



Margarida Penteado

Revista de
Geomorfologia



ANÁLISE MORFOMÉTRICA DAS BACIAS DOS RIOS BENI E MAMORÉ, BACIA DO RIO MADEIRA

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE BENI AND MAMORÉ RIVERS BASINS, MADEIRA RIVER BASIN

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS BENI Y MAMORÉ, CUENCA DEL RÍO MADEIRA

Ednaldo Bras Severo¹

¹Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas - UFAM

E-mail: edsevero.geo@gmail.com



ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9148-5570>

Rogério Ribeiro Marinho²

²Professor Doutor na Universidade Federal do Amazonas - UFAM

E-mail: rogeo@ufam.edu.br



ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-8635>

Matheus Silveira de Queiroz³

³Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas - UFAM

E-mail: matheussilveiradequeiroz@gmail.com



ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8722-7715>

Isabela Apoema⁴

⁴Mestranda em Geociências pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM

E-mail: isabelaapoema@gmail.com



ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1877-9126>

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a morfometria das bacias dos rios Beni e Mamoré, com o intuito de comparar suas características e compreender sua influência na dinâmica hidrológica da bacia do rio Madeira. Os parâmetros morfométricos foram calculados em Sistema de Informações Geográficas, empregando dados altimétricos das imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e dados vetoriais da rede de drenagem e limite das bacias. Os resultados indicam que, apesar das diferenças em suas áreas, ambas as bacias apresentam características morfométricas semelhantes, como formas alongadas, baixa densidade de drenagem e ampla variação altimétrica. Esses dados e as comparações indicaram que as bacias dos rios Beni e Mamoré são de baixa predisposição para inundações, apresentando bom escoamento superficial no curso principal.

Palavras-chave: Morfometria. Geomorfologia Fluvial. Bacia Amazônica.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the morphometry of the Beni and Mamoré river basins in order to compare their characteristics and understand their influence on the hydrological dynamics of the Madeira River basin. The morphometric parameters were calculated in a Geographic Information System using altimetric data from Shuttle Radar Topography

Margarida Penteado - Revista de Geomorfologia. v.1 n.2, dezembro de 2024, p.1-12

<https://doi.org/10.29327/ISSN2966-2958.v1n2.2024.008>



Mission (SRTM) images and vector data from the drainage network and basin boundaries. The results indicate that, despite the differences in their areas, both basins have similar morphometric characteristics, such as elongated shapes, low drainage density, and wide altimetric variation. These data and the comparisons indicate that the Beni and Mamoré river basins are not prone to flooding, with good surface runoff in the main course.

Keywords: Morphometry. Fluvial Geomorphology. Amazon Basin.

RESUMEN

El objetivo de este estudio era analizar la morfometría de las cuencas de los ríos Beni y Mamoré para comparar sus características y comprender su influencia en la dinámica hidrológica de la cuenca del río Madeira. Los parámetros morfométricos se calcularon en un Sistema de Información Geográfica, utilizando datos altimétricos procedentes de imágenes de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y datos vectoriales de la red de drenaje y de los límites de la cuenca. Los resultados indican que, a pesar de las diferencias en sus superficies, ambas cuencas presentan características morfométricas similares, como formas alargadas, baja densidad de drenaje y amplia variación altimétrica. Estos datos y las comparaciones indicaron que las cuencas de los ríos Beni y Mamoré no son propensas a las inundaciones, con una buena escorrentía superficial en el curso principal.

Palabras clave: Morfometría. Geomorfología Fluvial. Cuenca del Amazonas.

INTRODUÇÃO

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é uma das formas de analisar e compreender seu funcionamento em diferentes escalas, desde micro a grandes bacias (Queiroz, 2019). O estudo morfológico consiste na descrição detalhada de diversos parâmetros físicos que compõem um sistema de drenagem, fornecendo subsídios para o entendimento da influência que a morfologia do relevo exerce sobre o tamanho, forma, declividade da bacia, assim como a densidade de drenagem e comprimento dos cursos d'água. Já a morfometria se destaca como uma técnica importante para realizar análises hidrológicas e geomorfológicas, com o objetivo de responder questões relacionadas à dinâmica ambiental local ou regional (Melo; Filizola; Guyot, 2014).

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é importante para entender as características morfológicas de diversos ambientes geológicos distintos. Essa caracterização permite a identificação indireta dos dados hidrológicos e morfológicos locais e regionais de áreas com dificuldade de acessos logísticos por questões econômicas, sociais e territoriais (Villela; Matos, 1975). Os estudos morfométricos são essenciais para identificar as características do relevo, de forma que auxiliem no planejamento e gestão dos recursos hídricos (Fraga et al., 2014). Além disso, a morfometria pode ajudar a entender os riscos geomorfológicos e hidrológicos em uma área, com o intuito de mitigar possíveis impactos sociais e econômicos (Queiroz, 2019).

