

## **RELAÇÃO ENTRE SINUOSIDADE E ÍNDICES TOPOGRÁFICOS NA ZONA TOPOGRÁFICA FLUVIAL**

### ***Relationship between sinuosity and topographic indices in the Fluvial Topographic Zone***

*Aline de Almeida Mota*

Bolsista do CNPq, Doutoranda do PPG - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS  
[aline.mota@ufrgs.br](mailto:aline.mota@ufrgs.br)

*Fernando Grison*

Professor Adjunto-A, Engenharia Ambiental, UFFS - Campus Chapecó  
[fernandogrison78@gmail.com](mailto:fernandogrison78@gmail.com)

*Masato Kobiyama*

Bolsista do CNPq, Professor associado IV, IPH/UFRGS  
[masato.kobiyama@ufrgs.br](mailto:masato.kobiyama@ufrgs.br)

### **RESUMO**

O presente trabalho teve por objetivo analisar a relação de algumas propriedades do solo e da topografia com a sinuosidade do rio principal na Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres (79,5 km<sup>2</sup>), Rio Negrinho/SC, utilizando o Índice Topográfico (*TI*) e o Índice Topográfico de Solo (*STI*). Os índices foram gerados a partir da aplicação do software ArcGis 9.3 e a sinuosidade foi calculada com o uso da ferramenta computacional AutoCAD. Para melhor avaliar a relação entre os índices e a sinuosidade a bacia de estudo foi subdividida em 20 pequenas áreas de drenagem. Além disso, foi determinada a Zona Topográfica Fluvial próxima ao rio principal. Os resultados mostraram que as variações dos índices são semelhantes. A sinuosidade acumulada apresentou maior correlação com o *TI* médio acumulado do que com o *STI* médio correspondente. Verificou-se também que o comportamento da sinuosidade é mais fortemente influenciado pela topografia do que pelas propriedades do solo. Além disso, essa influência se tornou mais significativa na área denominada como Zona Topográfica Fluvial que é a área próxima ao canal principal.

**Palavras - chave:** sinuosidade, índices topográficos, Zona Topográfica Fluvial.

### **ABSTRACT**

The objective of the present study was to analyze the relation of some soil properties and topography with the sinuosity of the main river of the Bugres River Watershed (79.5 km<sup>2</sup>), Rio Negrinho/SC, by using the Topographic Index (*TI*) and the Soil

Topographic Index (*STI*). The indices were estimated by applying the ArcGis 9.3 Software, and the sinuosity was calculated by using the computational tool AutoCAD. This watershed was divided into 20 small drainage areas in order to adequately assess the relation between the indices and the sinuosity. Furthermore, a topographic fluvial band near the main river was delimited. The results showed that the variations of the indices were similar. The accumulated sinuosity presented a better correlation with the mean accumulated *TI* than with the correspondent *STI*. It was verified that the behavior of the sinuosity is more strongly influenced by the topography than by the soil properties. Besides, this influence increased in the area called Fluvial Topographic Zone which is the area near by the main river.

**Key words:** sinuosity, topographic indices, Fluvial Topographic Zone.

## 1. INTRODUÇÃO

Problemas sócio-ambientais no contexto de manejo de águas pluviais em áreas urbanas vem se tornando cada vez mais sérios tanto no Brasil, como no mundo. Uma das soluções para tais problemas é a renaturalização, a revitalização ou até restauração dos sistemas fluviais (WOHL et al., 2005). Kondolf (2006) relatou que muitos projetos de reconstrução de rios tem como objetivo criar um canal único, não-ramificado (*single-thread*), estável e meandrado, e que a reconstrução dos meandros sem conhecimento científico causou diversos efeitos ambientais negativos, enfatizando a necessidade de avançar os estudos sobre meandros de rios.

A determinação dos padrões de canais fluviais (retilíneo, sinuoso, meandrado, trançado, etc) assim como a compreensão da dinâmica de modificação das margens dos rios pode ser obtida pelo índice de sinuosidade. Cientificamente esse índice está relacionado com características morfológicas, sedimentológicas e hidráulicas de um rio (RATZLAFF, 1991). Assim, a erodibilidade das margens de um rio tem ligação com sua granulometria (KNIGHTON, 1998). Schumm (1963) mostrou que com o aumento da porcentagem de silte e argila no perímetro do canal ocorre um incremento da sinuosidade. Neste sentido, o estudo do índice de sinuosidade pode subsidiar a compreensão da dinâmica de modificação das margens.

As características topográficas e de uso e cobertura do solo são fatores que influenciam diretamente a velocidade e a magnitude das respostas hídricas das bacias hidrográficas (RENNÓ e SOARES, 2003). Segundo Dunne (1978), a

topografia da bacia é uma variável que exerce grande influência no movimento de água subterrânea e que deve controlar igualmente o movimento de água superficial.

A fim de representar de forma distribuída características topográficas de uma bacia, Beven e Kirkby (1979) criaram o Índice Topográfico (*Topographic Index – TI*), um parâmetro hidrogeomorfológico que mostra áreas com potencialidade para geração de escoamento superficial por saturação. Esse índice foi inicialmente testado no modelo TOPMODEL (*Topographic-based hydrological model*), um modelo hidrológico do tipo chuva-vazão, semi-distribuído e baseado no conceito de área variável de contribuição e em princípios físicos de conservação de massa. O TOPMODEL foi criado com base na idéia de que a topografia exerce um controle dominante sobre o escoamento que se propaga em uma bacia hidrográfica (BEVEN e KIRKBY, 1979). Beven (1986), a fim de espacializar as características de solos heterogênicos e melhor prever o comportamento da infiltração no solo, criou o Índice Topográfico de Solo (*Soil Topographic Index – STI*) e o implementou no TOPMODEL. O *STI* se diferencia do *TI* pela introdução do parâmetro de transmissividade do solo. A transmissividade é o resultado da multiplicação da profundidade do solo pela condutividade hidráulica saturada.

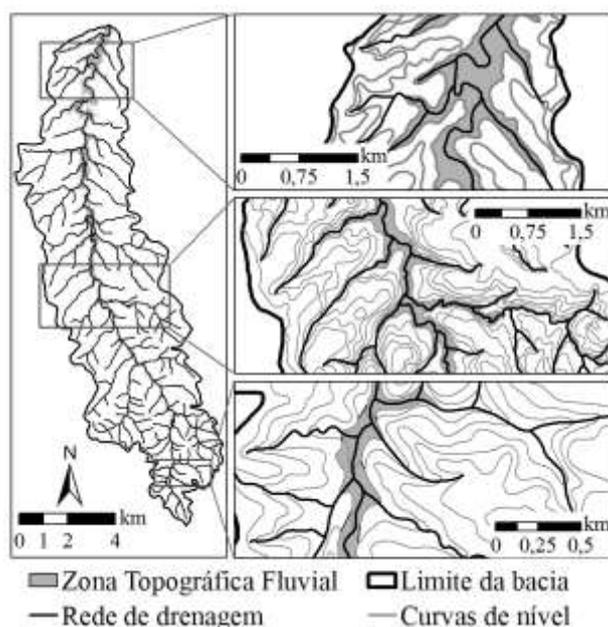
Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo analisar a relação de propriedades do solo e da topografia com a sinuosidade do rio principal na Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres (BHRB), Rio Negrinho/SC, por meio dos índices *TI* e *STI*, com enfoque especial na região próxima ao rio, que será posteriormente definida como Zona Topográfica Fluvial.

