4). Segundo os dados extraídos por SRTM, a amplitude altimétrica da bacia do rio Paraíba varia de 0 a 1710 metros (Figura 4). O município de Santa Rita é o de menor altitude e o de Barra de Santana, o de maior.

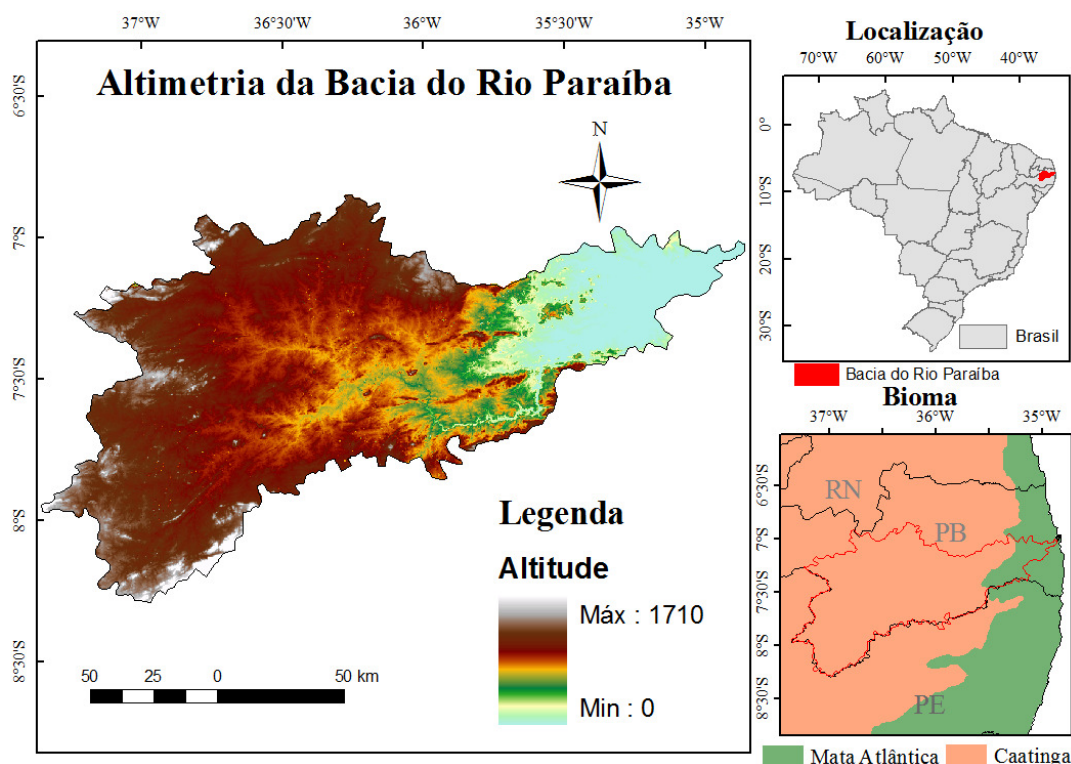


Figura 4 - Relevo, altimetria, localização e bioma da bacia do Rio Paraíba.

2.4 - Metodologia para o estudo de linearidade da bacia

2.4.1 – Relação de bifurcação (R_b)

A relação de Bifurcação foi definida por Horton (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior.

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (1)$$

em que, N_u é o número de segmentos de determinada ordem; N_{u+1} é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

2.4.2 – Índice de sinuosidade (I_s)

O índice de sinuosidade é a relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante (equivalente vetorial), medida em linha reta (E_v), e o comprimento do canal principal (L). O índice de sinuosidade possui classes, divididas conforme o Quadro 1.

$$I_s = \frac{100(L - E_v)}{L} \quad (2)$$

Quadro 1 - Índices de sinuosidade divididos por classes.

Classe	Descrição	Limites (%)
I	Muito reto	<20
II	Reto	20 a 29
III	Divagante	30 a 39,9
IV	Sinuoso	40 a 49,95
V	Muito sinuoso	>50

2.4.3 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem

Para se calcular o comprimento médio dos segmentos fluvial, L_m , divide-se a soma dos comprimentos dos canais de cada ordem L_u pelo número de segmentos encontrados na respectiva ordem N_u .

$$L_m = \frac{L_u}{N_u} \quad (3)$$

2.4.4 – Comprimento do canal principal

É a distância que se estende ao longo do curso d'água desde a nascente principal até a desembocadura (Foz).

2.4.5 – Equivalente vetorial do Canal Principal (E_v)

O equivalente vetorial representa o comprimento de cada segmento fluvial de determinada ordem, em linha reta, que se estende do nascimento ao término do referido canal.