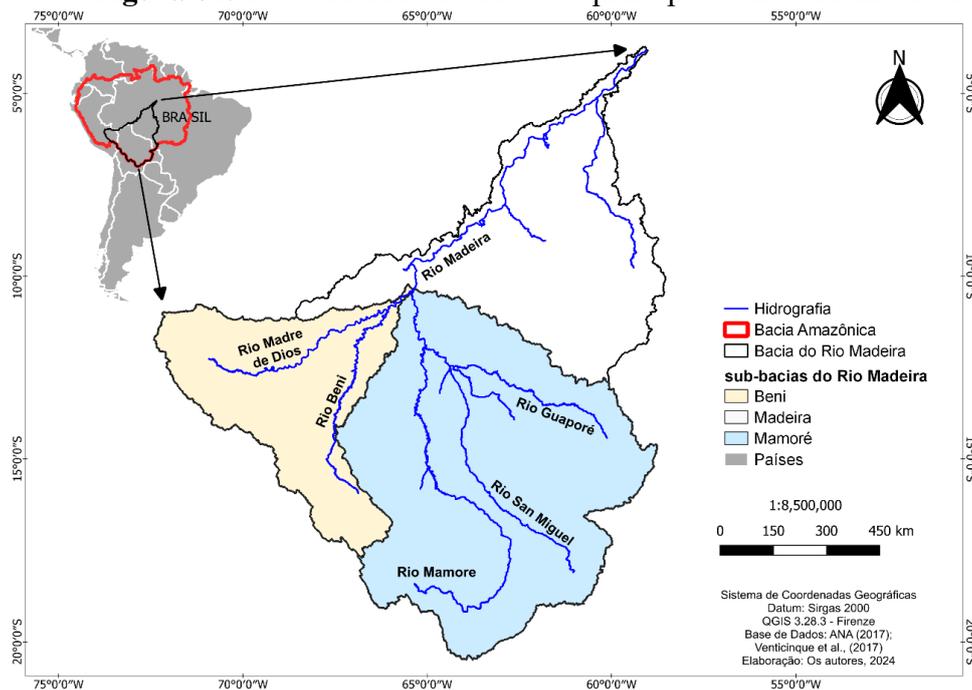
A variedade e as mudanças dos canais fluviais refletem a complexidade dos ambientes fluviais, sendo fundamental para a compreensão da geomorfologia fluvial (Charlton, 2008). As dinâmicas fluviais, que envolvem processos como erosão, transporte e deposição de sedimentos, provocam alterações na morfologia dos canais, tanto em escala local quanto regional, afetando significativamente a morfologia da bacia. Compreender a influência dessas dinâmicas na rede de drenagem fluvial de uma bacia é essencial para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos, considerando que a bacia é formada por um conjunto interligado de canais que drenam toda a área de um rio ou sistema fluvial (Christofolletti, 1980).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar a caracterização morfométrica e a comparação das bacias dos rios Beni e Mamoré, analisando os valores e parâmetros desses dois sistemas fluviais, que possuem grande volume de água, com vazões médias anuais de $9083 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $7114 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente, e transportam respectivamente $3,46 \times 10^8$ e $0,62 \times 10^8$ toneladas de sedimentos por ano transportados para o rio Madeira (Vauchel et al., 2017).

AREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Beni estende-se pelos territórios da Bolívia e do Peru, abrangendo aproximadamente $2,82 \times 10^5$ km². Deste total, 61% encontram-se na Bolívia e os 39% no Peru. Por outro lado, a bacia do rio Mamoré ocupa uma área de $6,36 \times 10^5$ km², com 81% dessa área na Bolívia e 19% no Brasil. A confluência desses dois rios, na fronteira entre o Brasil e a Bolívia, forma o rio Madeira, o qual é o maior afluente da margem direita do rio Amazonas, com uma descarga líquida de aproximadamente $27.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (VAUCHEL et al., 2017) (Figura 01).

Figura 01. Bacia do Rio Madeira e os principais canais formadores.



Fonte: ANA (2017); Venticinque et al., (2017); Adaptação dos autores.

