



CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAVEIRAS

Ricardo Mancilio Vieira – e-mail: ricardovieira_ea@hotmail.com
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Departamento de Engenharia Ambiental
Luiz de Camões, 2090 - Conta Dinheiro
CEP: 88.520-000 - Lages - SC

Sandy Bernardi Falcadi Tedesco Girotto – e-mail: sandy_girotto@hotmail.com
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Departamento de Engenharia Ambiental

Cyntia Ely – e-mail: cyntiaely_10@hotmail.com
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Departamento de Engenharia Ambiental

Gustavo Luis Jarenkow – e-mail: gjarenkow@hotmail.com
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Departamento de Engenharia Ambiental

Renan Luiz Franchini – e-mail: renan_franchini@hotmail.com
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Departamento de Engenharia Ambiental

Resumo: O conhecimento da relação intrínseca entre morfometria da bacia e fenômenos hidrológicos oferece indicadores importantes a serem considerados no planejamento dos recursos hídricos. A bacia hidrográfica do Rio Caveiras representa cerca de 15,4% da área da bacia hidrográfica do Rio Canoas, ambas localizadas na região serrana de Santa Catarina. Esta região apresenta abundância de rios, córregos e quedas d'água, o que a posiciona como uma das principais regiões hidrográficas do Estado. Este trabalho teve por objetivo determinar uma série de parâmetros morfométricos da bacia do rio Caveiras. Os parâmetros foram derivados de operações no aplicativo ArcGis 10.1., a partir da delimitação da bacia e da extração da rede hidrográfica sobre um Modelo Digital de Terreno (MDT). A bacia do rio Caveiras apresenta uma área de 2.412 km² e perímetro de 380 km, com característica de um relevo, na maior parte de seu território, como ondulado, típico do relevo presente na região serrana. O coeficiente de compactidade, o fator de forma e o índice de circularidade desta bacia indicam que a mesma possui forma alongada, pouco suscetível às inundações. Esta bacia também apresenta uma proximidade entre o divisor de águas e o rio principal, especialmente no seu terço superior, cujo relevo se apresenta montanhoso. Desta forma, conhecer mais a fundo as características morfométricas, auxilia na tomada de decisões na gestão das bacias hidrográficas e em projetos de prevenção, recuperação e mitigação de desastres ambientais. Sendo que o uso de softwares e ferramentas de gestão facilitam e tornam os resultados mais confiáveis.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Rio Caveiras; Parâmetros morfométricos.



MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF CAVEIRAS RIVER HYDROGRAPHIC BASIN

Abstract: *The knowledge of the intrinsic relationship between basin morphometry and hydrological phenomena provides important indicators to be considered in the planning of water resources. The Caveiras River basin represents approximately 15.4% of the Canoas River basin, both located in the mountainous region of Santa Catarina. This region has abundance of rivers, streams and waterfalls, which positions it as one of the main river basin districts of the State. This study aimed to determine a number of morphometric parameters of the Caveiras River basin. The parameters were derived from operations in the app ArcGis 10.1., from the basin delimitation and the river network extraction on a Digital Terrain Model (DTM). The basin of the Caveiras River has an area of 2.412 km² and perimeter of 380 km, with relief characteristic, in most of territory, as wavy, which is typical of this mountain region. The compacity coefficient, form factor and the circularity ratio of the basin indicate that it has elongated, slightly susceptible to flooding. This basin also presents a proximity between the watershed and the main river, especially in its upper third, whose relief is mountainous. This way, to know deeply the morphometric characteristics, assists in decision making in river basin management and prevention projects, recovery and mitigation of environmental disasters. Since the use of software and management tools facilitate and make the results more reliable.*

Keywords: *Hydrographic basin; Caveiras river; Morphometric parameters.*

1. INTRODUÇÃO

Bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água, tal que toda a vazão efluente é descarregada através de uma saída (VILLELA & MATTOS, 1975). Uma bacia hidrográfica é um espaço procedente de respostas aos fenômenos hidrológicos e que deve ser estudado, conhecido e considerado no planejamento dos seus recursos hídricos. De acordo com Gomes e Lobão (2009), a bacia hidrográfica configura-se como um espaço para análise com objetivo de planejar e gerir os elementos naturais e sociais. Neste sentido, a bacia hidrográfica assume uma importância central para análise ambiental sistêmica, na qual se identificam e avaliam os processos físicos naturais, em conjunto com as interações sociais que nela ocorrem, o que lhe confere um caráter estratégico no planejamento de uso dos recursos naturais.

