



SUB-BACIA DO RIO VERMELHO – MT: ANÁLISE DOS ASPECTOS MORFOLÓGICOS, MORFOMÉTRICOS E DINÂMICA FLUVIAL COMO SUBSÍDIO PARA O PLANEJAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Evandro André Félix ¹
Célia Alves de Souza ²

RESUMO

O estudo da dinâmica ambiental a nível de bacia hidrográfica caracteriza-se como importante aspecto voltado ao planejamento e gestão dos recursos hídricos. A análise integrada de padrões morfológicos, morfométricos associados a dinâmica fluvial possibilita a identificação e interpretação de padrões que revelam potencialidades e vulnerabilidades ambientais a nível de bacia hidrográfica. O estudo teve como objetivo realizar levantamento dos componentes ambientais, das características morfológicas, morfométricas e dinâmica fluvial na sub-bacia hidrográfica do rio vermelho. A caracterização ambiental foi realizada por meio de levantamento bibliográfico e bases de dados oficiais em arquivos *shp*. Os dados e informações morfológicas e morfométricas foram gerados a partir de MDE *topodata* do INPE. A dinâmica fluvial foi monitorada por meio da coleta e análise de material e dados de 04 pontos distribuídos em alto, médio e baixo curso nos períodos de cheia e estiagem. Os resultados indicam que a sub-bacia apresenta ampla diversidade geológica, hidrogeológica, pedológica e climática com altos índices de precipitação no período chuvoso e estiagem reduzida nas áreas de alto curso. Os aspectos morfológicos e morfométricos indicam alta capacidade de escoamento, e elevada demanda de área para a manutenção dos canais. A dinâmica fluvial revelou vazão elevada no período chuvoso e forte redução na estiagem, contrapondo com médio e baixo cursos que apresentaram percentuais menores na redução de vazão no período de estiagem.

Palavras-chave: Sub-bacia do rio Vermelho, Morfometria, Morfologia, Dinâmica fluvial, gestão ambiental.

RESUMEN

El estudio de la dinámica ambiental a nivel de cuenca se caracteriza como un aspecto importante enfocado en la planificación y gestión de los recursos hídricos. El análisis integrado de patrones morfológicos y morfométricos asociados a la dinámica fluvial permite la identificación e interpretación de patrones que revelan potencialidades y vulnerabilidades ambientales a nivel de cuenca. El estudio tuvo como objetivo estudiar los componentes ambientales, las características morfológicas, la morfometría y la dinámica fluvial en la subcuenca del río rojo. La caracterización ambiental se realizó a través de levantamiento bibliográfico y bases de datos

¹ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia na Universidade Federal de Goiás – UFG, eafeliks@gmail.com;
² Professora Dr^a do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, celiaalvesgeo@globocom.



oficiales en archivos shp. Los datos e información morfológica y morfométrica se generaron a partir del *inpe topodata* MDE. La dinámica del río fue monitoreada a través de la recolección y análisis de material y datos de 04 puntos distribuidos en curso alto, medio y bajo en los períodos de inundación y sequía. Los resultados indican que la subcuenca presenta una amplia diversidad geológica, hidrogeológica, pedológica y climática con altas tasas de precipitación en la temporada de lluvias y reducción de la sequía en las zonas de alto curso. Los aspectos morfológicos y morfométricos indican una alta capacidad de flujo y una alta demanda de área para el mantenimiento del canal. La dinámica fluvial reveló un alto caudal en la temporada de lluvias y una fuerte reducción de la sequía, contrastando con cursos medios y bajos que presentaron porcentajes más bajos en la reducción de caudal en la estación seca.

Palabras clave: Subcuenca del Río Rojo, Morfometría, Morfología, Dinámica del río, Gestión Ambiental.

INTRODUÇÃO

O estudo da dinâmica de interação entre os elementos ambientais a nível de bacia hidrográfica caracteriza-se como procedimento fundamental ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos. As interações entre os componentes ambientais estruturais (geologia, clima) resultam em estruturas hidrogeológicas, geomorfológicas e pedológicas distintas, que apresentam maior ou menor vulnerabilidade ambiental e suscetibilidade a ação de processos erosivos que influenciam e impactam de diferentes formas a rede de drenagem. O estudo aqui apresentado, resulta do trabalho de pesquisa a nível de mestrado e busca contribuir com a compreensão das interações entre os elementos ambientais, hidrogeológicos, morfológicos, morfométricos e hidrossedimentares na sub-bacia do rio Vermelho, afluente da margem esquerda do rio Cabaçal-MT. O presente estudo, buscou através da quantificação e classificação dos elementos ambientais estabelecer correlações entre as variáveis a fim de identificar os elementos que apresentam maior ou menor vulnerabilidades e suscetibilidades ambiental nos domínios da sub-bacia, compondo subsídios a ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa, contou com as seguintes etapas: Trabalho de gabinete, onde foi construído o referencial teórico e base cartográfica, possibilitando levantamento e a análise dos parâmetros morfométricos (tabela 01), morfológicos e ambientais, bem como, cálculo das variáveis hidrodinâmicas e sedimentológicas. Os mapas foram compostos através do tratamento de informação das bases de dados e MDE



