

USO DE GEOPROCESSAMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO CÓRREGO SÃO MARTINHO – TUPÃ-SP, BRASIL

Use of geoprocessing for morphometric characterization of the São Martinho stream microbasin – TUPÃ-SP, Brazil

Uso del geoprocesamiento para la caracterización morfométrica de la microcuenca del arroyo São Martinho - TUPÃ-SP, Brasil

Marcelo Campos

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã
marcelo.campos28@unesp.br

Sergio Campos

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
sergio.campos@unesp.br

Resumo

Esse trabalho analisou as características morfométricas da microbacia do córrego São Martinho, pertencente ao município de Tupã (SP), aplicando o geoprocessamento com o uso do Sistema de Informação Geográfico QGIS versão 3.12.12. A microbacia localizada entre as latitudes 21° 51' 49" e 21° 58' 24" S e longitudes 50° 20' 38" e 50° 32' 44" W, possui área de 3612 ha. Para delimitação da microbacia, da extração da rede de drenagem e das curvas de nível foi utilizada como base cartográfica a carta planialtimétrica de Parnaso (SP), em escala de 1:50000 (IBGE, 1974). Essa microbacia foi classificada como sendo de 4ª ordem, conforme hierarquia proposta por Arthur Strahler, sendo classificada com vocação para a agricultura e pastagem, devido ao seu relevo suave ondulado. A densidade de drenagem foi classificada de mediana para baixa e não é sujeita a enchentes, porém devido à forma circular para ovalada é propícia a enchentes rápidas, favorecendo a erosão. Devido às esses fatores, há riscos de susceptibilidade à erosão e degradação ambiental, sendo fundamental a manutenção da cobertura vegetal e as zonas ripárias para conservação dos serviços ambientais, além das medidas conservacionistas.

Palavras-chaves: Geotecnologias; microbacia do córrego São Martinho; Morfometria.

Abstract

This study analyzed the morphometric characteristics of the São Martinho stream microbasin, belonging to the municipality of Tupã (SP), applying geoprocessing using the Geographic Information System QGIS version 3.12.12. The microbasin located between latitudes 21° 51' 49" and 21° 58' 24" S and longitudes 50° 20' 38" and 50° 32' 44" W, has an area of 3612 ha. The Parnaso (SP) planialtimetric chart (IBGE, 1974), on a scale of 1:50000, was used as the cartographic base for delimiting the microbasin, drainage network extracting and contour lines. This microbasin was classified as being of 4th order,

according to the hierarchy proposed by Arthur Strahler, being classified with a vocation for agriculture and pasture, due to its smooth undulating relief. The drainage density was classified from median to low and is not subject to flooding, but due to its circular shape to oval-shaped, it is prone to rapid flooding, favoring erosion. Due to these factors, there are risks of susceptibility to erosion and environmental degradation, being fundamental the maintenance of the vegetation cover and riparian zones for the conservation of environmental services in addition to conservationist measures.

Keywords: Geotechnologies; São Martinho stream microbasin; Morphometry.

Resumen

En este estudio se analizaron las características morfométricas de la microcuenca del arroyo São Martinho, perteneciente al municipio de Tupã (SP), aplicando el geoprocetamiento mediante el Sistema de Información Geográfica QGIS versión 3.12.12. La microcuenca, situada entre las latitudes 21° 51' 49" y 21° 58' 24" S y las longitudes 50° 20' 38" y 50° 32' 44" W, tiene una superficie de 3612 ha. Se utilizó la carta planialtimétrica de Parnaso (SP), con escala de 1:50000 (IBGE,1974), como base cartográfica para delimitar la microcuenca, la extracción de la red de drenaje y las curvas de nivel. Esta microcuenca fue clasificada como de 4° orden, según la jerarquía propuesta por Arthur Strahler, siendo clasificada con vocación agrícola y de pastoreo, debido a su suave relieve ondulado. La densidad de drenaje se clasificó de mediana a baja y no está sujeta a inundaciones, pero debido a su forma circular a ovalada es propensa a inundaciones rápidas, favoreciendo la erosión. Debido a estos factores, existen riesgos de susceptibilidad a la erosión y la degradación ambiental, siendo fundamental el mantenimiento de la cubierta vegetal y las zonas ribereñas para la conservación de los servicios ambientales, además de las medidas conservacionistas.

Palabras clave: Geoprocetamiento; microcuenca del arroyo São Martinho; Morfometría.

Introdução

A expansão agrícola e criação de animais é uma realidade mundial, devido ao crescimento constante da população mundial. De acordo com as perspectivas da população mundial indicada pela ONU (2020), de 2010 para 2020 o aumento da população foi de 12 %, e de 2020 para 2030 está previsto um aumento de quase 10 %, chegando a quase 25 % de aumento em 2050 em relação a 2020. Além disso, o agronegócio tem um papel fundamental na economia brasileira, ainda mais em 2020 com a crise que a pandemia causada pelo coronavírus SARS-CoV-2, pois no primeiro trimestre de 2020 mesmo com o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro sofrendo um decréscimo de 0,3 % em relação ao trimestre anterior, o agronegócio teve um aumento de 0,6 %, enquanto a indústria, construção e serviços obtiveram diminuição de 1,4 %, 2,4 % e 1,6 %, respectivamente (IBGE, 2020).