E_v = distância em km

Nascente → Foz

(4)

2.4.6 – Extensão do percurso superficial (E_p)

Representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como fisiográfico das bacias de drenagem. Durante a evolução do sistema de drenagem, a extensão do percurso superficial está ajustada ao tamanho apropriado relacionado com as bacias de primeira ordem, sendo aproximadamente igual à metade do recíproco valor da densidade de drenagem.

$$Eps = \frac{1}{2Dd} \quad (5)$$

em que, *Eps* representa a extensão do percurso superficial; *Dd* é o valor da densidade de drenagem.

2.4.7 – Gradiente dos Canais

Vem a ser a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial. A sua finalidade é indicar a declividade dos cursos de água, podendo ser medido para o rio principal e para todos os segmentos de qualquer ordem.

$$Alt. Max - Alt. Min = Gradiente do canal \quad (6)$$

2.5 - Metodologia para o estudo de área da bacia

2.5.1 – Área da bacia (A)

É toda área determinada normalmente em km², drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal. Determinando o perímetro da bacia, a área pode ser calculada com o auxílio do planímetro, de papel milimetrado, pela pesagem de papel uniforme devidamente recortado ou através de técnicas mais sofisticadas, com o auxílio do computador.

2.5.2 – Comprimento da bacia

Várias são as definições a propósito do comprimento da bacia, acarretando diversidade no valor do dado a ser obtido. Entre elas podemos mencionar:

- Distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele. O ponto mencionado representa, então, a metade da distância correspondente ao comprimento total do perímetro;
- Maior distância medida em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro;
- Distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto situado ao longo do perímetro;
- Distância medida em linha reta acompanhado paralelamente o rio principal. Esse procedimento acarreta diversas decisões subjetivas quando o rio não é irregular ou tortuoso, ou quando a bacia de drenagem possui forma incomum.

2.5.3 – Relação entre o comprimento do rio principal e área da bacia

Esta fórmula demonstra notável consistência entre os dados, apesar da diversidade de condições ambientais envolvidas, permitindo que o comprimento geométrico do curso de água

principal possa ser calculado conforme a seguinte expressão, proposta inicialmente por Christofolletti (1980).

$$L = 1,54^{0,6} \text{ (em unidades métricas)} \quad (7)$$

em que, L é o comprimento do canal principal (km); A é a área da bacia (km^2).

2.5.4 – Forma da bacia (If)

Após a delimitação da bacia, independentemente da escala, traça-se uma figura geométrica (círculo, retângulo, triângulo, etc.) que possa cobrir da melhor forma possível a referida bacia hidrográfica. A seguir relaciona-se a área englobada simultaneamente pelas duas com a área total que pode pertencer à bacia e ou a figura geométrica obtendo-se um índice de forma:

$$If = 1 \frac{\text{(área } K \times L)}{\text{(área } K \times L)} \quad (8)$$

em que, If é o índice de forma; K é a área da bacia (km^2); L é a área da figura geométrica (km^2). Quanto menor for o índice, mais próxima da figura geométrica respectiva estará a forma da bacia.

2.5.5 – Densidade dos rios (Dr)

Definido por Horto (1945) apud Christofolletti (1980) é a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão como, quilômetro quadrado (km^2).

$$Dr = \frac{N}{A} \quad (9)$$

em que, DR é a densidade de rios, N é o número de rios ou cursos de água, A é a área da bacia considerada (km^2).

2.5.6 – Densidade de drenagem (Dd)

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A densidade de drenagem foi inicialmente definida por Horton (1945) apud Christofolletti idem, podendo ser calculada pela equação à frente.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (10)$$

em que, Dd é a densidade da drenagem, Lt é o comprimento total dos canais (km), A é a área da bacia (km^2).

2.5.7 – Coeficiente de manutenção (Cm)

Proposto por S. A. Schumm, em (1956), esse índice tem a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O referido autor XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste

considera-o como um dos valores numéricos mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem, podendo ser calculado através de expressão, a fim de que seja significativa na escala métrica.

$$Cm = \frac{1}{Dd} 1000 \quad (11)$$

em que, Cm é o coeficiente de manutenção, Dd é o valor da densidade de drenagem (m).

2.6 - Metodologia para o estudo hipsométrico da bacia

2.6.1 – Coeficiente de Massividade (Cm) e o Coeficiente Orográfico (Co)

É o coeficiente da divisão da altura média (Am) do relevo da área pela superfície (A); e o coeficiente orográfico é a multiplicação da altura média da bacia pelo coeficiente de massividade.

$$Cm = \frac{Am}{A} \quad (12)$$

$$Co = Am * Cm \quad (13)$$

2.6.2 – Amplitude Altimétrica (Hm)

Corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica. Este conceito, também denominado de “relevo máximo da bacia”. O ponto mais elevado da bacia deve ser considerado a média das cotas mais elevadas, pois o seu ponto alto não compreende toda porção mais elevada da bacia.

$$Hm = P1 - P2 \quad (14)$$

em que, $P1$ é o ponto mais alto (m), $P2$ é o ponto mais baixo (m) da bacia hidrográfica.