O Município de Rio Negrinho-SC vem sofrendo constante processo de urbanização e industrialização. Conseqüentemente, a preocupação com o aumento da demanda de água para abastecimento também vem se intensificando. O atual manancial de abastecimento do município é o rio Negrinho, que tem como um de seus principais afluentes o rio dos Bugres. Além disso, atualmente este rio se apresenta em bom estado de conservação. Assim, é considerado o principal manancial alternativo para abastecimento de água do município. Nesse sentido, estudos científicos que possam auxiliar na preservação ambiental desse sistema hídrico são muito importantes, e também podem servir como subsídio para futura ampliação do sistema de abastecimento de água do município. Por estar

relativamente conservado, o rio dos Bugres pode ser considerado um sistema fluvial natural. Logo, o presente trabalho trata de um rio natural e, portanto poderá contribuir significativamente para a melhoria de projetos de renaturalização dos rios.

## 2. CONCEITO DE ZONA TOPOGRÁFICA FLUVIAL

Para melhor analisar a relação dos índices  $TI$  e  $STI$  com a sinuosidade do rio dos Bugres, o presente trabalho propõe uma zona de área ao longo do canal do rio, denominada Zona Topográfica Fluvial (ZTF). O procedimento de traçado da ZTF é simples, sendo necessário apenas considerar a primeira curva de nível mais próxima do canal e delimitar a área de drenagem correspondente (Figura 1).



**Figura 1** – Delimitação da Zona Topográfica Fluvial

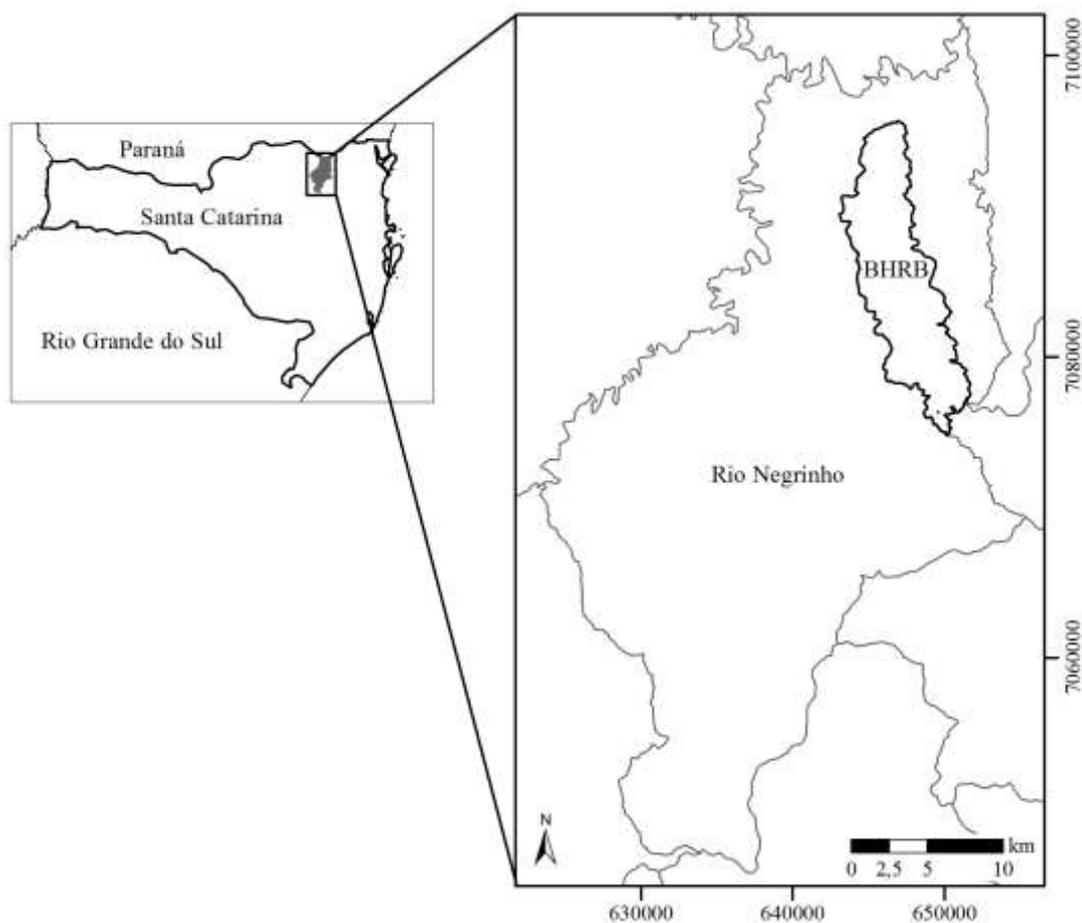
Schreiber e Demuth, (1997) também delimitaram uma área ao longo do rio principal para posterior análise. Eles consideraram “áreas da rede de drenagem” (*river network areas*) no intuito de propor uma nova metodologia de regionalização de vazões mínimas. Porém, o critério de delimitação utilizado por eles é diferente do adotado neste trabalho para delimitar a ZTF. As áreas foram definidas por 5 corredores ao longo do rio principal com 1 km de largura e de comprimento.