Durante essa expansão, e conseqüente, aumento de produção, é necessário ter cuidado para que esse desenvolvimento agropecuário seja de forma sustentável, e para isso é importante que detenham conhecimentos técnicos da região. Essa expansão ocorre com o uso do solo e de água em grande quantidade, o que causa desequilíbrio dos recursos naturais e ambiental, como degradação e empobrecimento do solo, escassez hídrica, entre outros. Em relação aos recursos hídricos retirados e consumidos de mananciais, houve aumento de 2010 a 2020 de 17,1 % e 17,6 %, respectivamente, e a previsão que em 2030, o aumento em relação a 2020 será de 22,9 % e 25,4 %, respectivamente (SNIRH, 2020).

Para o conhecimento da dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica, a sua caracterização morfométricas é indispensável (SANTOS; SOUSA, 2014), o que contribui para o correto planejamento de manejo e elaboração de projetos para sua manutenção (CAMPOS *et al.*, 2015). A partir do ano de 1945, com o trabalho de Robert E. Horton iniciou a análise das microbacias hidrográficas de forma quantitativa (CHRISTOFOLETTI, 1980). Este classifica esse estudo em quatro partes: hierarquia fluvial, análise areal, linear e hipsométrica. A primeira parte indica a classificação do curso d'água na bacia hidrográfica, os demais são características físicas, tais como área, forma, relevo, rede de drenagem, declividade, entre outros. Essas características aliadas ao uso e cobertura do solo, dados climáticos, entre outros, podem indicar a vulnerabilidade da bacia hidrográfica estudada, como erosão, inundações, assoreamento, entre outros (CAMPOS *et al.*, 2015; CHRISTOFOLETTI, 1980; CURY *et al.*, 2019).

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar a morfometria da microbacia do Córrego São Martinho, localizado no município de Tupã (SP), utilizando o sistema de informação geográfica QGIS.

Material e Método

A microbacia do Córrego São Martinho (Figura 1), pertence ao município de Tupã (SP), está localizada entre as latitudes 21° 51' 49" e 21° 58' 24" S e longitude 50° 20' 38" e 50° 32' 44" W, e sua área é de aproximadamente 3611,7 ha. Essa microbacia faz parte da bacia hidrográfica do rio Aguapeí e do Aquífero Guarani, considerado uma das maiores reservas de água doce do planeta.

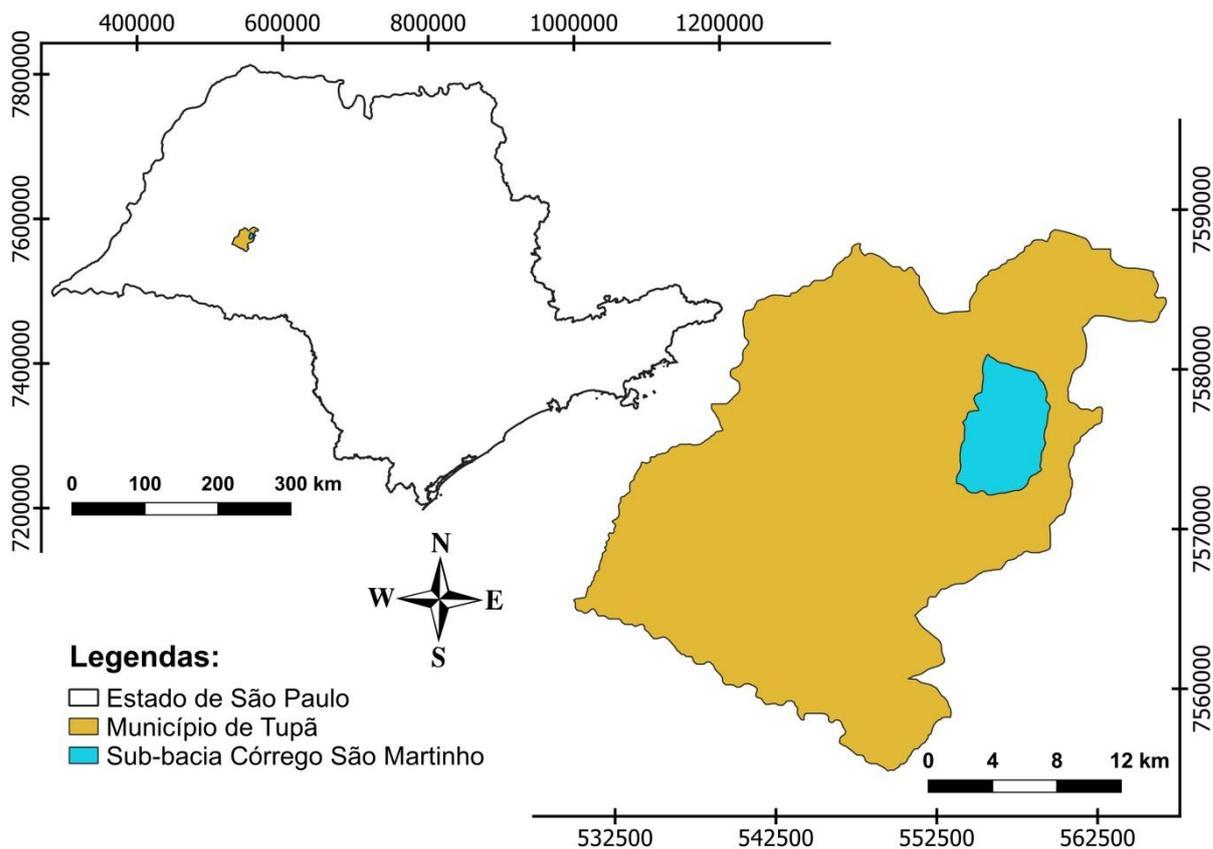


Figura 1 – Localização da microbacia do Córrego São Martinho, Tupã (SP).