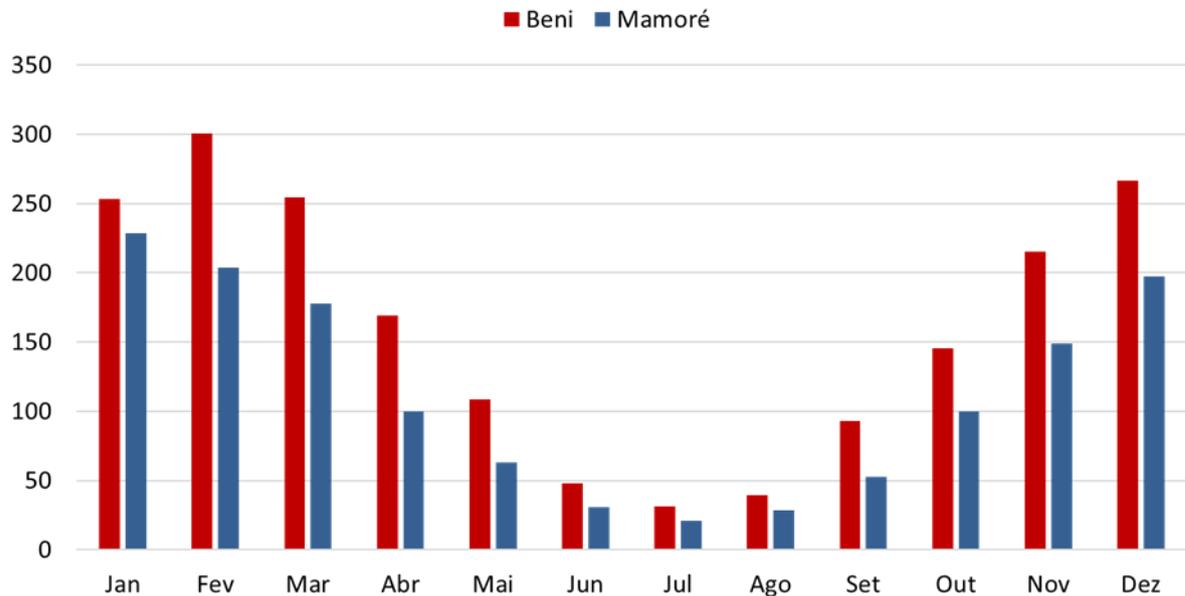
A bacia hidrográfica do Beni é composta geologicamente por rochas sedimentares paleozóicas associadas a rochas plutônicas mesozoicas e rochas metamórficas proterozóicas que sustentam o relevo da Cordilheira dos Andes. Na porção leste da bacia, verifica-se uma extensa área de sedimentos siliciclásticos do Quaternário, oriundo dessas rochas mais antigas. A bacia do Mamoré, além de englobar as mesmas rochas da bacia do Beni, uma vez que estão no mesmo contexto geológico-tectônico, apresenta também rochas metamórficas paleoproterozóicas e mesoproterozóica e rochas sedimentares mesozoicas (ALCÁRCEL-GUTIÉRREZ et al., 2023).

Ambas as bacias apresentam uma ampla diversidade de características climáticas. A região engloba desde áreas semiáridas e altamente erodíveis nos Andes até bacias densamente vegetadas em rochas paleozoicas (GUYOT; JOUANNEAU; WASSON, 1999). Segundo a classificação de Souza Filho et al. (1999), a compartimentação fluvial da bacia do rio Madeira está localizada no domínio composto pela bacia hidrográfica do Guaporé e parte do Mamoré, que se encontra sobre a Unidade Geomorfológica das Planícies e Pantanaís do Médio e Alto Guaporé.

O regime de precipitação (Figura 02) na bacia do Beni é bem definido, com amplitude de 270 mm entre os meses mais secos e mais chuvosos, com uma média anual de 1900 mm. No trimestre junho, julho e agosto, ocorre o período mais seco, com precipitação média entre 30 mm e 50 mm. De setembro a janeiro, há um aumento significativo, atingindo o pico em

fevereiro, quando a precipitação média alcança aproximadamente 300 mm. A partir daí, há uma rápida redução até chegar ao valor mínimo de 30 mm em julho (CHIRPS, 2024).

Figura 2. Regime de precipitação (mm) 1990-2021.



Fonte: CHIRPS (2024); Adaptação dos autores.

Na bacia do rio Mamoré, o período de menor precipitação ocorre no trimestre junho, julho e agosto, com valores médios de acumulado mensal de 20 mm a 30 mm. A partir de setembro, a precipitação aumenta gradualmente, atingindo o pico em janeiro, com cerca de 230 mm. Embora haja uma leve redução em fevereiro, os níveis de precipitação permanecem elevados, seguidos por uma rápida diminuição até julho, quando a precipitação média atinge seu valor mínimo de 21 mm.

Em relação a cobertura do solo, a bacia do rio Beni é composta por 1,17% de superfícies hídricas (rios e lagos), 3,69% de ocupação antrópica (atividades agrícolas, infraestrutura urbana e mineração) e 95,15% de coberturas naturais (formações florestais, savanas, florestas inundáveis e não inundáveis, áreas campestres e outras formações naturais). Em contraste, a bacia do rio Mamoré apresenta 1,21% de superfícies hídricas, uma influência antrópica mais evidente abrangendo, 17,96% da área, e apenas 80,83% de coberturas naturais. Dessa forma, as transformações no uso e cobertura do solo nas últimas décadas ocorreram de forma mais acentuada na bacia do rio Mamoré em comparação com a do rio Beni (Severo; Marinho, 2024).

METODOLOGIA

Utilizaram-se dados altimétricos do Modelo Digital de Elevação da missão *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, com tamanho de píxel de 30 metros processados no Google Earth Engine (GEE), e o banco de dados vetoriais desenvolvido por Venticinque (2016), para o cálculo dos parâmetros morfométricos. Nesse estudo, utilizaram-se também os dados do SRTM para gerar a delimitação das bacias e da rede de drenagem para a sua hierarquização.

As características morfométricas foram calculadas e analisadas em relação à geometria, relevo e rede de drenagem, conforme estudos anteriores de Teodoro et al. (2007), Melo, Filizola e Guyot (2014), Gomes (2016) e Lopes et al. (2018). As fórmulas utilizadas para calcular os parâmetros estão descritas em Christofolletti (1980), Tonello (2005) e Stevaux e Latrubesse (2017). Na Tabela 1 são apresentadas as características morfométricas, juntamente com os tipos de análise e as equações aplicadas.