2.6.3 – Relação de relevo (Rr)

Considera o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima da bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem. A relação do relevo (Rr) pode ser calculada dividindo: amplitude topográfica máxima (Hm) e a raiz quadrada da área da bacia (A).

$$Rr = \frac{Hm}{A^{0,5}} \quad (15)$$

2.6.4 – Índice de rugosidade (Ir)

O índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica (H) e a densidade de drenagem (Dd).

$$Ir = H * Dd \quad (16)$$

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior parte dos resultados foram obtidos por meio de equações numéricas e, a outra parte em um programa de Sistema de Informação Geográfica. Os resultados foram posteriormente descritos e transpostos em documentos cartográficos (Tabelas e Figuras - Mapas) visando melhor compreensão do estudo realizado.

3.1 - Hierarquia fluvial e ordem dos principais afluentes do Rio Paraíba.

Strahler (1952) propõe uma ordenação que elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência. A Tabela 1 descreve a quantidade de canais de 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, e 5ª ordens e os seus respectivos comprimentos (km) e o comprimento médio dos canais por ordem na bacia do Rio Paraíba.

Tabela 1 - Ordem dos canais, quantidade de canais, comprimento linear e densidade de canais por ordem na bacia do Rio Paraíba.

	Ordem dos Canais					Total
	1	2	3	4	5	
Quantidade	307	131	73	25	43	578
Comprimento linear	2841,76	793,37	383,77	116,51	234,40	4369,82
Comprimento médio dos canais	9	6	5	5	5	8

3.2 - Análise linear da rede hidrográfica da bacia do Rio Paraíba

3.2.1 – Análise da relação de bifurcação

Estudando o sistema de ordenação de Strahler (1952), Christofolleti (1980) concluiu que o resultado obtido na relação de bifurcação nunca pode ser inferior a 2. Estes valores, em sua maioria, devem variar entre 3 e 5. Na bacia do Rio Paraíba a relação variou de 0,58 a 2,92 tendo uma média de 1,90 (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação de bifurcação da bacia do Rio Paraíba.

Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Média
-	2,34	1,79	2,92	0,58	1,90

3.2.2 – Índice de sinuosidade

O índice de sinuosidade é de grande relevância para a análise dos cursos d'água, pois ele determina se o canal é formado por reta ou possui elevada sinuosidade. O Rio Paraíba, possui 11,61% de sinuosidade ficando na classe 1, conforme o Quadro1 (item 2.4 - Metodologia para o

estudo de linearidade da bacia), sendo considerado muito reto, ou seja, possui áreas que tendem a ser regulares e possuir canais retilíneos.

3.2.3 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem

O cálculo da relação entre o comprimento médio dos cursos d'água de cada ordem da bacia do Rio Paraíba (Tabela 3) mostrou que há uma correlação positiva com o crescimento da ordem e o comprimento médio dos cursos d'água.

Tabela 3 - Relação entre o comprimento médio dos cursos d'água (LM) de cada ordem da bacia do Rio Paraíba.

Ordem	Quantidade	%	km	LM
1	306	52,94	2841,76	9
2	131	22,66	793,37	6
3	73	12,63	383,77	5
4	25	4,33	116,51	5
5	43	7,44	234,40	5
Total	578	100	4369,82	30

3.2.4 – Comprimento do canal principal

No cálculo do canal principal foi considerado o curso d'água principal que percorria a maior distância entre a nascente e sua respectiva foz. O Rio Paraíba e seus tributários possuem suas principais nascentes em regiões com altitudes que variam de 0 a 1710 metros. O Rio Paraíba possui aproximadamente 316,13 km de extensão.

3.2.5 – Equivalente vetorial do canal principal

O cálculo do equivalente vetorial do curso d'água principal tem um valor interpretativo, pois resulta de seu confronto com os índices do comprimento médio e da declividade média. Christofletti (1980) cita que nos canais retelinizados e com alta declividade, a grandeza do equivalente vetorial aproxima-se do comprimento, detendo por isso, menor percurso.

Na bacia do Rio Paraíba verifica-se que há uma diferença significativa deste curso d'água, pois o mesmo apresenta 316,13 km de percurso e um equivalente de 279,41 km resultando-se 36,72 km de diferença. Este dado mostra o distanciamento da nascente do curso d'água até sua foz correspondendo ao controle morfométrico da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.

