
ANÁLISE MORFOMÉTRICA E SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO DA MICROBACIA DO NASCENTE DO RIO DAS CINZAS-PR

MORPHOMETRIC ANALYSIS AND EROSION SUSCEPTIBILITY OF MICRO WATERSHED OF SOURCE OF THE RIO DAS CINZAS-PR

Luciano Nardini Gomes¹

Mariana Sayuri Jesus de Souza²

Giovanni Michelan Arduini³

Rafael Calore Nardini⁴

Fernanda Leite Ribeiro⁵

RESUMO: A preocupação com a qualidade e principalmente a quantidade de água disponível para o abastecimento da população é o principal tema ambiental abordado recentemente. A conservação da vegetação ciliar é fundamental para a manutenção dos mananciais, exercendo a função de tampão para os sedimentos oriundos das áreas a montante, não permitindo assim que a ação dos processos erosivos proporcionem a poluição. Este trabalho objetiva determinar a susceptibilidade a erosão a microbacia da nascente do Rio das Cinzas - PR, a partir do estudo de parâmetros morfométricos.

A obtenção de banco de dados para os cálculos foi realizado a partir de cartas do ITCG submetidas ao AutoCAD Map 2015 educacional. Os resultados possibilitam inferir que a microbacia possui uma mediana tendência á erosão e degradação ambiental.

Palavras-chave: conservação de solo; parâmetros dimensionais; hidrografia; vegetação ciliar; morfometria.

ABSTRACT: The concern about quality and mainly quantity of water available for supplying the population is the main environmental issue recently addressed. The conservation of riparian vegetation is essential for the maintenance of water sources, exercising buffer function for the sediments that comes from upstream areas, not providing that the action of erosive process enable pollution. This study aims to determine the susceptibility of source of the Rio das Cinzas watershed to erosion, from the study of morphometrics parameters. Obtaining database for the calculations was performed from

1 Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (2003). Mestrado (2005) e Doutorado (2009) em Agronomia, área de Irrigação e Drenagem pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Atualmente é professor adjunto da Universidade Estadual de Londrina - PR. Email: lunago@gmail.com.

2 Aluno de graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina. Email: mary_sayuri89@hotmail.com

3 Aluno de graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina. Email: giovanni.michelan@gmail.com

4 Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (2005). Mestrado (2010) e Doutorado (2013) em Agronomia, área de Irrigação e Drenagem pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Atualmente é professor adjunto da Universidade Estadual de Londrina - PR. Email: rcnardini@hotmail.com.

5 Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (1995). Mestrado (1998) e Doutorado (2002) em Agronomia, área de Energia na Agricultura pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Atualmente é professora adjunta da Universidade Estadual de Londrina - PR. Email: flribeiro@yahoo.com.

ITCG letters submitted to the AutoCAD Map 2015 educational. These overcomes allow to verify that the watershed has a median trend to erosion and environmental degradation.

Key words: soil conservation; dimensional parameters; hydrography; riparian vegetation; morphometry.

INTRODUÇÃO

O Rio das Cinzas nasce na Serra de Furnas, no município de Piraí do Sul a oeste da Escarpa Devoniana e corre em direção ao rio Paranapanema, trajeto pelo qual recebe diversos afluentes, como o rio Laranjinha (margem esquerda) e o rio Jacarezinho (margem direita). Possui uma extensão de 240 Km e sua bacia abrange uma área de drenagem total aproximada de 9.650 Km².

A principal atividade econômica na bacia do Rio Cinzas é a agropecuária, com destaque à cultura de cana e pastagens para pecuária extensiva. Na mesma linha, as indústrias da região são predominantemente do setor agroindustrial, como destilarias de álcool, usinas de açúcar, laticínios e frigoríficos (SEMA, 2010). Visando maximizar a produção, a exploração agrícola e pecuária acaba por

As áreas de preservação permanentes ciliares (APPs) são locais especialmente protegidos pela legislação ambiental brasileira, visando principalmente manter a integridade dos mananciais, atuando como tampão para a entrada de poluentes no curso d'água proveniente do escoamento superficial. A largura do curso d'água define a largura da faixa de preservação, que pode ser composta de florestas e demais formas de vegetação nativa. Entretanto, a exploração agrícola desmesurada, visando máxima produtividade, culmina com o não respeito à faixa de vegetação ciliar previsto em lei.

