

ÁREA ELEMENTAR REPRESENTATIVA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTÍSSIMO RIO NEGRO, REGIÃO SUL – BRASILEIRA

Rodrigo Marcos de Souza^{1}; Irani dos Santos²*

Resumo: Entende-se por efeito de escala as alterações nas respostas dos processos hidrológicos de acordo com a mudança da escala. A partir de uma determinada escala a variabilidade na resposta dos processos hidrológicos tende a diminuir. Esta escala é definida como Área Elementar Representativa (REA), da qual pode-se elaborar modelos para escalas superiores. O objetivo do trabalho é analisar a REA da bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro, Região Sul – Brasileira, com área de 788 km², através da aplicação do Modelo SWAT e de modelos de regressão para vazões médias e mínimas (q95). A bacia foi dividida em 47 sub-bacias, com áreas entre 5 e 788 km². Os resultados indicam que o tamanho da REA é de aproximadamente 150 km², sendo proporcional à 20% da área total da bacia. Foram encontradas 35 sub-bacias com área inferior e 12 sub-bacias com área superior à REA. Os modelos de regressão para a escala acima da REA mostraram-se adequados para estimativa das vazões médias.

Palavras-chave: Área elementar representativa; efeito de escala, modelo SWAT.

REPRESENTATIVE ELEMENTARY AREA OF THE UPPER NEGRO RIVER WATERSHED, SOUTHERN BRAZIL REGION

Abstract: Scaling effect is defined as changes in hydrological processes responses in accordance with the change of scale. From a certain spatial scale, the variability of hydrological processes response tends to decrease. This scale is defined as Representative Elementary Area (REA), which can develop models for superior scales. The aim of this work is to analyze the REA of the Upper Negro River watershed, Southern Brazil Region, with an area of 788km², through the application of SWAT Model and regression models for mean and low flows (q95). The watershed was divided into 47 sub-basins, with areas between 5 and 788 km². The results indicate that REA size is approximately 150km², proportional to approximately 20% of the total basin area. We found 35 sub-basins smaller and 12 sub-basins larger than REA. Regression models for scale above REA were adequate only for the mean flow.

Palavras-chave: Representative elementary area; scale effects; SWAT model.

¹ Bolsista CAPES – Doutorando em Geografia / UFPR. – rmarcos@ufpr.br

² Professor do Dpto. de Geografia e Coordenador do Laboratório de Hidrogeomorfologia / UFPR – irani@ufpr.br

INTRODUÇÃO

A escala refere-se à duração ou dimensão de um processo, observação ou modelo. Modelos e teorias elaborados em laboratório, em uma escala espacial pequena, são projetados para trabalhar em uma escala maior, como a da bacia hidrográfica. Por outro lado, modelos e dados da larga escala são utilizados para previsões em pequenas escalas. Estes procedimentos envolvem a transferência de informações através de diferentes escalas. Os problemas associados à transferência das informações entre as escalas são conhecidos como questões de escala (Blöschl e Sivapalan, 1995).

Woods (2004) considera que o conceito de escala é fundamental para a hidrologia, pois a partir dele pode-se desenvolver uma base teórica sólida para estudos hidrológicos, devido à escala fornecer uma forma de abordar às questões da heterogeneidade e da variabilidade espaço-temporal dos processos hidrológicos.

Uma alternativa para o estudo da heterogeneidade e da variabilidade em uma bacia hidrográfica é o conceito de Área Elementar Representativa (REA), proposto por Wood *et al.* (1988) baseado no conceito de Volume Elementar Representativo (Bear, 1962 apud Wood *et al.*, 1988). De acordo com o conceito, a partir de uma determinada escala espacial a variabilidade na resposta dos processos hidrológicos tende a diminuir, sendo esta escala definida como a REA e equacionada conforme proposto por Hassanizadeh e Gray (1979).

$$I < D < L \quad (1)$$

onde I é a escala onde os elementos apresentam grande variabilidade; L é escala na qual os elementos apresentam pouca variabilidade e D é a escala da REA.

Para Woods *et al.* (1995), conhecendo-se o tamanho da REA, a bacia pode ser desagregada em sub-bacias, sendo então possível encontrar uma adequada parametrização de forma menos trabalhosa. Assim, o conceito de REA fornece uma inspiração para diversas pesquisas, visto que evidencia a estreita ligação entre escala espacial e variabilidade. Estudos sobre o conceito de REA são mostrados na tabela 1.

