

**Modelagem hidrológica da dinâmica das áreas saturadas na bacia hidrográfica  
do rio Corredeiras, SC**

Marcelo Ng Wei Ban Hung <sup>1</sup>

Cesar Augusto Crovador Siefert <sup>2</sup>

Irani dos Santos <sup>3</sup>

Universidade Federal do Paraná – UFPR/LHG

<sup>1</sup> marcelo.hung@ufpr.br

<sup>2</sup> cesarsiefert@gmail.com

<sup>3</sup> irani@ufpr.br

**Resumo**

O escoamento superficial por saturação acontece normalmente em regiões úmidas com relevos suaves onde a água infiltra no solo e altera a posição do nível freático, deixando todo o perfil vertical do solo saturado. As características topográficas, a precipitação e a umidade inicial do solo influenciam diretamente na expansão e na contração das áreas saturadas e na rede de drenagem da bacia hidrográfica. O objetivo do trabalho é delimitar as áreas saturadas da bacia hidrográfica do rio Corredeiras utilizando o TOPMODEL. Este modelo simula o processo precipitação-vazão e possui capacidade de representar a dinâmica das áreas saturadas via o processo de área variável de afluência aplicado a formação de escoamento superficial por saturação. Para calibração, foram utilizados dados horários de precipitação, evapotranspiração potencial, vazão, características de propagação e o índice topográfico. A calibração do modelo resultou em um COE de 0,721, demonstrando que o modelo é adequado para simular a dinâmica espacial e temporal das áreas saturadas. A área mínima saturada foi de 0,9%, enquanto a área saturada máxima foi de 10% e com permanência de apenas 5% do tempo total simulado. As áreas saturadas mínimas coincidiram com os rios perenes enquanto as áreas máximas formaram uma rede de drenagem intermitente que contribui para os canais da bacia hidrográfica.

**Palavras-chave:** Áreas Saturadas, Área Variável de Afluência, TOPMODEL.

**Abstract**

Superficial runoff by saturation occurs in wet regions with smooth relief where water infiltrates and alters the position of the phreatic level making all the vertical profile of soil saturated. Topographical characteristics, precipitation and initial moisture soil conditions have a direct influence on expansion and contraction of saturated areas and in drainage network of watersheds. This paper aims to define the saturated areas of the Corredeiras river watershed using TOPMODEL. This model simulates the rainfall-runoff process and has the capacity of represent saturated areas dynamics by defining the process of variable source area applied to formation of superficial runoff by saturation. TOPMODEL calibration were made using hourly monitored data of rainfall, potential evapotranspiration, runoff, propagation characteristics and the topographic index. Model calibration resulted in a 0,721 COE showing that the model is adequate to simulate spatial and temporal dynamic of the saturated areas. Minimum saturated area was 0,9%, while the maximum saturated area was 10% with recurrence of only 5% of the total period simulation. The minimum saturated areas coincided with perennial rivers while the maximum areas formed intermittent drainage network, contributing to watershed channels.

**Key-words:** Saturated Areas, Variable Source Area, TOPMODEL.

## 1. Introdução

Na década de 60, alguns autores propuseram o conceito de área variável de afluência (AVA) (HEWLETT & HIBBERT, 1963; 1967). De acordo com Siefert (2012), a AVA é um processo frequente em áreas onde o escoamento superficial por saturação é dominante, levando em consideração que as áreas saturadas possuem dinâmica espacial e temporal, além de atuarem como fontes primárias do escoamento superficial. Portanto, o escoamento por excesso de saturação é importante em bacias de tamanho médio, onde a proporção de áreas planas ao longo dos rios é maior, pois geralmente o gradiente topográfico médio decresce se a área da bacia aumentar (SANTOS, 2009; SANTOS *et al.*, 2013).

