

## Geoprocessamento na análise de parâmetros morfométricos da microbacia hidrográfica do Rio Cuanza (Província do Bié, Angola)

Augusto Rafael Sebo Futi<sup>1</sup>, Gildo Nelito Paulo Pinto<sup>2</sup>, Romilson Gouveia Madruga<sup>3</sup>, Pascoal Jeremias Chiambo<sup>3</sup> , Isáú Alfredo Bernardo Quissindo<sup>3, 4</sup>  

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal e Especialista em Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota. Instituto de Desenvolvimento Florestal, Luanda-Angola, augustofuti03@gmail.com.

<sup>2</sup>Engenheiro Florestal. Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), Universidade José Eduardo dos Santos (UJES), Chianga, Huambo-Angola, gildomenakuntima95@gmail.com.

<sup>3</sup>Docente, Departamento de Engenharia Rural, FCA-UJES, Chianga, Huambo-Angola, paidamircian@gmail.com, paschiambo81@gmail.com e josuealf2011@gmail.com \* (Autor para correspondência).

<sup>4</sup>Laboratório de Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota (LABSIGDER), FCA-UJES, Chianga, Huambo-Angola.

Histórico do artigo: Submetido em: 07/03/2022, Revisado em: 13/03/2022, Aceito em: 01/04/2022

### RESUMO

A microbacia hidrográfica do rio Cuanza na província do Bié (Angola), é composta por três ordens de cursos de água sendo que o canal principal mede a uma distância de 203,208 km com afluentes dos rios Kukema, Cuemba e Cuiva e pelo tipo de escoamento global é considerada uma bacia exoréica. Para o estudo do comportamento hidrológico da bacia foram calculados alguns parâmetros morfométricos. A área de drenagem encontrada foi de aproximadamente 28.929,29 km<sup>2</sup>, um perímetro igual a 903,492 km e uma altitude máxima de 1788 m e uma mínima de 1256 m. A densidade de drenagem obtida para a microbacia foi de 0,03 km/km<sup>2</sup> sendo por isso considerada microbacia com drenagem pobre. A topografia é do tipo fortemente ondulada, montanhosa e escarpada com uma conformação do tipo alargada com tendências medianas a grandes enchentes. A velocidade de escoamento da microbacia é favorável a sua preservação devido a densidade de drenagem que apresenta, caracterizada como pobre ou muito baixa.

**Palavras-chave:** SIG, Bacia hidrográfica, Rio Cuanza, Bié.

### ABSTRACT

The watershed of the Cuanza River in the province of Bié, Angola, consists of three orders of watercourses, the main channel of which measures 203,208 km in length with tributaries of the Kukema River, Cuemba River and the Cuiva River. The same micro-basin has approximately 28,929.29 km<sup>2</sup> and a perimeter equal to 903,492 km in length and an altitude of 1788 m maximum and 1256 m minimum altitude. The drainage density obtained for the microbasin was 0.03 km/km<sup>2</sup>, which is why it is considered microbasin with poor drainage and the topography is strongly undulating, mountainous and steep, with an extended conformation with median tendencies to large floods. The flow rate of the watershed is favorable for its preservation due to the drainage density it presents, characterized as a very poor or very low density.

**Keywords:** GIS, Watershed, Cuanza River, Bié.

Futi, A.R.S., Pinto, G.N., Madruga, R.G., Chiambo, P.J., Quissindo, I.A.B. (2022). Geoprocessamento na análise de parâmetros morfométricos da microbacia hidrográfica do Rio Cuanza (Província do Bié, Angola). *Meio Ambiente (Brasil)*. v.4, n.1, 088-102.



Direitos do Autor. A Meio Ambiente (Brasil) utiliza a licença *Creative Commons* - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC.

## 1. Introdução

Bacia Hidrográfica (BH) é uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água tal que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída designada por exutorio (Cardoso, 2006; Belabed *et al.*, 2017). O contorno de uma bacia hidrográfica é basicamente definido por linhas de separação de águas superficiais que seguem as linhas de fecho e linhas de separação de águas freáticas ou subterrâneas que seguem as linhas de tavelgue (De Olivera *et al.*, 2011; Mutenyo *et al.*, 2015; Beucher e Meyer, 2018).

De acordo com Tang e Adesina (2022) uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é formada pelo conjunto de canais fluviais, delimitados por terrenos adjacentes mais elevados, os quais formam uma rede de drenagem constituída por diversos tributários e um rio principal, estes canais drenam as terras desde suas nascentes, terrenos mais elevados, carregando sedimentos em suspensão, de fundo e substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas para o canal principal.

Uma boa gestão da bacia hidrográfica permite um melhor aproveitamento dos recursos hídricos que nela afluem e que constituem um bem não renovável e de extrema importância para todas as formas de vida no planeta. Nesta perspectiva, e de acordo com Castro e Carvalho (2009) e Condon *et al.* (2020) a identificação e caracterização dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica é fundamental para garantir o uso sustentável e consciente de seus recursos uma vez que as análises morfométricas desses parâmetros constituem um importante recurso para identificar e caracterizar a dinâmica de um sistema fluvial. Existem várias aplicações para tais técnicas, principalmente para um planejamento ambiental adequado.

Os estudos ambientais e as análises de bacias hidrográficas possibilitam uma avaliação integrada do meio, permitindo a compreensão dos processos morfogenéticos, associados a dinâmica hidrológica e geomorfologia da área. Dessa forma, apresentando-se como factor condicionante para o uso e ocupação da terra vinculados as potencialidades e vulnerabilidades da área de interesse (Da Silva Knierin e Trentin, 2015).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser compreendida como um conjunto de procedimentos metodológicos que tem como orientação, a investigação e compreensão científica dos componentes naturais de uma bacia hidrográfica (Dos Santos e de Moraes, 2012). Também pode ser definida como o estudo quantitativo das formas do relevo, destacando-se a frente morfométria fluvial, os estudos de bacias hidrográficas com base em uma análise linear, de área ou superfície e hipsométrica.