Tabela 1 – Trabalhos publicados sobre a REA.

Autor	Área (km ²)	Variável	REA (km ²)
Wood <i>et al.</i> (1988)	17	Esc. superficial Infiltração	1
Wood <i>et al.</i> (1990)	11,7	Esc. superficial	1
Blöschl <i>et al.</i> (1995)	17	Vazão	1 a 2
Woods <i>et al.</i> (1995)	14	Vazão	0,5
Woods <i>et al.</i> (1995)	52	Índice de umidade	2
Temnerud <i>et al.</i> (2007)	78	Vazão e Carbono	5
Didzun e Uhlenbrook (2008)	258	Esc. superficial	2
Didzun e Uhlenbrook (2008)*	258	Esc. superficial	50
Asano e Uchida (2010)	4,27	Concentração de Sílica (SiO ₂) em vazões baixas	0,1

*Foram encontradas duas REA, sendo que a maior foi relacionada a grande variabilidade das características físicas e de uso da terra da bacia estudada.

Modelo SWAT

O *SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL* – SWAT é um modelo matemático de domínio público, desenvolvido a partir de 1996 nos EUA pelo *Agricultural Research Service* e pela *Texas A&M University*.

Conforme NEITSCH *et al.* (2002), o SWAT em seu desenvolvimento foi incorporando várias características contidas em modelos anteriores. O modelo tem por objetivo prever o efeito das ações de uso e manejo do solo sobre os recursos hídricos, produção de sedimentos, produção de nutrientes e pesticidas, sendo aplicado em pequenas e grandes bacias. A modelagem pode ser efetuada em intervalos de tempo sub-diários, diários, mensais e anuais. Para a simulação, necessita-se de dados espaciais e séries temporais de dados climatológicos e hidrológicos e permite a divisão da bacia em diversas sub-bacias.

De acordo com Gassman *et al.* (2007), o modelo SWAT vem sendo utilizado de forma corrente após o seu desenvolvimento. Aplicações foram realizadas por agências governamentais, principalmente na Europa e nos Estados Unidos. No Brasil, aplicações do Modelo SWAT podem ser encontradas em Machado (2002), Baldissera (2005), Santos *et al.* (2005), Santos *et al.* (2010), Schultz *et al.* (2010) e Souza (2011)

Neste contexto, o SWAT foi utilizado neste trabalho para simular séries de vazões diárias em 47 sub-bacias com áreas variando entre 5 e 788 km² (figura 1). Através dos resultados da modelagem hidrológica distribuída, foi analisada a REA na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro para vazões médias (q33) e mínimas (q95).

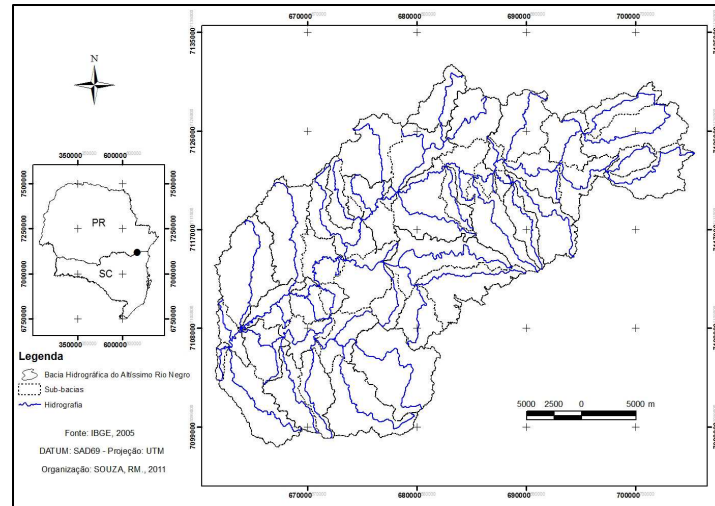


Figura 1 – Bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O clima na área de estudo é subtropical úmido. No que concerne a geologia da bacia, as rochas de origem ígnea são encontradas no extremo leste e ao norte e ao sul. As rochas metamórficas estão presentes mais ao centro-leste da bacia e as rochas sedimentares estão localizadas ao longo da planície aluvial do Rio Negro e em uma pequena parte no centro sul da bacia (CPRM, 2004).