Da mesma maneira, através da ZTF, busca-se identificar uma região na bacia que se relaciona de maneira mais direta com o rio principal. Nesse sentido, a ZTF é considerada uma área que sofre diretamente as influências hidrogeomorfológicas do rio. É importante ressaltar que esse procedimento de delimitação da ZTF foi testado para a escala em questão que é 1:50.000.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

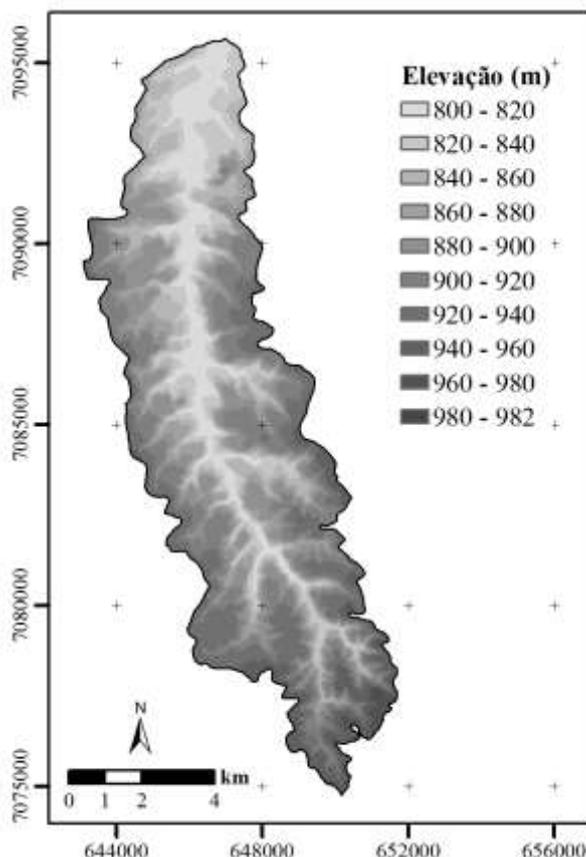
A Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres (BHRB) está localizada no norte do estado de Santa Catarina, no município de Rio Negrinho/SC. Seus limites estão entre as latitudes  $26^{\circ} 26' 24,6''$  S e  $26^{\circ} 15' 0,3''$  S e longitudes  $49^{\circ} 34' 40,8''$  W e  $49^{\circ} 34' 3,1''$  W, e sua área é de  $79,5 \text{ km}^2$  (Figura 2).



**Figura 2** – Localização da bacia do rio dos Bugres

Os solos predominantes da BHRB são Cambissolos. Os Cambissolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente bastante heterogêneo, tanto no que se refere à cor, espessura e textura, quanto no que diz respeito à atividade química da fração argila e saturação por bases. Além disso, esses solos são derivados de materiais relacionados a rochas de composição e natureza bastante variáveis, desde as mais antigas que constituem o embasamento do Complexo Brasileiro até as de origem recente, passando pelas rochas metamórficas do Complexo Brusque, intrusivas graníticas referidas ao Eo-Paleozóico, sedimentares do Paleozóico, pelo arenito Botucatu e efusivas da Formação Serra Geral (EMBRAPA, 1998).

A Figura 3 apresenta o modelo digital de elevação (MDE) da BHRB. Observa-se que a altimetria da bacia varia de 800 a 980 m aproximadamente. Encontra-se altimetria bastante variada nas proximidades da cabeceira, e o talvegue principal se mostra encaixado, com exceção do trecho mais próximo da exutória da bacia.



**Figura 3** – Modelo digital de elevação da bacia do rio dos Bugres

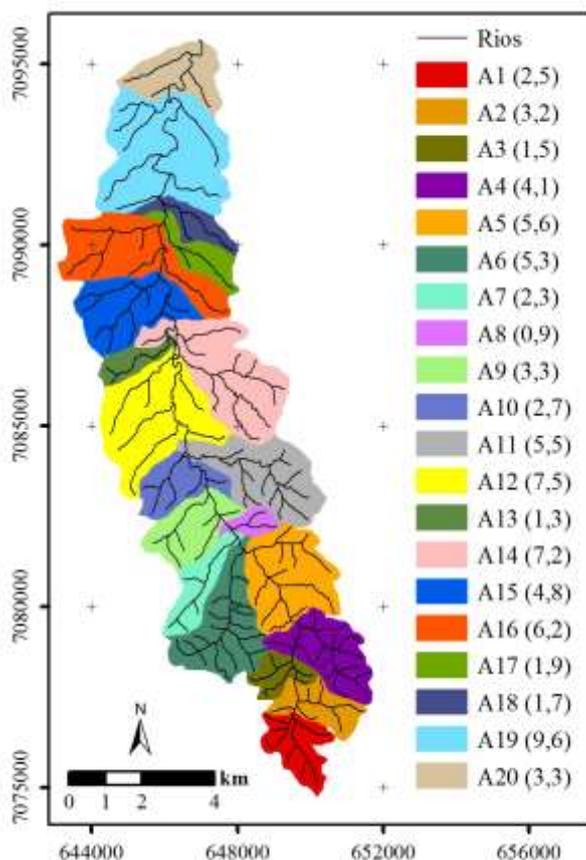
### **3.2 Materiais**

As cartas topográficas digitais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:50.000, editadas e disponibilizadas em meio digital no site da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), foram utilizadas para: delimitar a bacia, determinar a rede de drenagem e gerar o MDE. Os nomes das cartas utilizadas são Rio Negrinho e São Bento do Sul.

O MNT com resolução de 30x30 m foi gerado no ArcGIS 9.3.1 e em seguida, hidrologicamente consistido. Como verificaram Silva et al. (2007), quanto maior a grade utilizada, maior é a incidência dos valores maiores e a generalização adotada. Neste sentido adotou-se a maior resolução espacial possível para a escala das bases disponíveis de altimetria, rede de drenagem e levantamento de solos, que foi 30 m.

### **3.3 Subdivisão da bacia**

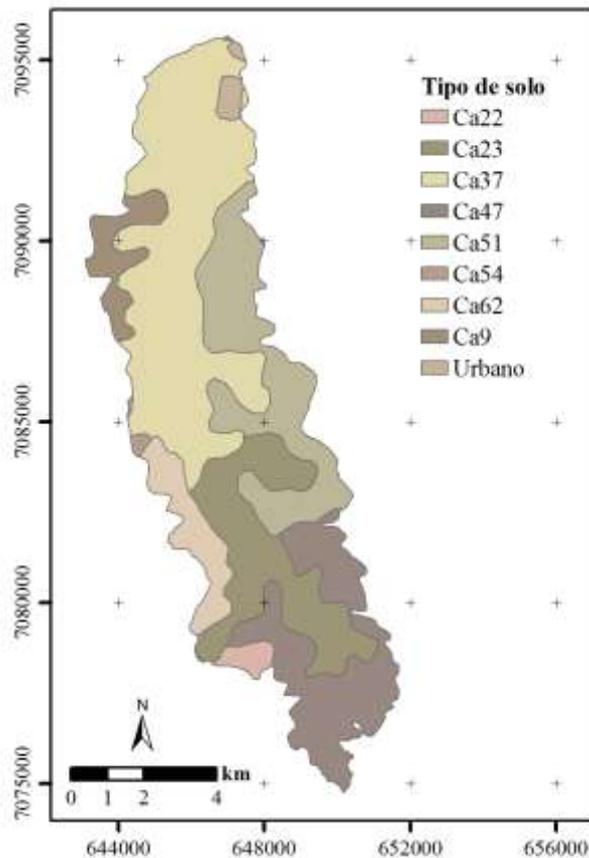
A fim de melhor analisar os índices *TI* e *STI*, a BHRB foi subdividida em 20 áreas de drenagem (Figura 4). O critério aplicado na subdivisão e delimitação dessas áreas foi que a cada junção de um rio de segunda ordem com o rio principal é a “exutória” da área de drenagem. Por exemplo, a área A1 foi delimitada da cabeceira da bacia em direção à jusante até logo após a primeira junção de um rio de segunda ordem com o rio principal (rio dos Bugres), de forma a delimitar toda a área de drenagem correspondente a essa junção. Em seguida, após o término da área A1 começa a área A2, que vai até logo após a próxima junção de segunda ordem, e assim sucessivamente até a exutória da bacia.