Os parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas são um reflexo da resposta hidrológica a uma considerável extensão de superfície e pode ser útil na síntese de seu comportamento e balanço hídrico. A caracterização morfométrica quantitativa e a análise de uma bacia hidrográfica são consideradas os métodos mais satisfatórios para o planejamento de gestão de bacias hidrográficas e implementação de medidas de conservação de solo e água (GEBRE *et al.*, 2015).

Por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e, conseqüentemente, formas digitais consistentes de representação do relevo, como os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) é possível indicar respostas às várias questões sobre planejamentos urbano e meio rural, no auxílio de tomadas de decisões (FERREIRA, 1997).

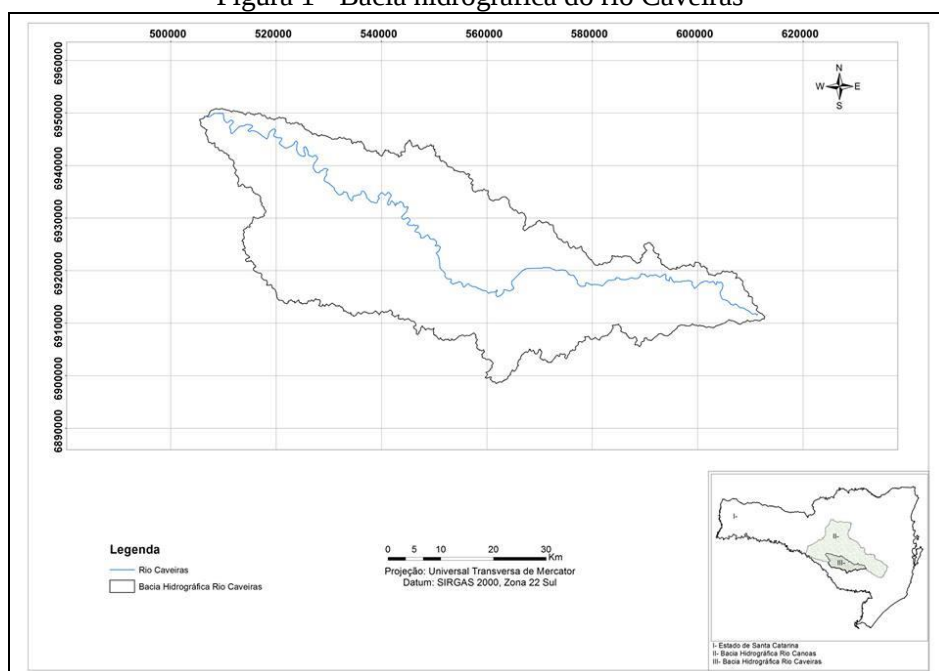
Desta forma, o estudo realizado com o auxílio do aplicativo *ArcGis*, tem como escopo apresentar as características da rede hidrográfica e das condições geográficas da bacia de contribuição hidrográfica do rio Caveiras. Nesta bacia encontra-se a maior cidade da região, com cerca de 160.000 habitantes (IBGE, 2015) e diversos setores industriais, com destaque para a produção de papel e celulose e cervejaria, que utilizam os recursos hídricos para atividades de captação de água, diluição

de efluentes, lazer, pesca, etc. Assim, o estudo tem como objetivo auxiliar na gestão hidrológica desta bacia e dar suporte aos futuros estudos, que visem um desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica e de seus recursos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica do Rio Caveiras possui extensão de aproximadamente 2412, 09 Km² e situa-se entre 27° 34' 49" S e 50°56' 3 " W, com altitude variando de 763 m à 1.724 m. A bacia hidrográfica do rio Caveiras é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Canoas ambas localizadas no estado de Santa Catarina, conforme Figura 1.

Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Caveiras



O Modelo Digital de Terreno (MDT) da região de estudo foi obtido junto a EPAGRI/CIRAM, e possui resolução espacial horizontal de 30m (1:120.000) e vertical de 90m, oriundos do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (EPAGRI, 2016). Por meio do app *ArcGIS 10.1* foi possível delimitar a bacia hidrográfica do rio Caveiras, gerar mapa de declividade e determinar os parâmetros morfométricos, utilizando ferramentas específicas, como, *Watershed delineation*, *Slope*, *Spatial analysis*, *Stream definition* entre outras.

Os parâmetros geométricos da bacia hidrográfica como área, comprimento do eixo da bacia, perímetro, número de canais, comprimento do canal principal, altitude máxima, altitude mínima e amplitude altimétrica foram extraídos de forma direta do *software ArcGis 10.1*. Na Tabela 1 pode-se observar os parâmetros morfométricos obtidos por equações.