O gradiente altimétrico da bacia é de 700 metros, com a altitude mínima de 820 e máxima de 1520 metros. As partes mais elevadas do relevo estão na porção nordeste e correspondem a Serra do Mar. A bacia possui, na maior parte de sua área, relevo suave ondulado. A declividade média da bacia é de 7% e as maiores declividades são encontradas na porção leste da bacia, correspondente a Serra do Mar.

O uso da terra foi determinado por imagem do satélite LandSat, sensor TM-5, com órbitas ponto 220/79, 220/78 e 221/78, datada de julho de 2007. Foram utilizadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 para a classificação automática. Os dados de solos são oriundos da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) considerando somente o primeiro nível categórico.

A tabela 2 mostra o percentual de ocorrência dos tipos de solo e dos usos da terra na bacia.

Tabela 2 – Percentual de ocorrência de tipos de solo e usos da terra na bacia

Tipo de Solo	(%)	Uso da terra	(%)
Cambissolo	44	Floresta Ombrófila Mista	45
Nitossolo	22	Pastagens / Campos	28
Argissolo	13	Agricultura	22
Neossolo	11	Pinus	5
Gleissolo	8		
Latossolo	2		

Dados climáticos e hidrológicos e procedimentos para calibração do Modelo SWAT

Foi utilizada a série de vazão diária do período de 01/01/1984 a 30/11/2010, da estação fluviométrica de Fragosos (65090000), localizada no município de Piên/PR. A evapotranspiração potencial foi calculada pelo método de Penman modificado (Santos, 2001) com os dados das estações meteorológicas Pinhas (PR) e Rio Negrinho (SC).

As séries de precipitação diária do período de 01/01/1984 a 30/11/2010, são oriundas das estações pluviométricas com código ANA (Agência Nacional de Águas) 02549008 (vossoroca), 02549003 (rio da várzea), 02649018 (fragosos) e 02649057 (campo alegre).

Os procedimentos adotados para a calibração do modelo SWAT constam em Souza (2011).

Para avaliação dos resultados da simulação, além da inspeção visual dos hidrogramas simulado e observado, utilizou-se o log do coeficiente de Nash - Sutcliffe (1970) (logCOE), o qual valoriza ajustes em vazões mais baixas. O coeficiente varia de $-\infty$ a 1, sendo que 1 representa o ajuste ideal e valores acima de 0,70 podem ser considerados satisfatórios. O log do coeficiente é definido por:

$$NASH_{\log} = 1 - \frac{\sum (\text{Log } Q_{sim} - \text{Log } Q_{obs})^2}{\sum (\text{Log } Q_{obs} - \overline{\text{Log } Q_{obs}})^2} \quad (2)$$

onde Q_{sim} é a vazão simulada, Q_{obs} é a vazão observada e $\overline{\text{Log } Q_{obs}}$ é a média da vazão observada.

RESULTADOS

A figura 2 mostra o hidrograma comparativo das vazões observadas e simuladas para a bacia do Altíssimo Rio Negro. As vazões médias e mínimas foram bem representadas na simulação,

resultando em um logCOE de 0,76. A tabela 2 mostra uma comparação entre as vazões observadas e simuladas.