**Figura 4** – Delimitação das áreas de drenagem (entre parênteses suas respectivas extensões em km<sup>2</sup>)

### 3.4 Espacialização das propriedades do solo

Para estimar o *STI* são necessários dados distribuídos de profundidade do solo (*D*) e condutividade hidráulica saturada (*Ks*). Por isso, primeiramente foi elaborado um mapa de tipos de solos da BHRB com base no levantamento de solos disponibilizado pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM/EPAGRI, 2008) em escala 1:250.000 (Figura 5). Nesse levantamento, também estão disponíveis algumas propriedades físicas de cada tipo de solo, além do número de camadas e faixa de variação da profundidade (Tabela 1).



**Figura 5** – Tipos de solos da BHRB

**Tabela 1** – Faixa de variação da profundidade de cada tipo de solo encontrado na BHRB

Tipo de solo	Profundidade da camada (cm)	
	1	2
Ca22, Ca23 e Ca54	60 -150	60 -150
Ca51 e Ca62	60 -150	< 60
Ca37, Ca47, Ca9	60 -150	-

Após elaborar o mapa de solos e verificar a variação das profundidades de cada tipo de solo foi realizada a distribuição espacial dessas profundidades na BHRB. Para isso, aplicou-se a equação proposta por Saulnier et al. (1997), isto é,

$$D_i = D_{m\acute{a}x} - \left( \frac{D_{m\acute{a}x} - D_{m\acute{i}n}}{z_{m\acute{a}x} - z_{m\acute{i}n}} \right) \cdot (z_i - z_{m\acute{i}n}) \quad (1)$$

onde  $D_i$  é a profundidade no pixel (m);  $D_{m\acute{a}x}$  e  $D_{m\acute{i}n}$  são as profundidades de solo máxima e mínima encontradas na bacia, respectivamente (m);  $z_i$  é a elevação no

pixel (m);  $Z_{máx}$  e  $Z_{mín}$  são as elevações máxima e mínima encontradas na bacia, respectivamente (m). Nessa equação, os valores de  $D_{máx}$  e  $D_{mín}$  utilizados foram 3,0 e 0,6 m, respectivamente, obtidos a partir da verificação do número de camadas e respectiva variação de profundidade para cada tipo de solo apresentadas na Tabela 1.

O valor de  $K_s$  foi estimado com a aplicação do programa computacional *Rosetta Lite Version 1.1* proposto por Schaap et al. (2001). O programa está inserido no modelo HYDRUS-1D e implementa 5 funções de pedotransferência hierárquicas para estimar parâmetros de retenção de água, e condutividade hidráulica saturada e não-saturada do solo. Os dados de entrada podem ser apenas classe textural, ou porcentagem de areia, silte e argila, densidade do solo, e um ou dois pontos da curva de retenção de água no solo.

No presente trabalho, o levantamento (CIRAM/EPAGRI, 2008) forneceu a informação de classe textural, que foi o dado de entrada para a estimativa de  $K_s$  (Tabela 2). Assim, para cada tipo de solo obteve-se um valor médio de  $K_s$ . Em seguida esses valores foram interpolados pelo método do vizinho mais próximo para gerar uma distribuição da condutividade hidráulica saturada na BHRB.

**Tabela 2** – Resultado da estimativa de  $K_s$  através do *Rosetta Lite Version 1.1*

<b>Textura*</b>	<b>Classe Textural**</b>	<b><math>K_s</math> (m/dia)</b>
Média	Silt	0,4374
Argilosa	Clay	0,1475
Muito argilosa	Clay loam	0,0818

\*Levantamento de solos (CIRAM/EPAGRI, 2008).

\*\*Dado de entrada no *Rosetta Lite Version 1.1*.

### 3.5 Cálculo do índice topográfico e índice topográfico de solo

As formulações para o cálculo de  $TI$  e  $STI$  são apresentadas a seguir.

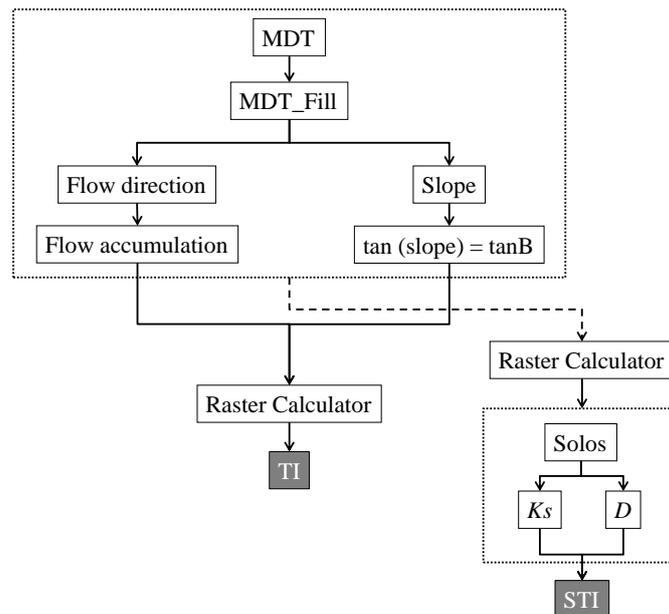
$$TI = \ln\left(\frac{a}{\tan \beta}\right) \quad (2)$$

onde  $a = (A/c)$  é a área por unidade de contorno;  $A$  é a área de drenagem até a seção considerada ( $m^2$ );  $c$  é o comprimento do contorno da parcela de área considerada ( $m$ ); e  $\beta$  é a declividade da parcela de área (graus).

$$STI = \ln\left(\frac{a}{\tan \beta \times T_0}\right) \quad (3)$$

onde  $T_0 = K_s \cdot D$  é a transmissividade ( $m^2/dia$ );  $K_s$  é condutividade hidráulica saturada ( $m/dia$ ); e  $D$  é a profundidade do solo ( $m$ ).

Para calcular os índices  $TI$  e  $STI$  foi utilizado software *ArcGIS* 9.3.1. A obtenção dos valores deu-se a partir da aplicação das ferramentas da extensão de análise espacial (*Spatial Analyst tools*) e da calculadora para raster (*Raster Calculator*). O procedimento desse cálculo se encontra no esquema da Figura 6.