Esses trabalhos dirigidos através de índices morfométricos do relevo e rede de drenagem são também aplicados como um instrumento de base ao estudo do meio ambiente e para o desenvolvimento de planos de gestão, a fim de estabelecer um uso racional do meio, assim como a compreensão de processos naturais.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica segundo Lima (1986), Santos *et al.* (2012) e Belabed *et al.* (2017) é em função das suas características fisiográficas, ou seja, área, forma, relevo, geologia, solo, rede de drenagem, e cobertura vegetal. Contudo, e segundo De Olivera *et al.* (2011), Tang e Adesina (2022) para um estudo adequado das inter-relações existentes entre os factores de forma e os processos hidrológico de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar tais características em parâmetros quantitativos. Esse estudo é de grande interesse pois que uma bacia hidrográfica constitui um sistema natural de transformação de chuva em vazão e é nela onde ocorrem os processos relacionados com a fase terrestre do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e sub-superficial e a quantidade de água produzida como deflúvio.

Entretanto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituem-se numa importante área do saber nos ramos de geoprocessamento com grandes potencialidades para estudos desta natureza, permitindo fazer uma análise de parâmetros de morfometria da BH (área de drenagem, perímetro, comprimento, longitude do leito principal e declividade); parâmetros associados a forma do relevo (cota máxima, cota mínima, altitude máxima, altitude mínima); parâmetros associados à rede de drenagem da BH (densidade de drenagem, frequência de drenagem, tempo de concentração) e os parâmetros associados à geometria da BH ( factor de forma, coeficiente de compacidade, Índice de circularidade).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa é avaliar os parâmetros morfométricos da bacia

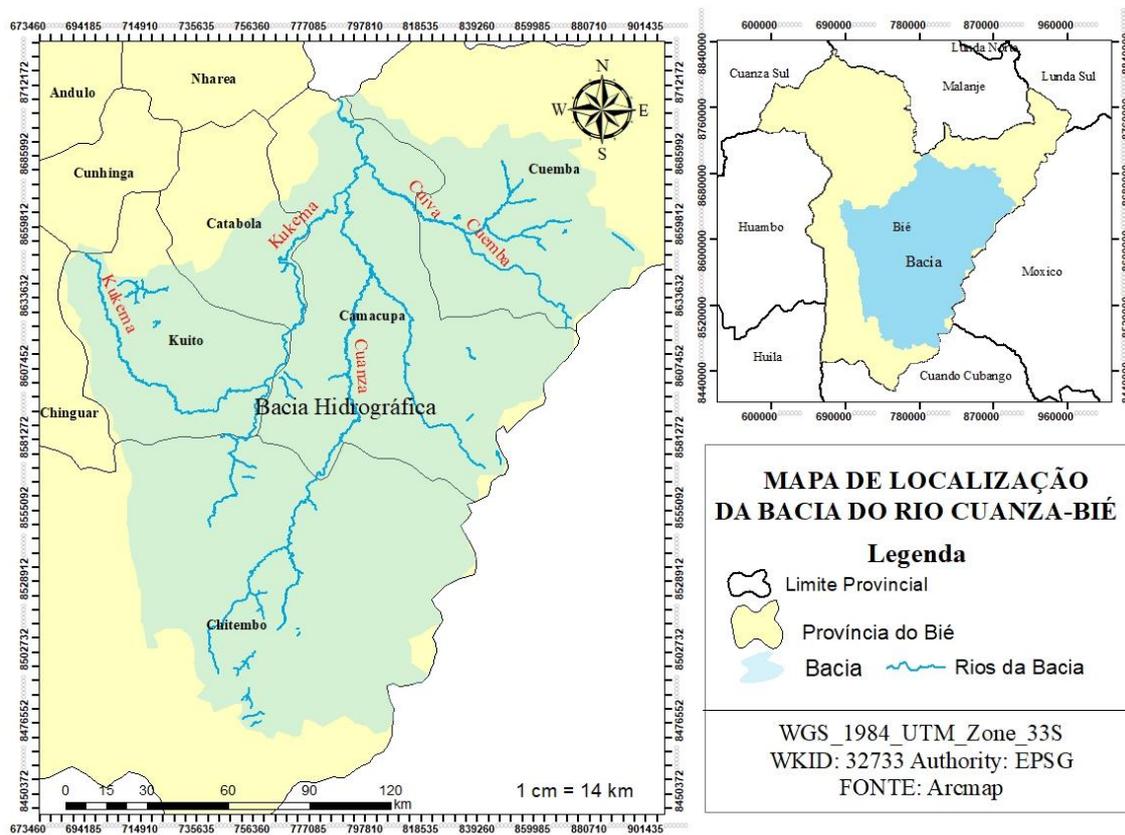
hidrográfica do rio Cuanza na província do Bié, Angola, a fim de utilizá-los como subsídios para a compartimentação geomorfológica da área estudada.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia do Rio Cuanza (Angola), que se encontra localizada na província do Bié entre os municípios de Camacupa, Catabola, Cuito (Cuito), Chitembo e Cunhinga (figura 1).

**Figura 1-** Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Cuanza, Bié



Fonte: Autores (2022)

A microbacia hidrográfica do Rio Cuanza localizada na Província do Bié é parte da grande bacia do principal rio de Angola, o Rio Cuanza. Esta bacia, por sua vez, é uma bacia hidrográfica angolana, que tem seu principal flúmen de escoamento o Rio Cuanza, sendo a maior e mais importante bacia do País (Quintino, 2011); abrange 152.570 km<sup>2</sup> de área de drenagem (Banco Mundial, 2019).