Neste sentido, o escoamento superficial por saturação é produzido pela precipitação direta sobre as áreas saturadas e pela contribuição subsuperficial resultante do afloramento da superfície freática (escoamento de retorno) (SANTOS, 2001). Além disso, este processo depende das características topográficas, da precipitação e da umidade inicial do solo, que influenciam diretamente na expansão e na contração da área saturada e na rede de drenagem da bacia hidrográfica.

Segundo Zakia (1998), o conceito de AVA se aplica em bacias hidrográficas com grande cobertura vegetal, onde o escoamento direto não é produzido ao longo de toda a superfície da bacia, ou seja, é influenciado por uma área de origem dinâmica onde sofre expansões e contrações, que geralmente ocupam uma pequena fração (em média 10%) da área total da bacia, dependendo de fatores como altura e intensidade da precipitação que atinge a região. O escoamento superficial por saturação acontece normalmente em regiões úmidas com vegetação densa e em determinadas condições topográficas como em declives côncavos com fundos de vale planos, que favorecem o posicionamento do nível freático mais próximo da superfície do solo (HORNBERGER *et al.*, 1998; SANTOS, 2001).

O TOPMODEL (*Topography-based hydrological model*) é um modelo hidrológico conceitual, determinístico e de base física que leva em conta o processo de AVA aplicado à formação de escoamento superficial por saturação. O modelo é capaz de simular a dinâmica da água através das características do solo e relevo de uma determinada bacia hidrográfica e fornece como resultado, além da vazão simulada

do rio, a distribuição espacial da umidade no sistema, ou seja, as áreas saturadas e áreas secas ao longo do tempo.

Este modelo utiliza a topografia como variável distribuída, enquanto os demais dados (precipitação, evapotranspiração e vazão) são concentrados para toda a bacia. A dinâmica e distribuição da bacia é simulada através de dois principais parâmetros: o índice topográfico (IT) e o déficit de armazenamento que demonstra a quantidade de água disponível no solo para cada pixel.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi aplicar o TOPMODEL para simular e compreender a dinâmica espacial e temporal das áreas saturadas na bacia hidrográfica do rio Corredeiras, localizada no Planalto Norte Catarinense, Santa Catarina.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do rio Corredeiras (Figura 1) com área total de 117 km<sup>2</sup>, localiza-se no município de Rio Negrinho, região norte do estado de Santa Catarina. Apresenta cobertura vegetal de pastagem, reflorestamento, mata nativa e outros usos de menor proporção. Segundo Köppen o clima é classificado como *Cfb*, portanto clima subtropical mesotérmico úmido. Os solos predominantes na região são Cambissolos que se constituem como solos minerais, não hidromórficos, pouco desenvolvidos com horizonte B incipiente muito heterogêneo, tanto na questão das cores, espessura, textura, atividade química da fração argila e saturação por bases (EMBRAPA, 2013).