Tabela 1 - Parâmetros morfométricos

Parâmetro	Equação	Abreviações
Coefficiente de compacidade	$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	P=perímetro (km) A=área (km ²)

Fator de forma	$K_f = \frac{A}{L_v^2}$	L_v =comprimento vetorial do canal principal (km)
Índice de circularidade	$I_c = \frac{A}{A_c}$	A_c =área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia hidrográfica (km ²)
Coefficiente de manutenção	$C_c = \frac{1}{D_d} \times 1000$	D_d =densidade de drenagem (km ² /km)
Gradiente de canais	$G_c = \frac{h_{máx}}{L_c}$	$h_{máx}$ =altitude máxima (m)
Índice de sinuosidade	$I_s = \frac{L_c}{L_v}$	L_c =comprimento do canal principal (km)
Relevo total	$H = Z - z$	Z =cota máxima z = cota mínima
Relação de relevo	$R_h = \frac{H}{L_c}$	
Índice de rugosidade	$I_r = H \times D_d$	
Comprimento total dos canais	$L_t = \sum_{i=1}^n L_i$	
Textura da Topografia	$\log T_t = 0,219649 + 1,115 \times \log D_d$	
Densidade de drenagem	$D_d = \frac{L_t}{A}$	
Extensão do percurso superficial	$E_{ps} = \frac{1}{2 \times D_d} \times 100$	

Para o ordenamento dos cursos d'água da bacia do rio Caveiras, utilizou-se o método de Strahler. Foi determinado automaticamente pelo *software Arc Hydro*, utilizando um fator de área igual a 1, a rede de drenagem e o fluxo de direção de escoamento, que foram extraídos do MDT.

Segundo Cardoso e Marcuzzo (2010), o ordenamento proposto por Strahler consiste em classificar como de primeira ordem os cursos d'água em que não há rios que deságuem nele, ou seja, os que se originam diretamente de sua nascente e deságuam em outro curso d'água. Esse outro curso d'água subsequente será denominado de segunda ordem. Os cursos d'água onde os rios de segunda ordem deságuam serão chamados de terceira ordem e assim sucessivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros morfométricos da caracterização física da bacia hidrográfica do rio Caveiras estão apresentados na Tabela 2. A bacia apresenta uma área de 2.412 km² e perímetro de 380 km.

De modo geral, a bacia hidrográfica do rio Caveiras mostra-se pouco suscetível a enchentes, devido apresentar forma alongada, conforme evidenciam os índices de forma da bacia (Coeficiente de Compacidade, Fator de Forma e Índice de Circularidade) e a predominância de relevo ondulado e fortemente ondulado (64,19% da área da bacia – Tabela 3). Contudo, existe uma planície

específica da bacia, localizada próxima à cidade de Lages, que apresenta histórico de inundações frequentes.

Os parâmetros da rede hidrográfica são bastante sensíveis ao grau de ramificação que se impõe no início do processo de sua extração do MDT. Portanto, a ordem final do canal principal do rio Caveiras em seu exutório, assim como os demais resultados obtidos para os canais neste trabalho, podem variar conforme o nível de ramificação mencionado.

O ordenamento dos cursos d'água da bacia foi determinado automaticamente sobre a rede hidrográfica extraída do MDT. O canal principal da bacia, ou seja, o rio Caveiras, apresentou-se na 5ª ordem no trecho correspondente ao seu exutório, segundo o método de ordenamento de Strahler. A ordem predominante de ocorrência dos cursos é de 1ª. ordem, totalizando 648 canais. O comprimento total dos cursos d'água da bacia foi de 1.733 km e o comprimento do canal principal foi de aproximadamente 222 km.

Tabela 2 – Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica Rio Caveiras.

Características	Parâmetros	Valores	Unidades
Geométricas	Área	2.412	km ²
	Comprimento vetorial do canal principal	113	km
	Perímetro	380	km
	Coeficiente de compacidade	2,16	adimensional
	Fator de Forma	0,19	adimensional
	Índice de circularidade	0,21	adimensional
Rede de drenagem	Ordem da bacia	5	-
	Número de canais	798	-
	Comprimento total dos canais	1.733	km
	Comprimento do canal principal	222	km
	Densidade de Drenagem	0,76	km/km ²
	Coeficiente de Manutenção	1.316	m ² /m
	Extensão do Percurso Superficial	66	km ² /km
	Textura Topográfica	1,22	-
	Gradiente de canais	7,8	m/km
Relevo	Altitude máxima	1.724,00	m
	Altitude mínima	679,00	m
	Amplitude altimétrica	1.045,00	m
	Índice de Sinuosidade	0,51	adimensional
	Relação de Relevo	4,7	m/km

O Coeficiente de Manutenção indica a área mínima necessária para a manutenção de um canal de dimensão unitária. Assim, a bacia hidrográfica do rio Caveiras necessita de 1.316 m² de área de contribuição hidrológica para manter perene um metro de canal.