3.2.6 – Extensão do percurso superficial

A extensão do percurso superficial é uma relação que é dependente da extensão que o fluxo terá que percorrer desde o interflúvio da bacia até o talvegue. A extensão do percurso superficial foi

de 2,23 km, ou seja, sabe-se que, em média, a cada distância de 2,23 km na vertente haverá um canal para escoamento das águas superficiais da bacia do Rio Paraíba.

3.2.7 – Gradiente do canal

O cálculo do gradiente altimétrico do curso d'água é feito pela diferença altimétrica entre a nascente do rio e sua respectiva foz. A principal nascente do Rio Paraíba está próxima do nível 746 m e sua foz a 0 m do nível do mar, seu gradiente altimétrico é de 746 m distribuídos em 316,13 km de extensão do canal principal. Na Tabela 4 consta o gradiente altimétrico dos principais rios formadores da bacia do Rio Paraíba (Figura 3).

Tabela 4 - Gradiente dos principais rios da bacia do Rio Paraíba.

Nome do Rio	Altitude (m)		Gradiente do rio (m)	Comprimento Talvegue (km)	Nº de Municípios por onde passa o rio
	Nascente	Foz			
Paraíba ¹	746	0	746	316,13	78
Taperoá	662	410	252	112,00	17
Umbuzeiro	746	468	278	53,00	7
Sucuru	562	468	94	41,00	8
Boa Vista	576	410	166	52,00	6
Ingá	409	89	320	42,00	4

¹Dados considerando o Rio Paraíba desde sua nascente mais distante da foz.

3.3 - Análise areal da bacia do Rio Paraíba

3.3.1 – Área da bacia

Entende-se por área de bacia hidrográfica como toda região drenada pelo mesmo conjunto de canais livres naturais ou não, sendo os seus limites delimitados pelos divisores d'água (interflúvios; divisores de drenagem). Os cursos d'água delimitados dentro deste perímetro escorrem em direção do declive, direcionando-se para sua foz no curso d'água principal e este para o mar (Figura 3 e 4). Neste estudo, com base em imagens SRTM, verificou-se que a bacia do Rio Paraíba possui uma área de 19456,73 km² lineares e um perímetro de 1077,98 km (Tabela 5).

Tabela 5 - Área e perímetro das sub-bacias da bacia do Rio Paraíba.

Nome da Bacia	Área (km ²)	Perímetro (km)
Rio Paraíba ¹	19456,73	1077,98
Rio Taperoá	4880,65	484,79
Rio Umbuzeiro	3011,52	437,95
Rio Sucuru	1611,86	211,00
Rio Boa Vista	814,78	170,33
Rio Ingá	273,06	97,66

¹Dados considerando o Rio Paraíba desde sua nascente mais distante da foz.

3.3.2 – Comprimento da bacia

Com o estudo analítico dos possíveis comprimentos da bacia do Rio Paraíba (Figura 5), verificou-se alguns parâmetros de relevância com relação às distâncias verificadas na área de abrangência da bacia (Tabela 6):

- Reta formada entre os pontos A-B verifica-se a maior distância encontrada em linha reta até a foz principal da bacia;
- Reta formada entre os pontos A-C, é o eixo vetorial, determinando a reta longitudinal da bacia hidrográfica do Rio Paraíba;
- Reta formada entre os pontos A-D é a distância da foz à nascente da bacia hidrográfica;
- Reta formada entre os pontos A-E, é a distância do ponto mais baixo (0 m) até o ponto de maior altitude (1710m) da bacia hidrográfica do Rio Paraíba;
- Reta formada entre os pontos B-F, é a reta transversal ao sentido de escoamento da região, representando a maior largura da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.

Tabela 6 - Distâncias de segmentos lineares entre pontos extremos na bacia do Rio Paraíba.

Retas	Distância entre os pontos (km)
A - B	294,25
A - C	294,25
A - D	279,41
A - E	138,04
B - F	177,93