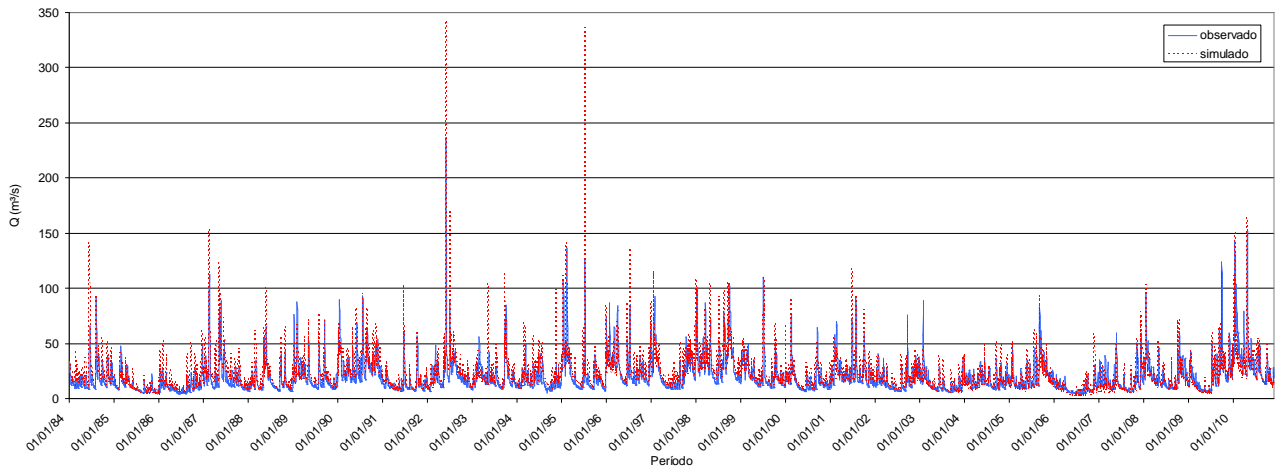


Figura 2 – Hidrograma das vazões observadas e simuladas na bacia do Altíssimo Rio Negro

Tabela 2 – Comparativo entre vazões observadas e simuladas na bacia do Altíssimo Rio Negro

Vazão (L/s.km ²)	Observada	Simulada
Média (q33)	25,70	25,48
Mínima (q95)	8,63	8,01

A figura 3 mostra a variabilidade das vazões simuladas de acordo com a área de drenagem das sub-bacias e a identificação do tamanho da REA na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio negro.

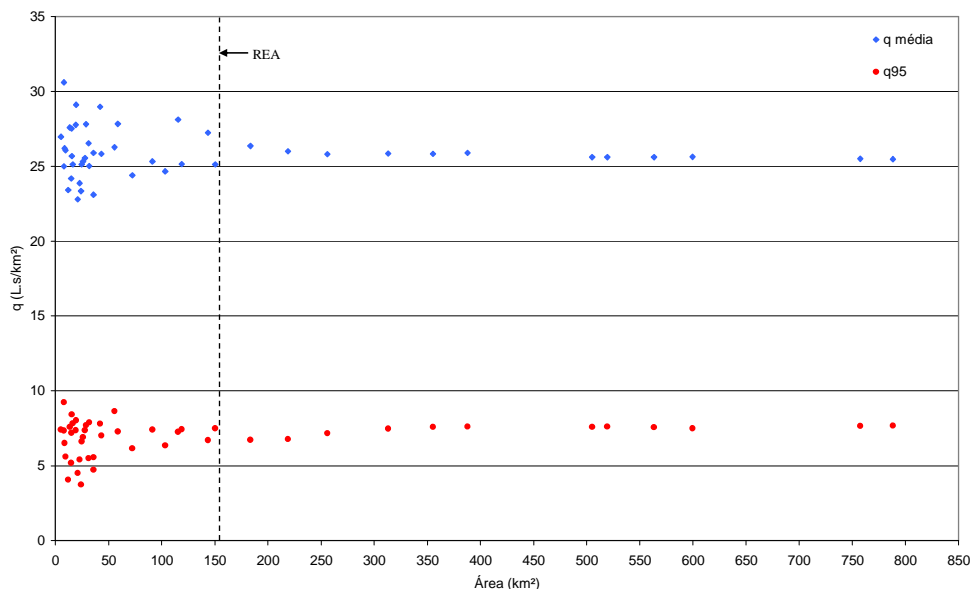


Figura 3 – Variabilidade de vazões em função da área de drenagem e indicação da REA.

Para as vazões simuladas na bacia do Altíssimo Rio Negro pode-se considerar que o tamanho da REA está em torno de 150 km². Na escala inferior à REA têm-se 35 sub-bacias, com áreas de drenagem de 5km² a 150 km², onde nota-se grande variabilidade das vazões simuladas para as permanências avaliadas. Na escala superior à REA têm-se 12 sub-bacias, com área variando de 183 km² a 788 km², onde o comportamento das vazões é mais uniforme. Proporcionalmente, a REA tem aproximadamente 20% da área total da bacia.

Conforme Cushman (1984) a escala da REA deve ser constante na bacia, independente da variável avaliada. Considerando-se as permanências de vazões avaliadas a REA encontrada para a bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro satisfaz esta condição.

Segundo Beven *et al.* (1988), em uma escala acima da REA é possível simplificar a representação e modelagem dos processos hidrológicos, auxiliando assim na obtenção de parâmetros para modelagem e também para regionalização hidrológica. Considerando esta premissa, foram determinadas equações de regressão linear com a área de drenagem das 12 sub-bacias com área superior a REA para as vazões médias e mínimas. Assim, foram obtidas vazões previstas médias e mínimas pelo modelo de regressão linear a partir das áreas das sub-bacias e comparadas com as vazões simuladas pelo modelo SWAT (figura 4).