De acordo com Beltrame (1994), a Densidade de Drenagem de uma bacia pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km², ou mais, em bacias bem drenadas. A densidade de drenagem encontrada na bacia hidrográfica do rio Caveiras (0,76 km/km²) a coloca como uma bacia com drenagem pobre a medianamente drenada. Por outro lado, a declividade média dos canais correspondente a 7,8 m/km de coaduna com a predominância de relevo ondulado a montanhoso. Portanto, é possível concluir que a bacia hidrográfica do rio Caveiras possui canais com declividades altas, o que contribui para o aumento da velocidade média de escoamento da água na rede hidrográfica. De fato, esta bacia possui abundância de córregos e rios com inúmeras quedas d'água, cujo potencial hidroelétrico vem sendo explorado por Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (RAFAELI NETO, 2013).

Se, por um lado, a bacia é medianamente drenada, por outro se constata que a velocidade média dos escoamentos na rede hidrográfica tendem a ser alta. Os canais desta bacia mostram um padrão dendrítico, cujos ângulos de inserção dos canais são próximos ao ângulo reto. Neste padrão, também se observa mudanças bruscas de direção, motivadas pela presença de rochas basálticas nos leitos dos rios e córregos da bacia. A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais (LANA *et al.*, 2001). Índice de Sinuosidade próximo a 1 indica que os canais tendem a ser retilíneos, o que facilita o escoamento no canal devido à baixa perda de carga hidráulica. Os valores superiores a 2,0 indicam que os canais tendem a ser tortuosos e, conseqüentemente, maior será a dificuldade do escoamento no canal atingir o exutório da bacia (SANTOS *et al.*, 2012). Um valor intermediário foi encontrado para os canais da bacia do rio Caveiras, o que indica que o canal principal possui formas transicionais, regulares a irregulares. Este índice também pode ser adotado como indicador da capacidade de esvaziamento da planície de inundação mencionada acima. Os eventos de inundações em Lages nas planícies do rio Caveiras tem se caracterizado por uma demora no esvaziamento deste reservatório. Uma provável explicação estaria na sinuosidade do rio Caveiras a jusante da bacia hidrográfica do rio Carahá, cujo valor não foi apurado neste trabalho.

A relação de relevo indica a declividade média da bacia. De acordo com Carvalho & Silva (2006), a declividade média da bacia, associada à cobertura vegetal, tipo de solo e uso da terra, influenciam o processo da infiltração da água e o potencial de erosão do solo. Segundo Schumm (1956), quanto maior for a relação entre estes componentes, maior será o desnível entre a cabeceira e o exutório. A Tabela 3, apresenta os dados obtidos associados à declividade da bacia, levando em consideração a classificação de relevo (EMBRAPA, 2006).

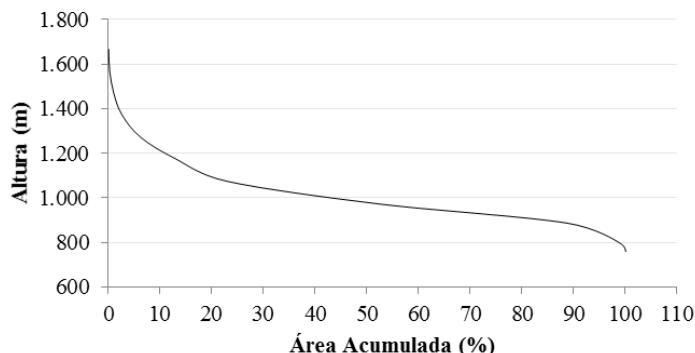
Tabela 3 - Classes de declividades da bacia hidrográfica do rio Caveiras.

Classe do relevo	Declividade (%)	Área	
		(km ²)	(%)
Plano	0 – 3	189,74	7,87
Suave ondulado	3 – 8	670,41	27,79
Ondulado	8 – 20	1.214,55	50,35
Forte ondulado	20 – 45	333,85	13,84
Montanhoso	45 – 75	3,48	0,14
Escarpado	> 75	0,01	0,00
Total		2.412,05	100,00

A bacia hidrográfica do rio Caveiras apresenta predominância de relevo ondulado. Cerca de 86% da área da bacia apresenta relevo com baixas declividades, o que a caracteriza como uma área com moderada fragilidade ambiental. A área urbana do município de Lages - SC consolidou-se, essencialmente, nas regiões das classes de relevo plano e suave ondulado. Relevos fortemente ondulados, montanhosos ou escarpados representam cerca de 14% da área e são encontradas na cabeceira da bacia e próximo ao seu exutório.