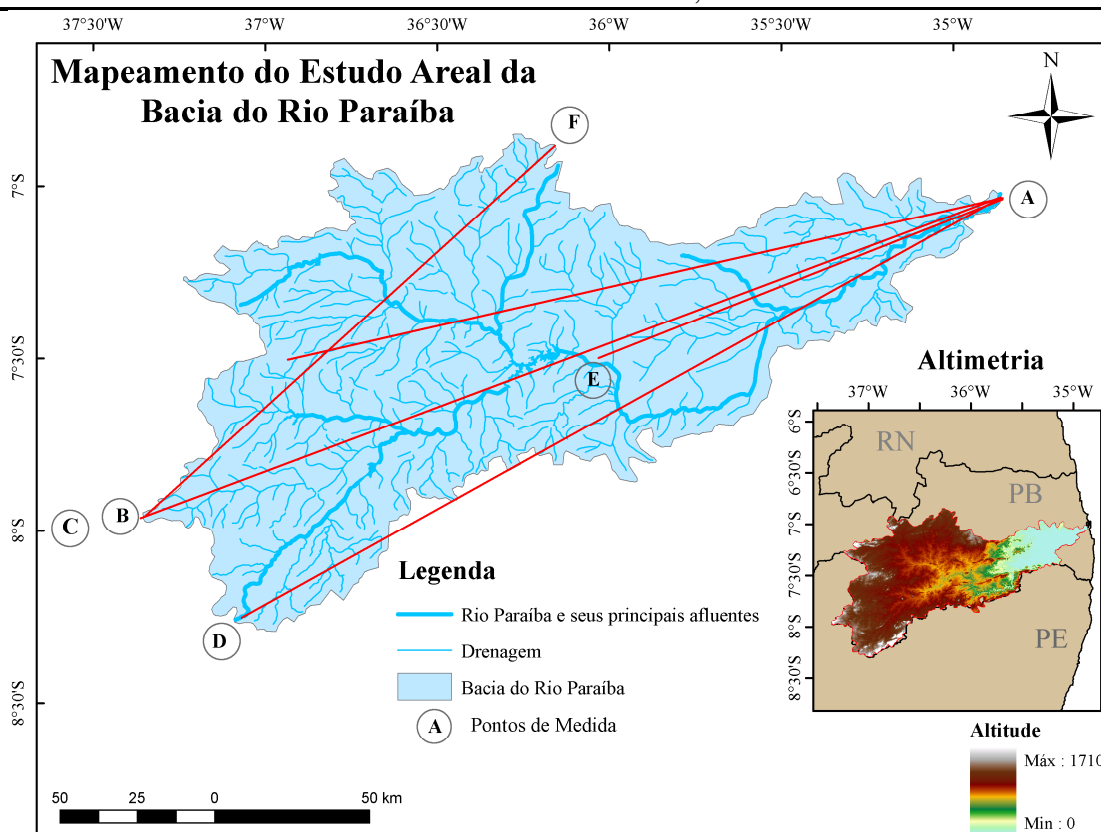


Figura 5 - Mapeamento do estudo areal da bacia do Rio Paraíba.

3.3.3 – Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia

Na Tabela 7 é apresentada a relação entre o comprimento dos principais tributários do Rio Paraíba (Figura 3) e suas respectivas áreas de drenagem.

Tabela 7 - Relação entre o comprimento dos principais tributários da bacia do Rio Paraíba e suas respectivas áreas de drenagem.

Nome da Bacia	Comprimento Talvegue (km)	Área de Drenagem (km ²)	Relação Comprimento/Área (km ⁻¹)	Nº de Municípios por onde passa o rio
Rio Paraíba ¹	316,13	19456,73	$16,24 \cdot 10^{-3}$	78
Rio Taperoá	112,00	4880,65	$1829,38 \cdot 10^{-3}$	18
Rio Umbuzeiro	53,00	3011,52	$17,59 \cdot 10^{-3}$	8
Rio Boa Vista	52,00	814,78	$63,82 \cdot 10^{-3}$	8
Rio Ingá	42,00	273,06	$9,73 \cdot 10^{-3}$	6
Rio Sucuru	41,00	1611,86	$44,41 \cdot 10^{-3}$	8

¹ Dados considerando o Rio Paraíba desde sua nascente mais distante da foz.

A relação entre a área da bacia (19456,73 km²) e o percurso do canal principal (316,13 km) é de $16,24 \cdot 10^{-3}$ (km⁻¹). Verifica-se na bacia do Rio Paraíba que, com essa relação, a cada km² de área da bacia há uma drenagem de $16,24 \cdot 10^{-3}$ km.

3.3.4 – Forma da bacia

O processo para determinação da forma da bacia é simples, podendo-se determinar a forma utilizando-se de figuras geométricas simples como ponto de referência e verificando-se em qual forma geométrica (triângulo, retângulo, quadrado, círculo, etc.) se adapta melhor a forma da bacia hidrográfica. Portanto, a forma da bacia do Rio Paraíba é a triangular por se aproximar de 0 (de acordo com equação 8 de Material e Métodos = 0,62). Ressaltando-se que a forma geométrica da bacia hidrográfica pode determinar mudanças do canal, pois conforme sua forma, seus fluxos que provocam enchentes podem ser representativos.