Sua área de drenagem da bacia abrange as províncias angolanas de Bié, Huambo, Malanje, Cuanza Norte, Cuanza Sul e Luanda, sendo a principal fornecedora de água doce, energia elétrica e peixes para as populações do centro de Angola, além de albergar imensas áreas ricas em biodiversidade na sua região de influência (Russo, 2007).

Seu curso navegável principal é pelo rio Cuanza, sendo o primeiro tramo da Barra do Cuanza até

Muxima, e o segundo tramo de Muxima até a Central Hidroelétrica de Cambambe. Após Cambambe, a bacia entra em regiões planálticas, com longos trechos encachoeirados, tornando impossível a navegação (Quintino, 2016).

Ela possui três sub-bacias, sendo a do Alto Cuanza entre a nascente, no Planalto Central de Angola, e a Central Hidroelétrica de Capanda; a do Médio Cuanza que vai de Capanda até a Central Hidroelétrica de Cambambe, e; a do Baixo Cuanza vai desde o Cambambe até à foz (Quintino, 2016; Banco Mundial, 2019).

## 2.2. Metodologia

Com escopo de fazer cumprir a realização das análises morfométricas da Microbacia do rio Cuanza na província do Bié, o presente trabalho de pesquisa utilizou como base para extração e validação da rede de drenagem e cálculo dos parâmetros morfométricos os seguintes materiais e softwares (Tabela 1).

**Tabela 2** – Dados / software e respectivos provedores

Dados / Software	Provedor / fonte	Link de acesso
Modelo Digital de Elevação de 90 m de resolução espacial	Shuttle Radar Topographic Mission / NASA Earth Explorer	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
Limites administrativos de nível 2 ou provincial	DIVA-GIS	<a href="http://www.diva-gis.org/gdata">http://www.diva-gis.org/gdata</a>
ArcGIS versão 10.5	-----	-----
Microsoft Office Excel 2013 (pacote Office)	-----	-----

Fonte: Autores (2022)

O trabalho de pesquisa foi dividido em 3 etapas considerando os materiais utilizados acima mencionados, sendo que: a primeira etapa foi a delimitação da BH; a segunda etapa, a extração dos canais da rede de drenagem e a terceira, a realização de cálculos de variáveis morfométricos.

Na primeira etapa, foi utilizada o software Arcgis versão 10.5. Antes da delimitação da Bacia neste software como metodologia, foi configurada o tipo de projecção WGS 84 UTM 33 Sul e posteriormente carregado o MDE. Assim, foi feita a delimitação da bacia utilizando a ferramenta *fil>Hidrology>Spatial analyst tools>Arc toolbox*.

Deste modo, utilizando a ferramenta *Hidrology>Spatial analyst tools>Arc toolbox* foi possível fazer a geração eficiente de análises de direção da água (*flow direction*) no qual cada célula é associada a uma das 8 possíveis orientações que o escoamento pode ser direcionado. Posteriormente, utilizando o produto do resultado da análise anterior (*flow direction*), o fluxo de acumulação (*flow accumulation*) foi gerado; nesta fase, cada célula da matriz foi associada a quantidade de células que confluem ou convergem para ela. Depois da geração do fluxo de acumulação, foi identificado o ponto de menor altitude da bacia que corresponde, por sua vez à célula de maior fluxo acumulado. Finalmente, a delimitação da microbacia foi feita a partir do comando *watershed*, o qual considerou o fluxo de direção de cada pixel. Após a delimitação da bacia hidrográfica, na segunda etapa foi feita a extração de canais de rede de drenagem utilizando a ferramenta *hydrology>Flow length* (comprimento do fluxo). Nesta etapa, foram apresentados a longitude e a direção dos cursos de água, incluindo o canal principal da bacia.

A delimitação da rede de drenagem obedeceu ao uso de algumas fórmulas matemáticas, usando a ferramenta *Arc toolbox> Map álgebra> Raster Calculator* ( $\text{Log}_{10} [\text{Flow Accumulation}]$ ) e posteriormente a operação Condicional (Cond) em *Raster Calculator*, a fim de obter um arquivo raster com representação de

toda rede hídrica. Para finalizar a operação recorreu-se a opção *Arc toolbox> Spatial analyst tools>Hydrology>Stream link*. Foi feita ainda a delimitação da ordem dos rios ou canais da rede hídrica a partir do comando Stream Order.

Para o cálculo das variáveis morfométricas, já na terceira etapa, foram utilizadas as fórmulas propostas por Teodoro *et al.*, (2007), como descrito abaixo.

### 2.2.1. Parâmetros morfométricos

#### Características Geométricas

**Área:** Toda área drenada pelo sistema pluvial incluindo seus divisores topográficos, projectada em plano horizontal, sendo elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos; **Perímetro:** Comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas;

**Factor de forma:** Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão), podendo ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Podem atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. O factor de forma usado nesta pesquisa foi baseado na metodologia proposta por Cardoso *et al.* (2006) e Machado *et al.* (2011), como descrito abaixo.

$$\text{Equação 1: } K_f = \frac{A}{L^2}$$

Sendo que:  $K_f$  = Factor de forma;  $A$  = Área da Bacia de drenagem;  $L^2$  = Comprimento do eixo da Bacia.

**Coefficiente de compacidade:** Relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia. Esse coeficiente é um número a dimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual a uma unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a um, podendo ser calculado na seguinte equação:

$$\text{Equação 2: } K_c = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sendo que:  $K_c$  = Coeficiente de Compacidade;  $P$  = Perímetro da Bacia de drenagem;  $A$  = Área da Bacia de drenagem.

**Índice de circularidade:** Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para unidade à medida que a bacia se aproxima a forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada, segundo a equação 3:

$$\text{Equação 3: } I_c = \frac{12,57 * A}{P^2}$$

Sendo que:  $I_c$  = Índice de circularidade;  $A$  = Área da Bacia de drenagem;  $P$  = Perímetro da Bacia de drenagem.

Densidade hidrográfica da Bacia: é a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica expressa pelas fórmulas:

$$\text{Equação 4: } Dh = \frac{Ni}{A}$$

Sendo que: Dh= Densidade hidrográfica; Ni =N úmeros de cursos de água; A= Área da Bacia de drenagem.

### Características do Relevo

Declividade: A declividade relaciona-se com a velocidade em que se dá o escoamento superficial. Está diretamente associada ao tempo de duração do escoamento superficial e de concentração da precipitação nos leitos dos cursos de água. Quanto maior for a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor tempo de concentração (Tc) e maior as perspectivas de picos de enchentes (De Carvalho e Da Silva, 2006; Teodoro *et al.*, 2007).

Altitude: A variação de altitude associa-se com a precipitação, evaporação e transpiração, consequentemente sobre o deflúvio médio. Grandes variações de altitude numa bacia acarretam diferenças significativas na temperatura média, a qual, por sua vez, causa variações na evapotranspiração. Mais significativas, porém, são as possíveis variações de precipitação anual com a elevação.

Amplitude altimétrica: é a variação entre a altitude máxima e altitude mínima.

Relação relevo: Relaciona a amplitude altimétrica máxima da bacia e sua extensão, ou seja, seu comprimento. A fórmula utilizada para esse cálculo é:

$$\text{Equação 5: } Rr = \frac{Hm}{L}$$

Sendo que: Rr= Relação relevo; Hm= Amplitude altimétrica; L= Comprimento da Bacia.

### Características de Drenagem

Ordem dos cursos de água: Consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Robert E. Horton, em 1945, nos seus estudos foi quem propôs de modo mais preciso, os critérios para ordenação dos cursos de água. Sendo os canais de primeira ordem aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem só recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também receber de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e de ordem inferior e assim sucessivamente.

Densidade de drenagem: correlaciona o comprimento total dos canais e/ou rios com a área da bacia hidrográfica. Ela pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\text{Equação 6: } Dd = \frac{Li}{A}$$

Sendo que: Dd= Densidade de drenagem; Li =Comprimento total dos rios ou canais; A= Área da Bacia de drenagem.

Índice de sinuosidade: É a relação entre o comprimento do canal principal e a distância axial do canal). A expressão para o cálculo do Índice de sinuosidade descreve-se de seguinte forma:

$$\text{Equação 7: } Is = \frac{L}{Lt}$$

Sendo que Is = índice de sinuosidade; L= Comprimento do canal principal; Lt = Comprimento axial do canal principal. Onde: Tt = Textura da topografia; Dd= Densidade de drenagem

Coefficiente de manutenção: representa uma medida de textura do solo, utilizando o índice Dd, e serve basicamente para determinar a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente.

$$\text{Equação 7: } Cm = \frac{1}{Dd} * 1000$$

Sendo que: Cm= Coeficiente de manutenção; Dd= Densidade de drenagem

Índice de rugosidade: O índice de rugosidade combina as variáveis, declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, representa-se com um valor a dimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem. Expressa da seguinte forma:

$$\text{Equação 8: } Ir = Hm * Dd$$

Sendo que: Ir= Índice de rugosidade; Dd= Densidade de drenagem.

Tempo de concentração: O tempo de concentração de uma bacia, (Tc), é o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia chegue à secção de referência da bacia. O tempo de concentração pode ser obtido experimentalmente ou pode ser estimado utilizando fórmulas empíricas. Dentro das inúmeras fórmulas para determinar o tempo de concentração podem referir-se algumas que se utilizam em Portugal.

$$\text{Equação 9: } Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,80\sqrt{Hms}}$$

Sendo que: Tc= Tempo de concentração (h), A= Área da Bacia de drenagem, L é o comprimento da bacia, Hms a altura média da bacia.

Declividade média do curso de água: resulta da diferença total de elevação entre o leito a dividir pelo comprimento do curso de água; matematicamente é expressa da seguinte forma:

$$\text{Equação 10: } Dm = \frac{\Delta H}{L}$$

Sendo que: Dm= Declividade média, ΔH= Altitude de secção de referência, L= comprimento do curso de água.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Características morfométricas da microbacia do Rio Cuanza Bié-Angola

Na tabela seguinte estão os resultados matemáticos das análises feitas de parâmetros morfométricos da Microbacia do Rio Cuanza no Bié, Angola, agrupadas em características geométricas, relevo e drenagem.

**Tabela 2-** Morfométricas da Microbacia do Rio Cuanza Bié, Angola

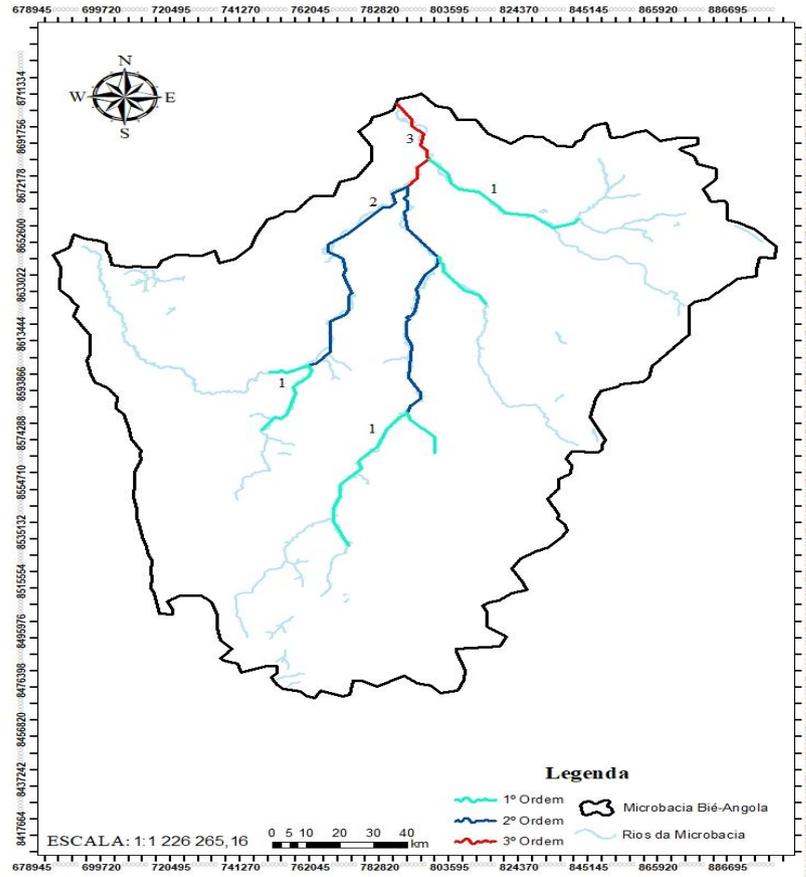
<b>Características Geométricas</b>	<b>Resultado</b>
Área (A)	28929,29 (km <sup>2</sup> )
Perímetro (P)	903,492 (km)
Número de canais (N)	17
Comprimento axial da bacia (L2)	239,861 (km)
Extensão axial canal (Rio) principal (Lt)	175,713 (km)
Extensão do canal (Rio) principal (L)	203,208 (km)
Fator de forma (Kf)	0,515
Densidade hidrográfica	276,53 canais (m <sup>-2</sup> )
Índice de Circularidade (Ic)	0,445
Índice de rugosidade	8,21 Km.km <sup>-1</sup>
Índice de Compacidade	1,487
<b>Características do Relevo</b>	
Ponto mais alto da bacia (PI)	1778 (m)
Ponto mais baixo (PII)	1256 (m)
Altitude média	1475,5 (m)
Amplitude altimétrica (Hm)	522 (m)
Inclinação do rio principal	Max (3,8.-4,7) e Min (0,6.-0,6)
Índice de sinuosidade (IS)	1,156 Km.km <sup>-1</sup>
<b>Rede de Drenagem</b>	
Comprimento do canal principal (L)	203,208 (km)
Longitude dos canais (cursos) de água	446,950 (km)
Densidade de drenagem (Dd)	0,03 km.km <sup>-2</sup>
Ordem da bacia	3
Tempo de concentração	0,676 (h)

Fonte: Autores (2022)

A Microbacia do Rio Cuanza do Bié, Angola, apresenta uma área de drenagem equivalente à 28.929,29 km<sup>2</sup> e um perímetro igual à 903,492 km.

Conforme a metodologia hierárquica de Horton (1945) e Strahler (1952) citado por dos Santos *et al.* (2016), a microbacia apresenta três ordens, sendo que a primeira ordem é composta por 8 cursos de água, a segunda ordem 7 cursos de água e 2 cursos de água a terceira ordem (Figura 2). Pelo facto de a bacia do rio kwanza ter a sua foz no oceano atlântico, considera-se como uma bacia exorréica.

**Figura 2** - Mapa de ordem dos cursos de água da microbacia do Rio Cuanza baseado na classificação de Horton (1945) modificado por Strahler (1952)

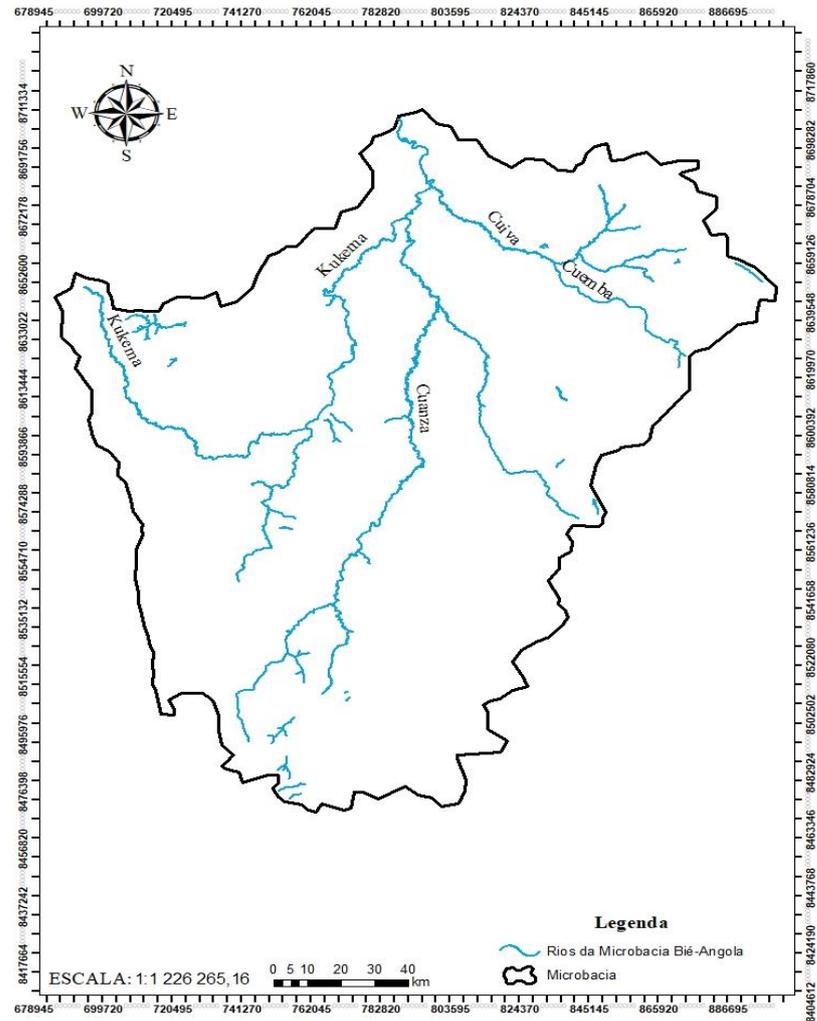


**Fonte:** Adaptado pelos Autores (2022) baseado em Horton (1945) e Strahler (1952)

Essas ordens caracterizam a microbacia como de baixa drenagem e representam um grau de ramificação dos sistemas de drenagem. Os principais afluentes do Canal principais (Rio Cuanza) da microbacia conforme a figura 3, são: Rio Kukema, Rio Cuemba e o Rio Cuiva. Também se justifica a baixa drenagem pelo facto de geograficamente a microbacia situar-se na zona do planalto.

De acordo com os índices obtidos para análise de parâmetros morfométricos, o coeficiente de compacidade - Kc (1,487), o factor de forma - Kf (0,515), índice de rugosidade - Ir (8,21) e índice de circularidade - Ic (0,445), a microbacia do rio Cuanza do Bié, Angola, é alargada com um valor acima do intervalo correspondente à 1,0-1,25 e caso for contrário seria circular, a mesma consequentemente tem tendências medianas a grandes enchentes pois o seu valor encontra-se no intervalo de 0,75-0,50 segundo o seu fator de forma com exceção as intensidades de precipitações anormais.

A comparar uma microbacia com factor de forma menor com outra de maior valor nota-se que a última tem mais probabilidades de sofrer inundações (Dos Santos *et al.*, 2016). Os mesmos autores afirmam ainda que quanto maior for o índice de rugosidade maior será o risco de degradação da microbacia quando as vertentes são íngremes e longas. Estudos feitos por De Sousa *et al.* (2017) mostram que os valores de índice de rugosidade inferior a 150 são propensos a não ocorrência de erosão, e os valores de índice de rugosidade da microbacia é muito inferior ao valor acima mencionado e indicando que esta não apresenta susceptibilidades erosiva ocasionada por escoamento superficial erosivos.

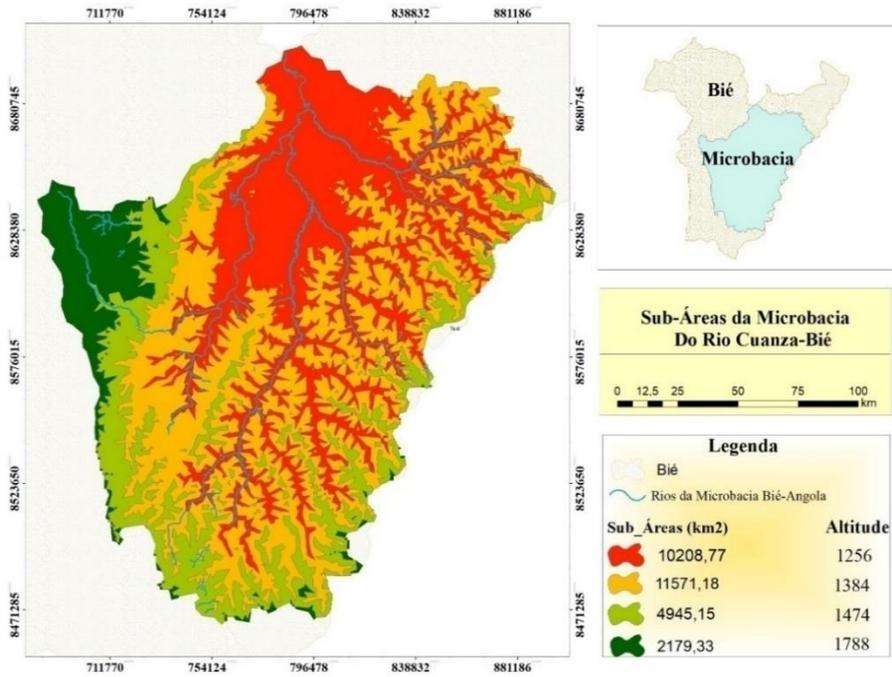
**Figura 3 -** Mapa da Hidrografia da Microbacia do Rio Cuanza Bié, Angola

**Fonte:** Autores (2022)

O valor obtido sobre o índice de circularidade é de 0,455 com tendências a não ocorrência de grandes enchentes sobre a microbacia. A densidade hidrográfica tende para 276,53 canais por  $m^2$  tratando-se de uma microbacia com baixa densidade de canais das águas que caem na superfície do solo a fim de encontrar um canal e por ele escoar.

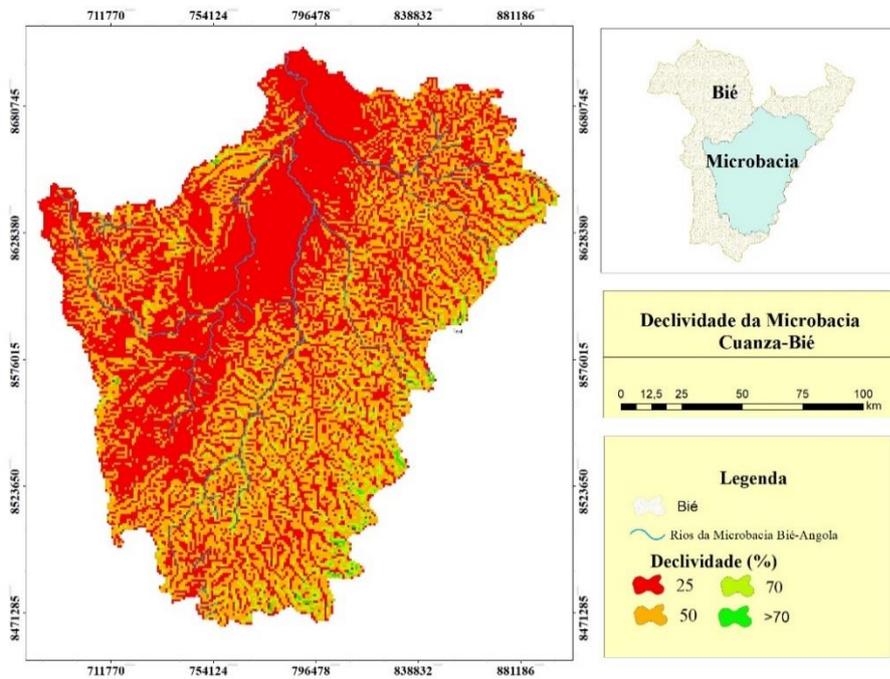
O mapa altimétrico e declividade das vertentes contribuem para o forte conhecimento na prevenção de movimentos de massa e modelagem, este processo contribui intimamente influenciado pela gravidade (ver a figura 4 e a figura 5). A microbacia em estudo apresenta uma altitude correspondente a 1788 m de maior altitude e 1256 m de menor altitude, a média de altitude altimétrica é de 1475,2 m e a sua amplitude altimétrica igual a 522 m conferindo assim a microbacia hidrográfica um relevo favorável à sua prevenção.

**Figura 4 -** Mapa Hipsométrico da Microbacia do Rio Cuanza do Bié, Angola



Fonte: Autores (2022)

**Figura 5 -** Mapa de Declividade da Microbacia do Rio Cuanza do Bié, Angola



Fonte: Autores (2022)

A declividade da microbacia do Rio Cuanza do Bié-Angola conforme a classificação da declividade segundo a EMBRAPA (2013) citado pelo Dos Santos *et al.*, (2016), as formas do relevo da microbacia são do tipo fortemente ondulado (20-54%), montanhoso (45-75%) e escarpado (> 75%).

**Tabela 3** - Tabela de Classificação da declividade do relevo segundo a EMBRAPA (2013)  
Classes de relevo utilizadas, segundo a EMBRAPA (2013)

Relevo	Classificação
0-3%	Plano
3-8%	Suavemente Ondulado
8-20%	Ondulado
20-45%	Fortemente Ondulado
45-75%	Montanhoso
>75%	Escarpado

**Fonte:** Autores (2022)

A sinuosidade dos canais indica a velocidade de escoamento do rio principal e quando maior for o valor da sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal, deste modo a velocidade de escoamento será menor. O valor da sinuosidade em estudo foi de  $1,156 \text{ km.km}^{-1}$ , considerado um valor baixo e vários autores afirmam que estes valores (baixos) apresentam uma velocidade de escoamento favorável a preservação da microbacia.

O tempo de concentração da microbacia é igual a 0,676 horas, superior a meia hora, este parâmetro indica o tempo em que uma gota de água passa aos canais desde a nascentes até a foz do rio. A densidade de drenagem encontrada foi igual a  $0,01544 \text{ km.km}^{-2}$  por este valor a microbacia hidrográfica em análise é caracterizada como a drenagem pobre ou baixa segundo a classificação utilizada por Dos Santos *et al.* (2016).

Para Beucher e Meyer (2018) as BH têm servido como uma das principais unidades mais básicas de organização em hidrologia por mais de 300 anos. Por isso, Condon *et al.*, (2020) atestam que com o crescente interesse nas interações água subterrânea-superfície e caminhos de fluxo subsuperficial, os hidrólogos estão cada vez mais estudando profundamente as BH e seus diferentes aspectos/elementos para sua melhor gestão.

A gestão de BH é uma prática em constante evolução que envolve a gestão da terra, água, biota e outros recursos em uma área definida para fins ecológicos, sociais e econômicos (Wang *et al.*, 2016; Beucher e Meyer, 2018). Abordagens holísticas de gestão, incorporação de ciência e tecnologia de ponta e coordenação interjurisdicional devem ser utilizadas, já que, conforme Wang *et al.* (2016), embora tenha havido progresso nas estratégias de gestão de bacias hidrográficas, ainda existem inúmeras questões que impedem os resultados de gestão bem-sucedidos.

Tang e Adesina (2022), em um estudo em contexto africano, consideraram que o ato de gerir as atividades no entorno da bacia deve ser uma gestão integrada da bacia, que considera as questões sociais, econômicas e ambientais em conjunto com os sistemas humano, institucional, natural e de sustentabilidade, que são os principais impulsionadores identificados neste estudo, pois bem como os interesses e a participação da comunidade, para gerir os recursos hídricos subterrâneos de forma sustentável.

Wang *et al.*, (2016) consideram que atualmente a gestão de BH deve ter em conta os impactos das mudanças climáticas, empregando avanços tecnológicos e abordagens holísticas e interdisciplinares para garantir que as bacias continuem a cumprir suas funções ecológicas, sociais e econômicas.

A gestão de BH deve também considerar as intervenções antrópicas que ela está sujeita. Tang e Adesina (2022) afirmaram que as atividades humanas afetam principalmente a tendência e a direção das águas pluviais, subterrâneas e outros recursos das BH na BH da África. Essas atividades alteram os fluxos dos rios e a qualidade do abastecimento de água utilizável nas terras altas e baixas.

