

USO DE ATRIBUTO TOPOGRÁFICO PARA ESTABELECEER RELAÇÃO TOPOGRAFIA – VAZÃO NA BACIA DO ALTISSIMO RIO NEGRO, PR/SC.

Felipe Costa Abreu Lopes
Universidade Federal do Paraná
costageo@gmail.com

EIXO TEMÁTICO: GEOECOLOGIA DAS PAISAGENS, BACIA HIDROGRÁFICAS, PLANEJAMENTO AMBIENTAL E TERRITORIAL

Resumo

O estudo de bacias hidrográficas e a relação da topografia com suas vazões vem sendo feito a muito tempo por diversos tipos de profissionais e para diversos fins. O trabalho apresentado aqui estabelece uma relação entre vazões medidas em campo com o índice topográfico de dez sub-bacias da bacia do altíssimo rio Negro, definida como a área a montante da estação hidrossedimentológica de Fragosos, localizada nas coordenadas 26°09'00"S e 49°23'00"W no estado de Santa Catarina, Brasil com área de drenagem de aproximadamente 788 quilômetros quadrados. O índice topográfico (IT) utilizado no desenvolvimento do trabalho é um índice fisicamente baseado, que é calculado levando em conta as variáveis topográficas declividade e área de contribuição pela equação $IT = \ln(a) / \tan B$, onde 'a' é a área de contribuição e 'B' a declividade. Este índice ilustra locais da área de estudo com mais potencialidade de acumulação de água. Para relacioná-lo com as vazões medidas em campo foram calculados sua média e coeficiente de variação, sendo este último usado para relacionar o índice às vazões. As vazões medidas foram tomadas em dez sub-bacias da bacia do altíssimo rio Negro selecionadas de acordo com sua acessibilidade em duas campanhas de campo nos meses de julho e agosto de 2010 com permanência de Q38% e Q48%, respectivamente. Seus valores foram obtidos com o uso do aparelho Flowtracker. A relação entre as vazões medidas e o coeficiente de variação do índice topográfico foi feita em gráficos de regressão no software Excel. As bacias monitoradas foram divididas em dois grupos de acordo com sua geologia e tipos de solo. Foi verificada a existência de forte relação direta entre o coeficiente de variação do índice topográfico e as vazões medidas em campo com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,9 em alguns casos. Esse tipo de conclusão mostra a importância não só da topografia, mas também dos solos e da geologia no estudo da dinâmica da água em bacias hidrográficas.

Palavras chave: índice topográfico, Fragosos, vazões medidas, rio Negro.

Abstract

The study of watersheds and the relationship between their topography and flow has been done for a long time for several types of professionals and for various purposes. The work presented here establishes a relationship between flow rates measured in field with the topographic index of ten sub-basins of the upper Negro river basin. This basin is defined as the upstream area of the Fragosos gauging station located at coordinates 26°09'00"S and 49°23'00"W in the state of Santa Catarina, Brazil with drainage area of approximately 788 square kilometers. The topographic index (TI) used in the development of the work is a physically based index which is calculated taking into account the topographic variables slope and area of contribution by the equation $TI = \ln(a) / \tan B$, where 'a' is the area of contribution and 'B' the slope. This index illustrates the locals with more potential for water accumulation in the study area. To relate the TI to the measured flow the mean and coefficient of variation of the TI were calculated and the latter used to relate the index to the flows. The flow measurements were taken in ten sub-basin of the upper Negro river basin selected according to their accessibility. Two field campaigns were done in the months of July and August of 2010 with flow duration (%) of Q38 and Q48, respectively. Their values were obtained with the use of the Flowtracker

device. The relationship between flow measures and the coefficient of variation of the topographic index was made in regression charts in Excel software. The monitored basins were divided into two groups according to their geology and soil types. It was verified strong direct relationship between the coefficient of variation of the topographic index and flow measures in the field with coefficients of determination (R^2) greater than 0.9 in some cases. Such findings show the importance not only of the topography but also of the soils and geology to study the dynamics of water in watersheds.

Keywords: topographic index, Fragosos, measured flows, Negro river.

1 Introdução

A modelagem hidrológica é uma importante ferramenta para a gestão de recursos hídricos e vem sendo cada vez mais usada conforme se descobrem novas finalidades para ela. Devido à crescente importância que a água tem adquirido recentemente, simulações e modelagens se tornam cada vez mais necessárias para se ter um controle maior sobre o que já se usa e o que se pretende usar dos recursos hídricos, seja para geração de energia ou para lazer. Um dos estudos mais importantes em uma bacia hidrográfica é o estudo das vazões mínimas que tem grande importância para outorgas e para o meio ambiente.

O cálculo dessas vazões mínimas é feito com base no histórico da estação e para bacias sem dados por meio de regionalização. Conseguir fazer a sua medição em campo é muito difícil, pois essas vazões são tão baixas que correspondem a uma permanência de apenas 95% ou menos, sendo que para medi-las seria necessário um período de estiagem muito extremo e difícil de acontecer durante o período da pesquisa.