3.3.5 – Densidade de rios

No cálculo da densidade de rios, utiliza-se dividir o número de rios pela área da bacia hidrográfica (equação 9 – Metodologia para Estudo de Área da Bacia), obtendo-se a quantidade de cursos d'água por km², ou seja, pode-se verificar se a bacia é bem servida de boa rede de canais ou não. Sua importância é fundamental, pois através deste parâmetro ocorre à representatividade do comportamento hidrográfico dentro de seus aspectos fundamentais, a capacidade de gerar novos canais de drenagens. A densidade de rios na bacia do Rio Paraíba (Figura 3) foi de $29,7 \cdot 10^{-3}$ cursos d'água por quilômetro quadrado da bacia (Tabela 8). Uma bacia é considerada bem drenada quando tem um canal por km².

Tabela 8 - Densidade de rios da bacia do Rio Paraíba e das bacias dos seus principais tributários.

Nome da Bacia	Área da bacia formada pelo rio (km ²)	Número de canais no rio	Densidade de rios (km ⁻²)	Nº de Municípios por onde passa o rio
Rio Paraíba ¹	19456,73	578	29,7.10 ⁻³	78
Rio Taperoá	4880,65	154	31,55.10 ⁻³	18
Rio Umbuzeiro	3011,52	96	31,87.10 ⁻³	8
Rio Sucuru	1611,86	54	33,5.10 ⁻³	8
Rio Boa Vista	814,78	19	23,31.10 ⁻³	8
Rio Ingá	273,06	0	0	6

¹ Dados considerando o Rio Paraíba desde sua nascente mais distante da foz.

3.3.6 – Densidade de drenagem

O parâmetro hidromorfológico da densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A importância da densidade de drenagem está ligada ao estudo de bacias hidrográficas, já que representa uma relação inversa com o comprimento dos rios. Entende-se que à medida que aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem.

A densidade de drenagem pode variar de 0,5 km.(km²)⁻¹ (bacias mal drenadas devido a elevada permeabilidade ou precipitação escassa) a 3,5 km.(km²)⁻¹ (bacias excepcionalmente bem drenadas ocorrendo em áreas com elevada precipitação ou muito impermeáveis).

Na bacia do Rio Paraíba a densidade de drenagem é de 0,22 km⁻¹ de canal por 1 km² de área (Tabela 9). A densidade de drenagem nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do Rio Paraíba (Figura 3) é mostrada na Tabela 9.

Tabela 9 - Densidade de drenagem da bacia do Rio Paraíba e das bacias dos seus principais tributários.

Nome da Bacia	Comprimento total dos canais (km)	Área da bacia formada pelo rio (km ²)	Densidade de drenagem (km ⁻¹)	Nº de Municípios por onde passa o rio
Rio Paraíba	4369,82	19456,73	0,22	78
Rio Taperoá	112	4880,65	0,02	18
Rio Umbuzeiro	53	3011,52	0,01	8
Rio Boa Vista	52	814,78	0,06	8
Rio Ingá	42	273,06	0,15	6
Rio Sucuru	41	1611,86	0,02	8

¹ Dados considerando o Rio Paraíba desde sua nascente mais distante da foz.

3.3.7 – Coeficiente de manutenção

O coeficiente de manutenção tem o objetivo de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. O resultado para a bacia do Rio Paraíba

demonstra que para um quilômetro quadrado existem 454,54 m de canal (Tabela 9). O coeficiente de manutenção nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do Rio Paraíba (Figura 3) é mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Coeficiente de manutenção da bacia do Rio Paraíba e das bacias dos seus principais tributários.

Nome da Bacia	Densidade de drenagem (km ⁻¹)	Coeficiente de manutenção (m)	Nº de Municípios por onde passa o rio
Rio Paraíba ¹	0,22	454,54	78
Rio Ingá	0,15	666,66	6
Rio Boa Vista	0,06	1666,66	8
Rio Taperoá	0,02	5000,00	18
Rio Sucuru	0,02	5000,00	8
Rio Umbuzeiro	0,01	10000,00	8

¹ Dados considerando o Rio Paraíba desde sua nascente mais distante da foz.

3.3 - Análise e estudo hipsométrico da bacia do Rio Paraíba

3.4.1 – Coeficiente de massividade e coeficiente orográfico

Já conceituados no subitem 2.6 de Material e Métodos, estes parâmetros facilitam a compreensão das deformidades geomorfológicas da bacia do Rio Paraíba (Figura 3) (Tabela 11).

Tabela 11 – Estudo hipsométrico da bacia do Rio Paraíba e das bacias de seus principais tributários.