De acordo com Gomes (2009), a conscientização dos produtores rurais sobre a importância do equilíbrio entre produção agrícola e meio ambiente é prática corrente nos dias de hoje. A tradição de que para se produzir era necessária supressão de vegetação nativa e intensa mobilização do solo vem perdendo espaço, ao mesmo tempo que aumenta o respeito às áreas de preservação permanente, principalmente nas nascentes bem como o preparo de solo menos intensivo. A legislação ambiental rigorosa contribui para essa mudança, levando os produtores rurais a adequarem suas áreas ao Código Florestal Brasileiro, com a demarcação e isolamento das áreas de preservação permanente e averbação da reserva legal.

A bacia hidrográfica possui características físicas e biológicas que influenciam os processos do ciclo hidrológico, principalmente sobre a infiltração, a evapotranspiração e o escoamento superficial e subsuperficial da água na bacia. A geomorfologia e o relevo, que seria a topografia da bacia, influenciam sobre regime de produção de água, a taxa de sedimentação dos cursos d'água. Já o formato de uma bacia e a extensão dos seus canais atuam sobre a taxa de deposição dos sedimentos e no regime de produção de água (STIPP, 2010).

As geotecnologias, notadamente os receptores GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) cada vez mais substituem as técnicas convencionais, como teodolitos e estações totais em levantamentos topográficos visando o planejamento rural e ambiental. Nas suas diversas formas de posicionamento, os receptores GNSS permitem a coleta de pontos em campo de acordo com a acurácia exigida pelo levantamento, variando esta, de metros nos métodos de posicionamento mais simples (posicionamento por ponto), à milímetros nos métodos de posicionamento mais precisos (posicionamento relativo).

Paralelo desenvolvimento das geotecnologias, os produtos do sensoriamento remoto têm evoluído consideravelmente nos últimos anos, culminando em imagens de excelente qualidade, que subsidiam muitas tomadas de decisão no que tange planejamento rural e ambiental.

Freitas et al (2012) utilizaram o Google Earth para a delimitação do limite de uma bacia hidrográfica. Os autores concluíram que a delimitação interativa realizada é adequada para a obtenção do divisor de águas, sendo uma opção ao uso das tradicionais bases cartográficas, além de representar um procedimento tecnicamente mais simples quando comparado à delimitação automática.

Neste contexto, o estudo detalhado dos parâmetros morfométricos e das áreas de preservação permanente da microbacia hidrográfica da nascente do Rio das Cinzas, fornecerá ferramentas para tomadas de decisões no que tange planejamento rural e ambiental, visando sempre manter a estabilidade dos mananciais. Ressalta-se que o Rio das Cinzas se constitui o principal manancial da mesoregião do norte pioneiro do Estado do Paraná e que ainda apresenta águas limpas, viabilizando assim as atividades de muitos ribeirinhos que dependem da pesca e do lazer como fonte de renda.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A microbacia da nascente do Rio das Cinzas, com área de 8.898,45 hectares está localizada próxima à cidade de Pirai do Sul - PR e corre em direção ao rio Paranapanema, conforme a Figura 1.

Figura 1. Localização da bacia do Rio das Cinzas no Estado do Paraná.



A delimitação de uma bacia hidrográfica é dada pelas linhas divisoras de água que demarcam seu contorno. Estas linhas são definidas pela conformação da altimetria local e ligam os pontos mais elevados da região em torno da drenagem.

Para o estudo da microbacia da nascente do Rio das Cinzas foi utilizada a Carta Planialtimétrica de identificação Serra de Furnas, índice SG.22-X-A-III-3 e folha 2808-3,

editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, na escala 1:50.000, com curvas com equidistância vertical de 20 metros.