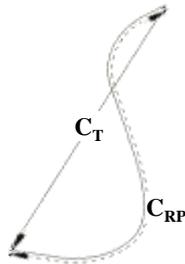


**Figura 6** – Fluxograma de cálculo no software *ArcGIS* para  $TI$  e  $STI$

O mapa de  $TI$  revela as áreas com potencialidade para gerar escoamento superficial (ou subsuperficial) por saturação (AMBROISE et al., 1996). No mapa de  $STI$ , as áreas com maiores valores também são identificadas como áreas de contribuição para escoamento. Estes valores foram calculados para a bacia inteira, e também somente para a Zona Topográfica Fluvial.

### 3.6 Cálculo da sinuosidade

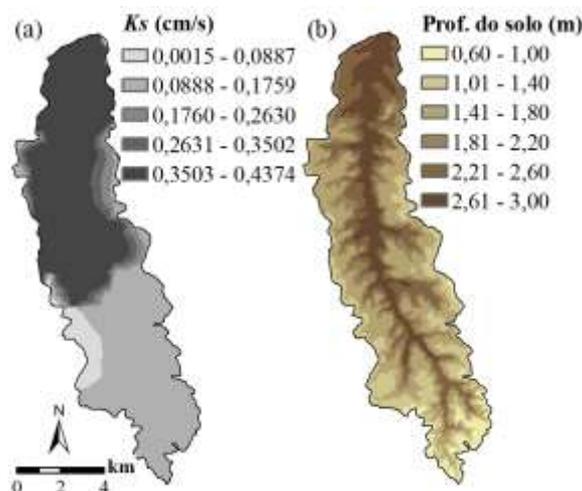
Para analisar a sinuosidade, o presente trabalho tratou somente do rio principal da BHRB, ou seja, o rio dos Bugres. A sinuosidade de um curso d'água é definida pela razão entre o comprimento do rio principal ( $C_{RP}$ ) e o comprimento do talvegue em linha reta ( $C_T$ ) (Figura 7). Este parâmetro foi calculado para cada área de drenagem da bacia de estudo (Figura 4) através do software AutoCAD.



**Figura 7** – Esquema representativo das grandezas envolvidas no cálculo de sinuosidade

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

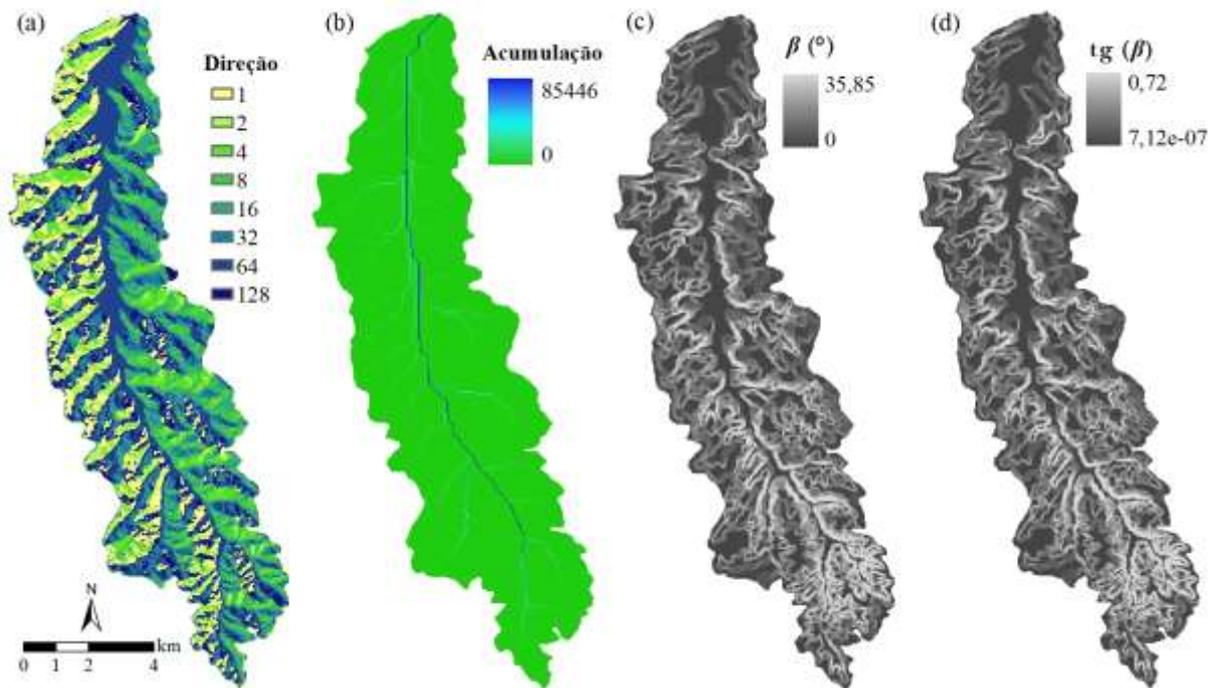
Na Figura 8 são apresentadas as distribuições da profundidade do solo e da condutividade hidráulica saturada na BHRB. No mapa de condutividade hidráulica saturada, os maiores valores são encontrados na porção mais próxima à exutória da bacia. A profundidade do solo apresenta uma relação direta com a altimetria. Ao analisar a metodologia aplicada para distribuição desse atributo, percebe-se que esse resultado está de acordo com o esperado.



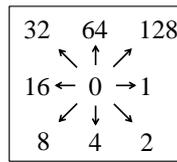
**Figura 8** – Distribuição das propriedades do solo na BHRB. (a)  $K_s$ ; e (b)  $D$

Conforme o fluxograma da Figura 6 nas etapas intermediárias dos cálculos de *TI* e *STI* foram gerados alguns mapas (Figura 9). No mapa de direção de fluxo (*Flow direction*) (Figura 9(a)) é atribuído um valor inteiro para cada célula de acordo com a direção do fluxo correspondente a partir da mesma, conforme o esquema da Figura 10. Nota-se que a direção de fluxo apresenta coerência com a topografia e hipsometria da bacia.

No mapa referente à acumulação de fluxo (*Flow accumulation*) (Figura 9(b)), o valor atribuído à célula corresponde ao número de células que direcionaram o fluxo para a célula em questão. Assim, o canal do rio principal é o que apresenta valores mais elevados com relação à acumulação de fluxo. Além dos mapas de direção e acumulação do fluxo também foram calculados os mapas de declividade ( $\beta$ ) (Figura 9(c)) e da tangente da declividade ( $\text{tg } \beta$ ) (Figura 9(d)).