Tabela 1. Características geométricas e tipos de análises

Tipos de Análises	Definição
Área total (A)	Área delimitada pelo divisor de águas a partir das somatórias das áreas do limite da bacia
Perímetro total (P)	Comprimento médio ao longo do divisor de águas estimado a partir do limite da bacia, segundo a somatória de todas as diagonais
Largura (L)	Largura entre os lados da bacia, considerando a orientação oeste – leste.
Comprimento axial (km)	Comprimento da nascente até o exutório da bacia.
Coefficiente de Compacidade (Kc)	<p>Relaciona a forma da bacia com um círculo, definido como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Sendo: $K_c = 1 =$ circular (Villela; Mattos, 1975).</p> $K_c = 0,28 \times P \times A^{0,5}$ <p>Onde: K_c = Coeficiente de compacidade P = Perímetro A = Área de drenagem</p>
Fator de Forma (Kf)	<p>Relaciona a forma da bacia com a forma de um retângulo. É determinado pela relação entre a largura média e o comprimento do curso d'água principal. Sendo: $K_f = 1 =$ retangular (Villela; Mattos, 1975).</p> $K_f = \frac{A}{L^2}$ <p>Onde: K_f = Fator de forma; A = Área de drenagem L = comprimento do eixo da bacia</p>
Índice de Circularidade (IC)	<p>Relaciona a forma da bacia com a forma circular. Sendo: $IC = 1 =$ circular (Tonello et al., 2006).</p> $IC = \frac{(12,57 \times A)}{P^2}$ <p>Onde: IC = Índice de circularidade A = Área de drenagem em km² P = Perímetro em km</p>
Densidade de Drenagem (Dd)	<p>Indica o grau de desenvolvimento e eficiência do sistema de drenagem, definida pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede e a área da bacia. Varia de 0,5 km.km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km.km² ou mais em bacias bem drenadas (Villela; Mattos, 1975).</p> $D_d = \frac{L}{A}$ <p>Onde: D_d = Densidade de drenagem; L = Comprimento total dos rios ou canais A = Área de drenagem</p>

Fonte: Adaptado de Tonello (2005); Teodoro et al. (2007) e Lopes et al. (2018).

As características do relevo (Tabela 2) são importantes fatores de controle de um canal fluvial, pois a velocidade do escoamento superficial é influenciada pela declividade do terreno, além da sinuosidade e rugosidade do canal. Outro fator relevante é a orientação do relevo,

que influencia a incidência solar na bacia, podendo, de acordo com Melo, Filizola e Guyot (2014), afetar as relações entre precipitação e deflúvio.

Tabela 2. Características morfométricas do relevo e tipos de análises

Tipos de Análises	Definição
Orientação	Orientação do terreno, utilizado para indicar o fator de incidência solar na bacia (Melo, Filizola; Guyot, 2014).
Altitude mínima	Representa a elevação mínima que o curso d'água apresenta na bacia tendo como referência o nível médio do mar
Altitude média	Representa a variação da elevação média do terreno da bacia com referência ao nível médio do mar
Altitude máxima	Elevação máxima ou final na bacia com referência ao nível médio do mar
Declividade médida do curso d'água principal	Inclinação média que atinge o terreno da bacia.

Fonte: Adaptado de Tonello (2005); Teodoro et al., (2007) e Lopes et al., (2018).

Assim como as características do relevo, os parâmetros da rede de drenagem (Tabela 3) são importantes fatores para o entendimento e o planejamento de uma bacia hidrográfica. De acordo com Christofletti (1980, p. 102), a quantidade de água que atinge os cursos fluviais depende do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração. Essas informações são importantes para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos da bacia.

Tabela 3. Características morfométricas da rede de drenagem e tipos de análises.

Tipos de Análises	Definição
Comprimento do curso d'água principal	Comprimento do curso d'água principal medido em planta, desde a nascente até a seção exutória da bacia.
Comprimento total dos cursos d'água	Medida em planta da nascente até a seção de referência de cada tributário e curso principal, através da reclassificação da hidrografia em ordens específicas segundo a somatória das diagonais de suas células.
Ordem dos cursos d'água	Classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia (Strahler, 1957)

Fonte: Adaptado de Tonello (2005); Teodoro et al., (2007) e Lopes et al., (2018).

As características e os tipos de análises foram calculados no QGIS para as bacias em estudo, utilizando os dados vetoriais. Foram obtidos a área e o perímetro total, o comprimento do canal principal, o comprimento axial, a largura média e a ordem dos canais, utilizando a ferramenta calculadora de campo, que gerou os valores em km/km² para ambas as bacias.

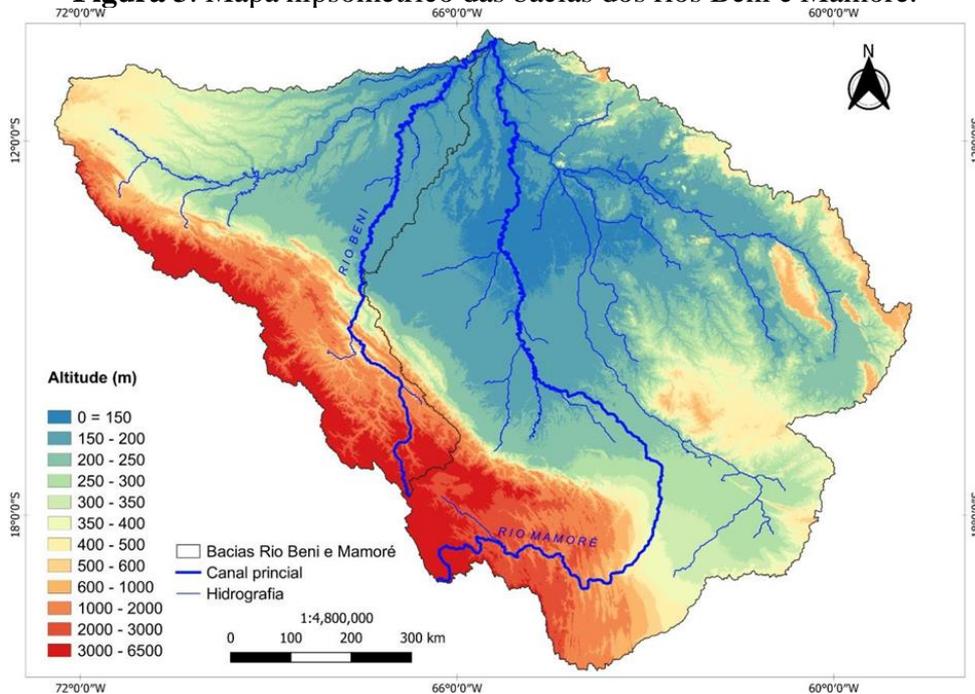
A partir desses parâmetros básicos, calculou-se o índice de circularidade (IC), o índice de sinuosidade (IS), o coeficiente de compactidade (Kc), o fator de forma (F) e a densidade de drenagem (Dd). A altitude (máxima, média e mínima), a amplitude altimétrica e o perfil

topográfico dos canais principais dos rios Beni e Mamoré foram obtidos a partir dos dados da missão SRTM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As bacias dos rios Beni e Mamoré, que compõe o alto curso da bacia do Madeira, são delimitadas topograficamente ao sul pela cordilheira dos Andes, atingindo elevações de 6500 metros. Suas nascentes estão localizadas nos Andes, no território boliviano, e drenam áreas que variam de 5 mil metros de altitude até a planície Amazônica, próxima a 70 metros, na fronteira entre Brasil e Bolívia. O canal do rio Mamoré, conforme ilustrado na Figura 03, possui uma extensão total de aproximadamente 2341 km desde sua nascente na Bolívia até sua foz em território brasileiro. Sua cabeceira nasce em elevações próximas de 5000 metros de altitude, descendo acentuadamente por cerca de 400 km. Porém, devido aos ruídos presentes nas imagens SRTM reamostradas para resolução de 30 metros utilizadas para maior detalhamento não foi possível apresentar detalhes da declividade do canal e da orientação do relevo.

Figura 3. Mapa hipsométrico das bacias dos rios Beni e Mamoré.



Fonte: SRTM, 2000, Adaptação dos autores.

Observa-se que entre a região do escudo cristalino e o cinturão orogênico dos Andes, na região central de ambas as bacias, há uma região de baixa variação altimétrica. Essa região é caracterizada como uma bacia de foreland. A atividade orogênica que formou a cordilheira dos Andes iniciou-se no Cretáceo (~145-66 Ma), concomitantemente formou-se uma bacia de foreland entre o escudo do Brasil (região mais intemperizada) e o cinturão orogênico, essa bacia começou a se formar a aproximadamente 100 Ma (transição entre o Cretáceo Inferior e Superior) e até os dias atuais retém grande parte do aporte de sedimentos dos Andes para a bacia dos rios Mamoré e Beni (Vauchel et al., 2017). Nessa região, observa-se uma baixa amplitude altimétrica (>10 metros) e, conseqüentemente, baixas declividades.

O rio Beni, por sua vez, é 37% (872 km) menor que o Mamoré, com uma extensão total de 1468 km. Suas nascentes estão localizadas em uma região de relevo menos elevado, a pouco mais de 3000 metros de altitude. O canal flui acentuadamente por cerca de 200 km, saindo de

uma área montanhosa para a planície Amazônica, destacando a semelhança no comportamento geomorfológico dos dois rios.

A sinuosidade de um curso d'água é um fator controlador da velocidade do fluxo. Quanto maior a sinuosidade, maior será a resistência ao aumento da velocidade de deslocamento (Gomes, 2016). Canais fluviais sinuosos são classificados como do tipo meandrante, caracterizados pela ausência de harmonia ou regularidade em suas curvas. Conforme Schumm (1967), existem três tipos de meandros: irregulares, regulares e tortuosos, o que dificulta uma classificação precisa com base nesses parâmetros. Canais com valores próximos a 1 indicam um padrão retilíneo, enquanto valores superiores a 1,7 indicam canais sinuosos (Schumm, 1963).