2.2. Georreferenciamento das Cartas e Digitalização

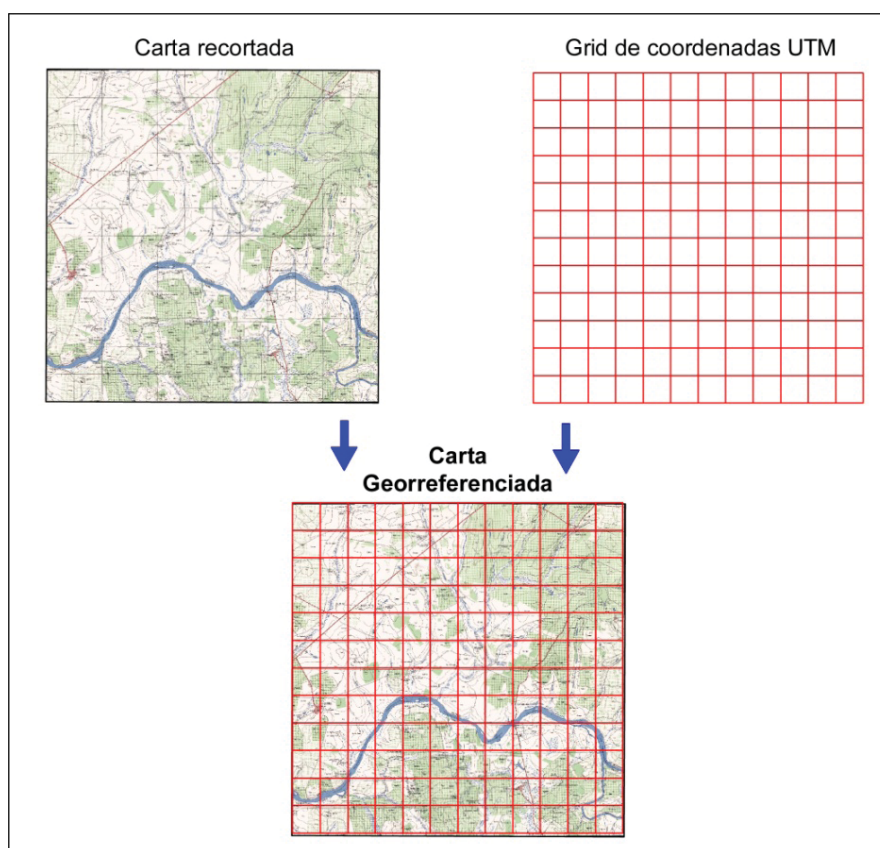
A carta topográfica do Município de Joaquim Murtinho foi processada no software *AutoCAD Map* e no *Raster Design 2015* (versões educacionais). A sequência para o georreferenciamento das cartas no *AutoCAD* é: Inserção – Recorte - Georreferenciamento.

A inserção das cartas em formato “.tiff” é necessária para que seja possível a digitalização, sendo que a imagem será utilizada como pano de fundo, que será realizado através dos comandos *Insert – Attach*.

No recorte, apenas a área útil da carta será mantida, sendo descartadas todas informações de legendas e convenções. Tal procedimento será realizado através dos comandos *Raster tools – Crop – Polygonal Region*.

Para o georreferenciamento é necessário criar um grid no *AutoCAD Map*, com as coordenadas UTM da carta para ser utilizado como pontos de controle para a imagem que já foi inserida e recortada. Cada ponto de controle do grid UTM criado será base para cruzamento com o grid da carta, conforme a Figura 2.

Figura 2. Representação do grid para georreferenciamento das cartas



No *AutoCAD*, os comandos para realização do georreferenciamento **são**: *Raster Tools – Rubber Sheet*. Através do comando *Add Points* **é possível correlacionar a imagem inserida com as coordenadas** UTM criadas no grid.

2.3. Cálculo dos Parâmetros Morfométricos

No *AutoCAD Map* e o *Raster Design 2015*, com a janela de propriedades (*Properties*) aberta, é possível obter dados de comprimentos dos rios, área das bacias, realizar a contagem dos rios, cotar as curvas de nível (de 20 em 20 metros), informações pertinentes a microbacia hidrográfica que foram utilizadas nas fórmulas dos cálculos morfométricos. Com os resultados e suas interpretações foi possível determinar valores para o planejamento e o manejo correto da área.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros dimensionais que são essenciais para os cálculos da morfometria da microbacia. Eles foram obtidos com o cursor selecionando em cada segmento de reta digitalizado, através do comando *properties* que definiram os valores para os cálculos dos índices morfométricos, que foram maior comprimento (C) da bacia, que consiste na reta que transpassa todo o vale principal, começa na foz e até o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas; maior largura (L) que corta transversalmente o vale principal; comprimento do rio principal (Cp) é a representação horizontal das sinuosidades do rio principal, desde sua nascente até a foz; comprimento total da rede de drenagem (Cr) que acompanha as sinuosidades do rio principal e dos tributários; perímetro (P) correspondente ao comprimento da linha do divisor de águas que circunda a microbacia e área (A); circunscrita pela linha do divisor de águas que delimita a microbacia (NARDINI, 2013).