### **2.2 Dados de entrada e calibração do Modelo TOPMODEL**

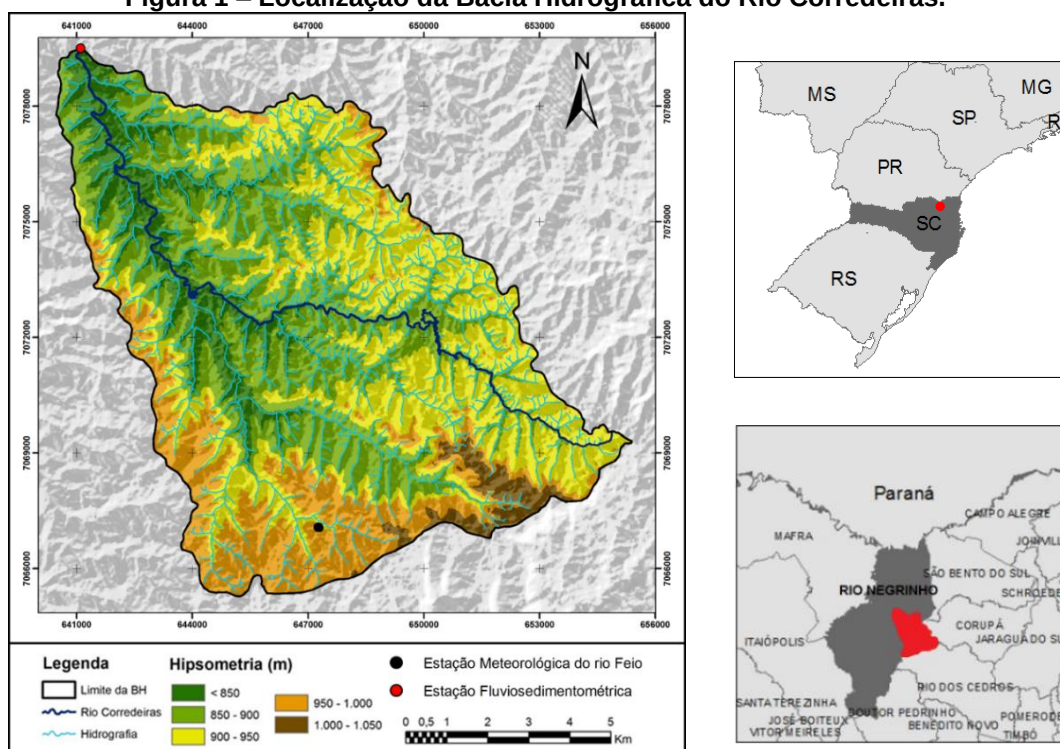
Foram utilizados dados horários de precipitação, evapotranspiração potencial e vazão entre 22/08/2012 a 22/11/2012. As vazões foram obtidas pela estação fluviosedimentométrica do rio Corredeiras, localizada no exutório da bacia, enquanto que os dados de precipitação e meteorológicos foram obtidos pela estação meteorológica do rio Feio, ambas operadas pelo Laboratório de Hidrogeomorfologia (LHG/UFPR) (Figura 1).

A evapotranspiração total diária foi calculada pelo método de Penman Modificado (DOORENBOS & PRUIT, 1992) e posteriormente distribuída para a escala horária. O modelo também utiliza as características de propagação e o IT da bacia hidrográfica, que é um parâmetro distribuído espacialmente obtido através das

características geomorfológicas (Modelo digital do terreno) utilizando o software ArcGIS 9.3.

Para a simulação da dinâmica da água, foi utilizado o TOPMODEL versão 97.01, que possui cinco parâmetros que exigem calibração com valores médios para a bacia, sendo eles:  $m$  a função da transmissividade exponencial (m);  $\ln(T_0)$  o logaritmo natural de transmissividade do solo saturado ( $m^2/h$ );  $Sr_{max}$  o armazenamento máximo de água na zona das raízes (m);  $Sr_{init}$  o déficit de armazenamento inicial na zona das raízes (m) e  $ChVel$  a velocidade de propagação do escoamento (m/h).

**Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Corredeiras.**



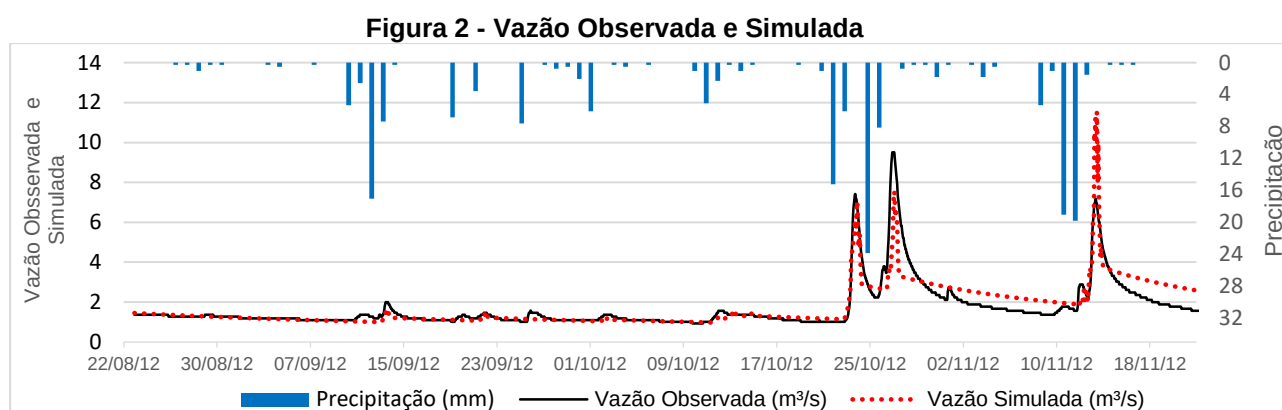
### 3. Resultados e Discussões

A calibração dos parâmetros (Tabela 1) foi feita de maneira semiautomática com o objetivo de maximizar o coeficiente de eficiência (COE) medidos pelo índice de Nash e Sutcliffe (NASH & SUTCLIFFE, 1970) que varia de  $-\infty$  a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor será a qualidade das simulações.

**Tabela 1 – Período simulado e parâmetros calibrados no TOPMODEL.**

| Período             | $m$  | $\ln(T_0)$ | $Sr_{max}$ | $Sr_{init}$ | $ChVel$ | COE   |
|---------------------|------|------------|------------|-------------|---------|-------|
| 22/08/12 a 22/11/12 | 0,05 | 1,65       | 0,05       | 0,0001      | 1300    | 0,721 |

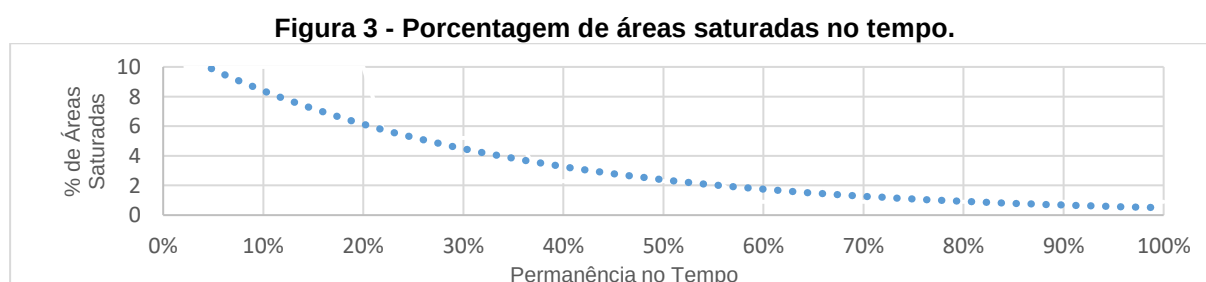
A vazão simulada mostrou-se coerente à vazão observada em relação aos picos do hidrograma simulado (Figura 2), obtendo um COE de 0,721. Valores de COE igual ou acima de 0,7 indicam alta eficiência no ajuste do modelo (MINE e CLARKE, 1996). Porém, nas recessões o modelo apresentou limitação para reproduzir os dados observados. Este problema pode estar relacionado à ocorrência de processos hidrológicos não considerados nas hipóteses simplificadas pelo TOPMODEL (BEVEN, 2002).



A simulação do TOPMODEL resultou na dinâmica das áreas saturadas durante o período considerado. Observou-se uma variação da porcentagem de áreas saturadas entre 0,9% a 10% da área total da bacia hidrográfica (Figura 4).