(Modelo Digital de Elevação), de dados oficiais em arquivos *shapefile* e ferramenta “ArcHydro” do software ArcGIS®. Foram estabelecidos 04 pontos de análise da dinâmica fluvial, distribuídos de forma a contemplar alto, médio e baixo curso. Caracterização Morfológica e Morfométrica foi obtida conforme fórmulas contidas abaixo (tabela 01). Para análise da dinâmica fluvial, foram utilizados Cálculo de vazão e de descarga sólida em suspensão. Os valores da área da seção molhada foram obtidos com a fórmula: $A = L \times P$ (Cunha, 2009), em que: A = Área da seção; L = Largura do canal; P = Profundidade média. Para obter o cálculo da vazão, utilizou-se a seguinte fórmula: $Q = V \times A$ (CUNHA, 2009, p. 157-167), em que: Q = Vazão; V = Velocidade das águas; A = Área. Para obter os valores de descarga sólida em suspensão (QSS), foi determinada a fórmula $Q_{ss} = C_{ss} \times Q_L \times 0,0864$ (CARVALHO, 2015, p. 152), sendo que: Q_{ss} = Descarga sólida em suspensão (t dia-1); C_{ss} = Concentração de sedimento em suspensão da vertical (mg/L-1); Q_L = Descarga líquida da respectiva vertical (m^3/s); 0,0864 = total de segundos/dia. Sedimentos de fundo (Granulometria). Para processo de quantificação das frações de areia, silte e argila foi utilizado o processo da pipetagem (dispersão total) (EMBRAPA, 1997). Para a concentração de material em suspensão, aplicou-se o método de evaporação. Por meio de contraste de peso, extraiu-se a quantidade de sedimento em suspensão, representado em mg/L (LELI et al., 2010).

Tabela 1- parâmetros morfométricos, fórmulas e padrão de referência

PARÂMETROS	FÓRMULA	PADRÃO DE REFERÊNCIA
LINEARES		
Relação de bifurcação Rb ($N^\circ T/km^2$)	$Rb = \frac{N}{N + 1}$ <p>Rb -relação de bifurcação; N número de segmentos 1º ordem e $N+1$ é número de segmentos da ordem superior.</p>	A razão de bifurcação tende a ser constante e geralmente varia entre 3,0 e 5,0, porém, não será exatamente a mesma de uma ordem a outra (Strahler, 1964).
Gradiente de canais (G_c)	$G_c = \frac{A m^x}{C_{cp}} \times 1000$ <p>$A m^x$= Altitude máxima em metros e C_{cp}= Comprimento do canal principal em metros.</p>	De acordo com Horton (1945), o gradiente de canais tem por finalidade indicar a declividade dos cursos d'água (NARDINI, POLLO, et al., 2013).
Índice de sinuosidade (I_s)	$I_s = \frac{C_{cp}}{C_B}$ <p>I_s é o índice de sinuosidade; C_{cp} é o comprimento do rio principal, e C_B é o comprimento do eixo da bacia.</p>	Schumm (1963) apresenta uma classificação para riachos com base no seu índice de sinuosidade: tortuosos (2,1), irregulares (1,7), regulares (1,5), transicionais (1,2) e retilíneos (1,0).
AREAL		



Fator de forma – (<i>Ff</i>)	$L_m = A / Cb \quad F_f = \frac{Lmb}{Cb}$ <p>A largura média (L_m) obtém-se dividindo a área (A) pelo comprimento da bacia (Cb).</p>	1,00 - 0,75: Circular, alta tendência 0,75 - 0,50: Ovalada, tendência mediana 0,50 - 0,30: Alongada, baixa tendência < 0,30: Comprida com tendência a conservação (nada propensa a enchente) (NARDINI, POLLO, <i>et al.</i> , 2013).
Coefficiente de compacidade – (<i>Kc</i>)	$K_C = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A_{km^2}}}$ <p>Onde: P – Perímetro e A_{km^2} - Área da bacia em quilômetros quadrados</p>	Valores entre 1,00 e 1,25: alta propensão; de 1,25 a 1,50: média; e valores superiores a 1,50 representam bacias não propensas a enchentes (COSTA e LANÇA, 2011, p. 9).
Índice de circularidade - (<i>Ic</i>)	$I_c = \frac{12,57 \times A}{P^2}$ <p>Onde: A área em km^2 e P= perímetro 2</p>	1,00 - 0,8: Circular, alta tendência 0,8 - 0,6: Ovalada, tendência mediana 0,6 - 0,40: Alongada, baixa tendência < 0,40: Comprida com tendência a conservação (nada propensa a enchente) (NARDINI, POLLO, <i>et al.</i> , 2013).
Densidade hidrográfica – (<i>Dh</i>) (Canais/ km^2)	$D_h = \frac{T_C}{A}$ <p>D_h = Densidade hidrográfica e o T_C= Números total de canais e A = Área da bacia.</p>	Proposta por Horton (1945), estabelece a relação entre o número de cursos d'água e a área, alta densidade hidrográfica, pode inferir maior capacidade de gerar canais, independentemente de suas extensões (VEIGA, SANTOS, <i>et al.</i> , 2013).
Densidade de drenagem (<i>Dd</i>) (km/km^2)	$D_d = \frac{Ct_c}{A_{Bh}}$ <p>Ct_c= Comprimento total de canais em km; A_{Bh} = Área da bacia em km^2</p>	Até 0,5; baixa densidade; de 0,5 a 2,00: média; 2,01 a 3,50: alta; e valores superiores a 3,50: densidade de drenagem muito alta (BELTRAME, 1994).
Coefficiente de manutenção (<i>Cm</i>) (m/m^2)	$Cm = \frac{1}{Dd} \times 1.000$ <p>Cm é o coeficiente de manutenção. e Dd é a densidade de drenagem.</p>	Representa a quantidade de área necessária para manter ativo um quilômetro (km) de canal fluvial (Schumm, 1956), (TRAJANO, SPADOTTO, <i>et al.</i> , 2012, p. 25).
HIPSOMÉTRICO		
Relação de relevo (<i>Rr</i>)	$R_r = \frac{H_{mx}}{C_B}$ <p>H_{mx} = Amplitude máxima ; C_{Bh} = maior comprimento da bacia</p>	Segundo Schumm (1956), quanto maior o valor de R_r , maior será o desnível entre a cabeceira e a foz, conseqüentemente maior será a declividade média da bacia, e maior o escoamento superficial (CHRISTOFOLETTI, 1980).
Índice de rugosidade – (<i>Ir</i>)	$I_r = H \times Dd$ <p>I_r é o índice de rugosidade; H é a amplitude altimétrica, e Dd é a densidade de drenagem.</p>	Este índice mostra a relação de declividade com os comprimentos dos canais, sendo que quanto maior for o índice, mais colinoso e dissecado o relevo (maiores declividades). e canais mais entalhados (CASTRO e CARVALHO, 2009).
Razão de textura (<i>Rt</i>)	$Rt = \frac{Ns^{1^\circ}}{P}$ <p>Ns^{1° é o número de segmentos de 1ª- ordem e o perímetro P da bacia.</p>	Para Smith (1950), a razão de textura pode ser agrupada em muito grossa (< 2,0), grossa (2,0 < 4,0), moderada (4,0 < 6,0), fina (6,0 < 8,0) e muito fina (> 8,0) (França, 1968).