Apesar de o grau médio de sinuosidade ao longo dos rios Beni e Mamoré ser da ordem de 1,42, o que sugere uma tendência a canais transicionais (entre retilíneos e meandrantés), porém os trechos mais retos estão localizados nas regiões de menor amplitude altimétrica (bacia de Foreland), enquanto que no alto curso (região Andina e sub-Andina) a tendência é que os canais sejam mais sinuosos.

Constantine et al. (2014), colocam que a sinuosidade dos rios é influenciada pela oferta de sedimentos e pela dinâmica de migração dos meandros. Observaram-se trechos em que apresentam formas retilíneas e outros com meandros de tipo irregular, alternando em tamanho e forma. De acordo com Constantine et al. (2014), a sinuosidade dos rios é um aspecto dinâmico que pode ser modificado pela quantidade de sedimentos disponíveis e pela atividade de migração dos meandros, refletindo a interação complexa entre sedimentação e morfologia fluvial.

Os rios de traçado retilíneo possuem alta competência de transporte de sedimentos, enquanto com traçado meandrante favorecem o armazenamento de sedimentos. Os rios Beni e Mamoré, principalmente em seu baixo curso, drenam uma extensa planície fluvial com canais instáveis, migrantes e constituem um ambiente deposicional, com predomínio de sedimentos inconsolidados areno-argilosos (Souza Filho et al., 1999).

No sul do Piemonte Andino e na bacia de Foreland estima-se uma deposição média anual de 210 Mt.ano⁻¹ (Vauchel et al., 2017). A bacia de Foreland e a usina hidroelétrica do rio Madeira são os grandes responsáveis por reter grandes parte dos sedimentos finos transportados pela bacia do Madeira, de forma que o material em suspensão (MES) transportado para o baixo curso seja menor (Vauchel et al., 2017; Riveira et al., 2019).

O rio Beni possui um comprimento axial de 1035 km em uma área de 280.432 km², enquanto o rio Mamoré possui 1649 km em uma área de 636.932 km². Com a delimitação da área total das duas bacias em estudo, foi possível calcular os demais parâmetros morfométricos, que estão sintetizados e apresentados na Tabela 4. A área das bacias dos rios Beni e Mamoré, somadas, drena aproximadamente 917.365 km², sendo 69% dessa área ocupada pela bacia do rio Mamoré e 31% pela bacia do rio Beni. O perímetro é de 1468 km para o rio Beni e 7312 km para o rio Mamoré.

Tabela 4. Parâmetros Morfométricos.

Parâmetro Morfométrico	Rio Beni	Rio Mamoré
Área Total (km ²)	280.432	636.932
Perímetro (km)	5803	7312
Canal Principal Total (km)	1468	2341
Comprimento Axial (km)	1035	1649

Largura (km)	433	721
Coefficiente de compacidade	3,07	2,57
Índice de sinuosidade	1,42	1,42
Fator de forma	0,26	0,23
Índice de circularidade	0,10	0,15
Ordem da bacia	9°	10°
Densidade de drenagem (km/km ²)	0,69	0,62
Altitude Máxima (m)	6427	5138
Altitude Média (m)	1002	526
Altitude Mínima (m)	73	80
Amplitude Altimétrica (m)	6354	5058

Fonte: Autores (2023).

O coeficiente de compacidade (Kc) quantifica a forma da bacia em relação a um círculo e fornece uma ideia de quão "circular" ou "alongada" é uma bacia hidrográfica. As bacias dos rios Beni e Mamoré apresentaram respectivamente os seguintes coeficientes de capacidade: 3,07 e 2,57, demonstrando assim que são bacias irregulares, sendo a bacia do rio Beni mais irregular em comparação ao rio Mamoré, assumindo uma forma elíptica. Essa característica também é refletida no fator de forma (Kf), de 0,26 para o rio Beni e 0,23 para o rio Mamoré. Conforme Christofolletti (1981), se o índice Kf for menor que 1,0, as bacias são classificadas como compridas e possuem mais tempo de concentração da água no sistema.

Devido à sua forma alongada, a água superficial das bacias dos rios Beni e Mamoré leva mais tempo para se concentrar nos canais principais após um evento de precipitação. Isso pode resultar em uma resposta mais lenta às chuvas intensas, reduzindo a probabilidade de enchentes rápidas, mas também podendo prolongar os períodos de inundação quando ocorrem fortes chuvas. O índice de circularidade (Ic) do rio Beni é 0,10, inferior ao do rio Mamoré, que é 0,15. Ambas as bacias são alongadas, resultando em menor concentração de deflúvio, favorecendo o escoamento superficial. A densidade de drenagem (Dd) é de 0,69 km/km² para o rio Beni e 0,62 km/km² para o rio Mamoré, classificados como regulares e de baixa capacidade de drenagem.

A partir da delimitação da área total das bacias em estudo, foi possível calcular os parâmetros morfométricos apresentados na tabela 4. Ambas as bacias possuem grandes áreas de drenagem e diferente hierarquia fluvial, conforme dados disponibilizados por Venticinque et al. (2016), no qual utilizaram da metodologia de Strahler (1957) que consiste no grau de ramificação em uma bacia, para categorizar os canais fluviais em diferentes ordens. Os canais principais das bacias analisadas são de 9ª ordem para o rio Beni e 10ª ordem para o rio Mamoré, que possui uma área maior e uma quantidade superior de canais.