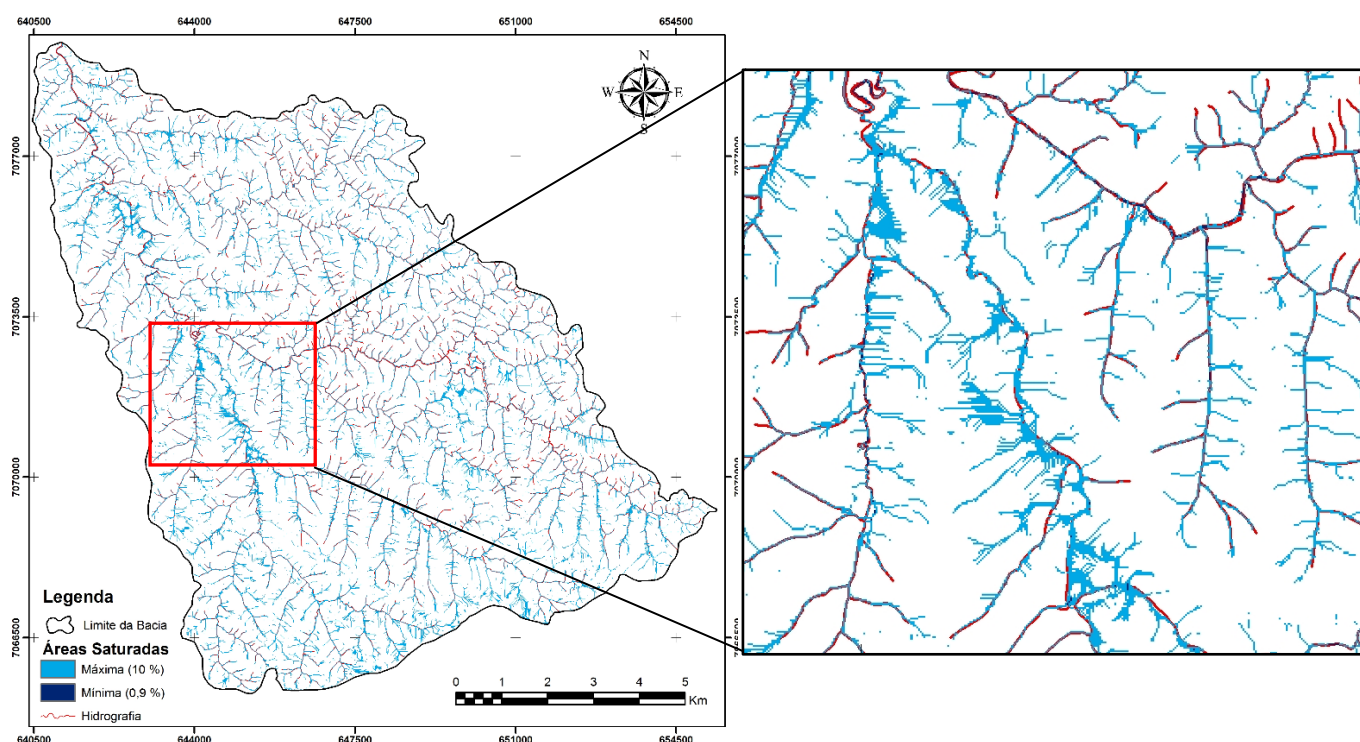
A Figura 3 apresenta a curva de permanência das áreas saturadas. Observa-se que a área mínima saturada (0,9%) permaneceu por 100% do tempo, enquanto 5,2% de área saturada permaneceu por 25% do tempo e a área saturada máxima que ocupou 10% da superfície da bacia permaneceu por apenas 5% do tempo.

As áreas saturadas mínimas correspondem aos valores de IT maiores que 16,84, ou seja, apenas 0,9% da superfície total da bacia fica sempre saturada, sendo áreas contíguas aos rios perenes da bacia hidrográfica. Por outro lado, as áreas máximas com valores de IT maiores que 8,01 formaram uma rede de drenagem intermitente localizadas em áreas preferencialmente planas, com grande áreas de contribuição de escoamento e comprimentos de rampa a montante, contribuindo para os canais da bacia hidrográfica (Figura 4).