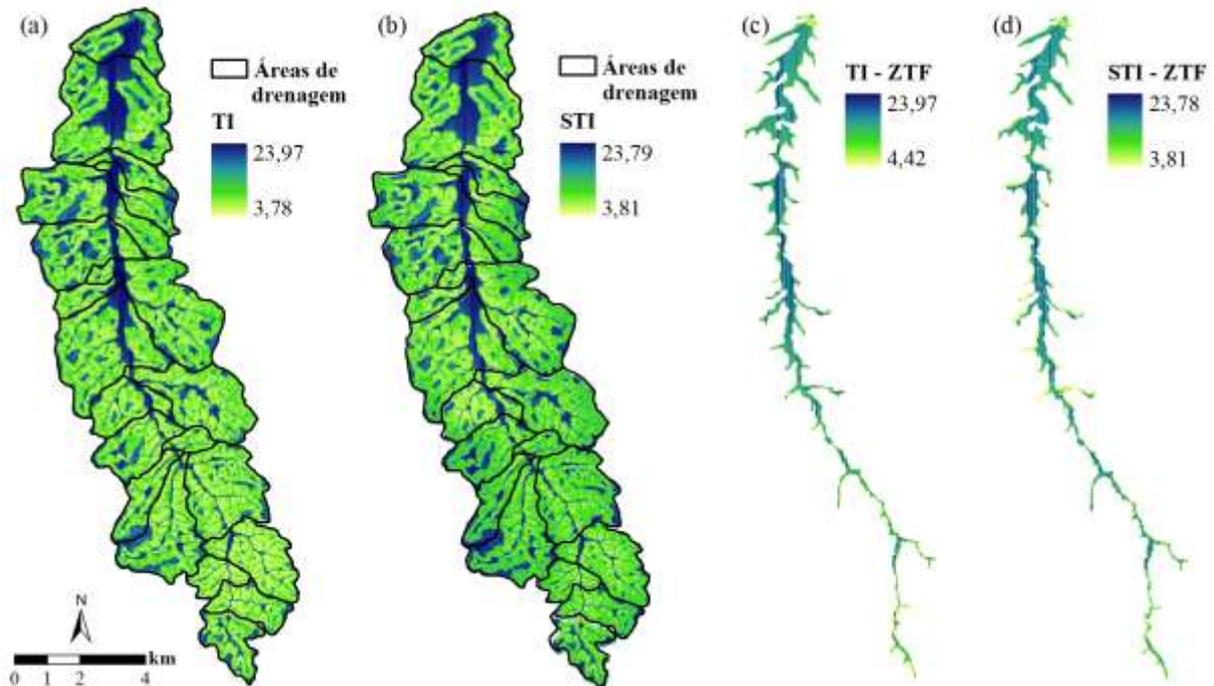


**Figura 9** – Mapas das etapas para cálculo de *TI* e *STI*. (a) Direção de fluxo (*Flow direction*); (b) Acumulação de fluxo (*Flow accumulation*); (c) Declividade ( $\beta$ ); e (d) Tangente da declividade ( $\text{tg}(\beta)$ )



**Figura 10** – Representação gráfica do algoritmo de resolução da direção de fluxo

Nas Figuras 11(a) e 11(b) observa-se que as variações de *TI* e *STI* são praticamente iguais para a BHRB. Sendo que o *STI* apresenta faixa de variação menor que *TI*. Porém, utilizando os dois índices não há diferença significativa na indicação de áreas de geração de escoamento por saturação. Ao mesmo tempo, observou-se que o *TI* médio aumenta quando a declividade média diminui. Além disso, os maiores valores tanto de *TI* como de *STI* se encontram nas células associadas à rede de drenagem e os menores valores nas células associadas a regiões com elevada declividade. E nas Figuras 11(c) e 11(d) apresentam-se os mapas de *TI* e *STI* na ZTF do rio dos Bugres. A delimitação da ZTF do rio principal da BHRB foi gerada considerando o conceito de ZTF e é apresentada na Figura 12.



**Figura 11** – Mapas dos índices para a bacia do rio dos Bugres e a delimitação das áreas de drenagem. (a) *TI*; e (b) *STI*; e para a Zona Topográfica Fluvial. (c) *TI*; e (d) *STI*.

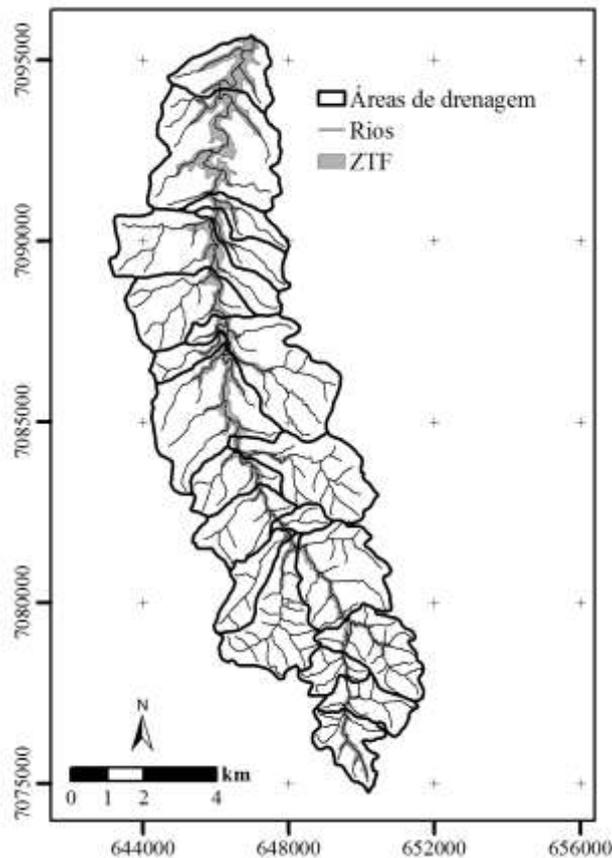
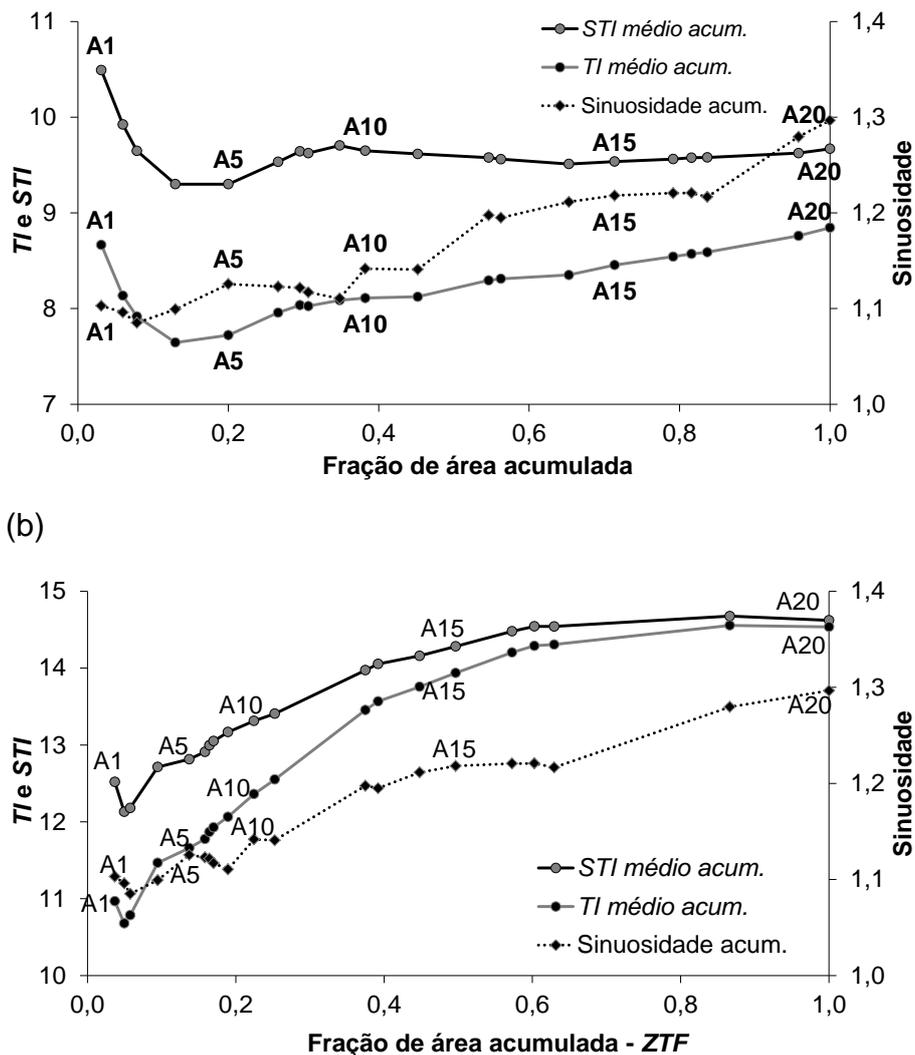