A topografia de uma região tem muita influência na dinâmica da água dentro de uma bacia hidrográfica. Em um terreno mais acidentado com declividades mais acentuadas e conseqüentemente solos mais rasos, espera-se que a água seja armazenada em menor quantidade e rapidamente escoe para as áreas mais baixas, ao contrario em terrenos com declividades mais suaves e áreas planas com maior capacidade de armazenamento a água deve se acumular mais contribuindo para a manutenção de uma vazão mínima mais elevada (Lopes, 2010).

Um modelo que ilustra bem a potencialidade de armazenamento de água em uma bacia hidrográfica é o índice topográfico. Este índice foi idealizado por Beven e Kirkby (1979) e leva em consideração a declividade do terreno e a área de contribuição para indicar as áreas com maior umidade potencial dentro de uma bacia. É um índice distribuído de grande importância na hidrologia e já foi usado em trabalhos como, por exemplo, estimativa de profundidade de lençol freático (Rennó e Soares, 2003 e Santos, 2009) e incorporado em modelos hidrológicos como o TOPMODEL (Beven e Kirkby, 1979). Um valor de índice topográfico mais elevado indica maior potencialidade a acumulação de água naquela área.

Baseado no exposto acima esse trabalho fez uso do índice topográfico para estabelecer uma relação entre a topografia e os valores de vazão medidos em campo em dez sub-bacias da bacia do

altíssimo rio Negro, localizada a montante da estação hidrossedimentológica de Fragosos na divisa entre os Estados do Paraná e Santa Catarina.

2 Objetivos

- Verificar a influencia que a topografia exerce em vazões mínimas de sub-bacias no altíssimo rio Negro.
- Calcular índice topográfico para área de estudo
- Medir vazões em campo
- Estabelecer relação entre o índice topográfico e as vazões medidas.

3 Área de estudo

O trabalho será desenvolvido na região do altíssimo rio Negro localizada na divisa dos estados do Paraná e de Santa Catarina. O local de estudo (Figura 1) é denominado bacia do altíssimo rio Negro e compreende uma área de aproximadamente 788km² entre as latitudes 25°55'73''S e 26°14'17''S; e entre as longitudes 48°56'34''W e 49°23'12''W a montante da estação hidrossedimentológica de Fragosos localizada nas coordenadas de 26°09'00''S 49°23'00''W. A amplitude altimétrica está entre os 800 e 1520 metros e percebe-se na maior parte da área relevo pouco acidentado que compreende a planície do rio Negro. As partes mais elevadas e com declividade mais acentuada estão mais concentradas na região nordeste e representam parte da Serra do Mar. O clima na área de estudo é classificado como subtropical úmido, segundo Mendonça e Oliveira (2007), com média anual de precipitação variando entre 1.250 e 2.000mm. Os solos da área estão representados por solos do tipo Cambissolo, Nitossolo, Argissolo, Neossolo, Gleissolo e Latossolo sendo o Cambissolo o mais representativo abrangendo 44% da área (Souza, 2010). O uso do solo, segundo classificação automática realizada no LABHIDRO/UFSC apud Souza, 2010 é na sua predominância de Floresta Ombrófila Mista (38%) seguido por campos e pasto (28%), agricultura (24%) e reflorestamento de pinus (9%). O restante (1%) representa os corpos hídricos.