A microbacia ocupa aproximadamente 6 % do município de Tupã, que tem o clima predominante classificado segundo o sistema Köppen do tipo Cwa - Clima Mesotérmico de Inverno Seco - em que a temperatura média anual é 23,7 °C, a temperatura mínima média é 18,2 °C e a máxima média é 29,2 °C, nos últimos 27 anos (CIAGRO, 2020).

Para a delimitação da microbacia córrego São Martinho, extração da rede de drenagem e planialtimétrica, foi utilizada, como fonte cartográfica, a carta planialtimétrica SF-22-X-C-V-3 (Parnaso), editadas em 1974 pelo IBGE, na escala de 1:50.000, com curvas de nível de 20 e 20 metros. O Sistema de Informações Geográficas QGIS versão 3.12.12, com projeção UTM, foi utilizado para o georreferenciamento dessa carta, assim como delimitar a microbacia, e vetorizar as curvas de nível e rede de drenagem. Todas as análises das variáveis dimensionais, hidrográficas e planialtimétricas. Também foram realizadas com o SIG QGIS versão 3.12.12.

As características dimensionais da microbacia foram a área total dessa microbacia (A) e o seu perímetro (P). As características dimensionais da rede de drenagem da microbacia foram o cálculo do maior comprimento (C), do comprimento do curso principal (Cp), do

comprimento total da rede de drenagem (Cd). As características dimensionais do relevo da microbacia foram o comprimento das cotas (Cn), altitude máxima (Hmax) e mínima (Hmin) da microbacia e a altitude máxima e mínima do rio principal. Para determinação dos demais parâmetros morfométricos da microbacia foram utilizadas as equações:

Altitude Média (Hm): é definida pela média aritmética entre a altitude máxima (Hmax) e mínima (Hmin), ou seja, $Hm = (Hmax + Hmin) / 2$.

Amplitude Altimétrica (H): é definida pela diferença entre a altitude máxima (Hmax) e mínima (Hmin), ou seja, $H = Hmax - Hmin$.

Coefficiente de Manutenção (Cm): representa a área da bacia para manter uma unidade de comprimento do canal fluvial. O coeficiente é definido pela razão entre a área da microbacia (A) e o comprimento total da rede de drenagem (Cd), ou seja, $Cm = A / Cd$. Também é determinado como o inverso da densidade de drenagem (Dd), ou seja, $Cm = 1 / Dd$.

Coefficiente de Rugosidade (Cr): Este coeficiente está relacionado como a disponibilidade do escoamento hídrico superficial, e é definido pelo produto da densidade de drenagem (Dd) e a declividade média da bacia (Dm), ou seja, $Cr = Dd \times Dm$ (MACHADO; TORRES, 2012).

Declividade Média (Dm): é definida pela razão do produto da distância entre, as curvas de nível (D) e o comprimento total dessas curvas de nível (Cn), e a área da microbacia (A), ou seja, $Dm = (D \times Cn) / (A)$ (MACHADO; TORRES, 2012). Por ser um termo adimensional, é comum ser dado em porcentagem da declividade, sendo assim, a equação será $Dm (\%) = 100 \times Dm$. A tabela 1 apresenta as classificações que o relevo em relação à porcentagem da declividade.

Tabela 1 – Classificação da declividade Média (Dm)

Declividade Média (Dm)	Classificação
Até 3 %	Plano
Entre 3 a 8 %	Suave ondulado
Entre 8 e 20 %	Ondulado
Entre 20 e 45 %	Forte Ondulado
Entre 45 e 75 %	Montanhoso
Acima de 75 %	Escarpado

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979)

Densidade de Drenagem (Dd): é definida pela razão entre o comprimento total da rede de drenagem (Cd) e a área da microbacia (A), ou seja, $Dd = Cd / A$. Para classificar os resultados dessa densidade, (BELTRAME, 1994) propôs um método, assim, como (SILVA, Alexandre Marco da; SCHULZ; CAMARGO, 2003), propôs outro. Existem outros métodos propostos por outros pesquisadores, mas nesse trabalho se atentaremos para os dois primeiros, e a tabela 2 mostra uma compilação de ambos.

Tabela 2 – Parâmetros para classificar a rede de drenagem

BELTRAME (1994)	Classificação	SILVA; SCHULZ; CAMARGO (2003)
Dd (km/km²)		Dd (km/km²)
Menor que 0,50	Baixa	Menor que 7,5
0,50 a 2,00	Mediana	7,5 a 10,0
2,01 a 3,50	Alta	Maior que 10,0
Maior que 3,50	Muito Alta	Não há essa classificação

Fonte: Adaptado de BELTRAME (1994) e SILVA; SCHULZ; CAMARGO (2003)

Densidade de Rios (Dr): é considerada a quantidade de nascentes (canais de ordem 1) que existe na microbacia. Sendo assim, é determinada pela razão desse número de canais de ordem 1 (N_1) e a área de bacia hidrográfica (A), ou seja, $Dr = N_1 / A$.

Extensão do Percurso Superficial (Eps): é a distância média que qualquer fluxo hídrico percorrerá até chegar ao leito do rio, e é definida pelo inverso do dobro da densidade de drenagem (Dd), ou a metade do coeficiente de manutenção (Cm), ou seja, $Eps = 1 / (2 \times Dd)$ ou $Eps = Dm / 2$.

Fator de Forma (Kf): é definido pela razão da área da bacia e o quadrado do comprimento do eixo da bacia (L), ou seja, $Kf = A / L^2$. Esse comprimento L é definido pelo comprimento da linha entre a foz ao ponto mais longe no espigão. Esse fator foi proposto por Horton (1932), e pode ser classificado como sujeitos a enchentes, com o Kf entre 0,75 e 1,00, como tendência medianas entre os valores de 0,50 e 0,75, e abaixo desse valor como não sujeito à enchentes.

Frequência de Rios (Fr): representa a quantidade de água que uma bacia tem capacidade de produzir, e é definida pela razão dos segmentos totais da microbacia (N_i), que deve ser

classificado na hierarquia de Strahler, e a área dessa microbacia (A), ou seja, $Fr = (\sum Ni) / A$ (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Gradiente Altimétrico (G): representa ao longo do canal fluvial as variações de altitude, e é definido como a razão do desnível do canal (diferença da altitude máxima, A_{max} , e da mínima, A_{min}) e o seu comprimento (C), ou seja, $G = (A_{max} - A_{min}) / C$ (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Índice de Circularidade (Ic): é definido pela razão da área da bacia (A) e a área de um círculo (A_c), sendo que comprimento desse círculo é igual ao perímetro da bacia (P), ou seja, $Ic = A / A_c$. Esse índice foi proposto por Miller em 1953 (CHRISTOFOLETTI, 1980). Utilizando a relação do comprimento de um círculo ($2.\pi.r$) e o perímetro da bacia, a equação pode ser reduzida para $Ic = (4.\pi.A) / (P^2)$.

Índice de Compacidade (Kc): é definido pela razão da área do perímetro da bacia (P) e a perímetro de um círculo (P_c), sendo que a área desse círculo é igual a área da microbacia e é aplicada para estudar a susceptibilidade à enchentes (COCHEV et al, 2015). Sendo assim, $Kc = P / P_c$. Utilizando a relação das áreas de um círculo ($\pi.r^2$) e da bacia, a equação pode ser reduzida para $Kc = (P) / \sqrt{(4.\pi.A)}$. Tem relação direta com o índice de circularidade (Ic), que pode ser descrito por $Kc = (1) / \sqrt{(Ic)}$. Assim como Ic tem relação direta com a circularidade da microbacia, sendo que essa com formato mais circular ($1,00 < Kc < 1,25$) indica uma microbacia com alta propensão a grandes enchentes, conforme essa não for mais tanto circular, diminui essa tendência a enchente. A bacia terá tendência mediana a grandes enchentes para $1,25 < Kc < 1,50$ e não estará sujeita para valores maiores que 1,5. Pela relação com Ic, pois achar uma classificação equivalente, sendo a seguinte, respectivamente, Ic maior que 0,64 (alta propensão), $0,44 < Ic < 0,64$ (propensão mediana) e Ic menor que 0,44 (não sujeita a enchentes).

Índice de Sinuosidade (Si): indica os meandros no perfil o rio, e é definido pela razão do comprimento do Rio Principal (C) e o comprimento desse rio em linha reta (C'), ou seja, $Si = C / C'$. O menor valor obtido é 1, indicando um canal reto, sem sinuosidade, o canal só é considerado meândrico quando esse índice é superior a 1,5 (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Razão de textura (T): é definida como a razão entre o número total de segmentos de 1ª Ordem (N_1) e o perímetro da microbacia (P), ou seja, $T = N_1 / P$ (FRANÇA, 1968; SMITH, 1950).

Relação de Bifurcação (Rb): é definido como a razão entre os números totais de segmentos de uma determinada ordem (N_N) e a ordem superior (N_{N+1}), ou seja, $Rb = N_N / N_{N+1}$ (HORTON, 1945).

Relação de Relevô (Rr): indica o desnível entre a cabeceira e o exutório, quanto maior for esse valor, maior será o desnível, e é definido a razão da amplitude altimétrica da bacia (H) e o comprimento do canal principal (Cp), ou seja, $Rr = H / Cp$.

Foi determinado também o índice de Aridez (Ia) que é definido pela a razão entre a deficiência hídrica (Dh) e a evapotranspiração potencial (ETP), ou seja, $Ia = Dh / ETP$, e o índice Hídrico (Ih) que é definido pela razão entre o excedente hídrica (Eh) e a evapotranspiração potencial (ETP), ou seja, $Ih = Eh / ETP$; e o índice de Umidade (Iu) que é definido pela diferença dos índices de umidade e de aridez, ou seja, $Iu = Ih - 0,6.Ia$ (THORNTHWAITE, 1948; THORNTHWAITE; MATHER, 1955). Com esses índices e da ETP, defini-se o tipo climático e os subtipos da microbacia, de acordo com Thornthwaite, apesar de ser uma classificação não tão usual atualmente como a classificação Köppen. A classificação de Thornthwaite são apresentadas nas tabelas 3 (tipo) e 4 (subtipos) (FEDDEMA, 2005; THORNTHWAITE; MATHER, 1955).

Tabela 3 – Classificação dos Tipos Climáticos, segundo a classificação de Thornthwaite.

Tipo de Clima (Baseado no Iu)			Tipo de Clima (Baseado no ETP - mm)		
A	Superúmido	$Iu \geq 100$	A'	Megatérmico	$ETP \geq 1140$
B ₄	Úmido	$80 \leq Iu < 100$	B' ₄	Mesotérmico	$997 \leq ETP < 1140$
B ₃	Úmido	$60 \leq Iu < 80$	B' ₃	Mesotérmico	$885 \leq ETP < 997$
B ₂	Úmido	$40 \leq Iu < 60$	B' ₂	Mesotérmico	$712 \leq ETP < 885$
B ₁	Úmido	$20 \leq Iu < 40$	B' ₁	Mesotérmico	$570 \leq ETP < 712$
C ₂	Subúmido	$0 \leq Iu < 20$	C' ₂	Microtérmico	$427 \leq ETP < 570$
C ₁	Subúmido seco	$- 20 \leq Iu < 0$	C' ₁	Microtérmico	$287 \leq ETP < 427$
D	Semi-árido	$- 40 \leq Iu < - 20$	D'	Tundra	$142 \leq ETP < 287$
E	Árido	$- 60 \leq Iu < - 40$	E'	Gelo perpétuo	$ETP < 142$

Fonte: Adaptado de THORNTHWAITE (1948)

Tabela 4: Classificação dos Subtipos Climáticos, segundo a classificação de Thornthwaite.

Subtipo para Climas Úmidos (A, B e C₂), baseado no índice de aridez (Ia)			Subtipo baseado no ETP ETP' = [(ETP_{Verão}) / (ETP_{Annual})] x 100
r	Sem ou com pequena deficiência hídrica	$Ia < 16,7 \%$	
s	Deficiência hídrica moderada no verão	$16,7 \leq Ia < 33,3 \%$	
w	Deficiência hídrica moderada no inverno	$16,7 \leq Ia < 33,3 \%$	
s ₂	Grande deficiência hídrica no verão	$Ia \geq 33,3 \%$	a' - ETP' < 48,0 %
w ₂	Grande deficiência hídrica no inverno	$Ia \geq 33,3 \%$	b' ₄ - 48,0 ≤ ETP' < 51,9 %
Subtipo para Climas Secos (C₁, D e E), baseado no índice de hídrico (Ih)			b' ₃ - 51,9 ≤ ETP' < 56,3 %
d	Excedente hídrico pequeno ou nenhum	$Ih < 10,0 \%$	b' ₂ - 56,3 ≤ ETP' < 61,6 %
S	Excedente hídrico moderado no verão	$10,0 \leq Ih < 33,3 \%$	b' ₁ - 61,6 ≤ ETP' < 68,0 %
w	Excedente hídrico moderado no inverno	$10,0 \leq Ih < 33,3 \%$	c' ₂ - 68,0 ≤ ETP' < 76,3 %
s ₂	Grande excedente hídrico no verão	$Ih \geq 33,3 \%$	c' ₁ - 76,3 ≤ ETP' < 88,0
w ₂	Grande excedente hídrico no inverno	$Ih \geq 33,3 \%$	d' - ETP' ≥ 88,0 %

Fonte: Adaptado de THORNTHWAITE (1948)

Resultado e Discussão

A microbacia do córrego São Martinho é considerada de acordo com o escoamento global, como sendo endorreica, o curso d'água dessa bacia é classificado como perene e a rede de drenagem é classificada como dendrítico (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A análise dos resultados (Figura 2 e Tabela 5) mostram que a microbacia possui uma área de 36,12 km², com perímetro igual a 25,42 km. O fluxo de água se dá na direção S-N, com comprimento do rio principal de 10,01 km e de 50,54 km para toda a rede de drenagem. A rede de drenagem foi caracterizada conforme a hierarquia proposta em 1952 por Arthur Strahler (MACHADO; TORRES, 2012), e mostrou 33 canais de 1ª Ordem, correspondendo a 64,3 % do comprimento da rede de drenagem dessa microbacia, 6 canais de 2ª Ordem (16,2 % do comprimento), 3 canais de 3ª Ordem (12,1 % do comprimento) e 1 canal de 4ª ordem (7,4 % do comprimento). Sendo assim, essa microbacia é classificada como sendo de 4ª Ordem. A razão de textura topográfica, que compreende a razão de canais de 1ª ordem e o perímetro, foi classificada como grosseira, visto que o resultado foi de 1,30, e valores abaixo de 2,5 possui a classificação de grosseira, maiores que 6,2 a classificação é fina e os valores intermediários tem classificação média (FRANÇA, 1968; SMITH, 1950).

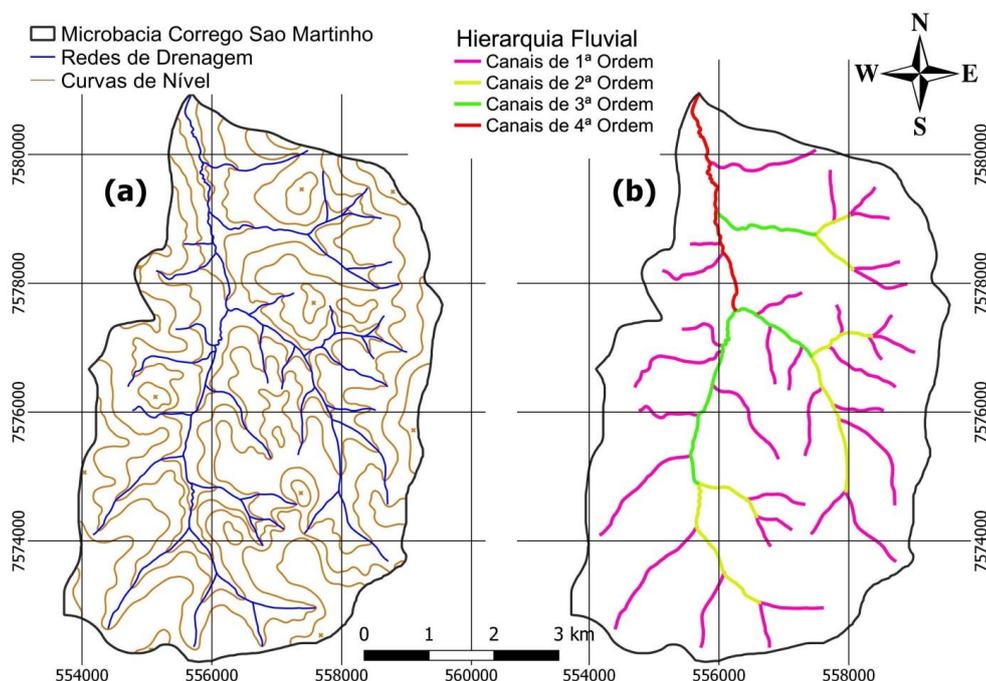


Figura 2 – (a) Redes de Drenagem e Curvas de Nível, e (b) Hierarquia fluvial da microbacia Córrego São Martinho.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 5 – Características físicas da microbacia do Córrego São Martinho.

Parâmetros Dimensionais da Microbacia do Córrego São Martinho	
Área (A)	36,12 km ²
Comprimento (C)	10,04 km
Comprimento da Drenagem (Cd)	50,54 km
Comprimento das Cotas (Cn)	139,71 km
Perímetro (P)	25,42 km
Características do Relevo da Microbacia do Córrego São Martinho	
Altitude Máxima (Hmax)	525 m
Altitude Máxima do Rio Principal	500 m
Altitude Média (Hm)	452,5 m
Altitude Mínima (Hmin)	380 m
Altitude Mínima do Rio Principal	380 m
Amplitude Altimétrica (H)	145 m
Coeficiente de Rugosidade (CR)	0,11 km/km ²
Declividade Média (Dm)	7,7 %
Fator de Forma (Kf)	0,46
Frequência de Rios (FR)	1,19 cursos d'água/km ²
Gradiente Altimétrico (G)	11,96 %
Índice de Circularidade (Ic)	0,70
Índice de Compacidade (Kc)	1,19
Índice de Sinuosidade (Meandros) (Si)	1,22 (22 %)
Razão de Textura (T)	1,30
Relação de Bifurcação (Rb)	5,5 (Ordem 1/2) 2,0 (Ordem 2/3) 3,0 (Ordem 3/4)
Relação de Relevo (Rr)	14,4 m/km
Padrões de Drenagem da Microbacia do Córrego São Martinho	
Coeficiente de Manutenção (Cm)	0,715 km ² /km
Densidade de Drenagem (Dd)	1,4 km/km ²
Densidade de Rios (Dr)	0,36 canais/km ²
Extensão do Percorso Superficial (Eps)	357,3 m

Ordem da Microbacia (W)	4
-------------------------	---

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nas caracterizações.

A forma da bacia é um parâmetro importante para determinar o tempo de concentração (CAMPOS *et al.*, 2015). Esse tempo é definido como o tempo necessário para que toda a água do início de precipitação seja levada ao exutório da bacia. Para determinar a forma da bacia há vários métodos, e para esse trabalho foram determinados o fator de forma (Kf) e os índices de circularidade (Ic) e compacidade (Kc).

O valor encontrado pelo fator de forma foi de 0,46, considerado baixo, e classifica como não sujeita à enchentes. O índice de circularidade encontrado foi de 0,70, indicando uma microbacia que tende ao formato circular, favorecendo os processos de enchentes rápidas, inundações (ALVES; CASTRO, 2003). O índice de compacidade foi igual a 1,19, indicando um formato próximo ao circular, caracterizado como redondo para ovalado, com propensão à enchentes rápidas. Sendo assim, a forma da bacia mostra que em condições normais, a microbacia não é sujeita a enchentes, porém com altas precipitações, a bacia se comporta de forma oposta, favorecendo as enchentes rápidas. Isso é importante, pois a região de Tupã nos meses chuvosos de dezembro à março, há dias que a precipitação é acima de 20 mm/h (CIIAGRO, 2020), considerada chuvas fortes, o que tende à enchentes rápidas. Por isso, a determinação dos outros parâmetros é muito importante.