Figura 12 – Zona Topográfica Fluvial na BHRB

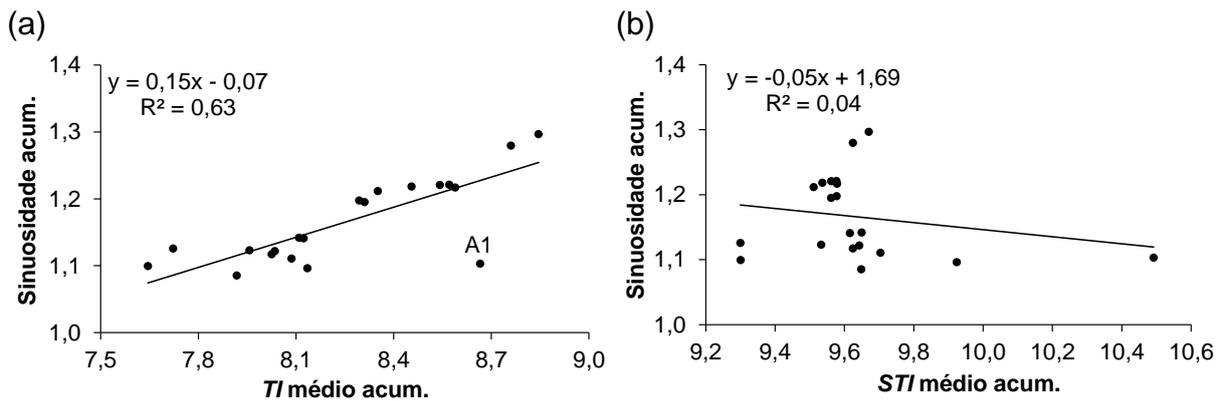
A Figura 13 mostra o comportamento de  $Tl$ ,  $STl$  e da sinuosidade do rio dos Bugres com o acúmulo de área de drenagem da bacia. Observa-se na Figura 13(a) que ao longo da bacia os dois índices variam de modo semelhante entre si. Sendo que o  $Tl$ , a partir de A6 até A20 apresenta um aumento gradativo como a sinuosidade. Por outro lado, o  $STl$  se mantém estável nessa mesma região. Isso pode acontecer porque a partir de A6,  $Ks$  aumenta em direção à exutória (Figura 8), assim o efeito da declividade no aumento de  $STl$  é atenuado. Na Figura 13b são considerados  $Tl$  e  $STl$  apenas na área de ZTF. Novamente, observa-se que  $Tl$  sofre maior variação que  $STl$  a partir de A6. Porém, neste caso os dois índices se comportam de maneira semelhante à sinuosidade.

(a)



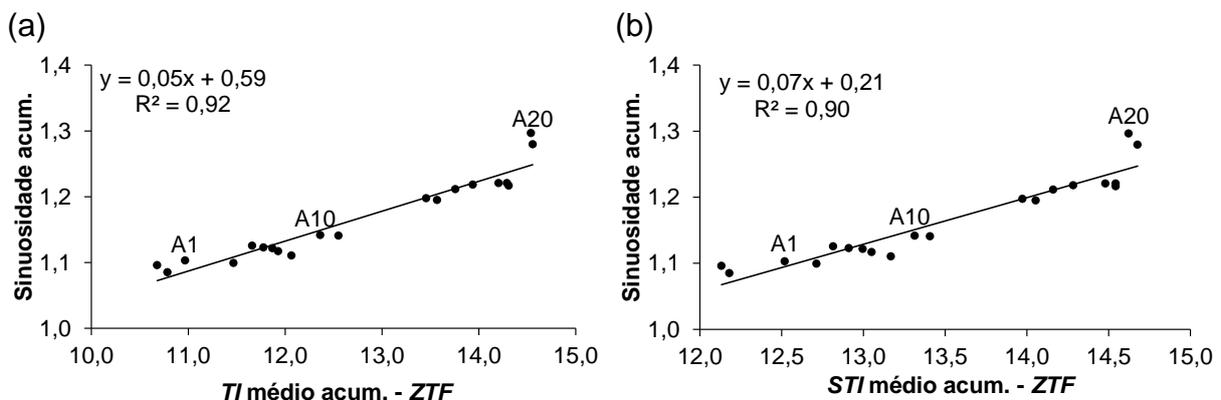
**Figura 13** – Comportamento dos índices médios acumulados ( $TI$  e  $STI$ ) e da sinuosidade ao longo do rio principal: (a) toda a bacia; e (b) ZTF.