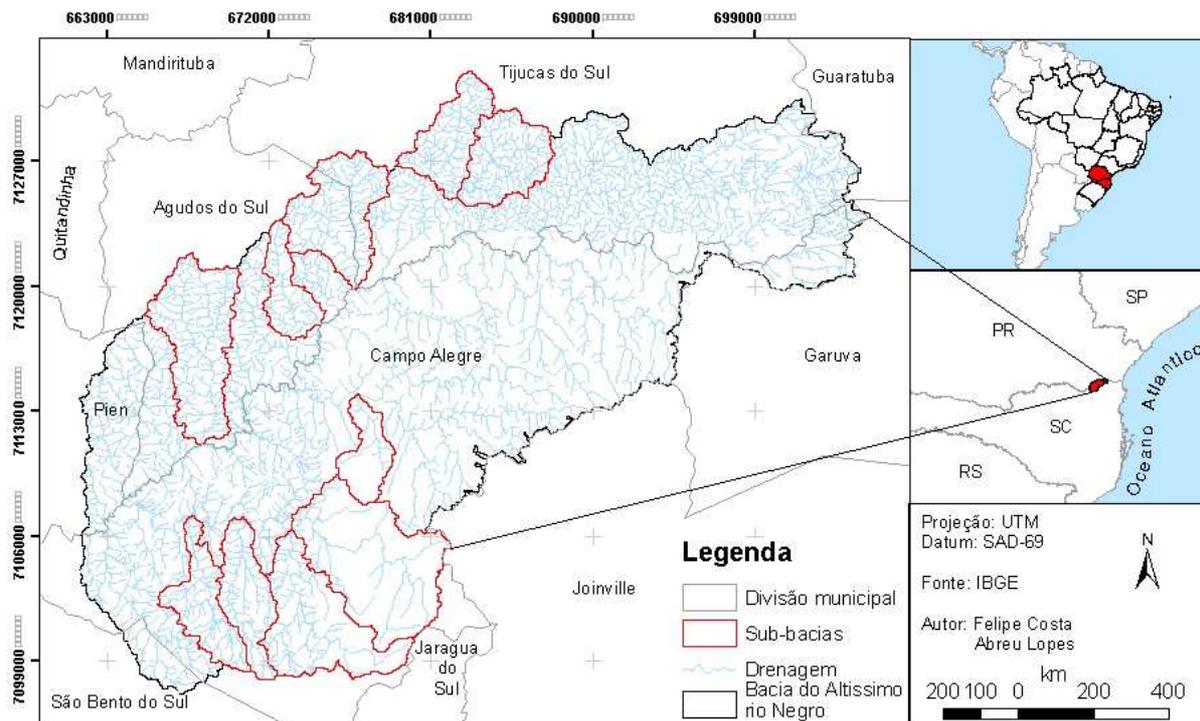


Figura 1: Localização da área de estudo com as dez sub-bacias medidas destacadas em vermelho.

4 Revisão

4.1 Vazões mínimas

Segundo Smakhtin (2001) antes de qualquer estudo sobre vazões mínimas é necessário primeiro defini-la, porém não existe uma definição única para o termo que varia de significado de acordo com o interesse do estudo. Vazão mínima pode significar, por exemplo, a vazão de um rio em um período de estiagem ou pode significar também, para outros autores, o tempo e condições de períodos entre cheias ou ainda pode não ser somente a vazão durante um período de estiagem, mas a redução de vários outros aspectos do regime do rio. O International glossary of hydrology (WMO, 1974) apud Smakhtin (2001) define vazão mínima como fluxo de água em um rio durante um período de estiagem. Dentre as várias definições existentes pode-se identificar a condição comum de a existência de uma vazão baixa entre dois períodos de cheias.

A origem das vazões mínimas está atrelada a algumas características particulares de cada região, como por exemplo, em regiões polares ou com presença de geleiras estas podem ser as responsáveis por manter a vazão mínima. Pântanos, lagoas e lagos, aquíferos e a descarga subterrânea também são fatores responsáveis pela sua origem e manutenção. Os vários aspectos da vazão mínima variam também de acordo com a região e podem incluir a distribuição dos solos em uma bacia hidrográfica, a topografia, a duração do período de chuvas, o tipo de vegetação presente na área, a

evapotranspiração e o clima. Impactos gerados pelo homem devem ser analisados separadamente (Smakhtin, 2001).

Vazões mínimas podem ser obtidas de inúmeras maneiras diferentes e, segundo Smakhtin (2001) elas dependem dos dados iniciais e dos resultados esperados. Algumas técnicas são baseadas nas médias diárias e anuais da série histórica onde a vazão mínima é representada por uma porcentagem dessa média. Outras maneiras são baseadas na curva de permanência e representam uma porcentagem desta, como por exemplo: Q95, que representa a vazão que é menor do que a vazão existente em 95% do tempo observado.

4.2 Índice topográfico

A idéia de índice topográfico surgiu como uma representação de observações feitas em campo onde se notou a acumulação do fluxo de água nos fundos de vale e em áreas planas presentes no terreno. Essa idéia foi elaborada por Beven e Kirkby (1979) como parte de seu modelo hidrológico *TOPMODEL* e vem sendo amplamente incorporada aos modelos hidrológicos como mecanismo para representar a geração do escoamento superficial (Santos et al, 2005)

O índice topográfico é um importante atributo que mostra a influência da topografia na geração do escoamento. É fisicamente baseado e procura representar locais propícios ao desenvolvimento de áreas saturadas e conseqüente escoamento superficial (Beven and Kirkby, 1979; O’Loughlin, 1981). Existem equações com pequenas diferenças entre si que são usadas para definir o índice topográfico (Aryal et al, 2008):

$$\text{Índice Topográfico} = \begin{cases} a/\tan B & \text{Equação - 1} \\ \ln(a/\tan B) & \text{Equação - 2} \\ a/k.\tan B & \text{Equação - 3} \\ \ln(a/\sin B) & \text{Equação - 4} \end{cases}$$

Onde ‘*a*’ é o índice geomorfológico que representa a razão entre a área de contribuição a montante e a unidade de contorno (resolução espacial), *tanB* é a tangente da declividade, *sinB* é o seno da declividade, *ln* é o logaritmo neperiano e *k* é a condutividade hidráulica saturada. Quanto maior o valor do índice maior a probabilidade de se ter acumulação de fluxo e, valores iguais do índice para áreas diferentes significam que as mesmas têm reposta hidrológica igual para o mesmo evento de chuva, considerando apenas sua topografia (Aryal, 2008).