Menos de 40% da área da bacia está situada acima de 1.000m (Figura 2). Cerca de 50% da área da bacia está situada entre 900m e 1.000m. A planície de inundações da bacia do rio Caveiras próximo a Lages apresenta cotas em torno de 870 a 880m.

Figura 2 - Curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Caveiras



CONCLUSÃO

Existem ferramentas de sistemas de informações geográficas (SIG's), como o *ArcGis*, que são de suma importância em estudos de caracterização de bacias, devido a fácil aplicabilidade e tomada de decisão para questões ambientais. Por meio de modelos digitais de terrenos (MDT), manipulados nestes programas, pode-se obter informações importantes para o gerenciamento e planejamento de bacias hidrográficas. A visualização e o entendimento de parâmetros possibilitam a previsão de possíveis eventos, uma vez que, uma bacia hidrográfica apresenta escalas que dificultam as medições a campo.

A bacia hidrográfica do rio Caveiras apresenta uma área de 2.412 km², sendo que a maior parte do seu terreno possui relevo ondulado, seguido de suave ondulado, características da região em que a bacia se encontra. Estas características de relevo apresentam forte influência na infiltração da água, escoamento superficial e apresenta moderada fragilidade ambiental com relação à suscetibilidade à erosão.

Os resultados deste estudo, apontaram que a bacia hidrográfica do rio Caveiras mostra-se pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, devido ao fato de o coeficiente de compactidade, o fator de forma e índice de circularidade. Isso se deve ao fato de que a bacia é estreita e longa, com fator de forma baixo, apresentando um formato irregular e uma tendência de forma mais alongada e não circular.

A análise de degradação e a conservação da bacia do rio Caveiras é de suma importância para a região uma vez que comporta diversos municípios e indústrias que fazem uso dos recursos hídricos. Desta forma, o conhecimento detalhado das características morfométricas, pode auxiliar nas tomadas de decisões na gestão das bacias hidrográficas, como também, em projetos de prevenção, recuperação e mitigação de desastres ambientais.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC/CAV), principalmente o apoio do Prof. Dr. Sílvio Rafaeli Neto, que nos auxiliou e incentivou no desenvolvimento do trabalho.



Os autores prestam seus agradecimentos à FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina) e PROMOP (UDESC), pelo financiamento deste estudo.

REFERÊNCIAS

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas**: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

CARDOSO, M. R. D; MARCUZZO, F. F. N. **Cálculo da área de drenagem e perímetro de sub-bacias do rio Araguaia delimitadas por MDE utilizando imagens ASTER**. 2010. p.8.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3BH.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. ed. 2. Brasília – DF, 2006.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Mapas digitais de Santa Catarina**. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/pre_download_elevacao.jsp> Acesso em: 22 abr. 2016.

FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais**. 158 p. 1997. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

GEBRE, T.; KIBRU, T.; TESFAYE, S.; TAYE, G. Analysis of Watershed Attributes for Water Resources Management Using GIS: The Case of Chelekot Micro-Watershed, Tigray, Ethiopia. 2015. **Journal of Geographic Information System**, 7, p. 177-190.

GOMES, T. S; LOBÃO, J. S. B. Delimitação de sub-bacias a partir do uso de imagem SRTM/NASA: um estudo da Bacia do Rio Jacuípe-BA. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, **Anais...** Natal, Brasil: INPE, 25-30 abr. 2009, p. 3841-3848.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidade**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=4209300>> Acesso em: 10 jul. 2016.

LANA, C. E.; ALVES, J. M.; AMORIM, P. T. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG – Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto – MG, v. 54, n.2, p. 121-126, abr./jun. 2001.

RAFAELI NETO, S. L.; BECEGATO, V. A.; CABRAL, J. B. P. Monitoramento da qualidade da água do Rio Caveiras no planalto serrano de Santa Catarina com suporte de tecnologias de geomática. **Boletim Goiano Geográfico**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 27-46, 2013.

RIFFEL, S. B. **Curva hipsométrica no mapeamento de paleosuperfícies**: abordagem quantitativa. Curitiba – PA. 2005. 76 f. Tese (Geologia Ambiental) - Curso de Pós- Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 2005.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.7, n.3, p. 195-211, 2012.



SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

VILLELA, S. M., MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. ed 1. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES