

## RESPOSTA HIDROLÓGICA DE UMA PARCELA DO SEMIÁRIDO

*Antônio Marozzi Righetto<sup>1</sup> & Lúcio Flávio Ferreira Moreira<sup>2</sup>*

**Resumo** – Estudos experimentais em parcelas de áreas de drenagem são interessantes para se caracterizar o comportamento hidrológico e a quantificação de parâmetros relevantes para a modelagem determinística da transformação chuva-vazão. As parcelas têm sido muito empregadas na engenharia agrícola e pelos hidrólogos em bacias experimentais. Reconhecendo que uma parcela em condições naturais é uma representação de um ecossistema o presente estudo faz parte de um projeto amplo de interação de processos físicos, biológicos e antrópicos com vistas à quantificação da dinâmica da bacia e seus efeitos nos processos de transformação da chuva em vazão. O presente estudo faz uma breve descrição da dinâmica de uma parcela experimental do semiárido e busca a representação quantitativa da geração de deflúvios através da modelagem cinemática e de análise de sensibilidade de parâmetros. Os resultados quando comparados com dados observados permitem a determinação de alguns parâmetros e realçam a complexidade do sistema na resposta pelo hidrograma.

**Abstract** – Hydrologic behavior characterization and relevant parameter values determination in drainage area by using plot experimental studies are important for modeling rainfall-runoff transformation. Plot-scales are broadly used in agricultural engineering and hydrology in experimental watershed, mainly in studies of erosion and sediment transport. Small terrain area in natural conditions is a representation of an ecosystem. This study focus on an integrated project which considers the integration of physical, biological and anthropic processes in order to estimate the catchment dynamics and its effects on rainfall-runoff transformation process. This study makes a brief description of the dynamics of a Brazilian semiarid experimental plot and aims to obtain a quantitative overland flow representation by using kinematic modeling and sensitivity analysis of the main parameters. When compared to observed data, hydrologic parameters are estimated and show the system complexity on hydrograph behavior.

**Palavras-chave:** Semi-árido; parcela; chuva-vazão.

- (1) Engenheiro civil, professor e doutor do PPGES-LARHISA-CT-UFRN; Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus da UFRN, CEP 59072-970, Natal, RN. [righetto@ct.ufrn.br](mailto:righetto@ct.ufrn.br);
- (2) Engenheiro civil, professor e doutor do PpgES-LARHISA-CT-UFRN; Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus da UFRN, CEP 59072-970, Natal, RN. [lucio@ct.ufrn.br](mailto:lucio@ct.ufrn.br).

## **1. INTRODUÇÃO**

A modelagem da transformação da chuva em vazão continua sendo um problema atual, em face da grande complexidade dos fenômenos intervenientes e das incertezas decorrentes das simplificações das formulações sempre presentes em qualquer tipo de sistema, seja de pequena, média ou grande escala.

A abordagem determinística é sempre vislumbrada como sendo o método lógico e com potencial de sucesso quando se divide o domínio em células cada vez de menores dimensões em vista das facilidades cada vez maiores de se manipular dados e de se processar modelos sofisticados. Apesar da robustez computacional, tanto no levantamento de base de dados quanto a do processamento de modelos numéricos, o levantamento experimental continua sendo fundamental para o aprimoramento das premissas e de observações cada vez mais refinadas.

Nesse contexto, o estudo em parcelas experimentais, considerando-se a dinâmica dos processos físicos, biológicos e antrópicos devem encaminhar as pesquisas hidrológicas a uma abordagem multidisciplinar, considerando-se as relações fenomenológicas e as abordagens qualitativas, quantitativas, matemáticas e holísticas.

Nesse sentido, o presente trabalho esboça os esforços que vem sendo realizados para se caracterizar dinamicamente uma parcela da região semiárida, considerando-se os aspectos básicos hidrológicos e as intervenções dinâmicas provocadas pelo nascimento e morte da fauna e flora que interagindo no solo, provoca grandes transformações nos principais componentes do ciclo hidrológico.

Vem sendo realizadas observações sistemáticas das alterações dinâmicas do micro relevo da parcela experimental, causadas ao longo do ano hidrológico do semiárido, com as influências de materiais depositados orgânicos e inorgânicos e as alterações estruturais do solo pela vegetação e microrganismos.

Neste trabalho é apresentado em linhas gerais descrições dessa dinâmica da parcela e a tentativa de modelar a transformação chuva-vazão, considerando apenas os parâmetros básicos hidrológicos.

## **2. COMPLEXIDADE DAS VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS**

Os estudos em parcelas experimentais apresentam a vantagem de permitir o monitoramento e a observação de uma série de fatores envolvendo os mecanismos de fluxo, suas interações com os processos de erosão, além da dinâmica biológica da fauna e flora em função do tempo como resposta aos processos climáticos existentes na região (Wainwright 2T al., 2000; Michaelides 2T al., 2009).

Importante ressaltar que o estudo dos processos hidrológicos numa parcela normalmente envolve certa simplificação de um sistema complexo e altamente variável no tempo e no espaço (Wainwright 2T al., 2000; Abrahams 2T al., 1998; Parsons 2T al., 1998). Com efeito, o estudo em parcela tem a vantagem de permitir a observação detalhada dos processos numa escala pequena, propiciando uma descrição dos aspectos mais relevantes de uma região, ou bacia hidrográfica.

Os estudos em parcelas são especialmente úteis em gerar informação experimental usadas na formulação de modelos conceituais destinados à simulação dos processos hidrológicos e

sedimentológicos. No entanto, a variabilidade intrínseca nos processos, a sua complexidade natural, bem como o seu caráter dinâmico e contínuo, em geral impede que o modelo reúna capacidade suficiente para poder representar tais processos de forma satisfatória (Nearing, 2004).

Um estudo experimental envolvendo 15 pequenas parcelas e 54 ensaios em condições de simulação de chuva foi realizado na região sudoeste dos EUA. Observou-se que a densidade de certas espécies de vegetação arbustiva e a sua relação com as características do solo na região influenciavam fortemente o escoamento e a erosão, num processo de retroalimentação (Wainwright 3T al., 2000; Michaelides 3T al., 2009).

O monitoramento hidrológico numa parcela experimental no semiárido Nordeste revelou que os mecanismos de geração do escoamento envolviam complexidades locais inerentes a esses processos. Ressalta-se que o comportamento hidráulico do solo era influenciado pela presença de organismos artrópodes presentes no solo além da densidade das espécies anuais. As condições climáticas e o efeito sazonal na distribuição da precipitação propiciavam condições extremas de estresse hídrico e de chuva abundante durante um curto período. A presença da água se mostrou o principal fator de controle dos processos hidrológicos, biológicos e sedimentológicos. Nesse sentido, a cobertura vegetal na parcela reflete a dinâmica dos processos biológicos, com o florescimento de espécies anuais cujo ciclo (germinação, crescimento e morte) está vinculado à disponibilidade da água (Moreira 3T al., 2009).

Ensaio experimentais em campo destinados a medir a capacidade de infiltração do solo demonstraram que o comportamento hidráulico do solo é altamente influenciado pela vegetação. As raízes das plantas propiciam o aumento da porosidade do solo, aumentando a capacidade de armazenamento. Aliado a isso, a presença de insetos artrópodes em grande quantidade sugere o consumo de água pela fauna e flora presentes no solo e substrato. Nesse sentido, os parâmetros ajustados à função de Horton demonstraram a heterogeneidade das propriedades hidráulicas do solo. Além disso, os parâmetros obtidos durante o período chuvoso mostraram-se, de um modo geral, mais altos do que os obtidos no período seco. Esses fatores explicam o fato de que durante o período chuvoso os coeficientes de escoamento observados na parcela variavam em torno de 0,05, independentes das características do evento chuvoso.

Ao longo do período chuvoso, a dinâmica biológica se refletia na vegetação e na fauna presente no solo. A disponibilidade de água produzia um aumento na cobertura vegetal, com a germinação de espécies anuais, que gradualmente iam ocupando a área da parcela. Paralelamente, o aumento na oferta de substrato influenciou a multiplicação de insetos artrópodes no solo de diversas espécies (Cammeraat, 2002; Cerda 2002).

O monitoramento hidrológico demonstrou a existência de uma relação complexa e não linear entre os fatores climáticos, biológicos e os processos de escoamento na parcela. Nesse sentido, o caráter dinâmico dos fatores biológicos ao longo da estação chuvosa, aliado a heterogeneidade das características hidráulicas do solo, sugere que a análise dos processos hidrológicos em pequena escala deve considerar tal variabilidade espaço-temporal em diversas escalas (Kirkby, 1987; Zhang 3T al., 1999). Essa complexidade traz sérias implicações na modelagem matemática. Nesse ponto, poderíamos fazer a seguinte pergunta: até que ponto os modelos matemáticos são capazes de representar tal complexidade dos fatores naturais com uma variabilidade espaço-temporal presente nos processos?

Os mecanismos que controlam a geração do escoamento na região semiárida dependem de fatores que variam no tempo e espaço. Pelas condições climáticas, o regime de vazões nos rios e córregos da região apresenta uma alta variação no regime de escoamento. Durante o período seco, a ausência de alimentação subterrânea deixa os córregos secos, ao passo que no período chuvoso a ocorrência de tormentas de alta intensidade e concentradas faz com que esses riachos apresentem hidrogramas com características peculiares (Peebles 4T al., 1981). De um modo geral, os hidrogramas gerados por essas tormentas apresentam resposta quase instantânea, com ramos de ascensão rápidos e uma recessão com duração mais longa que constitui quase a totalidade do hidrograma (Shannon 4T al., 2002). Tal fenômeno pode ser comparado ao deslocamento de uma onda de cheia provocado pela abertura repentina de uma comporta. No semiárido, esses tipos de hidrogramas em geral são caracterizados pela curta duração. De fato, a infiltração da água no solo constitui um dos principais fatores que controlam o mecanismo de geração do escoamento no semiárido (Thornes, 1977). Os solos pouco profundos na área da parcela conferem uma capacidade de armazenamento de água limitada. Tal configuração sugere que nessas condições o escoamento está vinculado à condição de saturação da camada de solo, um mecanismo do tipo Hortoniano (Bull e Kirkby, 2002). As características morfológicas do relevo da região da parcela podem ser classificadas, de acordo com Dietrich e Dunne (1993), como um plano vertente levemente inclinado. Além disso, a mineralogia do solo na região, próxima do divisor de águas da bacia, permite que a capacidade de infiltração do solo se mantenha alta mesmo após a ocorrência de eventos chuvosos. De fato, as boas condições de drenagem do solo e o caráter concentrado dos eventos de chuva conferem condições de umidade antecedente baixa. Essa condição faz com que o solo recupere rapidamente a capacidade de armazenamento e o excesso de água seja liberado via escoamento subsuperficial ou acumulado em bolsões subterrâneos.

Num trabalho pioneiro utilizando parcelas experimentais no semi-árido nordestino, pesquisadores da UFPB (Campus de Campina Grande), juntamente com a SUDENE e a ORSTOM (França), implantaram na região do município de Sumé, Cariri Paraibano, uma estrutura de monitoramento do escoamento superficial, dos processos erosivos e da intensidade da chuva. Foram instaladas 9 parcelas experimentais submetidas a diferentes condições de uso da terra: sem cobertura vegetal, cobertura com vegetação nativa (caatinga), cultivada com palma (morro abaixo e em contorno) e desmatada com solo revolvido. As parcelas tinham 100 m<sup>2</sup> de área, com 4,55 m de largura e 22,5 m de comprimento. Os dados obtidos com o monitoramento foram usados no desenvolvimento de estudos visando avaliar a influência da cobertura vegetal e manejo do solo na produção de sedimentos.

### **3. MODELAGEM MATEMÁTICA**

A modelagem da transformação chuva-vazão em uma parcela de pequenas dimensões parece ser uma tarefa fácil, tendo em vista a uniformidade espacial da chuva. No entanto, a pequena escala temporal e a variabilidade topográfica sempre presente e a dos parâmetros hidrológicos da parcela, fazem com que a modelagem esteja sujeita a muitas incertezas e, portanto, de difícil realização. Fora isso, a formulação do modelo sempre pode ser complexa se se deseja considerar todos os aspectos da movimentação da água; porém, dentro da ótica hidrológica, a simplicidade é impositiva,

já que se vislumbra a aplicação de um modelo que possa ser utilizado inúmeras vezes dentro de uma bacia hidrográfica de grande extensão.

Nossa motivação hidrológica ao iniciar a modelagem uma parcela em condições dinâmicas é a de se conseguir um modelo simples que capture com confiança as magnitudes principais do hidrograma resultante de um evento de chuva, ou seja, que simule adequadamente, o tempo de base, o tempo de pico, a vazão de pico e a forma do hidrograma, nos períodos de ascensão e de recessão.

O equacionamento básico do modelo consiste em se avaliar a precipitação efetiva para se proceder ao cálculo do deflúvio superficial. Em geral, considera-se alguma lei de infiltração com estimativa dos parâmetros e a partir de hietograma, estima-se o hietograma efetivo a ser considerado no equacionamento de deflúvio superficial da parcela. Evidentemente, a interceptação pela vegetação, a detenção superficial nas irregularidades do terreno são aspectos importantes, mas que dificilmente são satisfatoriamente estimados na modelagem da transformação chuva-vazão na parcela. Por simplicidade, é comum incorporar na infiltração essas retenções de água pluvial.

O método cinemático é um procedimento conveniente para se estimar os deflúvios superficiais em parcelas, encostas e cursos d'água de uma bacia principalmente quando se deseja utilizá-lo para bacias hidrográficas de porte, subdivididas em células correspondentes a parcelas.. O equacionamento é relativamente simples e pode ser aplicado a um número grande de células ou parcelas que compõem uma bacia hidrográfica. Tem sido o método determinístico de maior utilização nos modelos hidrológicos chuva-vazão.

Trata-se da aplicação da equação da continuidade e de uma equação de resistência ao escoamento, usualmente, a equação de Chezy ou de Manning. Na forma diferencial, o equacionamento é expresso por:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = i_{ef} \quad (1)$$

$$Q = \alpha y^\beta \quad (2)$$

A parcela é discretizada em células de largura igual ao da parcela,  $B$ , e comprimento  $\Delta x$  na direção da declividade do terreno,  $S_o$ , suficientemente pequeno para que a discretização da equação diferencial seja válida; obtém-se, assim, um conjunto de equações algébricas que resolvidas sucessivamente ao longo do tempo  $t$  e do domínio  $x$ , fornecem os valores de  $y(x,t)$  e  $Q(x,t)$ .