REFERENCIAL TEÓRICO

A análise ambiental integrada de acordo com Rossi (2019) envolve o estudo dos componentes da geodiversidade (relevo, solos, geologia, hidrografia, clima, flora, uso e cobertura da terra) e suas interdependências. Estas informações integradas favorecem múltiplas análises sobre as variáveis pesquisadas, como água, solos, relevo, clima, usos da terra, problemas ambientais, tornando possível a caracterização de diferentes “espaços territoriais” compostos por um “mosaico de espaços menores” quando homogêneos, podem-se denominar unidades de paisagens.

Este mosaico (recorte) de análise têmporo-espacial (paisagem) que permite a delimitação para fins de estudos voltados ao planejamento, pode ser representada pelas bacias hidrográficas, uma vez que estas já se consagraram com unidades de planejamento e gestão do território, como ponderam Lima e Ponte (2009). Tendo identificado os componentes e suas interações, considerando os fatores abióticos e bióticos, parte-se para a compreensão de seu funcionamento integrado às ações que se desenvolvem na bacia hidrográfica, sob a perspectiva dela como espaço de interações socioeconômicas, de caráter desenvolvimentista, e de expansão de novas tecnologias, ou seja, como unidade básica do planejamento. (LIMA e PONTE, 2009).

Configuradas através recortes topográficos que as delimita (divisor de águas), as bacias hidrográficas também são compostas por uma complexa rede de canais fluviais, vertendo de montante a jusante, por meio de diferentes padrões de escoamento condicionados pela distribuição espaço-dimensional e características ambientais de cada unidade de área. A análise dos padrões espaço-dimensionais das bacias hidrográficas, constituem-se em dados morfométricos. De acordo com Christofolletti (1980, p. 106), os estudos morfométricos foram aprimorados pelo engenheiro hidráulico Horton, sob a influência de Stralher, ao relacionar e interpretar rios e bacias hidrográficas como um conjunto dinâmico e interdependente, que traduzidos em padrões matemáticos, possibilitam o desenvolvimento de metodologias de análise sistêmica do conjunto, permitindo a identificação de potencialidades e fragilidades. Situada e compreendida, dentro deste contexto, a dinâmica fluvial permite estabelecer ações de planejamento baseadas em diagnósticos e prognósticos da bacia hidrográfica (AQUINO, 2007). Além disso, permite a análise dos processos relacionados à estrutura do sistema hidrológico,



considerando os elementos externos à, e os elementos presentes na rede de drenagem, em especial os relacionados ao processo da dinâmica sedimentológica (SOUZA, 2013, p. 229).

Brierley (2008, p. 19) destaca que a dinâmica dos rios é influenciada pela combinação de processos geomórficos correlacionados ao tipo de regime fluvial, tipo e intensidade do fluxo dos canais e vegetação, associada ao balanço sedimentológico. A associação destes fatores poderá modificar a distribuição das forças e o fluxo de energia e a matéria dentro do sistema fluvial, determinando assim as características e a disposição dos elementos presentes nesse sistema. Cavalcante e Cunha (2011) destacam ainda que a dinâmica fluvial de uma bacia hidrográfica reflete as inter-relações existentes entre os elementos ambientais e as formas de uso da terra. Dentre os elementos que interferem na dinâmica das águas superficiais Mello *et al.* (2013, p. 7) destaca o papel dos sistemas de aquíferos, afirmando que “as propriedades físicas dos aquíferos influenciam no regime fluviométrico do rio principal”.

Na perspectiva da compreensão das interações dinâmicas e sistêmicas entre os componentes ambientais que resultam em ampla diversidade de formas e processos, o levantamento e análise dos aspectos morfológicos, morfométricos e dinâmica fluvial, constituem-se como uma importante ferramenta de diagnóstico, a ser utilizada na em ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Para Tucci (1997) uma política eficiente de gestão das águas envolve todas as entidades que integram a bacia, sob articulação do órgão público competente e da sociedade civil organizada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sub-bacia do rio Vermelho encontra-se na porção nordeste (figura 01) da bacia hidrográfica do rio Cabaçal -MT. Está, por sua vez, localizada no complexo da bacia do Alto Paraguai, compreende área de transição entre a planalto dos Parecis e a depressão pantaneira. Seus domínios são marcados por ampla diversidade geológica, morfológica, hidrogeológica, climática e hidrodinâmica com uso da terra marcado majoritariamente pela atividade pecuária conforme análise abaixo.

Aspectos Geológicos.

Conforme (Figura 01, Tabela 01), a análise geológica revela sete unidades distintas. No extremo norte, ocupando porção pouco representativa, encontram-se duas

formações sedimentares: Utiariti e Morro Cristalino (arenito fino). Ocupando a maior parte (59,77 %) do território da sub-bacia, está a suíte intrusiva rio Branco, constituída de rochas quartzo gabro, olivina gabro com baixa porosidade primária (0 a 15%). Na porção de médio e baixo curso, predominam as formações sedimentares (Pantanal alta porosidade (>30%), e a Araras de baixa prioridade (0 a 15%).