A declividade média de 7,7 % da microbacia do córrego São Martinho permitiu classificá-la como relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1979), sendo propícia para pastagens e cultivo de culturas anuais, mas também há possibilidade de ser explorado com culturas permanentes, mas com preferência as que protegem o solo, como por exemplo, o amendoim e a cana-de-açúcar, amplamente plantados na região. O escoamento é médio e o declive não é um empecilho para o uso de maquinário agrícola, porém a erosão hídrica pode causar problemas, necessitando práticas simples e complexas de conservação (LEPSCH, 2001). O índice de rugosidade relaciona o escoamento hídrico superficial com o potencial erosivo, e o valor encontrado foi de 203 m, que favorece acentuado escoamento superficial e processo erosivo (SILVA, *et al.*, 2018), que corrobora com os dados.

O coeficiente de rugosidade foi 10,78, classificando a microbacia com vocação para agricultura (classe A) e também com vocação para pastagem (classe B) (CURY *et al.*,

2019; OLIVEIRA *et al.*, 2013). Esse coeficiente é importante, pois direciona o uso da terra para as suas aptidões, como agricultura, pastagem, pecuária ou reflorestamento. Esse coeficiente também é uma forma simples, rápida e precisa para o planejamento de utilização da microbacia. Esse resultado corrobora com o descrito na declividade média.

A microbacia apresenta 1,19 canais de curso por km², quando são analisadas todos as ordens de canais, quando analisa somente as nascentes, o valor é de 0,36 canais por km². A relação de relevo encontrado é de 0,014 km de rios por km de relevo, classificada como média (RODRIGUES; WERLANG, 2011), o que representa pouca declividade e baixa vazão, corroborando com os dados obtidos com os outros parâmetros.

A densidade de drenagem da microbacia (1,4 km/km²) é classificada como mediana por BELTRAME (1994) e baixa por SILVA, SCHULZ e CAMARGO (2003). Os valores baixos da densidade de drenagem, relação de relevo e frequência de rio pode estar associado com rochas permeáveis, que facilitam a infiltração de água no solo, com risco de erosão e degradação ambiental (CAMPOS *et al.*, 2015).

A extensão do percurso superficial foi de 357,3 m, ou seja, a água percorre essa distância até chegar ao leito do rio e o coeficiente de manutenção indicou que é necessário 0,715 km² para manter ativo 1 km de canal fluvial. O que indica a existência de solos permeáveis e diminuição na velocidade de escoamento superficial (AZEVEDO *et al.*, 2017). O índice de sinuosidade foi determinado como 1,22, o que não representa o canal meândrico. A relação de bifurcação mostrou um valor médio de 3,5, indicando que é um sistema fluvial. Com os dados obtidos no Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - CIIAGRO (2020), de temperatura média, evapotranspiração potencial (ETP), precipitação e a deficiência e escassez hídrica, foi possível determinar os índices de aridez, hídrico e humidade (tabela 6), e classificar o tipo de clima, conforme THORNTHWAITE (1948). Os dados foram óbitos entre julho de 2002 e junho de 2019, totalizando 17 anos. Na tabela 6 também são apresentados os valores do ETP médio anual (ETPanual) e do ETP médio para os meses do verão e o ETP'.

Tabela 6 – Índices de Aridez, Hídrico e de Umidade da Microbacia Córrego São Martinho

Índice de Aridez (Ia)	28,4 %
Índice Hídrico (Ih)	32,6 %
Índice de Umidade (Iu)	15,5
ETPanual	1327,2 mm
ETPverão	437,6 mm
ETP'	33,0 %

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nas caracterizações.

Sendo assim, a classificação de clima pelo método de THORNTHWAITE (1948) é Megatérmico, subúmido, com deficiência hídrica moderada no verão, ou seja, a classificação seria C₂ A' s a'. A única diferença entre a classificação Köppen indica que é mesotérmico, porém nos últimos 2 anos, não há temperaturas médias abaixo de 18 °, indicando uma classificação Köppen igual a megatérmica, assim como no método acima.

Conclusão

Os estudos das características morfométricas permitiram mostrar o atual cenário da microbacia do córrego São Martinho, servindo para futuros planejamentos e gestões ambientais da mesma. O sistema de Informações Geográficas se mostrou uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos da microbacia. A microbacia tem vocação para a agricultura e pastagem, e devido ao seu relevo classificado com suave ondulado, além do plantio de culturas anuais, também pode ser explorado para o plantio de culturas permanentes que protegem o solo, como amendoim e cana-de-açúcar, mostrando que está sendo utilizada como uma das melhores formas. O fator de forma classificou como não sujeita a enchentes, devido à forma circular para ovalada da microbacia, é necessário cuidado pois é propícia a enchentes rápidas, o que favorece a erosão, principalmente que na região há muitas chuvas localizadas em pequenos intervalos de tempo e a densidade de drenagem foi classificada como mediana para baixa. Devido à esses fatores, há riscos de susceptibilidade à erosão e degradação ambiental, sendo fundamental a manutenção da cobertura vegetal e as zonas ripárias para conservação dos serviços ambientais e medidas conservacionistas.

