



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

MORFOGÊNESE FLUVIAL DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA COLÔNIA ANTÔNIO ALEIXO – MANAUS (AM)

*FLUVIAL MORPHOGENESIS OF THE HYDROGRAPHIC MICROBASIC
ANTÔNIO ALEIXO COLONY – MANAUS (AM)*

*MORFOGÉNESIS FLUVIAL DE LA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA
COLONIA ANTONIO ALEIXO – MANAUS (AM)*

(Recebido em 03-10-2023; Aceito em: 21-02-2025)

Daiane Cardoso Lopes Batista

Mestre em Geografia, pela Universidade Federal do Amazonas – Manaus, Brasil
Professora e Pesquisadora – Secretaria de Estado de Educação Desporto Escolar – Manaus, Brasil
daiane.batista@ufam.edu.br

Adoreia Rebello da Cunha Albuquerque

Doutora em Geografia Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, Brasil
Professora Adjunto da Universidade Federal do Amazonas – Manaus, Brasil
dorearebelo@ufam.edu.br

Resumo

A organização estrutural das bacias hidrográficas é condicionada por processos de evolução morfodinâmica, com destaque para a morfogênese fluvial como agente modelador da paisagem. No presente estudo, analisou-se a morfogênese fluvial da microbacia Colônia Antônio Aleixo, com ênfase na identificação de evidências de rearranjo da rede de drenagem, por meio da aplicação de parâmetros morfométricos e geomorfológicos que subsidiaram a interpretação da dinâmica evolutiva da paisagem. A metodologia adotada compreendeu: a) integração do banco de imagens; b) quantificação dos parâmetros lineares, zonais e hipsométricos; e c) análise morfoestrutural da microbacia. Os parâmetros morfométricos lineares e zonais revelaram uma bacia com índice de sinuosidade (I_s) igual a 1,0, considerado baixo, e um Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD) de 56,96, indicando uma assimetria fluvial, evidenciando um controle estrutural. A correlação do coeficiente linear da bacia revelou valor de 0,898, próximo de 1, indicando formato arredondado e alta suscetibilidade à ocorrência de enchentes. Os perfis transversais de elevação indicam a assimetria morfológica da bacia, com maior elevação da margem esquerda e rebaixamento da margem direita. A análise morfoestrutural da MBH indicou, no alto curso, a atuação de tensões associadas ao lineamento N50W/60SE, localizado na foz do Igarapé do Puraquequara ($3^{\circ} 3' 3.89''S$ e $59^{\circ} 55' 5.90''O$). No médio curso, o condicionamento ocorre pelo lineamento do Igarapé dos Educandos, no sentido N50E ($3^{\circ} 4' 51.60''S$ e $59^{\circ} 55' 10.16''O$); e, no baixo curso, verifica-se influência do lineamento da margem esquerda do rio Amazonas, com direção N55E/22 ($3^{\circ} 5' 8.55''S$ e $59^{\circ} 54' 0.5''W$).

Palavras-chave: Morfoestrutura; Bacia Hidrográfica; Dinâmica.

Abstract

The structural organization of watersheds is conditioned by processes of morphodynamic evolution, with emphasis on fluvial morphogenesis as a modeling agent of the landscape. In the present study, the fluvial morphogenesis of the Colônia Antônio Aleixo microbasin was analyzed, with emphasis on the identification of evidence of drainage network rearrangement, through the application of morphometric and geomorphological parameters that subsidized the interpretation of the evolutionary dynamics of the landscape. The methodology adopted included: a) integration of the image bank; b) quantification of linear, zonal and hypsometric parameters; and c) morphostructural analysis of the microbasin. The linear and zonal morphometric parameters revealed a basin with a sinuosity index (I_s) equal to 1.0, considered low, and a Drainage Basin Asymmetry Factor (FABD) of 56.96, indicating asymmetry of the microbasin, showing a structural control of the river layout. The correlation of the basin's linear coefficient revealed a value of 0.898, close to 1, indicating a rounded shape and high susceptibility to the occurrence of floods. The transverse elevation profiles indicate the morphological imbalance of the basin, with greater elevation of the left margin and lowering of the right bank. The analysis of the MBH morfostructure indicated, in the high course, the performance of stresses associated with the N50W/60SE lineament, located at the mouth of Igarapé do Puraquequara ($3^{\circ} 3'3.89''S$ and $59^{\circ}55'5.90''O$). In the middle course, the conditioning occurs by the lineament of the Igarapé dos Educandos, in the direction N50E ($3^{\circ} 4'51.60''S$ and $59^{\circ}55'10.16''O$); and, in the low course, there is influence of the lineament of the left bank of the Amazon River, with direction N55E/22 ($3^{\circ} 5' 8.55'' S$ and $59^{\circ} 54'0.5''W$).

Key words: Morfoestructure; Hydrographic Basin; Dynamics.

Resumen

La organización estructural de las cuencas hidrográficas está condicionada por procesos de evolución morfodinámica, destacando la morfogénesis fluvial como agente modelador del paisaje. En el presente estudio, se analizó la morfogénesis fluvial de la microcuenca Colonia Antônio Aleixo, con énfasis en la identificación de evidencias de reordenamiento de la red de drenaje, mediante la aplicación de parámetros morfométricos y geomorfológicos que subsidiaron la interpretación de la dinámica evolutiva del paisaje. La metodología adoptada incluyó: a) integración del banco de imágenes; b) cuantificación de los parámetros lineales, zonales e hipsométricos; y c) análisis morfoestructural de la microcuenca. Los parámetros morfométricos lineales y zonales revelaron una cuenca con índice de sinuosidad (I_s) igual a 1.0, considerado bajo, y un Factor de Asimetría de la Cuenca de Drenaje (FABD) de 56,96, indicando asimetría de la microcuenca, evidenciando un control estructural del trazado fluvial. La correlación del coeficiente lineal de la cuenca reveló un valor de 0,898, cerca de 1, indicando forma redondeada y alta susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones. Los perfiles transversales de elevación indican el desequilibrio morfológico de la cuenca, con mayor elevación del margen izquierdo y descenso del margen derecho. El análisis de la morfoestructura de la MBH indicó, en el curso alto, la actuación de tensiones asociadas a la línea N50W/60SE, ubicada en la desembocadura del Igarapé do Puraquequara ($3^{\circ} 3'3.89''S$ y $59^{\circ}55'5.90''O$). En el curso medio, el acondicionamiento ocurre por el lineamiento del Igarapé dos Educandos, en el sentido N50E ($3^{\circ} 4'51.60''S$ y $59^{\circ}55'10.16''O$); y, en el curso bajo, se verifica influencia del linamiento de la margen izquierda del río Amazonas, con dirección N55E/22 ($3^{\circ} 5' 8.55'' S$ y $59^{\circ} 54'0.5''W$).

Palabras Clave: Morfoestructura; Cuenca Hidrográfica; Dinámica.

Introdução

A dinâmica dos processos fluviais na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, localizada na porção oriental do município de Manaus, evidencia um sistema hidrogeomorfológico particularmente sensível às interferências antrópicas. A configuração dos canais, a morfologia do leito e os processos

de erosão e sedimentação são condicionados por variáveis como o regime pluviométrico equatorial, as características morfométricas das encostas e a ocupação urbana não planejada.

Conforme proposto por Christofoletti (1980), a dinâmica fluvial deve ser compreendida como um sistema de interação contínua entre os processos hidrológicos e os elementos constituintes da paisagem, cuja ação resulta na reconfiguração constante dos sistemas de drenagem.

A ocorrência de feições erosivas, como voçorocas e desbarrancamentos, evidencia a vulnerabilidade ambiental da região diante das pressões urbanas. Nesse contexto, Cunha e Guerra (1994) ressaltam que os estudos de geomorfologia fluvial constituem uma perspectiva metodológica de fundamental importância para a identificação de áreas suscetíveis à degradação, subsidiando a elaboração de políticas voltadas ao planejamento ambiental.

Investigações realizadas por Vieira (2008) e Souza (2022) indicam que processos como o desbarrancamento das margens, o desenvolvimento de voçorocas e a alteração da morfologia fluvial decorrem diretamente da intensificação das dinâmicas naturais associadas à urbanização. A compreensão aprofundada desses processos mostra-se imprescindível para subsidiar estratégias de gestão integrada dos recursos hídricos e para a mitigação dos impactos ambientais em áreas urbanas da Amazônia Central.