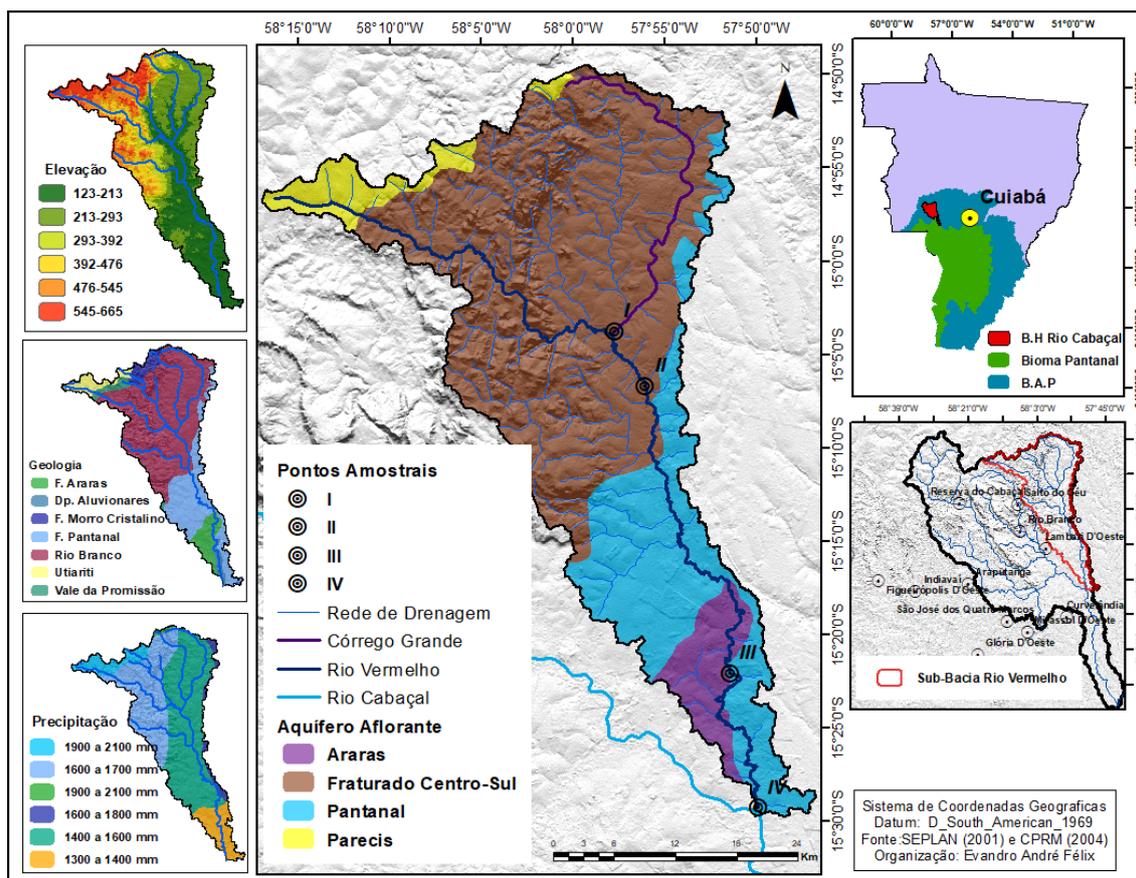


Figura 1- Sub-Bacia do rio Vermelho componentes ambientais.

Tabela 1-Sub-bacia do rio Vermelho: unidades geológicas

Nº	Unidades geológicas	Area km ²	%
01	Araras, membro superior	81,58	6,01
02	Depósitos aluvionares	29,00	2,13
03	Morro Cristalino	51,87	3,82
04	Pantanal - fácies terraços aluvionares	296,94	21,86
05	Rio Branco	811,99	59,77
06	Utiariti	58,06	4,27
07	Vale da Promissão	28,97	2,13
Total		1.358,42	100

Fonte: Elaborado pelos autores a partir do CPRM (2004)



Segundo Araújo (2008, p. 40), a suíte intrusiva rio Branco é formada pelo batólito rapakivi, inserido em rochas do grupo Aguapeí do domínio Cachoeirinha. Barros *et al.* (1982) o denominara de grupo rio Branco como sendo uma sequência plutovulcânica de rochas básicas (diabásios e gabros) e ácidas (riolitos, granitos pórfiros, andesitos e dacitos). De natureza ígnea intrusiva, e baixa porosidade primária, é a maior formação geológica da sub-bacia, ocupando quase toda a porção do alto curso. Sob seus domínios, a rede de drenagem apresenta padrão dendrítico típico, com tributários de alto curso, com padrão retilíneo, encaixados no entalhe do relevo dissecado. A medida que segue para os vales de baixo curso, sob domínios sedimentares a drenagem desenvolve padrão sinuoso, meandrante.

Unidades do relevo

Os aspectos geomorfológicos presentes na sub-bacia apresentam-se bem diversificados, com relativa proporcionalidade entre as unidades (Tabela 02). Ocupando os maiores percentuais de área os degraus estruturais e rebordos erosivos (34,79%) e superfícies aplainadas retocadas ou degradadas (30,94%), predominam sobre a paisagem, seguida de terraços fluviais (21,86%) e demais unidades de menor representatividade.

Tabela 2-Sub-bacia do rio Vermelho: percentuais das unidades do relevo

Nº	Unidades do relevo	Area km ²	%
01	Degraus estruturais e rebordos erosivos	472,59	34,79
02	Planaltos	58,06	4,27
03	Planícies fluviais ou flúvio-lacustres	29,00	2,13
04	Superfícies aplainadas conservadas	81,54	6,00
04	Superfícies aplainadas retocadas ou degradadas	420,38	30,94
05	Terraços fluviais	296,94	21,86
Total		1.358,52	100

Fonte: Elaborado pelos autores a partir do CPRM (2004)

Ocupando a porção centro norte da sub-bacia, o domínio das superfícies aplainadas retocadas ou degradadas é constituído de relevos planos e suaves, localizado sobre domínio geológico da formação rio Branco, com predomínio de sistema de aquíferos fissural, de potencial hidrogeológico local bastante irregular.