**Figura 4 – Áreas saturadas mínimas e máximas.**



As áreas saturadas dependem de fatores como a quantidade e intensidade da precipitação que atinge a região e geralmente ocupam em média 10% da área total da bacia hidrográfica (ZAKIA, 1998), condizendo com os resultados obtidos nesta modelagem, uma vez que o valor de saturação máxima da bacia do rio Corredeiras chegou à 10% da área total.

Além disso, um aspecto ambientalmente importante das áreas saturadas e da AVA é que elas apresentam uma biodiversidade distinta com fauna e flora adaptadas às condições de variação da saturação do ambiente, e deste modo, essas áreas possuem grande importância ambiental e devem ser preservadas (SANTOS & KOBAYAMA, 2008), pois fornecem uma base científica para a definição e localização das áreas de preservação dentro de bacias hidrográficas (SIEFERT, 2012).

#### **4. Conclusões**

A calibração do modelo resultou em um COE de 0,721, demonstrando que o TOPMODEL é um modelo adequado para simular a dinâmica espacial das áreas saturadas ao longo de tempo, pois a vazão simulada ficou bem próxima da vazão observada. As áreas saturadas variaram de 0,9% a 10% da área total da bacia hidrográfica, valores estes condizentes com os valores apontados pela literatura para pequenas bacias hidrográficas localizadas em região subtropical.

As áreas saturadas mínimas coincidiram com os rios perenes enquanto as áreas máximas formaram uma rede de drenagem intermitente que contribui para os canais da bacia hidrográfica. O TOPMODEL respondeu bem às condições ambientais da área de estudo, confirmando a aplicabilidade deste modelo em regiões de clima úmido e relevo suave. Neste sentido, este tipo de simulação mostra potencial de utilização como ferramenta para o planejamento ambiental, pois permite orientar ações antrópicas sobre o meio físico com base no estudo dos processos naturais.

### Referências

Beven, K. Towards an alternative blueprint for a physically based digitally simulated hydrologic response modeling system. **Hydrological Process**, v. 16, p. 189-206, 2002.

Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. **Crop water requirements**. Roma: FAO, 144 p. 1992.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: DF, 3ª edição revista e ampliada. Embrapa Solos, 2013.

Hewlett, J. D.; Hibbert, A. R. **Moisture and energy conditions within a sloping mass during drainage**. J. Geophys. Res., n. 4, p. 1081-1087, 1963.

Hewlett, J. D.; Hibbert, A.R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. **International Symposium of Forest Hydrology**. Pergamon Press, Oxford. p. 275-290, 1967.

Hornberger, G. M.; Raffensperger, J. P.; Wiberg, P. L.; Eshleman, K. N. **Elements of Physical Hydrology**. J. Hopkins, p. 302, 1998.

Mine, M. R. M.; Clarke, T. R. O uso do TOPMODEL em condições brasileiras: resultado preliminar. **Revista Brasileira de Recursos hídricos**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 89-106, 1996.

Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v.10, p.282-290, 1970.

Santos, I. **Modelagem geobiohidrológica como ferramenta no planejamento ambiental: estudo da bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais – PR**. Curitiba: Curso de Pós-graduação em Agronomia, 108 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

Santos, I.; KOBAYAMA, M. Aplicação do TOPMODEL para determinação de áreas saturadas da bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais, PR, Brasil. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 3, n. 2, 2008.

Santos, I. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos**: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica. 167 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

Santos, I.; SIEFERT, C.A.C.; LOPES, F.C.A.; IENSEN, I.R.R. Avaliação do efeito de escala na distribuição espacial das áreas variáveis de afluência na bacia do rio Apucarantina, região sul-brasileira. In: **VI Congresso Nacional de Geomorfologia**, 2013, Coimbra (Portugal). Atas/Proceedings.

Siefert, C. A. C. **Delimitação de áreas hidrologicamente sensíveis por meio de modelagem de processos e da relação solo-vegetação em ambientes hidrológicos**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Zakia, M. J. B. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental**: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas. 98 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.