A dinâmica fluvial dos cursos d'água constitui fator determinante na modelagem do relevo e na organização da paisagem, atuando como agente primário na configuração dos sistemas naturais, conforme destacado por Magalhães Jr. (2020). Os processos fluviais, caracterizados por interações erosivas, deposicionais e pela reconfiguração da rede de drenagem, ocorrem de forma contínua no interior das bacias hidrográficas, promovendo modificações morfológicas e funcionais significativas.

A microbacia Colônia Antônio Aleixo, localizada na zona leste da cidade de Manaus, representa um exemplo expressivo dessa dinâmica. Parte integrante da bacia hidrográfica do rio Negro, essa unidade conecta-se ao rio Solimões em direção noroeste, formando, conjuntamente, o curso principal do rio Amazonas. Essa conexão hidrogeomorfológica evidencia a necessidade de análises integradas para a compreensão dos mecanismos de evolução das paisagens fluviais na Amazônia Central, considerando os condicionantes naturais e antrópicos que influenciam a morfodinâmica regional.

Inserida em uma extensa bacia hidrográfica em escala regional, a área apresenta diversos processos atuantes ao longo do tempo geológico, muitos dos quais resultam de rearranjos de drenagem que ocorrem por meio de decapitação, captura ou desvio (Sordi et al., 2018).

Nessa perspectiva, observa-se que determinados registros podem ser identificados por meio de imagens de sensoriamento remoto, uma vez que a escala espaço-temporal e os parâmetros

morfométricos auxiliam na detecção das mudanças na rede de drenagem. Assim, a rede de drenagem constitui um elemento fundamental da paisagem, exercendo papel essencial no controle e na reorganização dos sistemas fluviais, os quais se configuram como relevantes objetos de investigação (Summerfield, 1991; Schumm et al., 2000).

No caso do rio Amazonas, a tentativa de desmistificar sua origem, sobretudo nos períodos finais do Mioceno e do Pleistoceno, tem mobilizado diversos estudos relevantes ao longo do tempo. Pesquisadores como Sternberg (1950), Hoorn et al. (1995), Latrubesse e Rancy (2000), Latrubesse et al. (2007), Silva (2005), Hoorn et al. (2010) e Rozo (2012) vêm se dedicando a essa temática, contribuindo de forma significativa para a compreensão da evolução geológica e geomorfológica da bacia amazônica.

Essa linha de investigação remonta aos trabalhos pioneiros de Sternberg (1950), cujo artigo intitulado *Vales tectônicos na Amazônia* introduziu o debate sobre a atuação de forças neotectônicas na configuração do paralelismo de determinados rios e no desenvolvimento de padrões retangulares de drenagem. A partir desse estudo seminal, diversas outras contribuições destacaram-se na literatura científica, como as de Igreja (1987), Franzinelli e Piuci (1988), Cunha (1991), Costa et al. (1996), entre outros, aprofundando a análise sobre o papel das estruturas tectônicas na organização da rede hidrográfica amazônica.

Para a interpretação das ações da neotectônica, os fatores morfométricos também auxiliaram os estudos de Wang e Dembele (2018), realizados na região de Três Gargantas, na bacia de drenagem do rio Yangtze, na China. Esses autores validaram os parâmetros morfométricos e o grau de inclinação dos rios, apresentando valores como $N1 = 3^\circ$, $N3 = 4^\circ$ e $N5 = 6^\circ$, os quais indicam a inclinação dos canais fluviais.

Nos estudos de Cox (1994), analisou-se a assimetria da bacia hidrográfica situada a sudoeste do Mississippi, no centro-sul dos Estados Unidos, por meio de perfis topográficos transversais que evidenciaram a preferência dos fluxos de canais para W-SW. Entender e integrar a origem e as formas do relevo (morfogênese) e a morfometria é fundamental para interpretar a estrutura e o funcionamento dos sistemas fluviais, especialmente em ambientes que passaram por múltiplas fases de reconfiguração.

Nesta pesquisa, as indagações concentram-se na compreensão da morfogênese fluvial da microbacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo e nos possíveis vestígios relacionados ao processo de rearranjo da rede de drenagem, por meio da análise de parâmetros morfoestruturais e morfométricos (lineares, zonais e hipsométricos), que contribuem para a interpretação desses processos.

Área de estudo

A área da bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo é de aproximadamente 26,1 km² (Figura 1), onde limita-se a leste com a bacia hidrográfica do Puraquequara, a noroeste com as bacias de São Raimundo, Educandos, Mauá e a sul com o rio Amazonas.

Os planaltos e encostas localizados na região da bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo apresentam elevado grau de desgaste geomorfológico, intensificado pela ação pluviométrica sazonal. De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016), a média anual de precipitação na Amazônia Central é de aproximadamente 2.286 mm, com distribuição irregular ao longo do ano.

O trimestre mais quente — agosto, setembro e outubro — corresponde ao período de transição entre a estação seca e a chuvosa, registrando acumulados mensais entre 50 mm e 150 mm. Já o período mais seco, entre julho e setembro, apresenta os menores índices pluviométricos, com valores inferiores a 100 mm/mês, especialmente em julho, quando podem ser observados totais inferiores a 50 mm em áreas urbanizadas (INMET, 2016).

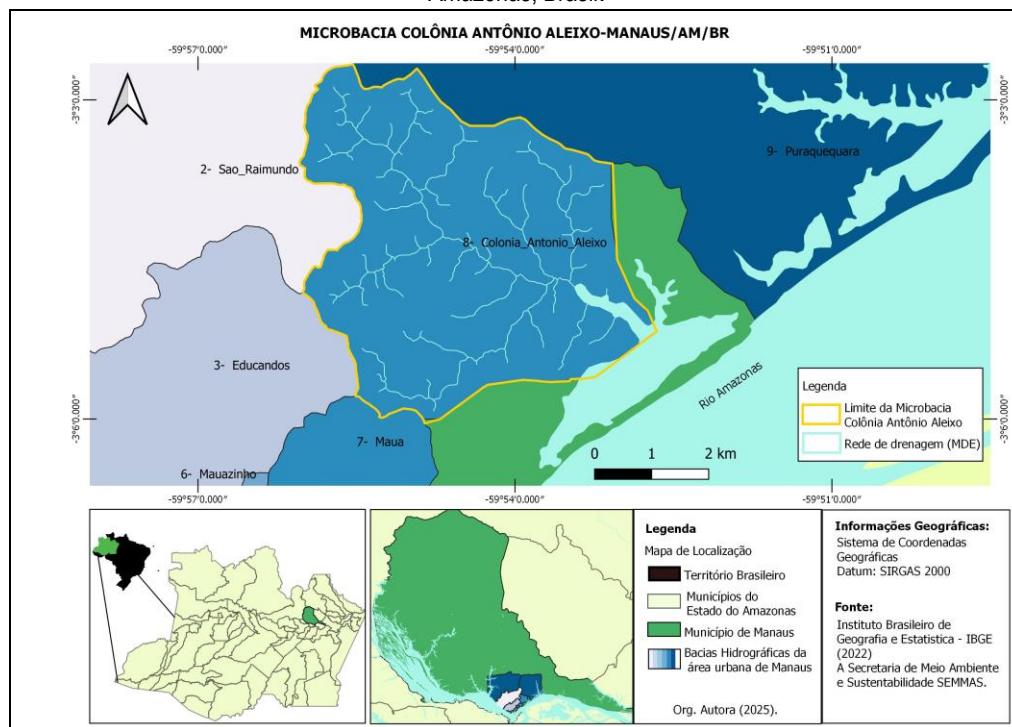
O trimestre mais chuvoso, entre fevereiro e abril, concentra os maiores volumes de precipitação, com médias mensais superiores a 250 mm, podendo ultrapassar 300 mm em março. Esse padrão é intensificado pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e por sistemas convectivos tropicais típicos da região (SIPAM, 2016).

Tal regime climático exerce influência significativa sobre os processos erosivos e a estabilidade dos solos em encostas íngremes, como argumenta Christofolletti (1980), ao destacar que os fatores climáticos atuam como agentes diretos na modelagem do relevo. Além disso, Frota Filho (2016) correlacionou a variabilidade pluviométrica com a intensificação dos fluxos superficiais e a aceleração dos processos erosivos em microbacias urbanas da Amazônia.

As características da neotectônica na região amazônica são evidenciadas por estruturas, sequências sedimentares, padrões de rede de drenagem e sistemas de relevo, cujas particularidades vêm sendo gradativamente desvendadas (Costa, 1996).