Tipos de solo e uso da terra.

Conforme dados da SEPLAN-MT (2001) e Instituto SOS Pantanal, WWF- Brasil (2015) na sub-bacia, predominam os Latossolos vermelho-amarelos alumínicos (29,40%) e os Argissolos vermelho-amarelos distróficos, (29,77%). O uso da terra é majoritariamente exercido pela atividade pecuária, que ocupa pouco mais de 64% da área, seguida da agricultura com 5,19%. A vegetação remanescente limita-se 27,86% da área



total. Sobre domínio dos relevos planos de médio e baixo é registrado crescimento da atividade agrícola. Lorenzon (2016) destaca que em três décadas o crescimento da agricultura para a sub-bacia foi de 140,34 %, e de 37,65% para a pecuária.

Subunidades do clima

No extremo norte, sofre a influência do clima mesotérmico quente e úmido da fachada meridional dos planaltos (alto Sepotuba) (III C4a), sua precipitação média anual fica entre 1900 e 2100 mm (figura 01) com estação seca de apenas quatro meses de maio a agosto. Ainda no extremo norte (cabeceiras), predomina a subunidade do clima mesotérmico dos topos de cimeira dos chapadões (Chapada dos Parecis) (III A1a) com precipitação média entre 1900 e 2100 mm. A estação seca de quatro meses acontece entre junho e setembro.

Estendendo-se de alto a baixo curso da sub-bacia, nas bordas divisórias com Sepotuba, a subunidade de clima mesotérmico úmido dos baixos planaltos e depressões (III D2a) apresenta precipitação entre 1600 a 1800 mm e estação seca de cinco meses entre maio e setembro. Ocupando as cotas de maior altitude, o clima mesotérmico quente e úmido da fachada meridional dos planaltos dos Parecis (III C3) apresenta precipitação média entre 1600 e 1700 mm com estação seca entre os meses de junho e outubro.

Ocupando a porção central, o domínio mesotérmico úmido dos baixos planaltos e depressões (III D2b) apresenta precipitação entre 1400 a 1600 e estação seca prolongada, entre maio e outubro. No baixo curso situa-se a subunidade do clima mesotérmico subúmido das depressões e pantanais (III E1), que apresentam os menores índices pluviométricos, com média entre 1300 e 1400 mm, e estiagem rigorosa de até oito meses, entre abril e novembro.

Morfologia e morfometria

Conforme levantamento, a sub-bacia dispõe de 1.358,89 km² de área, com rede de drenagem de 2.985,02 km de extensão, distribuídos por 4.013 canais de 1ª a 7ª ordem. 77,85% correspondem a canais de 1ª ordem, o que equivale a 3.124 nascentes, situadas principalmente sobre domínios geológicos intrusivos a montante e sedimentares a jusante. (Tabela 03 e 04)

Tabela 3-Sub-bacia do rio Vermelho: dados e parâmetros morfométricos

Dados/Parâmetros	
Área de drenagem - A (km ²)	1.358,89
Perímetro - P (km)	393,06
Ordem	7º



Altitude máxima (m)	661
Altitude mínima (m)	136
Comprimento da bacia	76,09
Comprimento total dos canais	2.985,9
Número total de canais	4.013
Comprimento do canal principal (Km)	127,12
Número de nascentes	3.124
Linear	
Relação de bifurcação - Rb (Nt/km ²)	4,50
Gradiente de canais	5,19%
Índice de sinuosidade – Is	1,67
Areal	
Fator de forma – Kf	0,23
Coefficiente de compacidade – Kc	2,9855
Índice de circularidade – Ic	0,1105
Densidade de drenagem - Dd (km/km ²)	2,1973
Densidade hidrográfica – Dh (canais/ km ²)	2,9531
Coefficiente de manutenção - Cm (m ² /m)	455,10
Parâmetros hipsométricos	
Relação de relevo – Rr m/K	6,89
Índice de rugosidade – Ir	1.153,5
Razão de textura Rt	7,9478

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4-Sub-bacia do rio Vermelho: número e percentual de canais por ordem

Ordem	Total	%
1 ^a	3.124	77,85
2 ^a	694	17,29
3 ^a	149	3,71
4 ^a	34	0,85
5 ^a	9	0,22
6 ^a	2	0,05
7 ^a	1	0,02

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise linear mostra gradiente de canais de 5,19%, com boa capacidade de escoamento. Os canais sinuosos têm *Is* de 1,67. A bifurcação é de 4,50, refletindo a litologia predominantemente ígnea (com baixa porosidade primária de 0 a 15%); com efeito, “rochas mais impermeáveis possuem melhores condições para o escoamento superficial, apresentando rapidez nas respostas hídricas, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem” (SOUZA, 2015, p. 55).

O fator de forma é de 0,23, e índice de circularidade, de 0,11. Os dados de área demonstram que a bacia apresenta formato alongado que, associado ao índice de compacidade de 2,98, torna a bacia pouco suscetível a inundações. Sua eficiência de escoamento é reafirmada pelos índices de densidade de drenagem (2,19 km/km²) e



densidade de rios (2,95 canais por km). Por outro lado, com coeficiente de manutenção (Cm) de 455,10 ressalta-se a necessidade de manutenção de áreas de recarga, dos sistemas de aquífero, tendo em vista que o índice aponta para elevada quantidade de área em m² para se manter um metro de canal fluvial. Alterações nas áreas de APPs e desequilíbrio na dinâmica de infiltração poderão comprometer a manutenção dos canais fluviais, principalmente dos de primeira ordem.