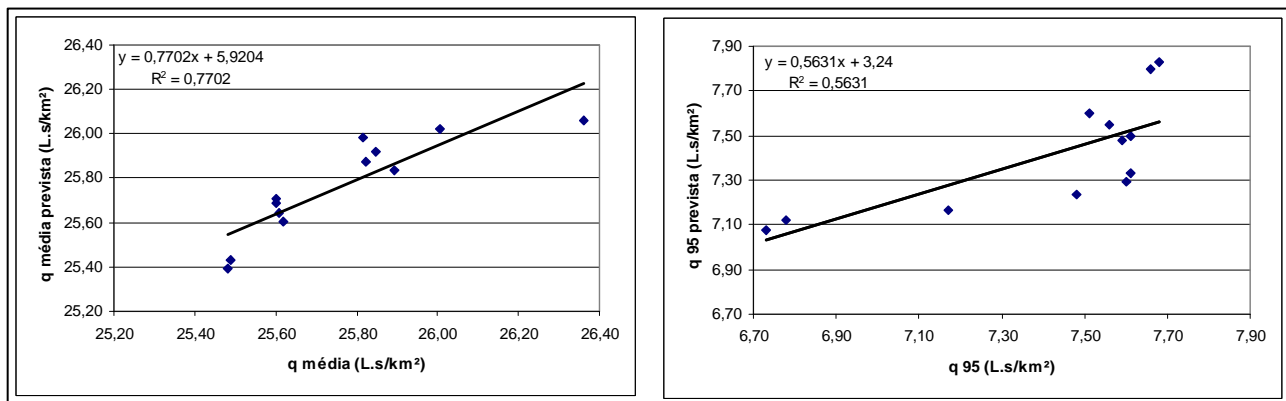


Figura 4 – Modelos de regressão com área de drenagem para vazões médias e mínimas (q95)

Os resultados obtidos pelos modelos de regressão indicam que as vazões médias apresentam uma variação espacial mais uniforme, sendo adequada a regionalização entre bacias com área de drenagem superior a REA. Com relação às vazões mínimas os resultados indicam que, mesmo para bacias com área de drenagem superior a REA, existe ainda uma variabilidade espacial importante que pode diminuir a confiabilidade dos métodos de regionalização.

Destaca-se que apesar deste trabalho ter avaliado vazões simuladas, os resultados indicam que a avaliação da REA pode ser uma ferramenta importante nos processos de regionalização e transferência espacial de informações hidrológicas. Por outro lado, a confirmação da existência da REA reforça a importância do estudo do efeito de escala em hidrologia e a necessidade de monitoramento em pequenas bacias hidrográficas.

CONCLUSÕES

- Conforme indicação da literatura foi identificada a existência da REA na bacia do Altíssimo Rio Negro, com aproximadamente 150 km² ou 20% da área total da bacia.
- Os resultados indicam que para bacias com áreas superiores a REA, as vazões médias apresentam boa correlação com a área de drenagem.
- As vazões mínimas apresentam importante variabilidade espacial mesmo para bacias com áreas de drenagem superiores à REA, o que pode diminuir a confiabilidade dos métodos de regionalização.
- Destaca-se que apesar deste trabalho ter avaliado vazões simuladas e não medidas, os resultados indicam que a avaliação da REA pode ser uma ferramenta importante nos processos de regionalização e transferência espacial de informações hidrológicas.

- A confirmação da existência da REA reforça a importância dos estudos do efeito de escala em hidrologia e a necessidade de monitoramento em pequenas bacias hidrográficas

REFERÊNCIAS

ASANO, Y.; UCHIDA, T. (2010). Is the representative elementary area defined by a simple mixing of variable small streams in headwater catchments? *Hydrological Processes*, vol 24, pg 666 - 671.

BALDISSERA, G. C. (2005). Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (soil and water assessment tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT.. Dissertação (Mestrado em física e meio ambiente) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 148p.

BLÖSCH, G.; GRAYSON, R.B.; SIVAPALAN, M. (1995). On the representative elementary area (REA) concept and its utility for distributed rainfall-runoff modeling. *Hydrological Processes*, vol 09, pg. 313-330.