Tabela 1. Fórmulas de parâmetros morfométricos para a caracterização das bacias e principais referências utilizadas.

Parâmetro hidrográfico	Fórmula do Cálculo	
Coefficiente de Compacidade (Kc)	$Kc=0,28*(P/\sqrt{A})$	Villela e Mattos (1975)
Índice de circularidade (Ic)	$Ic=12,57*(A/P^2)$	Cardoso et al. (2006)
Fator de forma (Ff)	$Ff=A/L^2$	Villela e Mattos (1975)
A densidade de drenagem (Dd)	$Dd=Cr/A$	Horton (1945)
Gradiente de canais (Gc)	$Gc\%=(AM/Ccp)*100$	Horton (1945)
Extensão do percurso superficial da água de enxurrada (Eps)	$Eps = (1/2*Dd)*1000$	Christofolletti (1980)
Coefficiente de manutenção (Cm)	$Cm = 1/(Dd*100)*100$	Schumm (1956)
Coefficiente de rugosidade (Rn)	$Rn=Dd*H$	
Índice de sinuosidade (Is)	$Is=Ccp/dv$	Lana (2001)
Razão de relevo (Rr)	$Rr=H/C$	Schumm (1956)
Declividade média (D%)	$D\%=(\sum Cn * H)/A$	(Wisler & Brater, 1964) citado por (Lima, 1986)

A: Área; P: perímetro; Cr: Rede de drenagem; Cp: comprimento do rio principal; C: maior comprimento da bacia (foz ao extremo); L: maior largura da bacia; AM: altitude máxima; dv: comprimento entre a foz e o ponto extremo; H: comprimento vetorial do canal; $\sum Cn$: diferença de altitude; ΔH : somatório do comprimento das cotas; Am: equidistância entre as cotas; mA: amplitude mínima.

A partir dos dados básicos obtidos na carta do IBGE através do AutoCAD e das fórmulas parâmetros morfométricos para a caracterização das bacias (Tabela 1), foi possível determinar o formato e a interpretação ambiental da bacia quanto a tendência à enchentes conforme pode ser observado na Tabela 2, que relaciona o fator de forma, índice de circularidade e o coeficiente de compacidade.

Apoiado nos mesmos dados básicos, a partir da densidade de drenagem, foi caracterizada a microbacia quanto ao escoamento superficial, infiltração, enxurradas e erosão.

Tabela 2. Valores e a interpretação para fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc).

Ff	Ic	Kc	Formato da microbacia	Interpretação ambiental da microbacia
1,00 - 0,75	1,00 - 0,8	1,00 - 1,24	Redonda	Alta tendência à enchentes
0,75 - 0,50	0,8 - 0,6	1,25 - 1,50	Ovalada	Tendência mediana à enchentes
0,50 - 0,30	0,6 - 0,40	1,50 - 1,70	Oblonga	Baixa tendência à enchentes
< 0,30	< 0,40	> 1,70	Comprida	Tendência à conservação

Fonte: Villela & Mattos (1975).

Tabela 3. Valores e a interpretação dos resultados da densidade de drenagem

Dd(valores)	Intensidade	Interpretação ambiental da microbacia
<1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,50-2,5	Média	Tendência mediana ao escoamento superficial
2,50-3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
>3,0	Super alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão

Fonte: Horton (1945), Strahler (1957), França (1968).

O coeficiente de rugosidade, conforme a Tabela 4, classifica a microbacia de acordo com a sua aptidão para práticas agrosilvopastoris.

Tabela 4. Classes de usos dos solos de acordo com o coeficiente de rugosidade.

Coeficiente de rugosidade	Classes	Aptidão Agrícola
1,09-10,63	A	Agricultura
10,64-20,18	B	Pastagem
20,19-29,73	C	Pastagem/reflorestamento
29,74-39,28	D	Reflorestamento

Fonte: Rocha (1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos parâmetros dimensionais, morfométricos e características de relevo e da rede de drenagem da microbacia do nascente do Rio das Cinzas **são apresentados na tabela 2.**

A linha cumeada que definiu a microbacia resultou em um polígono irregular com 89,35 km² ou 8934,572 hectares, com um perímetro de 43.116,11 metros.