Os parâmetros analisados indicam que as bacias dos rios Beni e Mamoré são morfometricamente de baixa predisposição para inundações, com bom escoamento superficial no curso principal. Embora o rio Beni seja menor que o rio Mamoré em extensão, ambos apresentaram valores iguais para a sinuosidade média do curso fluvial. Isso significa que, devido à menor predisposição para inundações, as bacias têm uma capacidade maior de transportar o MES de maneira eficiente, reduzindo a probabilidade de sedimentação excessiva nos canais principais (Charlton, 2008).

A alta sinuosidade e a baixa capacidade de drenagem sugerem que os rios podem transportar o MES de forma contínua, mas com menor energia. Essa condição pode afetar a

deposição de sedimentos mais finos ao longo do curso fluvial, uma vez que a energia reduzida do fluxo pode resultar em uma maior probabilidade de deposição desses sedimentos, especialmente quando a velocidade da água diminui (Best, 2019). Além disso, a competência, que se refere à capacidade do rio de transportar sedimentos de diferentes tamanhos, é influenciada pela morfometria e pela energia do fluxo (Charlton, 2008).

Apesar de os parâmetros morfométricos indicarem uma baixa predisposição para inundações, a região é caracterizada pelos Llanos de Moxos, uma extensa área de savana úmida com cerca de 150.000 km². Hamilton, Sippel e Melack (2004) afirmam que o desmatamento e as queimadas para criação de pastagens podem ter contribuído para o aumento da extensão da savana, substituindo áreas que anteriormente eram cobertas por florestas.

Essa região sofre com o aumento acelerado do desmatamento devido à agricultura mecanizada, pecuária e agricultura de pequena escala (Muller et al., 2012). Esse aumento do desmatamento pode estar influenciando na diminuição da precipitação na região (Paca et al., 2020). A diminuição da precipitação afeta diretamente a oferta de água para os canais fluviais da bacia dos rios Beni e Mamoré.

A vegetação natural nos Llanos de Moxos geralmente consiste em floresta perene em áreas que não são afetadas pela inundação sazonal, enquanto as áreas sujeitas à inundação mantêm uma vegetação de campo ou savana (Hamilton; Sippel; Melack, 2004). A diversidade na vegetação pode influenciar a quantidade do MES nos rios, uma vez que a dinâmica de sedimentação e a oferta de sedimentos são influenciadas por fatores externos, como a erosão e a sedimentação, que podem ser afetados pela cobertura vegetal (Constantine et al., 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados e as comparações indicaram que as bacias dos rios Beni e Mamoré são morfometricamente de baixa predisposição para inundações, apresentando bom escoamento superficial no curso principal. Apesar do rio Beni ser menor que o rio Mamoré em extensão, ambos exibiram o mesmo valor para a sinuosidade média do curso fluvial. Ressalta-se a importância de analisar as bacias em setores (alto, médio e baixo curso), considerando a grande área de drenagem e a alta amplitude altimétrica presentes em ambas, que podem apresentar comportamentos distintos quando examinadas por regiões, visto que abrangem diferentes terrenos geomorfológicos.

Os rios Beni e Mamoré possuem grandes trechos retilíneos, que favorece a alta capacidade de transporte de sedimentos, enquanto canais com traçado meandrante propiciam a deposição de sedimentos. Esses canais fluviais estão situados em extensa planície aluvial pediplanada e relevos residuais. Ressalta-se, contudo, as dificuldades encontradas neste estudo para o cálculo de características como declividade e orientação do relevo, devido aos ruídos presentes nas imagens SRTM reamostradas para resolução de 30 metros utilizadas para maior detalhamento. Em função desses problemas observados, recomenda-se o uso dos dados em sua resolução original de 90 metros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEOG), ao Programa de Pós Graduação em Geociências (PPGEO), a Universidade Federal do Amazonas (UFAM), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado Amazonas (FAPEAM), pelas bolsas de nível mestrado cedida no ano de 2021/2024.

REFERÊNCIAS

-  Margarida Penteadó - Revista de Geomorfologia. v.1 n.2, dezembro de 2024, p.1-12
<https://doi.org/10.29327/ISSN2966-2958.v1n2.2024.008>

ALCÁRCEL-GUTIÉRREZ, Fernando Alirio; GÓMEZ TAPIAS, Jorge; MONTES RAMÍREZ, Nohora Emma; ALMANZA-MELÉNDEZ, María Fernanda. Geological Map of South America in Google Earth. **Journal of Maps**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 2185167. 2023. ISSN 1744-5647. DOI [10.1080/17445647.2023.2185167](https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2185167).

BEST, J. Anthropogenic stresses on the world's big rivers. **Nature Geoscience**, v. 12, n. 1, p. 7–21, 2019.

CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. London ; New York: Routledge, 2008. 234 p. ISBN 978-0-415-33453-2.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. vol. 1. 313 p.

CHRISTOFOLLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher. 2a ed, 1980.192p.

CONSTANTINE, José Antonio; DUNNE, Thomas; AHMED, Joshua; LEGLEITER, Carl; LAZARUS, Eli D. Sediment supply as a driver of river meandering and floodplain evolution in the Amazon Basin. **Nature Geoscience**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. 899–903, 2014.