BLÖSCH, G.; SIVAPALAN, M. (1995). Scale issues in hydrological modeling: a review. *Hydrological Processes*, vol 09, pg 251 - 290.

BEVEN, K.; WOOD, E, F. SIVAPALAN, M. (1988). On hydrological heterogeneity – catchment morphology and catchment response. *Journal of Hydrology*, nº 100, pg 353 – 375.

CUSHMAN, J.H; 1984. Fourier representation of multiphase averaging theory. *Advances Water Resources* 07, pg. 126 – 131.

DIDSZUN, J.; UHLENBROOK, S. (2008). Scaling of dominant runoff generation processes: Nested catchments approach using multiple tracers. *Water Resources Research*, vol. 44, pg. 01- 15.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (1979). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: Reunião técnica de levantamento de solos, 10, 1979. Rio de Janeiro, 83p.

GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GREEN, C. H.; ARNOLD, J. G. (2008). The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. Center for agricultural and rural development, Iowa State University. Disponível em <http://www.card.iastate.edu/publications/DBS/PDFFiles/07wp443.pdf>.

HAZZANIZADEH, M; GRAY, W.G; 1979. General averaging equations for multi-phase systems: 1 Averaging procedure. *Advances Water Resources*, 2. 131 – 144.

MACHADO, R. E. (2002). Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. 152 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

NASH J.E., SUTCLIFFE J.E. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 10, p. 282-290.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R; KING, K.W. (2002). Soil and water assessment tool: Theoretical documentation, vs. 2000. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas.

SANTOS, I. (2001). Modelagem geobiohidrológica como ferramenta no planejamento ambiental: estudo da bacia hidrográfica do rio pequeno, São José dos Pinhais – Pr. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 93 p.

SANTOS, I., ANDRIOLO, M.V., GIBERTONI, R.C., PEREIRA FILHO, D.L.B., KAVISKI, E., MÜLLER, I.I., ROHN, M.C., NISHIDA, E., SILVA, R.C. (2005). Desenvolvimento de modelo de avaliação da qualidade de água e transporte de sedimentos para pequenas e médias centrais elétricas: modelagem da erosão e transporte de sedimentos. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC). Curitiba – PR.

SANTOS, I., ANDRIOLO, M.V., GIBERTONI, R.C., KOBIYAMA, M. (2010). Use of the SWAT model to evaluate the impact of different land use scenarios on discharge and sediment transport in the Apucarantina River watershed, southern Brazil. In: BANASIK, K., HOROWITCZ, A. J., OWENS, P.N., STONE, M., WALLING, D.E. (org). Sediment dynamics for a changing future. 1^a ed. Wallingford: IAHS press, v. 1, pg. 322 – 328.

SCHULTZ, G.B., SOUZA, R.M., SANTOS, I. (2010) Modelagem hidrológica distribuída e de base física: uma abordagem geossistêmica. Anais do VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Recife/PE, set. 2010. pg 01 – 09.

SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO – CPRM. (2004). Carta geológica do Brasil ao milionésimo. Disponível em www.cprm.gov.br

SOUZA, R.M. (2011). Estimativa de vazões mínimas na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro, Região Sul – Brasileira, com aplicação do Modelo SWAT. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 124p. Disponível em “http://www.lhg.ufpr.br/arquivos/dissertacao/Dissertacao_Rodrigo_2011.pdf”

TEMNERUD, J.; SEIBERT, J.; JANSSON, M.; BISHOP, K. (2007). Spatial variation in discharge and concentrations of organic carbon in a catchment network of boreal streams in northern Sweden. Journal of Hydrology, n° 342, pg. 72 – 87.

WOOD, E.F.; SIVAPALAN, M.; BEVEN, K.; BAND. L. (1988). Effects of spatial variability and scale with implications to hydrologic modeling. Journal of Hydrology, n° 102, pg. 29 – 47.

WOOD, E.F.; SIVAPALAN, M.; BEVEN, K. (1990). Similarity and scale in catchment response. Reviews of Geophysics, vol 28, pg. 01 – 18.

WOODS, R. (2004). The impact of spatial scale on spatial variability in hydrologic response: experiments and ideas. Scales in Hydrology and Water Management. IAHS, n° 87, pg 153 –167.

WOODS, R.; SIVAPALAN, M.; DUNCAN, M. (1995). Investigating the representative elementary area concept: an approach based on field data. Hydrological Processes, n° 9, pg 291 – 312.