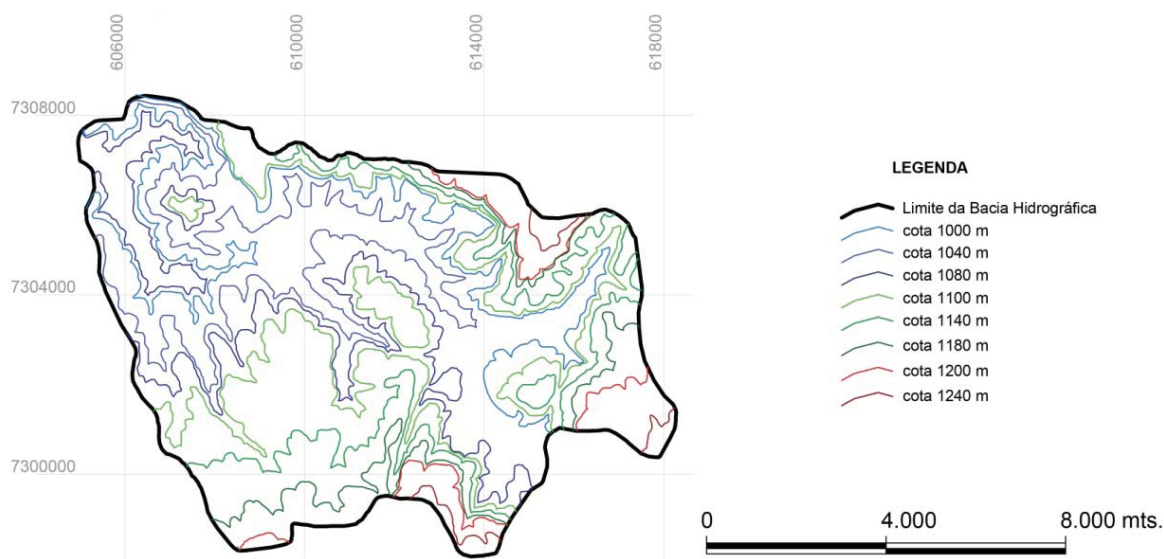
O comprimento total da rede de drenagem obtido foi de 176,88 km, com 21,52 km de rio principal.

Tabela 5 - Características físicas da microbacia.

Características Físicas da microbacia	Unidade	Resultados
Parâmetros Dimensionais		
Área (A)	km ²	89,35
Perímetro (P)	km	43,11
Rede de drenagem (Cr)	km	176,88
Comprimento do rio principal (Ccp)	km	21,52
Comprimento do eixo (L)	km	9,54
Comprimento (C)	km	14,53
Comprimento vetorial do do canal (dv)	km	14,16
Comprimento das cotas (Cn)	km	575,19
Características da Forma do Relevo		
Declividade média (D)	%	12,88
Maior amplitude (MA)	m	1240
Menor amplitude (ma)	m	1000
Amplitude Altimétrica da microbacia (H)	m	240
Razão de Relevo (Rr)	-	0,02
Coeficiente de rugosidade	-	24,49
Fator de forma (F)	-	0,98
Índice de circularidade (Ic)	-	0,61
Coef. de compacidade (kc)	-	1,27
Índices Padrões de Drenagem		
Ordem da micro bacia	-	4º
Densidade de drenagem (Dd)	(km/km ²)	1,98
Coef. de manutenção (Cm)	(km/km ²)	0,51
Ext. do percur. Superficial (Eps)	m	989,86
Gradiente de canai (Gc%)	%	5,76
Índice de sinuosidade (Is)	-	1,52

A declividade média obtida foi de 12,88%, com cota máxima de 1240 metros (próximo à nascente) e 1000 metros (na foz), resultando em uma amplitude altimétrica de 240 metros, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3- Representação altimétrica da microbacia da nascente do Rio das Cinzas.



A microbacia apresenta densidade de drenagem média, com 1,98 km de rios/km² de área. Segundo a classificação de Horton (1945), modificada por Strahler (1957), o valor de 1,98 km de rios por km² denuncia que a drenagem da água das chuvas ocorrem de forma normal.

A extensão do percurso superficial (*Eps*) que consiste na distância que a água da chuva precisaria para escoar no terreno até encontrar um curso de água da bacia (VILLELA E MATTOS, 1975) foi de 989,86 metros.