A Figura 14 mostra as relações entre a média de  $TI$  e  $STI$  acumulados e a sinuosidade acumulada do rio principal. Observa-se na Figura 14(a) que  $TI$  e sinuosidade possuem correlação significativa. Por outro lado, na Figura 14(b) observa-se que  $STI$  e sinuosidade não se correlacionam significativamente, ou seja, quando os parâmetros de  $D$  e  $K_s$  são considerados há uma tendência de não haver nenhuma relação. É importante notar que o  $TI$  médio na A1 se apresentou maior que a média do mesmo índice nas áreas de cabeceira, e por isso pode ser considerado um outlier. Isso pode acontecer, pois apesar de estar na cabeceira, em comparação com A2 e A3, por exemplo, a A1 apresenta declividade média menor. A declividade é um parâmetro que influencia no cálculo de  $TI$  e  $STI$ .



**Figura 14** – Relação entre a sinuosidade do rio principal e a média acumulada dos índices nas áreas de drenagem. (a) *TI* médio acumulado; e (b) *STI* médio acumulado.

Para melhor analisar a relação entre *TI*, *STI* e a sinuosidade do rio principal foram consideradas apenas as ZTFs apresentadas nas Figuras 11(c) e 11(d). Dessa forma, observa-se nas Figuras 15(a) e 15(b) que existe correlação significativa dos índices com a sinuosidade. Isso pode ocorrer porque se considera a topografia próxima ao canal do rio principal e que pode influenciar mais diretamente na sinuosidade do canal. Além disso, este resultado sugere a potencialidade de uso do conceito de ZTF para futuros trabalhos sobre rede fluvial. Os pontos referentes às áreas A1, A10 e A20 em ambos os gráficos da Figura 15 evidenciam a tendência de aumento da sinuosidade e dos índices em direção a jusante do rio dos Bugres. Essa tendência também foi verificada na Figura 13(b).



**Figura 15** – Relação entre a sinuosidade do rio principal e a média acumulada dos índices na ZTF. (a) *TI* médio acumulado; e (b) *STI* médio acumulado.

## 5. CONCLUSÕES

A análise da influência de algumas propriedades do solo e da topografia na sinuosidade do rio dos Bugres utilizando o *TI* e o *STI* mostrou que esses índices podem ser muito importantes para o entendimento da sinuosidade desse rio.

Os mapas de *TI* e *STI* revelaram uma grande variação desses índices na área da bacia. Os maiores valores ocorreram nas células associadas à rede de drenagem e os menores nas células de alta declividade. Em geral, observou-se que o *STI* se mantém praticamente estável, mesmo quando a declividade diminui, pois corresponde às áreas de aumento de *Ks* nesta bacia. Ao longo da bacia, *TI* aumenta quando a declividade da bacia diminui, ou seja, no sentido de jusante da bacia.

Verificou-se também que o comportamento da sinuosidade é mais fortemente influenciado pela topografia do que pelas propriedades do solo. E essa influência se tornou mais significativa quando foi considerada a topografia nas ZTFs do canal principal do rio dos Bugres.

Recentemente os modelos de evolução de paisagem vem chamando atenção de cientistas, tanto devido ao avanço tecnológica na áreas de informática e topografia, quanto devido ao aumento de problemas ambientais e territoriais (TUCKER e HANCOCK, 2010). Cada modelo procura informações em relação aos mecanismos de formação de meandros, relação entre índices topográficos e sinuosidade do rio, função da área mais próxima ao rio, ou seja, ZTF, entre outros. Portanto, os resultados obtidos no presente trabalho poderão contribuir para o desenvolvimento de tais modelos.

## REFERÊNCIAS

AMBROISE, B.; BEVEN, K.J.; FREER, J. Towards a generalization of the TOPMODEL concepts: topographic indices of hydrological similarity. **Water Resour. Res.**, v.32, n.7, p. 2135–2145, 1996.

BEVEN, K.J. Hillslope runoff processes and flood frequency characteristics, In: ABRAHAMS, A. D. (ed.), **Hillslope Processes**. London: Allen and Unwin, 1986, p. 187–202.

BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrol. Sci. Bull.**, v.24, n.1, p. 43–69, 1979.

- DUNNE, T. Field studies of hillslope flow processes, In: KIRKBY, M.J.Z. (ed.) **Hillslope Hydrology**. New York: JohnWiley and Sons, 1978, p. 227–293.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: RJ. Boletim de Pesquisa; n.6, 1998.
- EPAGRI/CIRAM. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Zoneamento Agroecológico. Disponível em: <<http://ciram.epagri.rctsc.br/portal/website/index.jsp?url=jsp/agricultura/zoneAgroecologico.jsp&tipo=agricultura>>. Acesso em: 29 de novembro de 2008.
- KNIGHTON, D. **Fluvial Forms & Processes: a new perspective**. London: Arnold, 1998, 383 p.
- KONDOLF, G.M. River Restoration and Meanders. **Ecology and Society**, v.11, n.2, art.42, 2006. Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art42/>
- RATZLAFF, J. Sinuosity components of the upper saline River Valley, Western Kansas. **Trans. of the Kansas Academy of Sci.**, v.94, n.1-2, p. 46–57, 1991.
- RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. Uso do índice topográfico como estimador da profundidade do lençol freático. In: XI SBSR. Belo Horizonte, 2003, p. 2579–2588.
- SAULNIER, G-M.; BEVEN, K.; OBLEDA, C. Including spatially variable effective soil depths in TOPMODEL. **J. Hydrol.**, v.202, n.1-4, p. 158–172, 1997.
- SCHAAP, M.G.; LEIJ, F.J.; VAN GENUCHTEN, M.Th. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic properties with hierarchical pedotransfer functions. **J. Hydrol.**, v.251, n.3-4, p.163–176, 2001.
- SCHREIBER, P.; DEMUTH, S. Regionalization of low flows in southwest Germany. **Hydrological Sciences**, v.42, n.6, p. 845–858, 1997.
- SCHUMM, S.A. Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains. **Geological Society of America Bull.**, v.74, n.9, p.1089 – 1100, 1963.
- SILVA, R.V.; VESTENA, L.R.; KOBAYAMA, M. Avaliação do índice topográfico ( $\ln(a/\tan B)$ ) para diferentes resoluções espaciais. In: I Workshop Regional de Geografia e Mudanças Ambientais: Desafios da sociedade do presente e do futuro. Guarapuava, 2007, p.71–78.
- TUCKER, G.E.; HANCOCK, G.R. Modelling landscape evolution. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.35, n.1, p.28–50, 2010.
- WOHL, E.; ANGERMEIER, P.L.; BLEDSOE, B.; KONDOLF, G.M.; MACDONNELL, L.; MERRITT, D.M.; PALMER, M.A.; POFF, N.L.; TARBOTON, D.. River restoration. **Water Resour. Res.**, v.41, n.10, W10301, 2005.