Referências

- ALVES, J. M. De P.; CASTRO, P. De T. A. INFLUÊNCIA DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS NA MORFOLOGIA DA BACIA DO RIO DO TANQUE (MG) BASEADA NO ESTUDO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E ANÁLISE DE PADRÕES DE LINEAMENTOS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 117–124, 1 jun. 2003. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2003332117124>.
- AZEVEDO, E. P. G.; CAMPOS, S.; PIZA, M. W. T.; SARTOR, Maria Beatriz; SILVEIRA, Gabriel Rondina Pupo da. ESTUDO MORFOMÉTRICO DA BACIA DO CÓRREGO DA FORQUILHA, CONCHAL / SP: ASPECTOS DO RELEVO E DRENAGEM. *Tekhne e Logos*, v. 8, n. 1, p. 13–23, 27 abr. 2017. .
- BELTRAME, Â. V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- CAMPOS, S.; UZÓ, M.; CAMPOS, M.; PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, B. T. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO RIO BAURU/SP OBTIDA POR TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 1, n. 3, p. 222–234, 2015. <https://doi.org/10.18766/2446-6549/interespaco.v1n3p222-234>.
- CHRISTOFOLETTI, A.. *Geomorfologia*. Edição: 2. [S. l.]: Blucher, 1980.
- CIIAGRO. *CIIAGRO On Line - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas*. 2020. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>. Acesso em: 14 jun. 2020.
- COCHEV, J. S.; NEVES, S. M. A. Silva; SILVA, E. P.; SILVA, A.; NEVES, R. J. ANÁLISE FISIAGRÁFICA E DO USO DA TERRA EM MICROBACIAS COM PRODUÇÃO OLERÍCOLA NOMUNICÍPIO DE ALTA FLORESTA/MT. *ACTA GEOGRÁFICA*, v. 9, n. 20, p. 55–71, 4 set. 2015. <https://doi.org/10.5654/acta.v9i20.2002>.
- CURY, L. D.; LIMA, A. A.; BARROS, A. C.; SOUZA, T. L.; CAMPOS, S.. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA CÓRREGO ÁGUA DO BREJÃO – ANHEMBI, SP. *ENERGIA NA AGRICULTURA*, v. 34, n. 01, p. 113–123, 27 mar. 2019. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n01p113-123>.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS. *Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979(EMBRAPA-SNLCS. Serie Miscelania, 1).
- FEDDEMA, J. J. A Revised Thornthwaite-Type Global Climate Classification. *Physical Geography*, v. 26, n. 6, p. 442–466, jan. 2005. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.26.6.442>.
- FRANÇA, G. V. de. *Fotointerpretação de bacias e de redes de drenagem de tres series de solos da Fazenda Ipanema Municipio de Aracoiaba da Serra (S.P.)*. 1968. 92 f. Doutorado – USP-ESALQ, Piracicaba, 1968.
- HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, v. 13, n. 1, p. 350–361, 1932. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>.

HORTON, R. E. EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAGE BASINS; HYDROPHYSICAL APPROACH TO QUANTITATIVE MORPHOLOGY. *GSA Bulletin*, v. 56, n. 3, p. 275–370, 1 mar. 1945. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Taxa de variação de volume trimestral*, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5932#/n1/all/v/6564/p/201901,201902,201903,201904,202001/c11255/all/d/v6564%201/1/v,p,t+c11255/resultado>. Acesso em: 23 de julho de 2020.

LEPSCH, I. F. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. Campinas-SP: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2001.

MACHADO, P.; TORRES, F. *Introdução à hidrogeografia*. Edição: 1. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

OLIVEIRA, L. F. C.; CALIL, Pérola Maria; RODRIGUES, Cristiane; KLIEMANN, Huberto José; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de. Potencial do uso dos solos da bacia hidrográfica do alto rio Meia Ponte, Goiás. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 1, p. 222–238, abr. 2013. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.914>.

ONU - Organização das Nações Unidas. *World population prospects - population division - United Nations*, 2020. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>. Acesso em: 23 de julho de 2020.

RODRIGUES, F. R.; WERLANG, M. K. Avaliação do estágio de evolução do relevo em pequenas bacias hidrográficas no sudoeste do município de São Pedro do Sul, RS. *Ciência e Natura*, v. 31, n.1, p. 133-144, 2011.

SANTOS, E. F.; SOUSA, F. A. ASPECTOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO CÓRREGO TAMANDUÁ EM IPORÁ-GO (Morphometric aspects basian of Córrego Tamanduá in Iporá-GO). *ACTA GEOGRÁFICA*, v. 7, n. 15, p. 191–199, 16 fev. 2014. <https://doi.org/10.5654/acta.v7i15.968>.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: Editora Rima, 2003. . Acesso em: 14 jun. 2020.

SILVA, G.; ALMEIDA, F.; ALMEIDA, R.; MESQUITA, M.; ALVES JUNIOR, J. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO RANGEL-PIAUI, BRASIL. *Enciclopédia Biosfera*, v. 15, n. 28, p. 244–258, 3 dez. 2018. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018B22.

SMITH, K. G. Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science*, v. 248, n. 9, p. 655–668, 1 set. 1950. <https://doi.org/10.2475/ajs.248.9.655>.

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. *Painéis de Indicadores: Painel de Usos Consuntivos de Água no Brasil*, 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/paineis-de-indicadores>. Acesso em: 20 de jun. de 2020.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, v. 38, n. 1, p. 55, jan. 1948. <https://doi.org/10.2307/210739>.

THORNTHWAITE, C. W; MATHER, J. R. *The water balance*. Centerton, New Jersey: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955.