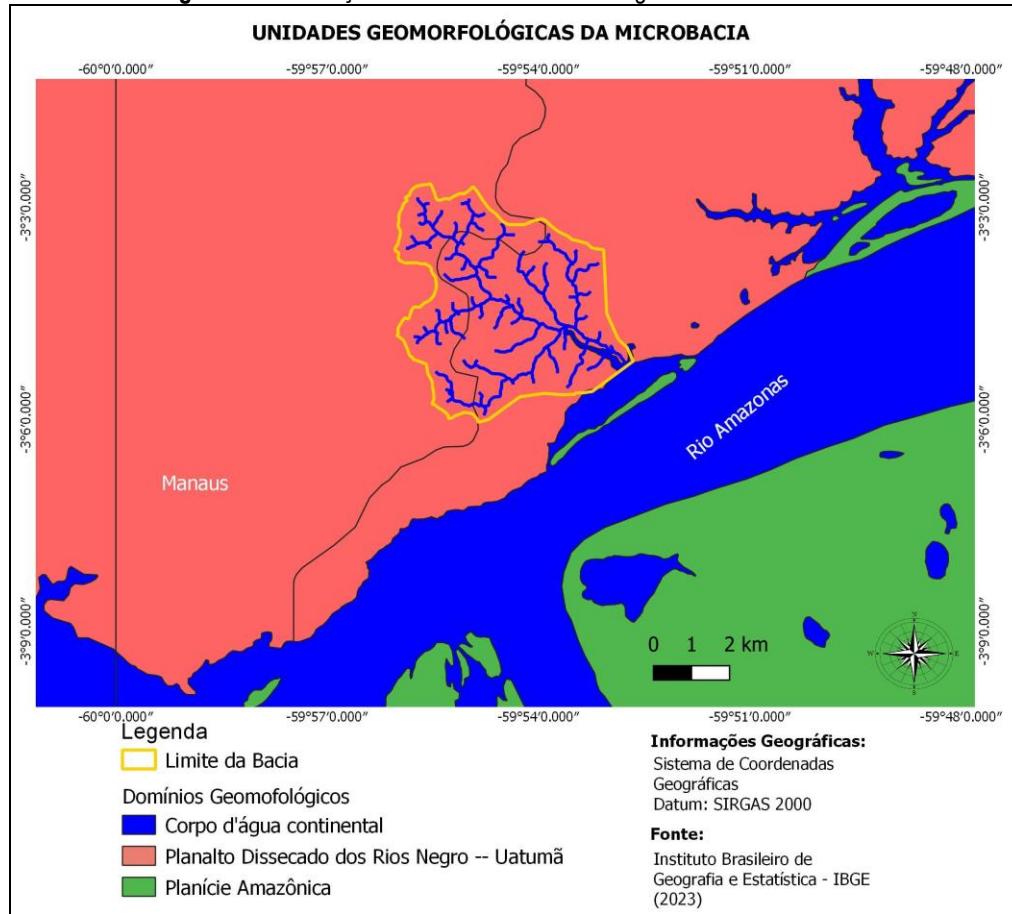
As reconfigurações do canal do rio Amazonas foram destacadas nos estudos de Rozo (2011). A instabilidade do nível do mar durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno influenciou os processos de sedimentação e condicionou o desenvolvimento do padrão atual do canal — caracterizado, a jusante de Manaus, por feições anastomosadas.

Figura 1: Localização da microbacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, na zona leste do município de Manaus, Amazonas, Brasil.



Fonte: Autora (2025).

Figura 2: Constituição das unidades Geomorfológicas da área de estudo.



Fonte: IBGE (2023).

Nesse contexto, segundo Silva (2005), o rio Negro percorre uma expressiva zona de falha normal que se estende por cerca de 70 km em linha reta, controlando ambas as margens. Essa estrutura geológica origina grábens (áreas em depressão), que constituem locais propícios à sedimentação atual.

Conforme apontado por Cunha et al. (2007), a região é composta por rochas antigas datadas da Era Mesozoica, período Cretáceo, pertencentes ao Grupo Javari e à Formação Alter do Chão (Figura 2). A Formação Alter do Chão é composta predominantemente por arenitos, intercalados com argilitos e siltitos, e subordinadamente por conglomerados avermelhados (Daemon, 1974).

Quanto à caracterização geomorfológica, a área de estudo insere-se no domínio do Planalto Dissecado Rio Trombetas–Rio Negro e da Planície Amazônica (Silva, 2005). Nesse setor, encontra-se condicionada pelo Platô Leste, onde o redesenho dos canais de drenagem apresenta fluxo orientado para o nordeste, pela margem esquerda do rio Negro.

Materiais e Métodos

Os dados altimétricos foram obtidos na plataforma da Agência Espacial Europeia, por meio do projeto *Copernicus DEM – Global and European Digital Elevation Model (COP-DEM)*. Esse conjunto integra diferentes fontes, como ASTER, SRTM90, SRTM30, SRTM30plus, GMTED2010, ALOS World 3D-30m e o DEM radargramétrico TerraSAR-X, com o objetivo de aprimorar a qualidade das informações altimétricas (Rossi, 2010).

Para esta pesquisa, adotou-se a matriz de pixels da imagem de radar do COP-DEM aplicada à delimitação da microbacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo.

Características Lineares da Rede de Drenagem

Os parâmetros lineares elaborados por Horton (1945), quantificam a rede de drenagem por meio de seus atributos:

- ✓ Comprimento do canal principal (L);
- ✓ Comprimento total da drenagem (L_{tot});
- ✓ Perímetro (P);
- ✓ Número de segmentos de rios (N_t) e
- ✓ Índice de sinuosidade (Is) – relaciona o comprimento total do canal, com a distância entre a nascente e a foz, representado pela equação 1:

$$Is = \frac{L}{d_v}$$

Onde L corresponde ao comprimento do canal principal, medido ao longo de seu eixo geométrico, e à distância vetorial do vale, também mensurada em seu eixo geométrico (Horton, 1945).

Valores de sinuosidade inferiores a 1,05 caracterizam canais retilíneos, enquanto valores entre 1,05 e 1,5 indicam canais sinuosos (Brice, 1964).

Parâmetros Areais da Microbacia Hidrográfica

A classe zonal quantifica os atributos relacionados à área da bacia de drenagem e à rede de drenagem. Utilizou-se os seguintes índices: Área da bacia(A); Coeficiente de Compacidade (Kc); Fator de Forma ou Índice de conformação (Kf); Índice de Circularidade (Ic) e Densidade de drenagem (Dd).

Para Coeficiente de compacidade (Kc), utilizou-se para medir a forma da bacia Equação 2:

$$Kc = \frac{0282 \times P}{\sqrt{A}}$$

Em que P representa o perímetro e A a área da bacia. Quando Kc é igual ou maior que 1, indica que a bacia possui forma aproximadamente circular; valores superiores podem sugerir maior susceptibilidade a inundações.

O fator de forma ou índice de conformação (Kf) é definido pela Equação 2.1 (Christofolletti, 1980):

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

Sendo A a área da bacia e L o comprimento do curso de água mais longo, medido desde a cabeceira mais distante. Valores de Kf próximos ou iguais a 1 indicam áreas mais arredondadas, enquanto valores inferiores a 1 caracterizam bacias estreitas e alongadas.

O índice de circularidade (Ic) é uma medida que avalia o grau de circularidade da bacia hidrográfica, relacionando sua área com a forma geométrica de um círculo de mesmo perímetro. Esse índice foi originalmente proposto por Miller (1953) e é expresso pela Equação 2.2, conforme apresentado por Christofolletti (1980):

$$Ic = \frac{A}{Ac}$$

Onde A equivale à área da bacia e Ac corresponde à área de um círculo que possui perímetro idêntico ao da bacia considerada, sendo o valor máximo igual a 1.

O índice razão de elongação (Re) também é um fator de forma da bacia, representando sua circularidade. Esse índice é calculado pela Equação 2.3:

$$Re = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{L'}$$

Valores de Re próximos de 1 indicam uma bacia com formato circular, o que aumenta sua susceptibilidade a enchentes devido à concentração rápida do fluxo superficial. Por outro lado, quanto menor o valor de Re , mais alongada é a bacia, o que tende a promover um escoamento mais distribuído ao longo do tempo.