5 Método

O desenvolvimento desse trabalho seguiu as etapas seguintes: elaboração de um Modelo Digital de Terreno (MDT) hidrológicamente consistente, divisão da área em sub-bacias, cálculo do índice topográfico, obtenção das vazões em campo e relação entre vazão e índice topográfico.

5.1 MDT

O MDT foi elaborado a partir de dados vetoriais baseados em carta topográfica com escala de 1:50000 (IBGE, 1992). Os dados utilizados foram curvas de nível equidistantes 20 metros, drenagem e pontos cotados da área. Para a elaboração do modelo com resolução espacial de 30 metros foi utilizado o software *ArcGis 9.3* (Esri, 2009) e sua ferramenta *Topogrid* e sua consistência foi verificada de acordo com a metodologia de Lopes e Santos, 2009.

5.2 Divisão das sub-bacias

A divisão das sub-bacias foi obtida de Souza, 2010 que usou o software SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para dividir a área do altíssimo rio Negro em 47 sub-bacias com áreas aproximadamente equivalentes. Das 47 sub-bacias foram selecionadas dez (Figura 2) de acordo com sua acessibilidade para a medição de suas vazões em campo. As dez sub-bacias selecionadas foram divididas em dois grupos definidos como grupo norte e grupo sul, localizados respectivamente ao norte e ao sul da bacia do altíssimo rio Negro. Essa divisão se baseou nas diferenças litológicas e pedológicas predominantes em cada um dos dois grupos como pode-se observar nas figuras 3 e 4.

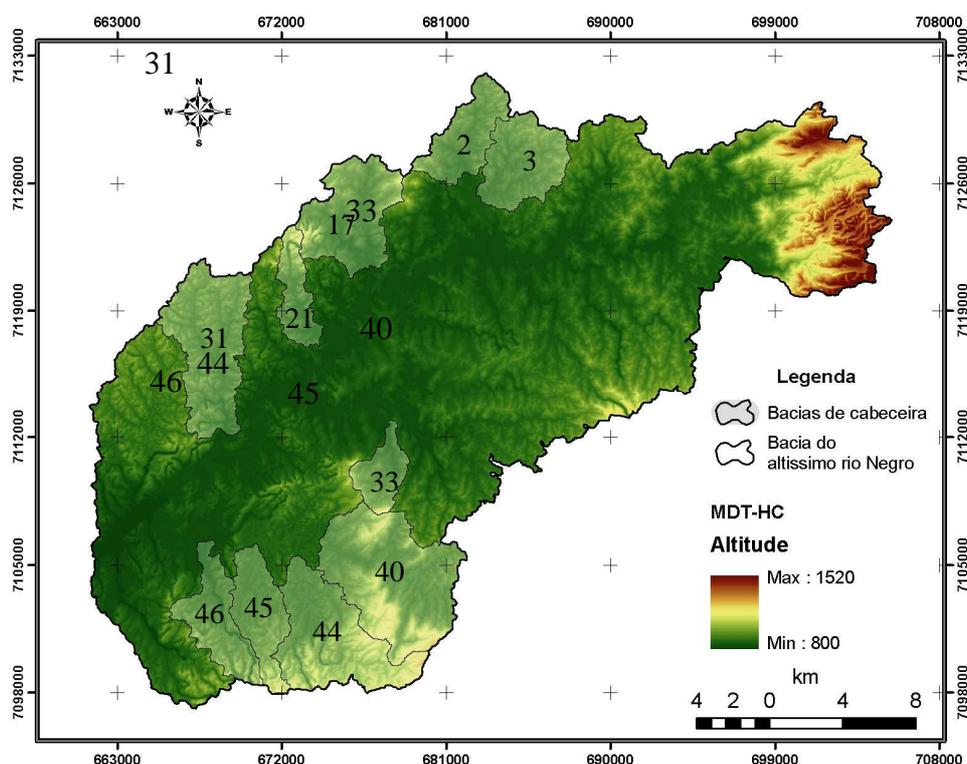


Figura 2: Modelo digital de terreno da bacia do altíssimo rio Negro com as sub-bacias identificadas.

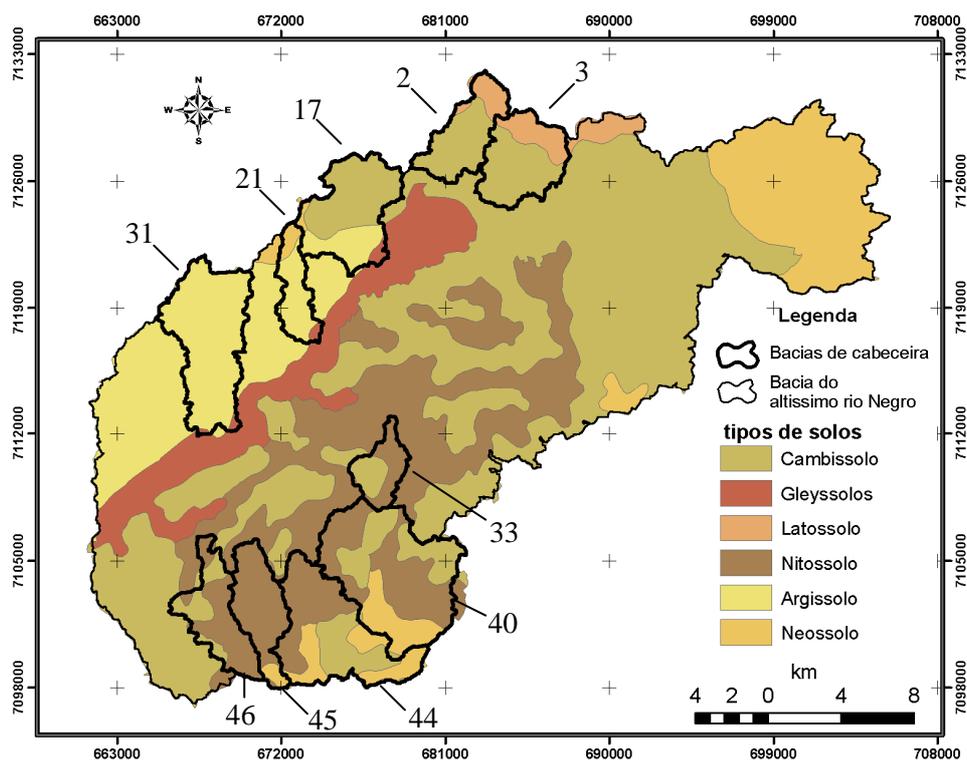


Figura 3: A figura mostra uma concentração maior de nitossolos no grupo sul enquanto no grupo norte há a predominância de cambissolos e argissolos.

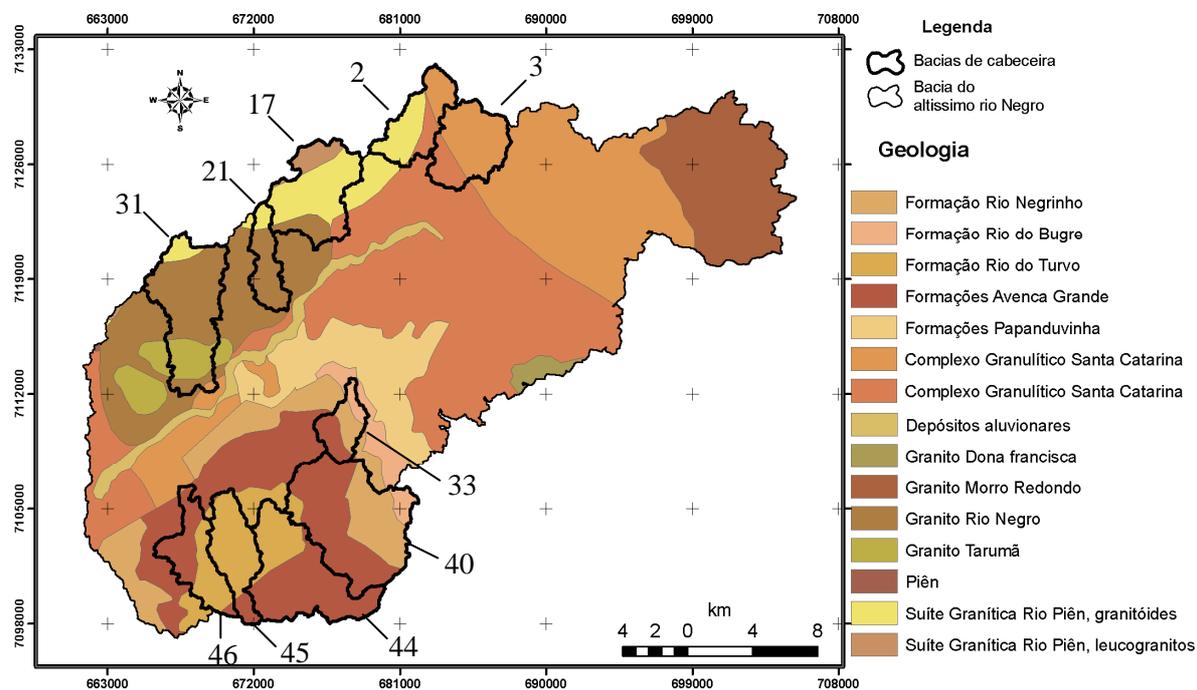


Figura 4: A geologia também se difere nos dois grupos com presença mais marcante das formações Avenca Grande e Rio do Turvo no grupo sul e no grupo norte destaca-se a presença de granitos e granitóides.