Nome da Bacia	Área da bacia (km ²)	Altitude (m)		Amplitude altimétrica (m)	Altura média (m)	Coeficiente	
		P1	P2			Massividade (km ⁻¹)	Orográfico
Rio Paraíba ¹	19456,73	1710	0	1710	515	2,64	1,35
Rio Taperoá	4880,65	979	219	760	595	1,22	0,72
Rio Umbuzeiro	3011,52	1159	296	863	675	2,24	1,51
Rio Sucuru	1611,86	899	344	555	562	3,48	1,95
Rio Boa Vista	814,78	770	238	532	517	6,34	3,27
Rio Ingá	273,06	588	7	581	249	9,11	2,26

¹ Dados considerando o Rio Paraíba desde sua nascente mais distante da foz.

3.4.2 – Amplitude altimétrica máxima da bacia

Entende-se por amplitude altimétrica máxima da bacia hidrográfica a diferença entre o ponto de máxima elevação e o ponto de menor elevação, sendo que uma bacia possui diversos pontos culminantes devendo-se escolher o ponto mais elevado, mesmo se este ponto for próximo à foz da área estudada. Na bacia do Rio Paraíba o ponto de maior elevação está localizado no município de Barra de Santana, com 1710 m, e a cota mínima situa-se na foz do Rio Paraíba com 0 m em relação ao nível do mar. A amplitude altimétrica máxima nas sub-bacias formadas pelos principais tributários do Rio Paraíba (Figura 3) constam na Tabela 11.

3.4.3 – Relação de relevo

Relação de relevo consiste no relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem. A relação de relevo na bacia do Rio Paraíba e nas sub-bacias formadas pelos seus principais tributários (Figura 3) é mostrada na Tabela 12.

Tabela 12 - Relação de relevo da bacia do Rio Paraíba e das bacias de seus principais tributários.

Nome da Bacia	Amplitude altimétrica (m)	Área da bacia formada pelo rio (km ²)	Relação de Relevo (10 ⁻³)	Nº de Municípios por onde passa o rio
Rio Paraíba ¹	1710	19456,73	12,25	78
Rio Umbuzeiro	863	3011,52	15,54	8
Rio Taperoá	760	4880,65	10,87	18
Rio Ingá	581	273,06	35,15	6
Rio Sucuru	555	1611,86	13,82	8
Rio Boa Vista	532	814,78	18,64	8

¹ Dados considerando o Rio Paraíba desde sua nascente mais distante da foz.

3.4.4 – Índice de rugosidade

O parâmetro hipsométrico índice de rugosidade combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional. A Tabela 13 mostra os resultados obtidos sobre tal parâmetro na bacia do Rio Paraíba e nas bacias dos seus principais tributários (Figura 3).

Tabela 13 - Índice de rugosidade da bacia do Rio Paraíba e das bacias de seus principais tributários.

Nome da Bacia	Amplitude altimétrica (m)	Densidade de drenagem (km ⁻¹)	Índice de Rugosidade	Nº de Municípios por onde passa o rio
Rio Paraíba ¹	1710	0,22	0,376	78
Rio Umbuzeiro	542	0,01	0,005	8
Rio Taperoá	314	0,02	0,006	18
Rio Sucuru	262	0,02	0,005	10
Rio Boa Vista	213	0,06	0,012	8
Rio Ingá	109	0,15	0,016	6

¹ Dados considerando o Rio Paraíba desde sua nascente mais distante da foz.

3.4 - Sumário hidromorfométrico da bacia do Rio Paraíba

Abaixo segue resultados obtidos no estudo hidromorfométrico da bacia do Rio Paraíba.

Tabela 14 - Sumário das análises hidromorfológicas da bacia do Rio Paraíba.

Hidromorfologia da bacia do Rio Paraíba	Valores Obtidos
Ordem dos canais na bacia	Tabela 1
Relação bifurcação (média)	1,90
Índice de sinuosidade (muito sinuoso)	11,61%
Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem	Tabela 2
Comprimento do canal principal	316,13 km
Equivalente vetorial	279,41 km
Gradiente do canal principal	746 m
Área da bacia	19456,73 km ²
Perímetro	1077,98 km
Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia	$16,24 \cdot 10^{-3} \text{ km}^{-1}$
Forma da bacia	Triangular: 0,62
Densidade de rios	$29,7 \cdot 10^{-3} \text{ km}^{-2}$
Comprimento total dos canais	4369,82 km
Densidade de drenagem	$0,22 \text{ km}^{-1}$
Coefficiente de manutenção	454,54 m
Coefficiente de massividade	$2,64 \text{ km}^{-1}$
Coefficiente Orográfico	1,35
Amplitude altimétrica	1710 m
Relação de relevo	$9,13 \cdot 10^{-3}$
Índice de rugosidade	0,376

4 – CONCLUSÕES

O Rio Paraíba banha o estado da Paraíba, na região nordeste do Brasil. Os principais rios da bacia do Rio Paraíba são, em quilômetros lineares: Paraíba (263), Taberoá (112), Umbuzeiro (53), Boa Vista (52), Ingá (42), Sucuru (41). Considerando o Rio Paraíba desde a sua nascente mais distante ele terá uma extensão de 316,13 km, desaguando no Oceano Atlântico.