O padrão hipsométrico apresenta disposição topográfica compatível com as estruturas geológicas predominantes, com altitudes elevadas no extremo norte sobre a formação rio Branco, marcada por afloramentos intrusivos de rochas graníticas. As declividades e as altitudes mais baixas ocupam a porção centro sul, sobre substratos geológicos da formação Pantanal e Araras, com predomínio de relevos plano e suave (Tabela 05).

Tabela 5 - Sub-bacia do rio Vermelho: percentual de classes do relevo

Classes do relevo	Declividade	A/km ²	%
Plano	0 - 3%	394,64	29,05
Suave	3 - 8%	655,64	48,26
Ondulado	8 - 20%	243,36	17,91
Forte ondulado	20 - 45%	61,32	4,51
Montanhoso	45 - 75%	3,45	0,25
Escarpado	> 75%	0,05	0,004

Fonte: Elaborado pelos autores.

O índice de relação de relevo de 6,89 aponta para o elevado declive da sub-bacia, conferindo à rede de drenagem um fluxo caudaloso, principalmente entre alto e médio curso. Os índices de rugosidade de 1.153,5 e razão de textura de 7,95, enquadra a sub-bacia no padrão de textura fina, com intervalos pequenos entre os canais que compõem a drenagem.

A relação entre os aspectos ambientais (geologia, relevo, solo) apresenta relativo estado de equilíbrio. Os levantamentos realizados por Carvalho (2015) apontam que, na sub-bacia, há predomínio de solos com médio e baixo potencial para erodibilidade. Com predomínio de relevos plano (29,05%) e suave (48,26%), e uso predominante pela pecuária, a sub-bacia apresenta estabilidade geoambiental. Estabilidade esta, condicionada ao manejo adequado do solo e proteção das áreas de preservação permanente da vasta rede de drenagem, evidenciada pelos índices de *Dd* e *Dr*.

Dinâmica fluvial e hidrogeologia.



A fim de compreender o comportamento da dinâmica fluvial, sob diferentes condições geoambientais, foram monitoradas quatro seções. Nos resultados (Tabelas 06, 07, 08 e 09) são apresentadas informações como: larguras, profundidades e áreas das seções transversais; velocidades dos fluxos e vazões; concentração de sedimentos suspensos, carga suspensa e material de fundo, associando esses dados aos sistemas de aquíferos.

Tabela 6-Dados hidrodinâmicos, Concentração de Sedimentos Suspensos (C_{ssi}) e Carga Sólida Suspensa (QSS) por seção das sub-bacia

Seção	Período	Largura (M)	Profund. (M)	Veloc. (m/s)	Área (m ²)	Vazão (m ³ .s ¹)	C _{ssi} (mg/l ¹)	QSS T/dia
Sub-bacia do rio Vermelho								
I	Chuvas	15,90	2,42	0,37	38,53	14,06	260	329,32
	Estiagem	10,20	0,81	0,33	8,26	2,73	70	16,51
II	Chuvas	37	3,66	0,60	135,30	80,77	200	1.395,71
	Estiagem	24	1,18	0,34	28,24	9,49	180	147,59
III	Chuvas	24	2,45	1,21	58,72	70,93	190	1.164,39
	Estiagem	19	2,17	0,37	41,17	15,03	100	129,86
IV	Chuvas	22	4,90	0,48	107,80	51,74	180	804,66
	Estiagem	18	1,12	0,65	20,10	13,07	160	180,68

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 7 - Composição e percentuais da granulometria dos sedimentos de fundo por seção

Local	Areia						Silte		Argila		
	Grossa		Média		Fina		Total	%	Total	%	
Seção	Período	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
Sub-bacia do rio Vermelho											
I	Chuvoso	0,25	1,25	3,98	19,90	15,48	77,40	0,20	1,00	0,09	0,45
	Estiagem	5,35	26,75	6,62	33,1	7,38	36,9	0,54	2,7	0,10	0,5
II	Chuvoso	0,08	0,40	0,66	3,3	19,18	95,90	0,02	0,1	0,06	0,30
	Estiagem	0,08	0,4	2,00	10	17,82	89,1	0,08	0,4	0,03	0,15
III	Chuvoso	0,33	1,65	0,52	2,60	17,90	89,50	1,10	5,50	0,14	0,70
	Estiagem	0,2	1	0,91	4,55	16,61	83,05	2,11	10,55	0,15	0,75
IV	Chuvoso	0,12	0,60	0,17	0,85	15,90	79,50	3,57	17,85	0,24	1,20
	Estiagem	0,31	1,55	2,28	11,4	16,93	84,65	0,41	2,05	0,07	0,35

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 8 - Diferença percentual de vazão e Q_{ss} T¹ entre cheia e estiagem por seção

Seção	Vazão (m ³ s)			Carga Sólida Suspensa (T ¹ Dia) (QSS)		
	Período		Variação	Período		Variação
	Chuvoso	Estiagem		Chuvoso	Estiagem	
Sub-bacia do rio Vermelho						
I	14,66	2,73	-81%	329,32	16,51	-95%
II	80,77	9,49	-88%	1.395,71	147,59	-89%
III	70,93	15,03	-79%	1.164,39	129,86	-89%
IV	51,74	13,07	-75%	804,66	180,68	-78%

Fonte: Elaborado pelos autores



Tabela 9 - Unidades hidrogeológicas: percentual por sub-bacia

Sub-bacia	Aquífero	Área km ²	%
Rio Vermelho	Pantanal	325	23,9
	Parecis	67	4,9
	Fraturnado Centro-Sul	884	65,1
	Araras	81	6,0

Fonte: Elaborado pelos autores a partir do CPRM (2004)

Seção I – Córrego Grande

A seção I da sub-bacia do rio Vermelho corresponde a uma seção transversal do córrego Grande, afluente da margem esquerda. Esta seção registrou vazão de 14,66 m³/s¹ no período chuvoso. Na estação seca, a vazão decresce para 2,73 m³/s¹, totalizando redução da vazão de 81 %. As concentrações de sólidos suspensos foram de 260 mg/l¹ na cheias e 60 mg/l¹ na estiagem, com carga suspensa variando de 329,31 e 16,51 ton/dia nos respectivos períodos.