FRAGA, M.S.; FERREIRA, R.G.; SILVA, F.B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D.P.; BARROS, F.M.; MARTINS, I. S.B. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Nativa**, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014.

GOMES, F. A. L. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Farinhas-PB através de dados SRTM**. Areia – PB, 2016. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, 2016.

GUYOT, Jean Loup; JOUANNEAU, Jean Marie; WASSON, Jean Gabriel. Characterisation of river bed and suspended sediments in the Rio Madeira drainage basin (Bolivian Amazonia). **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 401–410, jul. 1999. ISSN 08959811. DOI [10.1016/S0895-9811\(99\)00030-9](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(99)00030-9).

GOOGLE. **Google Earth Engine**: a planetary-scale platform for earth science data & analysis. 2001. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acesso em: 01 de dezembro de 2022.

HAMILTON, Stephen K.; SIPPEL, Suzanne J.; MELACK, John M. Seasonal inundation patterns in two large savanna floodplains of South America: the Llanos de Moxos (Bolivia) and the Llanos del Orinoco (Venezuela and Colombia). **Hydrological Processes**, [s. l.], v. 18, n. 11, p. 2103–2116, 2004. ISSN 1099-1085. DOI [10.1002/hyp.5559](https://doi.org/10.1002/hyp.5559).

LOPES E.R.N, SOUZA J.C., SOUSA J.A.P, ALBUQUERQUE FILHO J.L., LOURENÇO R.W. 2018. Modelagem Ambiental de Bacias Hidrográficas: Caracterização Morfométrica e Pedológica da Bacia do Rio Una – Ibiúna, Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 66, p.105-127, jan./abr. 2018.

MELO, E. ; Filizola, N. ; Guyot, J.-L. 2014. Estudo comparativo de índices morfométricos nas bacias dos rios JURUÁ e PURUS Região Amazônica. **Ciência & Ambiente**, v. 44, p. 71-86, 2014.

MULLER, R.; MULLER, D.; SCHIERHORN, F.; GEROLD, G.; PACHECO, P. Proximate causes of deforestation in the Bolivian lowlands: an analysis of spatial dynamics. **Reg Environ Change**, v. 12, pp. 445–459, 2012.

PACA, V.H.M.; ESPINOZA-DAVALOS, G.E.; MOREIRA, D.M.; COMAIR, G. Variability of Trends in Precipitation across the Amazon River Basin Determined from the CHIRPS Precipitation Product and from Station Records. **Water**, v. 12, n. 5, 2020.

QGIS Development Team. Versão 3.28. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project, 2023. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 30 de janeiro de 2023.

QUEIROZ, M. S. **Caracterização Hidrogeomorfológica da Bacia Hidrográfica do Mindu Manaus – Amazonas**. Monografia apresentada à Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Manaus, 2019.

SCHUMM, S. A. **The fluvial System**. New York: John Wiley e Sons, 1977.

SCHUMM, S.A. A sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geol.Soc. America Bull.** 74 (9), pp.1089-1100. 1963.

SOUZA FILHO, P.W.M. et al. 1999. Compartimentação morfoestrutural e neotectônica do sistema fluvial Guaporé-Mamoré – Alto Madeira, Rondônia, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo: SBG, v. 29, n. 4, p. 469-477.

SEVERO, E. B.; MARINHO, R. R. ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA COBERTURA DO SOLO E NA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DOS RIOS BENI E MAMORÉ. In: ALEIXO, N. C. R.; DINIZ, R. F.; VIEIRA, A. F. S. G. (ed.). **A GEOGRAFIA AMAZÔNICA EM MÚLTIPLAS ESCALAS**. São Paulo; Manaus: Alexa Cultural; Edua, 2024. v. 3, p. 17–34. ISBN 978-85-546-7358-1.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. Oficina de Textos, 2017.

STRAHLER, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p.913–920, 1957.

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 Uniara**, n.20, p. 137-156, 2007.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. 2006. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

VAUCHEL, P.; SANTINI, W.; GUYOT, J.L.; MOQUET, J.S.; MARTINEZ, J.M.; ESPINOZA, J.C.; BABY, P.; FUERTES, O.; NORIEGA, L.; PUITA, O.; SONDAG, F.; FRAIZY, P.; ARMIJOS, E.; COCHONNEAU, G.; TIMOUK, F.; OLIVEIRA, E.; FILIZOLA, N.P.; MOLINA, J.; RONCHAIL, J. A Reassessment of the Suspended Sediment Load in the Madeira River Basin from the Andes of Peru and Bolivia to the Amazon River in Brazil, Based on 10 Years of Data from the HYBAM Monitoring Programme. **J. Hydrol.**, v. 553, pp. 35–48, 2017.

VENTICINQUE, E.; FORSBERG, B.; BARTHEM, R.; PETRY, P.; HESS, L.; MERCADO, A.; CAÑAS, C.; MONTOYA, M.; DURIGAN, C. GOULDING, M. 2016. **An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon**. *Earth System Science Data*, v. 8, p. 651–661, 2016.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.