Quanto à densidade de drenagem a bacia hidrográfica do Rio Paraíba é considerada mal drenada devido ao seu baixo índice de $0,22 \text{ km}^{-1}$ de canal por km^2 .

Neste trabalho, analisou-se toda a linearidade, hipsometria e área de abrangência da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. O estudo detectou que os $19456,73 \text{ km}^2$ da bacia do Rio Paraíba estão distribuídos em terras cujas altitudes variam de 1710 metros a 0 metro (segundo as imagens SRTM). A amplitude altimétrica da bacia revela que a região é formada por terras baixas, impermeáveis e expostas a eventuais mudanças por erosão. Além disso, o clima da região da bacia do Rio Paraíba é o semi-árido caracterizado por um regime irregular que contribui para a ocorrência de enchentes principalmente no baixo curso do Rio Paraíba.

.O estudo da bacia do Rio Paraíba revela que esta bacia apresenta considerável variação em sua área, proporcionada pela linearidade da bacia e pelos fatores hipsométricos, Coeficiente de Massividade, Coeficiente Orográfico, Amplitude Altimétrica, Relação de Relevo e Índice de Rugosidade.

Mediante esta análise concluí-se que a bacia do Rio Paraíba encontra-se em uma área vulnerável a enchentes e alagamentos devido a sua geomorfologia e as chuvas serem mal distribuídas durante o ano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil – empresa pública de pesquisa do Ministério de Minas e Energia) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFIA

ARAÚJO, E. P. de; TELES, M. G. L.; LAGO, W. J. S..(2009) *Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25 – 30 abril 2009, INPE, v. 1, pp. 4631 – 4638.

BARROS, L. L., STEINKE, V. A.; *Análise morfométrica automatizada para bacia do rio Maranhão*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 Abril, 2009, INPE, p. 4655 – 4661, v. 1, n. 1, 2009. Brasil. Lei nº 9.433 / 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm>. Acesso em: 18 de julho de 2008.

BRAUN, P. D. K; VIBRANS, A. C.; PINHEIRO, A. (2008) *Desenvolvimento de um modelo de avaliação da capacidade de armazenamento de água na bacia do rio Itajaí – SC*. REA – Revista de estudos ambientais v.10, n. 2, pp. 32-44.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; *Cálculo da área de drenagem e perímetro de sub-bacias do rio Araguaia delimitadas por MDE utilizando imagens ASTER*. Anais II Simpósio Internacional Caminhos da Cartografia na Geografia: O Mapa como forma de expressão das geografias, São Paulo, Brasil, 01-04 Dezembro, USP, v.1, n. 1, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980). *Geomorfologia*. 2 ed., São Paulo, SP: Edgard Blucher. 188 p.

HORTON, R.E. (1945). “*Erosional development of streams their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*” in Bulletin of the Geological Society of America, Colorado, v. 56, pp. 275-370.

IBGE. (2010). “*Dados do Censo 2010 publicados dia 04/11/2010*”. Disponível em <http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php> Acesso 06/2011.

XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste

- LANA, C.E.; ALVES, J.M. de P.; CASTRO, P. de T.A. (2001). “*Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG – Brasil*”. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 2. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000200008&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em 04 mar. 2011. doi: 10.1590/S0370-44672001000200008.
- MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C.(2003): *Simulação de cenários alternativos de uso da terra em ma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento*. R. Bras. Ci. Solo. 27:pp.727-733.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. (2007). *Climatologia – noções básicas e climas do Brasil*. Oficina de textos, São Paulo, pp. 83-112.
- NERY, J. T., BALDO, M. C.; FERNANDES, M. de L. O.(2000). *O comportamento da precipitação na Bacia do Itajaí*. Acta Scientiarum 22(5):pp.1429-1435.
- PEEL MC, FINLAYSON BL & MCMAHON TA (2007), *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1633-1644.
- SILVA, L.M.T. (2003). *Nas margens do Rio Paraíba do Norte*. Revista Cadernos do Logepa – Série Texto Didático Ano 2, Número 4 - Jul/Dez de 2003 - ISSN 1677-1125.
- STRAHLER, A.N. (1952). “*Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*”. Trans. Amer. Geophys. Union, v. 38, pp. 913-920.