5.3 Índice topográfico

O Índice topográfico é um atributo secundário da topografia de grande aplicabilidade em estudos de geomorfologia e pedológicos (Silveira, 2010). Baseado totalmente no MDT e em seus atributos primários (declividade e área de contribuição) ele está sujeito aos erros e influências provenientes do modelo digital de terreno como, por exemplo, sua resolução espacial, que influencia na representação do escoamento (Kuo et al,1999), na média final do índice topográfico (Band et al, 1995 e Bruneau et al, 1995 apud Aryal et al, 2008), e na presença de áreas planas, que têm importância direta no resultado final do índice (Lopes e Santos, 2009). Feito o controle do modelo digital de terreno, o índice topográfico (IT) foi calculado de acordo com a equação dois com o uso do software *ArcGis* 9.3 (Esri, 2009). Para estabelecer a sua relação com as vazões mínimas medidas em campo foi calculado o coeficiente de variação para o IT de cada uma das sub-bacias.

5.4 Medição de vazões

As vazões das dez sub-bacias foram obtidas em duas campanhas de campo nas datas de oito de julho de 2010 sob uma vazão correspondente à permanência de Q38 na estação de Fragosos e na data de um de agosto de 2010 sob uma vazão correspondente à permanência de Q48 na estação citada acima. Para a medição das vazões nas sub-bacias selecionadas foi usado o Flowtracker desenvolvido pela Sontek (Figura 5). O Flowtracker é um medidor de vazão ADV® (*Acoustic Doppler Velocimeter*) usado principalmente para medições em águas rasas (a partir de 2cm de lamina d'água) com velocidades do fluxo que variam de 0,001 a 4m/s (Sontek, 2008). Apesar das campanhas de medição em campo terem sido realizadas em um período de estiagem nenhuma das medições se aproximou de uma permanência de 95%, o que mostra o quão difícil é sua obtenção em campo, porém isso não desabilita o trabalho já que uma vazão com permanência de 48% é uma vazão bem baixa para a região.

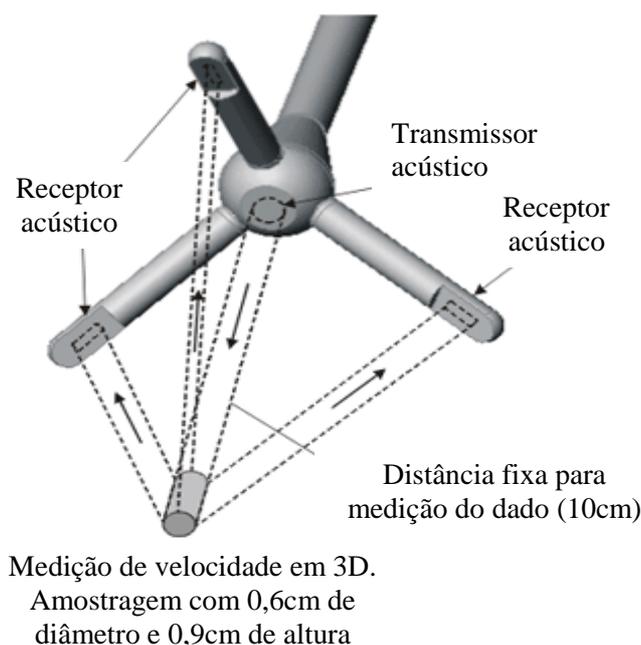


Figura 5: Sensor 3D do Flowtracker usado para medir as vazões nas campanhas de campo.

6 Resultados

6.1 Vazões medidas em campo

Os resultados das campanhas de campo de medição de vazão utilizando o Flowtracker constam na tabela 1. A primeira medição em campo realizada na data de oito de julho de 2010 foi sob uma vazão correspondente à permanência de Q38 na estação de Fragosos. A segunda medição foi realizada na data de um de agosto de 2010 sob uma vazão correspondente à permanência de Q48 na mesma estação citada acima.

Bacia	Area (km ²)	Seção (m)	Q38%(L/s.km ²)	Q48%(L/s.km ²)
2	15.26	4,20	15,26	14,42
3	19.09	5,10	19,09	13,62
17	24.65	4,40	24,65	12,17
21	9.59	2,80	9,59	9,38
31	31.29	4,30	31,29	11,82
33	8.78	3,34	8,78	7,97
40	43.35	8,20	43,35	7,61
44	15.59	3,60	15,59	7,06
45	31.99	4,50	31,99	7,50
46	16.32	3,00	16,32	5,51

Tabela 1: área de drenagem, seção e vazões medidas em campo nas duas campanhas realizadas no ano de 2010.

6.2 Índice topográfico

O índice topográfico calculado de acordo com a equação dois (Figura 6) pode ser visto abaixo. O degradê da legenda variando de vermelho para azul com valores de menor para maior, respectivamente, indica as áreas mais propícias a saturação e geração de escoamento superficial (em azul) que, como mostra a figura, estão nas porções mais planas do terreno e nos fundos de vale e coincidem com a drenagem da área.