O coeficiente de manutenção relaciona a área da microbacia necessária para a formação de um canal com fluxo perene. Para a nascente do Rio das Cinzas foi obtido o valor de 0,51 km² de área para cada km de rio formado.

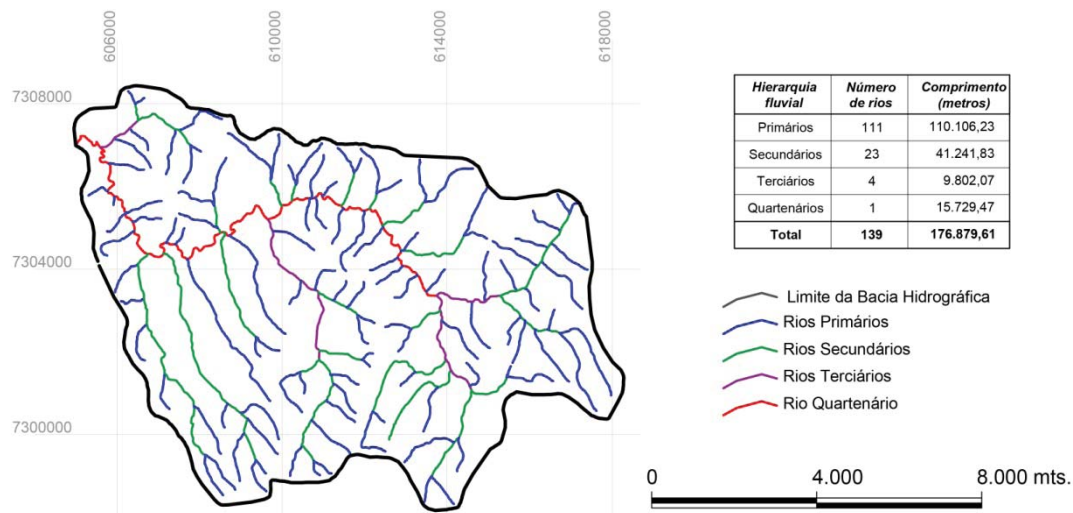
No índice de sinuosidade, os valores próximos a 1,0 denunciam que o canal tende a ser retilíneo, valores superiores a 2,0 indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários apontam para formas transicionais, regulares e irregulares. A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela característica litológica, estrutura geológica e pela declividade dos mesmos (SCHUMM, 1963). O índice de sinuosidade apresentou um valor de 1,52, o que indicou que a forma dos canais tendem a ser suavemente tortuoso.

A relação entre o fator de forma (0,98), índice de circularidade (0,61) e o coeficiente de compacidade (1,27) define a microbacia da nascente do Rio das Cinzas com formato ovalado e tendência ao arredondamento, o que acarreta mediana tendência às enchentes.

O coeficiente de rugosidade apresentou um valor de 25,49, inserindo na classe “C” (20,19 até 29,73) de Rocha (1997), com terras propícias para o uso de pastagens, atividade pecuária e reflorestamento.

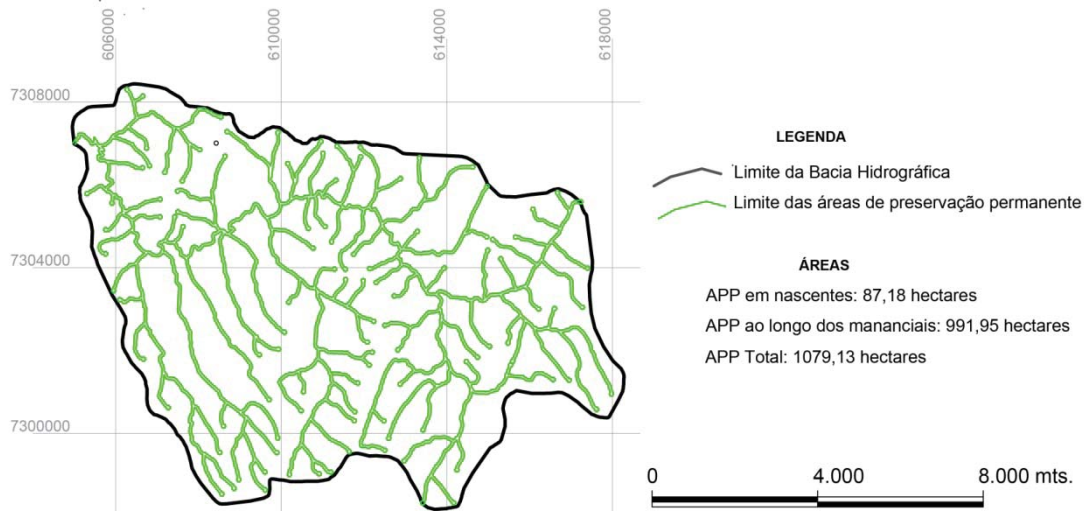
Na classificação da hierarquia fluvial, foram identificados e quantificados todos os canais da rede de drenagem e foi obtido um total de 111 canais de primeira ordem (110,11 km), 23 canais de 2º ordem (41,24 km), 4 canais de 3º ordem (9,80 km) e 1 canais de 4º ordem (15,73 km). O comprimento total da rede hidrográfica foi de 176,88 km de rios, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 4 - Hierarquia fluvial para microbacia da nascente do Rio das Cinzas.