Tomando-se  $N$  trechos de comprimento  $\Delta x$ , ter-se-á  $N+1$  seções transversais, sendo a primeira a de extremidade de montante, com vazão nula como condição de contorno; para cada  $\Delta x$  pode-se considerar valores apropriados para os parâmetros de infiltração, assim como para a declividade do terreno. Utilizando diferenças finitas, tem-se o seguinte sistema de equações:

$$0,5 \frac{Q_{i+1}^{t+1} + Q_{i+1}^t - Q_i^{t+1} - Q_i^t}{\Delta x} + 0,5 \frac{y_{i+1}^{t+1} + y_{i+1}^t - y_i^{t+1} - y_i^t}{\Delta t} = i_{ef}^{t+1} \quad (3)$$

A equação correspondente ao trecho compreendido entre as seções  $i$  e  $i+1$  permite o cálculo de  $y_{i+1}^{t+1}$ , já que os demais termos são conhecidos e  $Q_{i+1}^{t+1} = \alpha_{i+1} \cdot y_{i+1}^{t+1}$ ; pela equação de Manning,  $\alpha_{i+1} = \frac{\sqrt{S_{o_{i+1}}}}{n} B$ , sendo  $n$  o coeficiente de rugosidade de Manning,  $S_{o_{i+1}}$  a declividade do terreno

no trecho entre  $i$  e  $i+1$ , e  $B$  a largura da parcela. A notação  $t+1$  representa o número de intervalos de tempo a partir do instante inicial, tomando-se como  $\Delta t$  o intervalo de tempo de discretização temporal. E  $i_{ef}^{t,t+1}$  é a intensidade de chuva no intervalo de tempo correspondente a  $t+1$ .

### 3.1 A parcela experimental e o evento observado

A parcela experimental localiza-se em região semiárida do Seridó, RN, conforme mostra a Figura 1. A parcela tem 5m de largura e 50m de comprimento ao longo da linha de maior declive do terreno. Pelo levantamento topográfico, tem-se uma declividade média longitudinal igual a 2,6%. Para a simulação numérica da transformação chuva-deflúvio considerou-se as declividades em células com  $B=5m$  de largura e  $\Delta x=2,5m$  de comprimento.

A fim de verificar a sensibilidade dos principais parâmetros na resposta da parcela, tomou-se um evento observado cujo hietograma e hidrograma são apresentados na Figura 2.