A densidade de drenagem (Dd) estabelece a relação entre o comprimento total dos canais de drenagem e a área da bacia, sendo expressa pela Equação 2.3 (Christofeletti, 1980):

$$Dd = \frac{L_t}{A}$$

Sendo L_t o comprimento total dos canais e A a área total da bacia. O fator de densidade de drenagem (Dd) pode apresentar variações decorrentes de fatores como a geologia e o clima. Embora ocorram oscilações, valores em torno de 0,5 são característicos de drenagem esparsa, enquanto valores próximos de 3,5 indicam bacias muito bem drenadas.

Indicadores Hipsométricos do Relevo

Nesta classe, mensuraram-se o Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD), o Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT), propostos por Hare e Gardner (1985), e o Gradiente do Canal Principal (Gcp).

O FABD é calculado pela razão entre a área da margem direita de uma bacia hidrográfica e sua área total (Hare; Gardner, 1985). Os parâmetros indicam valores que podem ser interpretados da seguinte forma: valores próximos de 50 sugerem ausência de migração lateral significativa do canal, enquanto valores próximos de 0 ou de 100 indicam migração lateral expressiva (Magalhães Jr., 2020).

Esse fator auxilia na identificação da assimetria entre as margens da bacia, sendo expresso pela Equação 3:

$$FABD = 100X \left(\frac{Ar}{At} \right),$$

Onde Ar corresponde à área da bacia localizada na margem direita do canal e At à área total da bacia hidrográfica.

Para indicar de forma mais precisa o fator de assimetria e mensurar o grau de inclinação da microbacia, foi inserida uma segunda fórmula, conforme proposta por Wang e Dembele (2018):

O cálculo do GIB é expresso pela Equação 4:

$$GIB = FABD - 50$$

O fator GIB indica o grau de inclinação das bacias, sendo composto pelo Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD) em relação à diferença do valor 50, considerado parâmetro indicador de migração do canal.

As bacias sem inclinação apresentam valor igual a 0. Já as bacias sujeitas à inclinação diferenciam-se de 0, com valores positivos indicando inclinação no sentido noroeste e valores negativos representando inclinação na direção nordeste (Wang e Dembele, 2018).

Os cursos a montante da bacia são encaixados, razão pela qual tornou-se necessário utilizar outros parâmetros de apoio, como o Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT), que mensura o deslocamento lateral do canal principal em relação à linha média da bacia (Magalhães Jr., 2020).

O cálculo do FSTT é expresso pela Equação 5:

$$FSTT = \left\{ \frac{Da}{Dd} \right\},$$

Onde *Da* corresponde à distância da linha média do eixo longitudinal da bacia até o meandro principal ativo e *Dd* à distância da linha média do eixo longitudinal da bacia até o divisor perpendicular.

Conforme a classificação proposta por Salamuni (1998), essa relação pode ser enquadrada em diferentes categorias, variando de acordo com os seguintes intervalos: Muito fraca: 0 – 0,2; Fraca: 0,2 – 0,4; Moderada: 0,4 – 0,6; Forte: 0,6 – 0,8; Muito forte: 0,8 – 1,0.

Esses parâmetros de assimetria e simetria foram utilizados no estudo porque podem refletir fatores estruturais tectônicos, processos de reorganização dos canais, além de condições aluviais e fluviais específicas (Sordi et al., 2018).

Critérios Morfoestruturais da MBH — Colônia Antônio Aleixo

Análise Geomorfológica e Lineamentos

A identificação dos lineamentos morfoestruturais foi realizada por meio da geração de modelos de relevo sombreado, utilizando a linguagem estatística R integrada à interface do GRASS GIS. Essa abordagem possibilita o tratamento de mapas raster e vetoriais como variáveis analíticas, viabilizando a extração de padrões estruturais do terreno, conforme a metodologia descrita por Grohmann (2015).

Para a geração do relevo sombreado, foram utilizadas quatro imagens com azimute de insolação de N0°, N45° e N315°, além de altitude de insolação de 45 m, com exagero vertical igual a 2, a fim de auxiliar na extração dos lineamentos.

Para a delimitação das cristas e dos divisores de água da microbacia, utilizou-se o modelo de relevo sombreado (*hillshade*), gerado a partir de dados altimétricos. Esse recurso possibilitou a

identificação visual de rupturas morfológicas e de feições lineares associadas à compartimentação estrutural do terreno.

A análise foi complementada pela rede de fluxo da drenagem, extraída do Modelo Digital de Elevação (MDE), que forneceu suporte à interpretação dos limites naturais da bacia.

Além disso, foram empregadas imagens de aerofotogrametria e observações diretas em campo para validar e refinar a interpretação das feições estruturais. As análises foram conduzidas sob a perspectiva da geomorfologia estrutural e da neotectônica, fundamentadas nas abordagens metodológicas de Sternberg (1950), Latrubesse (2000), Simas (2008), Silva (2005), Franzinelli e Igreja (2011), Sordi (2018) e Magalhães Jr. (2020), entre outros.

As evidências, tais como compartimentação do relevo, formações geológicas (lineamentos morfoestruturais), aspectos hidrológicos e geomorfológicos, foram analisadas na escala cartográfica de 1:60.000.

Rede de drenagem

Para o estudo das microbacias hidrográficas, extraiu-se a rede de drenagem a partir do MDE *Copernicus DEM – Global and European Digital Elevation Model*, sobrepondo o modelo às imagens de alta resolução espacial do sensor ADS80. Esse procedimento possibilitou a verificação e a constatação dos divisores da bacia, dos vales e dos cursos de rios, permitindo, dessa forma, uma análise de delimitação com maior precisão.

Posteriormente, os padrões de canais foram classificados de acordo com Christofolletti (1981), e identificaram-se fatores relacionados às mudanças de nível de base e à tectônica, tais como rearranjos de drenagens, cotovelos de captura, rupturas de declive e aspectos morfológicos como erosão e lineamentos (Sordi et al., 2018).

Resultados e Discussões

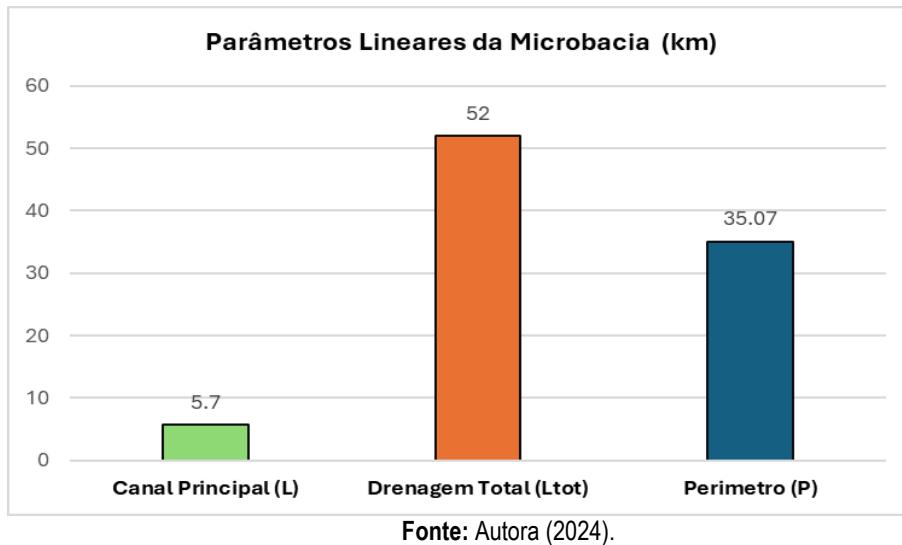
Dinâmica da Rede de Drenagem e Organização Espacial

Em relação ao número de segmentos fluviais (N_t), foram identificados 62 cursos de rios, com índice de sinuosidade (I_s) igual a 1,0. Esse valor, considerado baixo, caracteriza os canais como quase retilíneos, com orientação NW/SE, evidenciando o controle estrutural da região.

Observou-se que a rede de drenagem da microbacia apresenta padrão do tipo dendrítico, conforme a classificação proposta por Frota Filho (2021). Esse arranjo morfológico também é denominado arborescente por Christofolletti (1980).

Os parâmetros lineares indicam que se trata de uma bacia de pequeno a médio porte (Figura 3), com tempo de concentração de água reduzido e perímetro elevado. A baixa compacidade da bacia pode influenciar diretamente no tempo de concentração e na resposta hidrológica frente a eventos de chuva intensa.

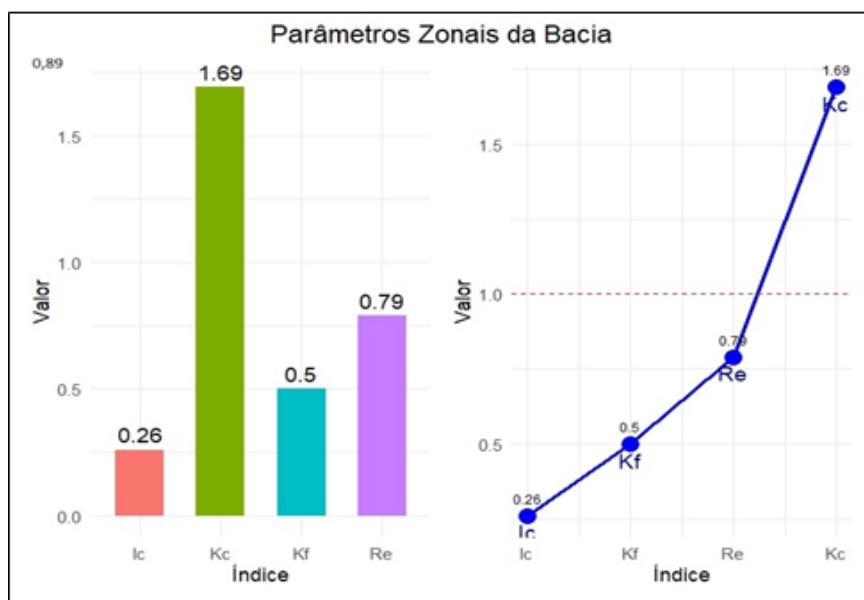
Figura 3: Indicadores lineares a área de estudo.



Configuração Areal da Microbacia

Os parâmetros morfométricos zonais, constituem classes que relacionam os atributos às formas geométricas da bacia, a saber: coeficiente de compacidade (Kc); fator de forma ou índice de conformação (Kf); índice de circularidade (Ic); razão de elongação (Re); e densidade de drenagem (Dd).

Figura 4. Correlação dos fatores zonais, quanto a forma da bacia.



Fonte: Autora (2024).

O coeficiente linear da bacia revelou um valor de 0,898, próximo de 1 (Figura 4). A linha em vermelho demonstra uma correlação positiva entre os dados, evidenciando uma bacia de formato arredondado. Essa configuração indica que os afluentes e os divisores contribuem de maneira equilibrada, chegando ao exutório da bacia em tempos similares e ressaltando sua susceptibilidade a enchentes.

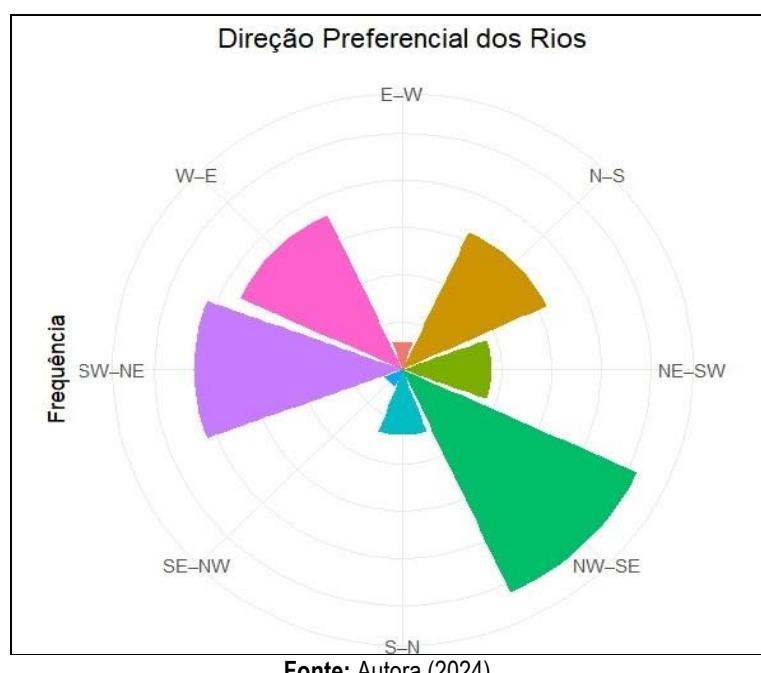
A densidade de drenagem apresentou valor de 4,5, com comprimento do canal principal de 5,7 km e largura média de 4,5 km, indicando uma bacia bem drenada. Apesar de esse valor ser considerado mediano, parte dos canais — principalmente os afluentes e subafluentes — encontra-se com o fluxo comprometido, em razão da ocupação predominante das encostas.

Em fase anterior ao ano de 2007, o curso médio da bacia configurava-se, do ponto de vista geomorfológico, como uma área estável, caracterizada por formas convexas que conferiam estabilidade frente a movimentos de massa e processos erosivos (Frota Filho, 2021).

Relevo e Gradientes: Interpretação Hipsométrica

O Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FABD) foi calculado pela razão entre a área total da bacia hidrográfica ($26,06 \text{ km}^2$) e a área correspondente à sua margem direita. O valor obtido ($FABD = 56,96$) indica assimetria com deflexão do canal principal, evidenciando o controle estrutural do traçado fluvial. Esse controle está associado à presença de lineamentos geológicos com orientações predominantes NE–SW e NW–SE na cidade de Manaus (Silva, 2005), os quais coincidem com zonas de falhas e fraturas que condicionam o direcionamento do canal.

Figura 05. Direção predominante do escoamento dos rios.



Adicionalmente, o Grau de Inclinação da Bacia (GIB) apresentou valor de 6,9, com orientação anti-horária e direção preferencial SW–NE inicial e NW–SE final (Figura 5). Essa tendência direcional é influenciada pelo controle estrutural do Rio Amazonas (DRA), conforme proposto no Modelo Neotectônico Amazônico de Igreja (1987), o que sugere que a morfologia da bacia está fortemente condicionada por controles tectônicos regionais (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros Morfométricos de Assimetria e Hipsometria da Bacia.

Setor	Margem Direita (km ²)	FABD	FSTT	Azimute	GIB	Grau de Assimetria	Alt. Máx. (m)	Alt. Mín. (m)	Alt. Média (Curso) (m)
Canal	13,2	56,9	NA	NA	6,9	Moderada	96,6	12,2	34,0
Alto curso	NA	NA	0,4	119º	NA	Moderada	98,5	43,0	53,3
Médio curso	NA	NA	0,5	126º	NA	Moderada	94,9	59,5	26,3
Baixo curso	NA	NA	0,5	128º	NA	Moderada	80,0	15,0	51,2
Classe geral	NA	56,9	0,4–0,6	ND	NA	Moderada	105,7	15,1	55,2

Legenda: NA = Não Aplicável

Fonte: Autora (2024).

Os valores do índice FSTT foram calculados com base nos azimutes de distância, considerando a linha média da bacia e a linha transversal, contemplando seus diferentes cursos. Os resultados obtidos variaram entre 0,4 e 0,6, intervalo que, segundo a classificação proposta por Salamuni (1998), corresponde a um grau de deformação tectônica moderado.

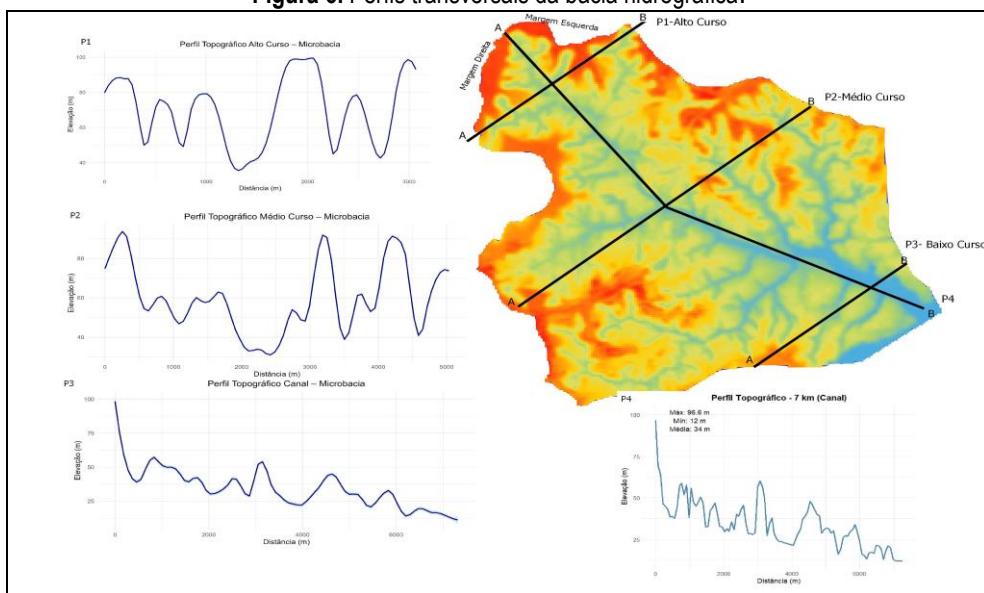
No perfil transversal traçado no alto curso (P1), observa-se que a margem direita apresenta interflúvios com topos arredondados, além de rios longos, retilíneos e de baixa elevação. Por outro lado, a margem esquerda da bacia, nesse trecho do rio, evidencia altitudes mais elevadas, chegando a 98,50 metros, com rios de padrão dendrítico comprimidos dentro dos vales.