Para a simulação das áreas de preservação permanente ciliares, considerando 50 metros de raio em cada nascente e 30 metros ao longo dos mananciais, foi obtido o valor de 1079,13 hectares de área total, sendo 87,18 nas nascentes e 991,95 hectares paralelo aos rios, conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Simulação das áreas de preservação permanente ciliares da nascente do Rio das Cinzas.



4. CONCLUSÃO

A microbacia hidrográfica da nascente do Rio das Cinzas possui um formato ovalado com tendência ao arredondamento e mediana tendência à enchente. Para aptidão agrícola foi classificado como terras propícias para o uso de pastagens, atividade pecuária e reflorestamento.

Apoiado na hidrografia, a bacia deveria possuir 1079,13 hectares de áreas de preservação permanente ciliar.

Os parâmetros morfométricos indicaram que a microbacia possui uma mediana tendência à erosão e degradação ambiental, mostrando que a manutenção e recuperação das matas ciliares são um dos fatores primordiais para a conservação do solo e recursos hídricos, dos aspectos biológicos locais.

REFERÊNCIAS

- ANTONELLI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, 337 Guamiranga-PR. **Rev. Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15570/8811>>. Acesso em: 13 set 2014.
- CHEREM, Luis Felipe Soares. **Análise Morfométrica da Bacia do Alto Rio das Velhas-MG**. Dissertação de mestrado (Pós Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/modelagem/dissertacoes/luizfelipecherem.pdf>>: 14 set. 2014.
- CHRISTOFOLETTI, (1980) A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher. 2ª edição. 188p.
- FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.
- HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, New York, v. 56, n.3, p. 807-813, 1945.
- LANA, C. L.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do rio Tanque, MG-Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p.121-126, 2001.
- LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: Editora da ESALQ, 1986. 241 p.
- NARDINI, Rafael Calore et al. ANÁLISE MORFOMÉTRICA E SIMULAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA. **Irriga**, v. 18, n. 4, 2014. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/669>>: 15 ago. 2014.
- SANTOS, Giovana A. **Água Recurso Natural Essencial a Vida**. 2009. Disponível em: < <http://www.webartigos.com/artigos/agua-recurso-natural-essencial-a-vida/23776/> >. Acesso em: 18 /09/2014.
- SCHUMM, S.A Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Bulletin of Geological Society of America**. v. 74, n. 9, 1963.<<http://pt.scribd.com/doc/235539168/Schumm-1963-Sinuosity-of-Alluvial-Rivers-on-the-Great-Plains>> Acesso em 17 set. 2014.
- SEMA Bacias Hidrográficas. Série Histórica. **Curitiba: SEMA**, 2010. <http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf > Acesso em:15/09/2013.
- STIPP, Nilza Aparecida Freres; CAMPOS, Ricardo Aparecido; CAVIGLIONE, João Henrique. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara—Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal de Cartografia das Geociências**, v. 3, n. 1, p. 105-124, 2010.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analyses of watershed Geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union**, Washington, DC, v. 38, p. 913-920, 1957. Disponível em: < <http://www.uvm.edu/~pdodds/files/papers/others/1957/strahler1957a.pdf> > Acesso em 16 set. 2014.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, 1975.cap. 2, p.6-27.