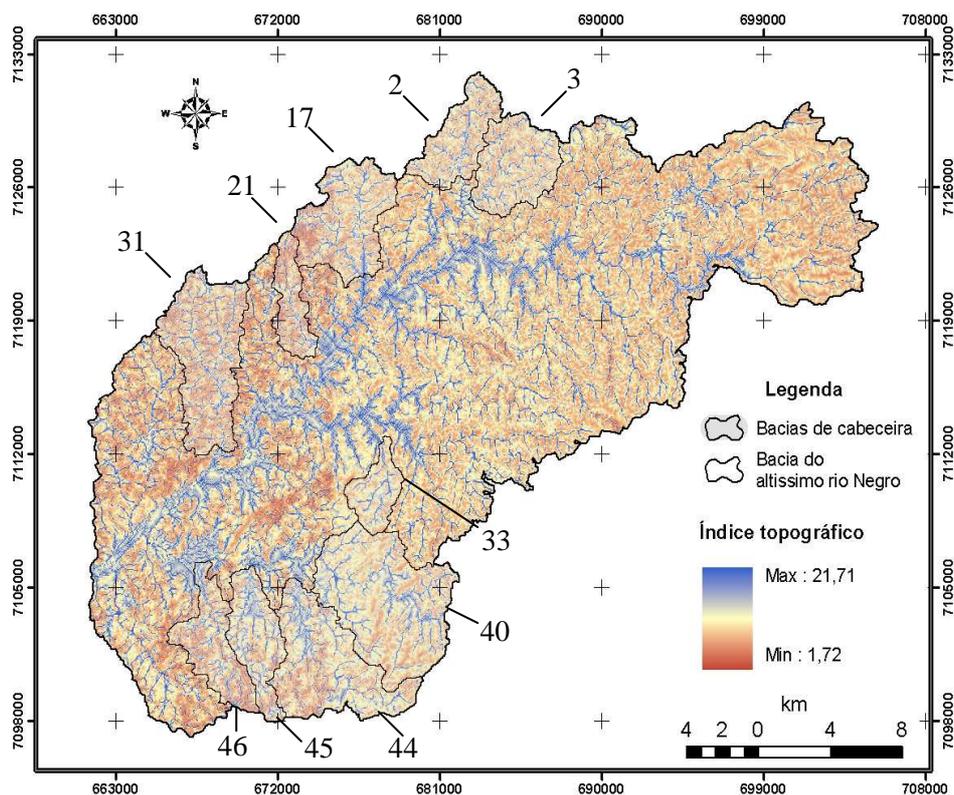


Figura 6: Índice topográfico para toda área de estudo com destaque para as sub-bacias monitoradas.

O índice topográfico foi trabalhado para cada sub-bacia, sua média e seu coeficiente de variação foram calculados no software Excel e podem ser vistos na tabela abaixo (Tabela 2).

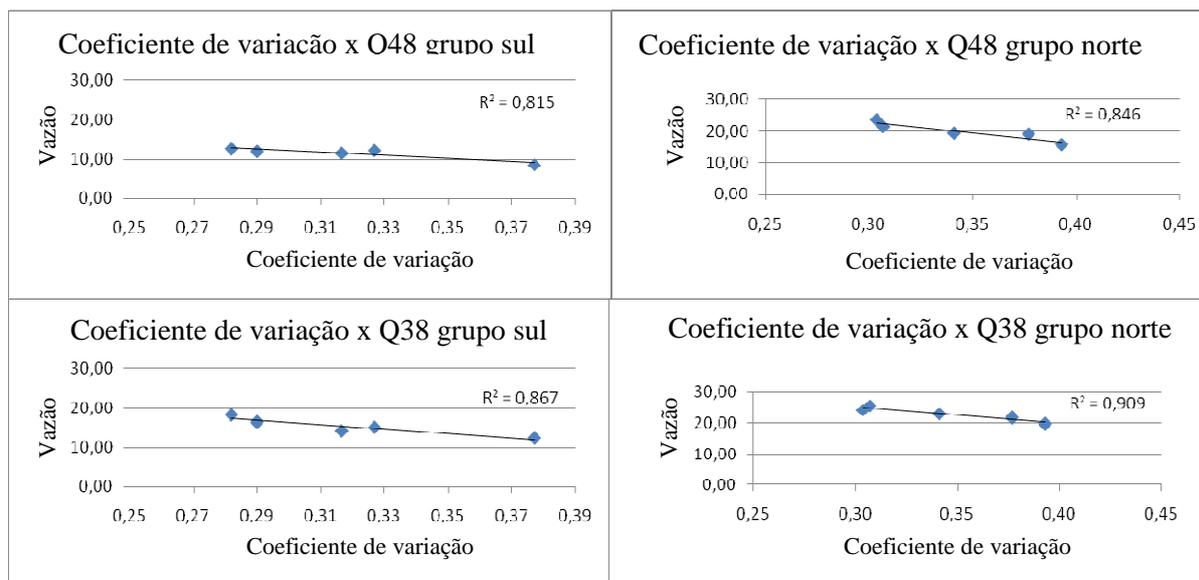
Bacia	IT médio	Coefficiente de variação	Bacia	IT médio	Coefficiente de variação
2	7,11	0,3	33	7,32	0,28
3	7,18	0,31	40	7,39	0,29
17	7,00	0,34	44	7,62	0,32
21	6,60	0,39	45	7,33	0,33
31	6,87	0,38	46	6,95	0,38