Em África as BH e recursos hídricos subterrâneos fornecem serviços (ecossistêmicos, turísticos e económicos) importantes para as comunidades e a biodiversidade (Banco Mundial, 2019).

#### 4. Conclusão

A título conclusivo, realçar que os recursos hídricos são de extrema importância na gestão territorial, portanto a utilização racional destes recursos a partir de uma consciência comprometida com a responsabilidade ambiental é um dos maiores desafios da humanidade.

Por sua vez, os parâmetros morfométricos são muito importantes para a compreensão dos factores que afectam o comportamento das bacias, pois auxiliam na tomada de decisão e na elaboração dos planos de gestão.

Tendo em conta os parâmetros morfométricos estudados, a microbacia do Rio Cuanza Bié, Angola, caracteriza-se de forma alongada, parâmetro estes que demonstram que a microbacia apresenta medianas tendências para grandes enchentes devido fraca densidade de drenagem como resultado da baixa densidade de canais de água, favorecendo assim a não ocorrência de erosão do solo uma vez que apresenta uma velocidade de escoamento favorável a preservação da microbacia.

#### Referências

Banco Mundial. (2019). **Avaliação de Impacto Ambiental e Social**. Apêndices. Luanda: Empresa Pública de Águas de Luanda / Banco Mundial, Maio de 2019.

Belabed, B. E., Meddour, A., Samraoui, B., & Chenchouni, H. (2017). **Modeling seasonal and spatial contamination of surface waters and upper sediments with trace metal elements across industrialized urban areas of the Seybouse watershed in North Africa**. Environmental Monitoring and Assessment, 189(6), 1-19.

Beucher, S., & Meyer, F. (2018). **The morphological approach to segmentation: the watershed transformation**. In Mathematical morphology in image processing (pp. 433-481). CRC Press.

Cardoso, C. A.; Dias, H. C. T.; Soares, C. P. B.; Martins, S. V. (2006). **Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan**. Nova Friburgo, RJ. Revista Árvore. v.30, n.2, p.241-248.

Castro, S. B., & Carvalho, T. M. (2009). **Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Scientia plena. 5(2). p. 2.

Condon, L. E., Markovich, K. H., Kelleher, C. A., McDonnell, J. J., Ferguson, G., & McIntosh, J. C. (2020). **Where is the bottom of a watershed?** Water Resources Research, 56(3), e2019WR026010.

Da Silva Knierin, I., & Trentin, A. (2015). **Análise de parâmetros morfométricos através do SIG: estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhanduji (Oeste do RS) da Silva Knierin & Trentin**. S.n. S.l.: s.n. p. 2.

De Carvalho, F. D., Da Silva, B. D. L. (2006). **Manual de hidrologia**. Capítulo 3. Bacia hidrográfica. Brasil. p 66.

De Olivera, E. D; De Olivera, J.D; Alex, C. (2011). **Caracterização fisiográfica da bacia de drenagem do córrego jandaia**. Jandaia do sul/pr. DOI: 10.5654/actageo2011.0510.0010. ACTA Geográfica v.5, n.10, pp.169-183.

- De Sousa, Camila Furlan, et al. (2017). **Caracterização morfométrica da bacia do Rio Ivaí- Paraná**. Paraná: Geo-Ambiente. p. 15.
- Dos Santos Alves, W., Scopel, I., Martins, A. P., & Morais, W. A. (2016). **Análise morfométrica da bacia do Ribeirão das Abóboras–Rio Verde (GO)**. Geociências. São Paulo, 35(4), pp. 652-667.
- Dos Santos, D. A. R., & De Morais, F. (2012). **Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Lago Verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de Lagoa da Confusão–TO**. Revista Geonorte. 3(6), pp. 617-629.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: EMBRAPA. 353 p.
- Horton, R. E. (1945). **Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin. 56 (3): 275–370, doi:10.1130/0016-7606(1945). p. 56.
- Lima, W. P. (1986). **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, ESALQ. p. 6-7.
- Machado, R. A. S., Lobão, J. S. B., Vale, R. D., & Souza, A. P. M. J. (2011). **Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR. Curitiba, 5, pp. 1441-1448.
- Mutenyo, I., Nejadhashemi, A. P., Woznicki, S. A., & Giri, S. (2015). **Evaluation of SWAT performance on a mountainous watershed in tropical Africa**. Hydrology: Current Research, 6(Special Issue 3).
- Quintino, M. (2011). **Recursos Hídricos em Angola**. Luanda: Diretoria Nacional de Recursos Hídricos. 7 de fevereiro de 2011.
- Quintino, M. (2016). **Plano Geral de Desenvolvimento e Utilização dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Cuanza**. Luanda: Ministério da Energia e Águas de Angola.
- Russo, V. (2007). **Projecto Agrícola de Produtores Familiares Orientado para o Mercado (MOSAP): Quadro de Gestão Ambiental e Social**. Luanda: Banco Mundial, 20 de março.
- Santos, A. M.; Targa, M. S.; Batista, G. T.; Dias, N. W. (2012). **Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil**. Ambi-Agua. Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211.
- Strahler, A. N. (1952). **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology**. Geological Society of America Bulletin. 63 (11): 1117–1142, doi: 10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO. p. 2.
- Tang, X., & Adesina, J. A. (2022). **Integrated Watershed Management Framework and Groundwater Resources in Africa**. A Review of West Africa Sub-Region. Water, 14(3), 288.
- Teodoro, V. L. I., Teixeira, D., Costa, D. J. L., & Fuller, B. B. (2007). **O Conceito de bacia hidrográfica e a**

**importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** Revista Brasileira Multidisciplinar. 11(1), 137-156.

Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L., & Innes, J. L. (2016). **Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends.** Journal of Forestry Research, 27(5), 967-994.