Essa configuração revela uma bacia morfológicamente assimétrica, resultante da atuação da neotectônica, com elevação do bloco localizado na margem esquerda e rebaixamento na margem direita. A diferença altimétrica contribui para a intensificação dos processos erosivos na região (Figuras 6 e 7).

No trecho correspondente ao médio curso (P2), verifica-se o estreitamento do canal principal, resultado do controle estrutural. Os vales apresentam fundos em forma de V aberto, com vertentes pouco inclinadas e áreas de menor elevação, predominando o processo de transporte de sedimentos.

No segmento do baixo curso (P3), o leito fluvial torna-se plano, as vertentes e os terraços apresentam baixa inclinação, e ocorre acúmulo significativo de sedimentos. O canal encontra-se represado por uma barra de depósito aluvionar, o que ocasiona o alargamento do canal principal, reduzindo a carga de vazão sedimentar da bacia e resultando na formação do Lago do Aleixo, na foz do rio.

Figura 6. Perfis transversais da bacia hidrográfica.

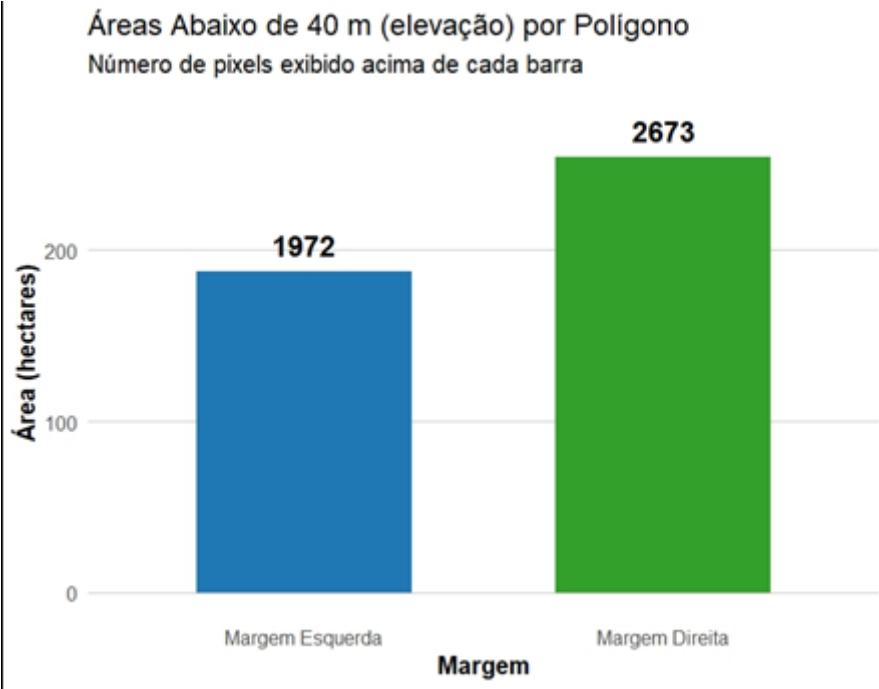


Fonte: Autora (2025).

Figura 7. Relações das áreas das margens, número de pixels e elevação.

Áreas Abaixo de 40 m (elevação) por Polígono

Número de pixels exibido acima de cada barra



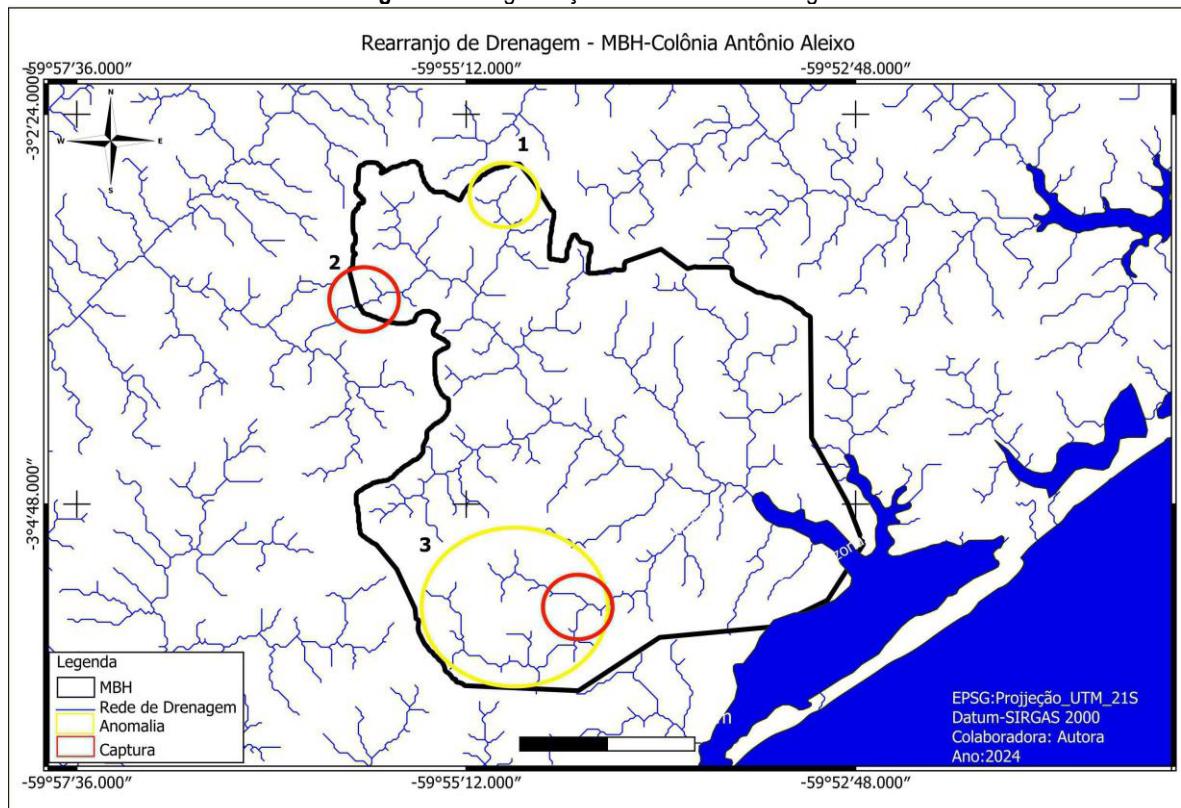
Fonte: Autora (2025).

Estrutura e Controle Morfotectônico da Microbacia

O curso do rio apresenta três pontos de inflexão do canal relacionados ao controle estrutural, localizados no alto, médio e baixo curso. As possíveis capturas de drenagem evidenciadas caracterizam-se por encurvamentos de canais e por áreas com ramificações anômalas, geralmente associadas à drenagem principal (Simas, 2008).

Nessa etapa, foram identificados os processos de captura de drenagens, dispostos na Figura 6 e destacados por círculos. O círculo amarelo número 1 (Figura 8) destaca uma anomalia no curso fluvial, caracterizada por uma curvatura em forma de ferradura, que indica alteração brusca na direção do canal e sugere a presença de controle estrutural ou desvio tectônico. Já o círculo vermelho número 2 sinaliza a ocorrência de uma captura de drenagem com direção noroeste, envolvendo a intercepção do sistema da bacia de São Raimundo.

Figura 8. Reorganização dos canais de drenagem.



Fonte: Autora (2024).