Em relação ao sedimento de fundo, a seção registrou maior concentração de areia fina (77,4 %) e média (19,9%) no período chuvoso. Na estiagem ficou assim distribuído: 36,9 % de areia fina, 33,1 de média e 26,71% de areia grossa.

Seção II – Rio Vermelho alto curso

A Seção II está localizada no rio Vermelho. A jusante do córrego Grande, o rio apresentou vazão de 80,77 m³/s¹ no período chuvoso e 9,49 m³/s¹ na estiagem, uma redução de 88% na vazão para o período. No período chuvoso, a seção registrou uma concentração de sedimentos de 200 mg/l¹ e de 180 mg/l¹ na estiagem. A carga suspensa variou de 1.395,71 a 147 ton/dia para os respectivos períodos. Entre o material de fundo, prevaleceu areia fina para ambos os períodos.

Os dados analisados nas seções I e II, correspondentes ao alto curso da sub-bacia, apontam para elevadas taxas de redução de vazão, podendo este fato estar associado à composição hidrogeológica da área, marcada pelo sistema do aquífero fraturado do centro sul e geologia do grupo rio Branco, de rochas ígneas, intrusivas de baixa porosidade. Assim, essa baixa porosidade dificulta a infiltração e retenção das águas pluviais no período chuvoso e favorece o escoamento superficial, contribuindo com as elevadas taxas de material em suspensão para o período chuvoso e severas reduções nos índices de vazão na estiagem.

Seção – III médio curso



As informações obtidas sobre a seção III mostram vazão de 70,93 m³/s no período chuvoso e 15,3 m³/s na estiagem, com redução de 79%. As Concentrações de Sólidos Suspensos foram de 190 mg/l¹ no período chuvoso e 100 mg/l¹ na estiagem; já a carga suspensa foi de 1.164,39 ton/dia no período chuvoso e 129,86 ton/dia na estiagem.

Seção IV – baixo curso

A seção IV, localizada no baixo curso do rio Vermelho, registrou vazão de 51,74 m³/s no período chuvoso e 13,07 m³/s na estiagem, totalizando redução de 75%. As concentrações de sedimentos suspensos foram de 180 mg/l¹ no período chuvoso e de 160 mg/l¹ na estiagem, e a carga sólida foi de 804,66 ton/dia no período chuvoso e 180,63 ton/dia na estiagem. Nesta seção, o material de fundo apresentou maior concentração de sedimentos finos no período chuvoso (79,5% areia fina e 17,85% de silte), enquanto na estiagem predominou areia fina (84,65%).

Nas áreas de alto curso, onde predomina substrato geológico de baixa porosidade e sistema de aquífero de mesma natureza, foi observada vazão elevada no período chuvoso, com redução na estiagem. Médio e baixo cursos (seção II e IV), sob influência direta do sistema de aquífero Pantanal e Araras (de alta e média porosidade), apresentam comportamento oposto, registrando, portanto, redução da vazão de montante para jusante no período chuvoso e aumentando no período de estiagem. Sobre o aquífero Pantanal, Diniz e Monteiro *et al.* (2015) destacam que este é constituído por um tipo de multicamadas de sedimentos Terciários e Quaternários não consolidados a pouco consolidados, predominantemente, arenoso possuindo alta porosidade. Paula (2015, p. 53), destaca que o aquífero Araras membro superior é composto por dolomitos e compõe o sistema de aquíferos cárstico. Dispõe de boas condições para armazenamento e circulação de águas subterrâneas. Com recarga realizada essencialmente pela precipitação pluvial e cursos d'água superficiais nas áreas de afloramento e coberturas de solo sob seus domínios.

De acordo com a distribuição dos sistemas de aquífero e padrão hidrodinâmico apresentado entre as seções II e IV, é possível observar a influência que estes sistemas de sub superfície desempenham sobre a rede de drenagem, caracterizando elemento essencial na análise de planejamento dos recursos hídricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



Compreendemos que a análise ambiental a nível de bacias hidrográficas deve ser realizadas além da identificação e caracterização dos elementos que a integram, faz-se necessário a compreensão dos processos resultantes da interação entre os elementos, associados aos tipos de uso da terra praticados. Desta forma, consideramos que os levantamentos aqui apresentados, por meio da análise ambiental morfológica, morfométrica e dinâmica fluvial, se revelam como importante aspecto na análise a nível de bacias hidrográficas, de forma subsidiar ações de tomada de decisões voltadas a ações de planejamento e gestão territorial. Os dados revelam a influência que a geologia, hidrogeologia e relevo exercem sobre a distribuição de canais e dinâmica das águas superficiais. As áreas sobre influência direta de unidades geológicas cristalinas (que dão origem a sistemas de aquífero fraturado de baixa porosidade) apresentam maior amplitude de vazão entre os períodos de cheia e seca. Os pontos amostrais sobre domínios hidrogeológicos porosos apresentam menor variação de vazão sazonal, com melhor desempenho no período de estiagem. Fica evidente que o uso da terra nestas áreas deve considerar suas potencialidades e vulnerabilidades. Se por um lado dados geológicos, pedológicos e morfológicos apontam para baixa suscetibilidade a erosão, a que se considerar que estes mesmos dados associados aos aspectos morfométricos indicam alta capacidade de escoamento superficial e capacidade de infiltração e retenção nos sistemas de sub-superfície limitados, bem como demanda de elevada quantidade de área para a manutenção dos canais. Neste cenário, o uso da terra que não favoreça a manutenção de infiltração da água no solo, torna a sub-bacia suscetível a crises hídricas, acentuando as elevadas variações de vazão sazonal nos períodos de débitos pluviométricos. Os dados levantados apontam ainda para a necessidade de estudos voltados para uma melhor compreensão das contribuições dos sistemas de subsuperfície na dinâmica das águas superficiais a nível de bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

AQUINO, D. S. **Mecanismos de transmissão de fluxos de água e sedimentos em dois grandes rios aluviais impactados pela atividade humana: O Araguaia e o Paraná.** 2007. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, p. 145. 2007

ARAÚJO, L. M. B. D. **Evolução Do Magmatismo Do Domínio Cachoeirinha: Suítes Intrusivas Santa Cruz, Alvorada, Rio Branco e Salto Do Céu – Sw Do Cráton**



Amazônico – MT. 2008. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, p. 166. 2008.