Tabela 2: Índice topográfico por sub-bacia e suas respectivas médias e coeficientes de variação

A relação entre as vazões medidas em campo e o coeficiente de variação do índice topográfico foi feita em gráficos de regressão no software Excel (Quadro 1).

O coeficiente de variação é uma medida de dispersão que é razão entre o desvio padrão e a média, ele mostra o peso do desvio padrão na média, ou seja o quanto os dados estão distantes da média. Foi escolhido esse coeficiente, pois ele ilustra a variação do índice topográfico da bacia que, conseqüentemente, reflete a topografia. Isso quer dizer que quanto maior for o valor do coeficiente de variação mais vai variar o valor do índice topográfico em torno de sua média e mais acidentado vai ser o terreno.

___ Coeficiente de variação x Q48 grupo sul ___ Coeficiente de variação x Q48 grupo norte)



Quadro 1: Comparação do coeficiente de variação com as vazões medidas.

A vazão mínima é controlada por inúmeros fatores como tipo de solo, profundidade, geologia, presença de banhados, etc. Quanto mais acidentado for o terreno, menos banhados, solos profundos e áreas propícias a acumulação de água vai existir. Portanto um valor maior do coeficiente de variação vai indicar um terreno mais acidentado e conseqüentemente menor vazão mínima.

7 Conclusão

Os bons resultados alcançados sugerem que mais pesquisas devem ser feitas analisando a relação do índice topográfico com vazões, não apenas com vazões mínimas, mas com outros valores de vazão medidos em campo, já que há uma dificuldade em se obter vazão mínima medida pela necessidade um período grande sem precipitação.

O coeficiente de variância se mostrou muito eficiente em relação às vazões medidas em campo independente de sua permanência, o que mostra que este índice deve ser mais explorado em estudos de simulações hidrológicas.

Apesar de o objetivo deste trabalho não ser a estimativa da vazão a partir do índice topográfico, mas a sua relação com a topografia, não existe nenhum meio de se prever ou relacionar vazão (não importando sua permanência) em áreas sem medições que leve em consideração a topografia local, sendo que o índice topográfico é um modo de se fazer essa relação, o que justifica este trabalho. O resultado satisfatório alcançado mostra que, apesar da complexidade que há na natureza, essa relação existe e que ainda pode ser explorada por outras pesquisas.

8 Referências

- ARYAL, S. K; BATES, B. C. Effects of catchment discretization on topographic index distributions. **Journal of Hydrology**, Vol 359, p. 150– 163, 2008.
- BEVEN, K. J. AND KIRKBY, M. J. A Physically Based Variable Contributing Area Model Of Basin Hydrology, **Hydrol. Sci. Bull.**, 24(1), p. 43-69, 1979
- ESRI. *ArcGis, Spatial Analyst, 3D Analyst*. versão 9.3.1. Environmental Systems Research Institute, 2009.
- LOPES, F. C. A., SANTOS, I. Dos. **Proposta metodológica para elaboração de modelos digitais de terreno hidrológicamente consistentes**. Anais do XIII SBGFA – Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa, MG, 2009
- LOPES, F. C. A. **Relação entre vazão mínima e índice topográfico na bacia do altíssimo rio Negro – Pr/Sc**. (Defesa de monografia em Geografia), Universidade Federal do Paraná, 2010
- MENDONÇA F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo. Oficina de textos, 2007.
- O’LOUGHLIN, E.M. Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties. **Journal of Hydrology**, Vol. 53, p. 229–246, 1981.
- RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Uso do índice topográfico como estimador da profundidade do lençol freático**. Anais do XI Simpósio Brasileiro Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, MG, 2003.
- SANTOS, I. et al. **Desenvolvimento De Modelo De Avaliação Da Qualidade De Água E Transporte De Sedimentos Para Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas**. DPHH e UTHG, LACTEC, Curitiba, 2005
- SANTOS, I. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares De mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais**. (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Paraná, 2010
- SMAKHTIN, V.U. **Low flow hydrology: a review**. Journal of Hydrology, Amsterdam Vol. 240, p. 147-186, 2001.
- SONTEK. **Flowtracker Handheld ADV Expanded Description**. Disponível em www.sontek.com. Sontek, 2008
- SOUZA, R. M. **Estimativa de vazões mínimas na bacia do altíssimo rio negro, região sul-brasileira, com aplicação do modelo swat**. (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Paraná, 2010.