Figura 9. As áreas 1 e 3 foram identificadas nas imagens do sensor aerofotogramétrico, ADS80 com resolução espacial de 40 cm, a área 2, pode-se evidenciar somente por imagem de MDE.



Fonte: Censipam (2014).

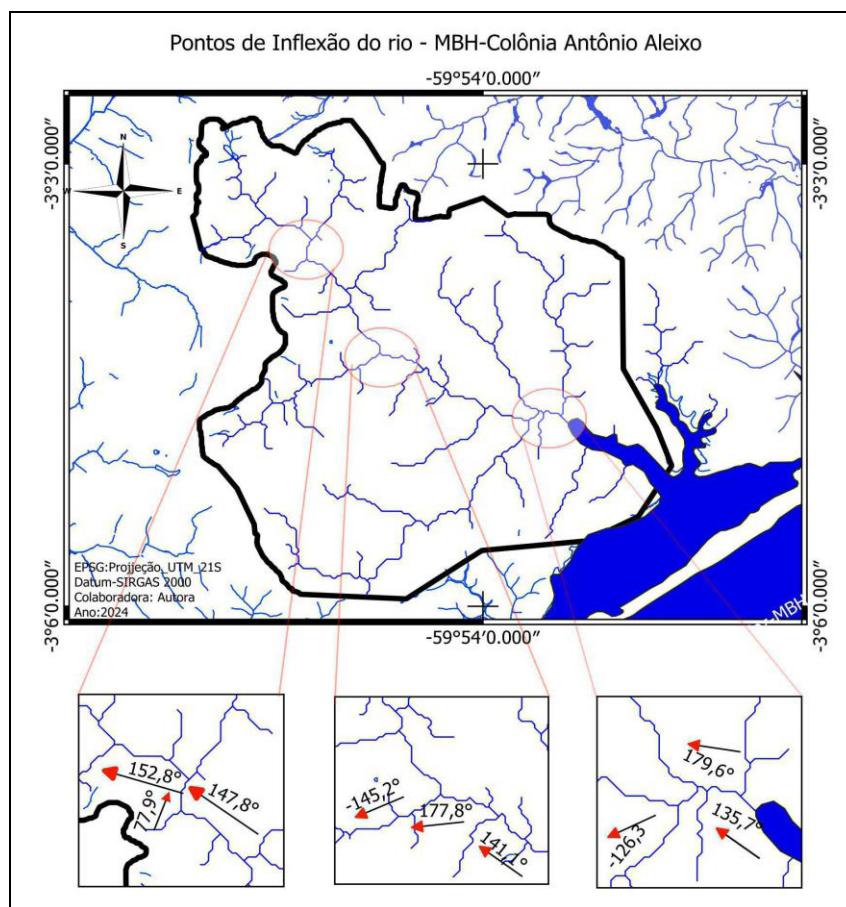
O traçado da rede de drenagem na captura da área 3 revela um padrão circular (oblíquo), com diferenciação altimétrica nos níveis de base e possível erosão remontante, gerando uma captura

lateral. A configuração da rede de drenagem nessa área evidencia padrão circular oblíquo, resultado de processos geomorfológicos associados à variação altimétrica dos níveis de base. A presença de erosão remontante sugere a ocorrência de captura lateral, caracterizando modificações na organização espacial do sistema hidrográfico e influências estruturais no contexto escultural da paisagem.

Os dados e áreas identificadas nesta pesquisa estão em consonância com os estudos de Simas (2008), que investigou a morfoestrutura da região da cidade de Manaus, evidenciando rearranjos de drenagens, lineamentos e anomalias, e destacando que as bacias hidrográficas assimétricas decorrem da atuação de falhas e da rotação de blocos ao longo dessas falhas.

Os lineamentos, as capturas de drenagem, os pontos de inflexão dos canais e a ativação de processos erosivos (CPRM, 2012), predominantemente nas cabeceiras e a montante da bacia, evidenciam a influência de processos litológicos antigos, que contribuem para um relevo acidentado, intensificando os processos erosivos e aumentando a sedimentação de montante a jusante da bacia (Figura 10).

Figura 10. Geometria do canal principal e suas inflexões.

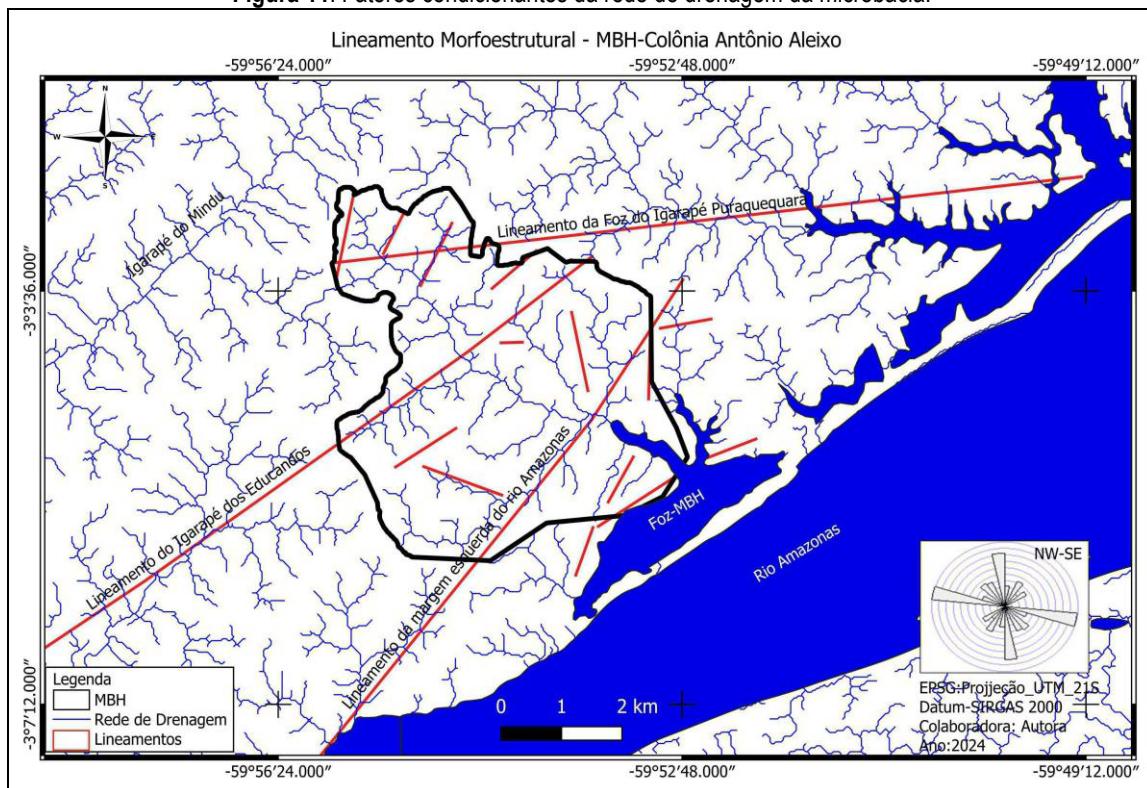


Fonte: Autora (2024).

O canal principal apresenta forma retilínea e encontra-se condicionado ao lineamento morfoestrutural da região, que revela diferentes anomalias e lineamentos com direção preferencial NE–

SW (Silva, 2005). No alto curso, recebe influência do lineamento N50W/60SE, localizado na foz do igarapé do Puraquequara, nas coordenadas 3°03'3.89"S e 59°55'5.90"O, com comprimento linear de 12,7 km. No médio curso, o condicionamento é exercido pelo lineamento do igarapé dos Educandos, no sentido N50E, nas coordenadas 3°04'51.60"S e 59°55'10.16"O, com extensão de 16,8 km. Já no baixo curso, o canal está condicionado ao lineamento da margem esquerda do rio Amazonas, na direção N55E/22, nas coordenadas 3°05'8.55"S e 59°54'0.5"W, com comprimento de 12,8 km (Figura 11).

Figura 11. Fatores condicionantes da rede de drenagem da microbacia.



Fonte: Autora (2024).

Considerações finais

As discussões sobre a neotectônica amazônica, no contexto histórico, foram negligenciadas em razão de posicionamentos equivocados, firmemente baseados na suposta estabilidade da placa tectônica da América do Sul. Esse discurso acabou por construir uma lacuna em relação aos processos estruturais que condicionam os rios.