BARROS, A. M.; SILVA, R. H. D; CARDOSO, O. R. F. A.; FREIRE, F. A.; SOUZA, J. J. J. da; RIVETTI, M.; LUZ, D. S. D; PALMEIRA, R. C.; TASSINARI, C. C. G. Geologia. In: Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil, Folha SD.21.** Cuiabá. Rio de Janeiro. p. 25-192, 1982

BRIERLEY, G. Geomorphology and River Management. **Kemanusiaan**, n. 15, p. 3–26, 2008. ISSN 2180-4257

CARVALHO, J. M. D. **Degradação dos solos por erosão hídrica, sob áreas de pastagem, na bacia hidrográfica do rio Cabaçal - região sudoeste do estado de Mato Grosso, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ambientes e Sistema de Produção Agrícola) - Universidade do Estado de Mato Grosso. Tangará da Serra, p. 54. 2015.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, v. 5, n. 2, p. 3-7, 2009. ISSN 18082793.

CAVALCANTE, A. A.; CUNHA, S. B. D. Dinâmica Fluvial no Semiárido e Gestão dos Recursos Hídricos: Enfoques sobre a Bacia do Jaguaribe - CE. In: MEDEIROS, C. N. D. et al. **Os recursos hídricos do Ceará: integração, gestão e potencialidades.** Fortaleza: IPECE, 2011. p.83-112

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1980

COSTA, T. D.; LANÇA, R. **Hidrologia de Superfície.** Faro: Universidade do Algarve, v. 1, 2011

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa geológico do estado de Mato Grosso.** [S.l.]. 2004.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, J. T. **Geomorfologia: Exercícios, técnicas e aplicações.** 3^a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2009.

DINIZ, J. A. O. *et al.* **Diagnóstico e Cartografia das Águas Subterrâneas da Bacia do Prata.** Programa marco para a gestão sustentável dos recursos hídricos da bacia do prata, considerando os efeitos hidrológicos decorrentes da variabilidade e mudança do clima. [S.l.], p. 37. 2015

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2^a. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1997.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba.** Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968. p. 151.



INSTITUTO SOS PANTANAL, WWF- BRASIL. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira.** Brasília: [s.n.], 2015.

LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; NÓBREGA, M. T. Produção e transporte da carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte. **Boletim de Geografia.** v. 28, n. 1, p. 43- 58, 2010.

LIMA, A. M. M. D.; PONTE, M. X. O estudo da paisagem e o planejamento estratégico como bases da gestão da oferta hídrica no estado do Pará: discussão teórica e metodológica. **Geociências,** São Paulo, v. 28, n. 3, p. 319-332, 2009. ISSN 1980-900X.

LORENZON, T. H. **Dinâmica do uso da terra e as implicações na cobertura vegetal, na qualidade da água e no solo da bacia hidrográfica do Cabaçal, Mato Grosso.** Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Mato Grosso. Tangará da Serra, p. 131. 2016.

MELLO, L. T. A. D.; PAULA, T. L. F. D.; VEIGA, A. Influência de aquíferos no regime fluviométrico anual de pequenas bacias e na recarga subterrânea. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,** Bento Gonçalves, 17 a 22 novembro 2013.

NARDINI, R. C. *et al.* Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga, Botucatu,** v. 18, n. 4, p. 687-699, outubro-dezembro 2013. ISSN 1808-3765.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** Bento Gonçalves, v. 2, n. 1, p. Jan/Jun, 1997 p 135-152. ISSN 2318-0331.

PAULA, T. L. F. D. **Comportamento hidráulico de aquíferos sedimentares e metassedimentares de dupla porosidade da região do alto Paraguai, MT.** Dissertação (Mestrado) Universidade de Brasília. Brasília, p. 129. 2015.

ROSS, J. L. S. **Bacia hidrográfica: Unidade de análise Integrada.** In: MORATO, R. G., et al. Análise Integrada em bacias hidrográficas: Estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo. 1ª. ed. São Paulo: FFLCH/USP, 2019. Cap. 1, p. 909.

SEPLAN- Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso. **Mapa das Unidades climáticas do estado de Mato Grosso.** Escala: 1.500.000. Cuiabá. 2001.

SOUZA, J. O. P. D. Dos sistemas ambientais ao sistema fluvial, uma revisão de conceitos. **Caminhos de geografia,** Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 224–233, setembro 2013. ISSN 1678-6343.

SOUZA, I. C. D. **Aspectos da morfometria de drenagem e produção de sedimentos em relação a variante chuva x vazão de diferentes trechos da bacia do ribeirão do gama – Distrito Federal nos anos de 2014 a 2015.** Dissertação (Mestrado) Universidade de Brasília. Brasília, 106 p. 2015

TRAJANO, S. R. R. D. S. *et al.* Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape. **Boletim de Pesquisa**



XIV ENCONTRO NACIONAL DE
PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM

GEOGRAFIA

5ª EDIÇÃO ONLINE

10 À 15 DE OUTUBRO DE 2021

ISSN: 2175-8875

e **Desenvolvimento/Embrapa Gestão Territorial**, Campinas, p. 33, dezembro 2012.
ISSN 2317-8779

VEIGA, A. M. et al. Caracterização Hidromorfológica da bacia do rio meia ponte.
Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 126 - 138, junho 2013. ISSN 1678-
6343