Estudar tais processos em macro, meso e pequenas escalas consiste em uma tarefa desafiadora, sobretudo pela ausência de dados e evidências. A pesquisa se mostra ainda mais árdua por analisar uma microbacia hidrográfica, o que requer escalas adequadas, trabalhadas tanto em campo quanto em sistemas de informações geográficas.

Os agentes de formação do relevo constituem condicionantes de processos recentes que ocorrem dentro de uma bacia hidrográfica, mas os fatores antropogênicos não podem ser negligenciados. Esses fatores representam agentes relevantes para a intensificação ou atenuação de processos erosivos e, principalmente, para a manutenção e conservação da bacia.

As intensas alterações da geomorfologia fluvial da bacia decorrem, sobretudo, da supressão da vegetação e da implantação de superfícies artificiais pavimentadas, que impermeabilizam o solo. Esses processos colaboram para o súbito assoreamento dos canais a montante da bacia. Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram-se compatíveis com renomados estudos e metodologias empregadas por especialistas como Sternberg (1950), Latrubblesse (2000), Simas (2008), Silva (2005), Franzinelli e Igreja (2011), Sordi (2018), Magalhães Jr. (2020), entre outros.

A consistência e a concordância desses resultados com estudos de referência ressaltam sua relevância no campo acadêmico, contribuindo para a compreensão dos processos geológicos recentes, da evolução da paisagem, da distribuição dos recursos naturais, da gestão dos recursos hídricos, do planejamento do desenvolvimento urbano, das mudanças climáticas e ambientais, bem como para o monitoramento de desastres ambientais.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEOG) pelo apoio institucional, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo à pesquisa.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2023.
- BISHOP, P. *Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. Progress in Physical Geography*, v.19, n.4, p. 449-473, 1995.
- BRICE, J. C. *Channel patterns and terraces of the looup rivers in Nebraska*. US Government Printing Office, Washington, 1964. 41p.
- CHRISTOFOLLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blucher, 2^a ed., 188 p., 1980.
- CHRISTOFOLLETTI, A. *Geomorfologia fluvial: o canal fluvial*. São Paulo: Blucher, 1981. v. 1.
- COSTA, J.B.S. et al. *Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais*. RG. v. 4, n. 2, p. 23–44.
- COX, R.T. *Analysis of drainage and basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 106:571-581, 1994.
- CUNHA, S. B. & Guerra, A. J. T. (Orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, (1994).
- CUNHA, P.R.C., Melo J.H.G., Silva O.B. *Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2):227-251, 2007.
- CPRM, *Mapeamento das áreas de Risco Geológicos da Zona Urbana da cidade Manaus-AM*. Manaus energia. Manaus – AM, 2012.

- DAEMON, R.F. 1974. Contribuição a datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. Rev. Bras. Geoc. Bol. (5) 78-84.
- FITZ, P. R. *Cartografia Básica*. Oficina de texto, São Paulo, 2008.
- FRANZINELLI, E.; igreja, H. *Ponta das Lajes e o Encontro das Águas, AM - A Formação Alter do Chão como moldura geológica do espetacular Encontro das Águas Manauara* In: Winge, M.; Schobbenhaus, FRANZINELLI, E. & piuci, J. *Evidências de neotectonismo na Bacia Amazônica*. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7, Belém, 1988. Anais... Belém, SBG, p. 80-9 1988.
- FRANZINELLI, E.; Igreja, H.L.S. 1990. *Utilização do sensoriamento remoto na investigação da área do baixo Rio Negro e Grande Manaus*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,6. Anais... 3 :641-648.
- FROTA FILHO, J. (2016). *Impactos da urbanização nas dinâmicas fluviais de bacias tropicais*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 2, p. 245–260.
- FROTA FILHO, A. B. *Alterações Antropogênicas na Geomorfologia e suas influências na aceleração dos processos erosivos na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus/AM*. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental, Instituto de Geociências) Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ- Rio de Janeiro, 260f, 2021.
- GROLMANN, C. H. *Análise digital de terreno: aplicação em Geologia e Geomorfologia*. Tese de livre docência – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. SP.2015.
- HARE, P.W.; Gardner, I.W. *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins*. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa M & Hack J.T (eds.) *Tectonic Geomorphology*. Procedings 15th. Annual Binghamton Geomorphology Simp, 1985.
- HOORN, C. et al. *Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America*. Geology .1995, 237-240.
- HOORN, C. *The development of the Amazonian mega-wetland (Miocene; Brazil, Colombia, Peru, Bolivia)*. In "Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past." (C. Hoorn, and E. P. Wesselingh, Eds.), London, 2010, pp. 123-142. Wiley-Blackwell.
- HORTON, M. E. *Erosional desenvolvimento of streams and their drainage basins:Hidrophysical*. Approach to quantitative morphology. Geological. Society of America Bulletin, 1945. p.275-370.
- INMET. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>: Acesso em 12 de setembro de 2016 às 19h.
- IGREJA, H. *Neotectônica: O lineamento Rio Negro, um exemplo na Região*. Boletim do ICE/UA, n. 4, 1987.
- LATRUBESSE, E.M.; Rancy, A. "Neotectonic influence on tropical rivers of Amazon during the late Quaternary: the Moa and Ipixuna river basins, Brazil". *Quaternary International*, Vol. 72, p. 67-72. 2000.
- LR Document: TD-GS-PS-0021; TanDEM-X DEM Products Specification Document, Version 3.2, 07.05.2018.
- MAGALHÃES JR, A. P. *Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais*. 1º ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2020.
- ROSSI, C. et al: TANDEM-X Mission: Raw DEM Generation, 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar, June 2010.
- ROZO, J. M.G. O Sistema fluvial Solimões-Amazonas durante o Quaternário. Tese (doutorado em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2011.
- SALAMUNI, E. *Tectônica da bacia sedimentar de Curitiba (PR)*. 1998, 235 f. Tese de (Doutorado em Geologia regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. 1998.
- SILVA, C.L. "Análise da tectônica cenozóica na região de Manaus e adjacências". *Rio Claro*. Tese de doutorado em geologia regional, defendida no Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (Unesp). 2005.

- SIMAS, J. de L. *Análise morfoestrutural da região da cidade de Manaus (Am) / UFAM*, 2008.108 f.; il. color. Dissertação (Mestrado em Geociências) -Universidade Federal do Amazonas, 2008.
- Sistema de Proteção da Amazônia. Amazônia SAR: *programa de monitoramento sistemático da Amazônia com radar orbital* – consulta prévia. Brasília: SIPAM, 2014. 55p.
- SORDI, M. V; Vargas, K. B.; Fortes, E. *Mecanismo Controladores do rearranjo fluvial: O caso da captura do ribeirão Laçador pelo ribeirão Laçadorzinho*, Faxinal (PR). Revistas Continentes, v. 7, n. 12. 2018, p. 146- 173.
- SOUZA, M. F. (2022). *Erosão fluvial e vulnerabilidades socioambientais em áreas urbanas de Manaus*. Revista de Geociências da Amazônia, 13(1), 88–102.
- SCHUMM, S. A; Dumont, J. F.; Holbrook, J. M. *Active tectonics, and alluvial rivers*. Cambridge University Press, Cambridge, 401 pp. 2000. ISBN: 9780521890588.
- SUMERFIELD, M. A. *Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms*. Department of Geography, University of Edinburgh. Routledge, New York. 1. Ed 560 p., 1991. ISBN-9780582301566
- SILVA, T. G. *Icnofósseis da Formação Alter do Chão (Grupo Javari, Bacia do Amazonas) em Ponta das Lajes, Manaus (AM): classificação e inferências paleoambientais* /Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2020.
- STERNBERG, H.O.R. "Vales tectônicos na planície amazônica?". *Revista Brasileira de Geografia*, Vol.12, n.4, 1950, p.3-26.
- VALERIANO, M.M. *Modelo Digital de Elevação com dados STRM*. disponíveis para a América do Sul. Relatório INPE- 10550-RPQ/756, INPE, São José dos Campos, 71 p. 2004.
- VALERIANO, M.M. et al. *Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with Shuttle Radar Topographic Mission-90M data*. *Comput. Geosci.* v. 32, 2006, p. 1169–1181.
- VIEIRA, R. (2008). *Diagnóstico hidrogeomorfológico de microbacias urbanas na Amazônia*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará.
- WANG, J; DEMBELE, A. D. J. *The Three Gorges Area and the Linking of the Upper and Middle Reaches of the Yangtze River*. *Journal of Geographic Information System*, v. 10, 2018, p. 301-322.