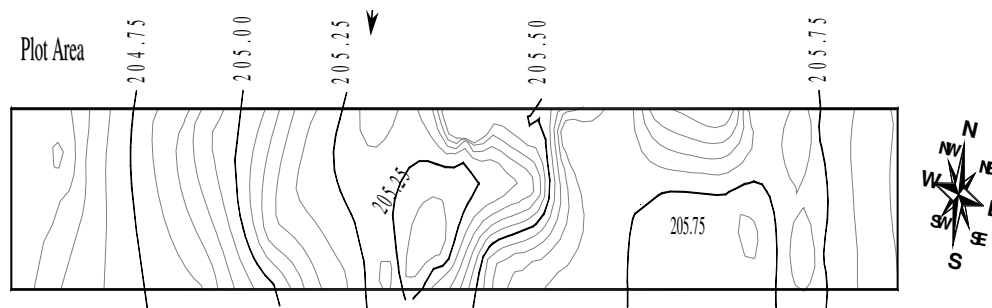


Figura 1 – Topografia da parcela experimental

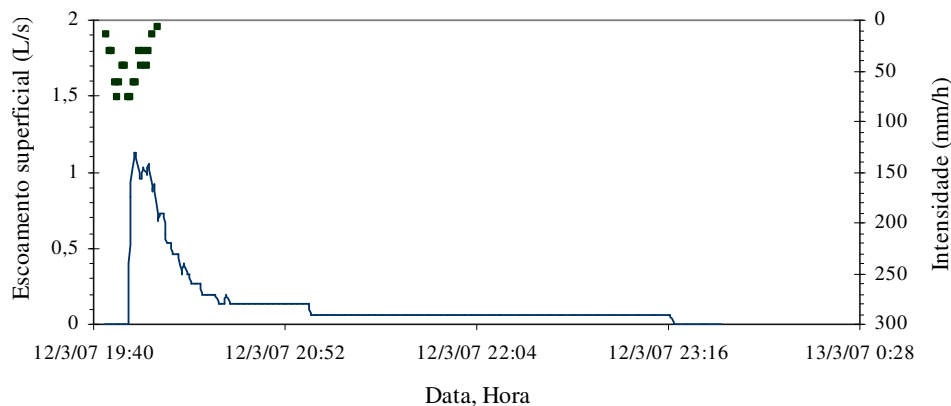


Figura 2 – Hietograma e hidrograma observados durante um evento chuvoso

### 3.2 Sensibilidade de parâmetros

A Figura 3 mostra a sensibilidade do coeficiente de rugosidade de Manning. Reduz a vazão com o aumento de seu valor assim com aumenta o tempo de base do hidrograma. As variações são significativas e um bom ajuste no valor de  $n$  é essencial para a modelagem. Pelo hidrograma observado, tem-se que o valor de  $n$  da parcela está em torno de 0,100.

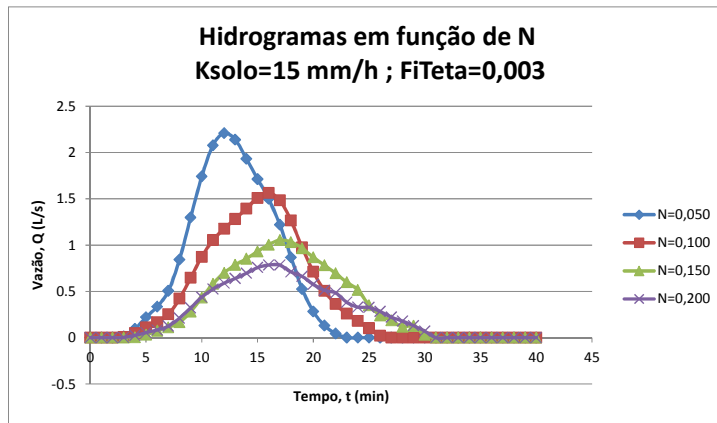


Figura 3 – Influência do coeficiente de Manning na geração de deflúvio

A Figura 4 mostra a influência do termo  $\psi\Delta\theta$  da frente de umidade da equação de infiltração de Green-Ampt. As variações também são significativas pela maior ou menor absorção de água pelo solo. Nesta figura, apresentou-se também o hidrograma observado, mostrando que  $\psi\Delta\theta \approx 0,002$ . A equação de Green-Ampt utilizada é expressa por:

$$f = K_{sol} \left( 1 + \frac{\varphi\Delta\theta}{F} \right) \quad (4)$$

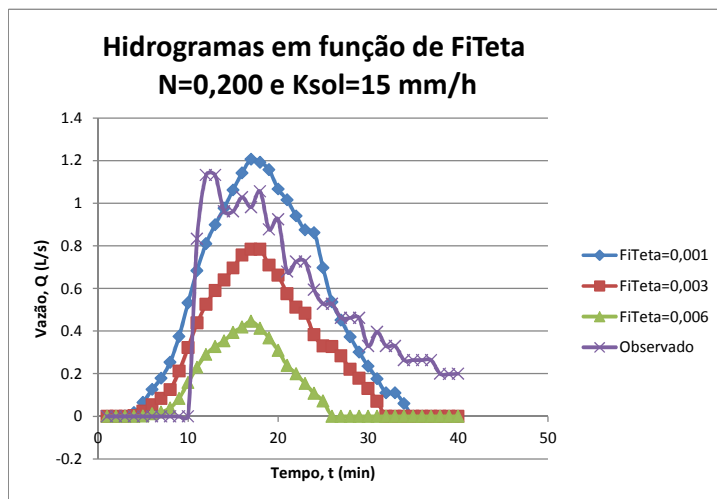


Figura 4 – Sensibilidade da absorção de água no solo,  $\varphi\Delta\theta$

Quanto à condutividade saturada, há grande sensibilidade de resposta em função de seu valor. Para a parcela experimental verifica-se pelo hidrograma observado que  $K_{sol} \approx 10$  mm/h, Figura 4.

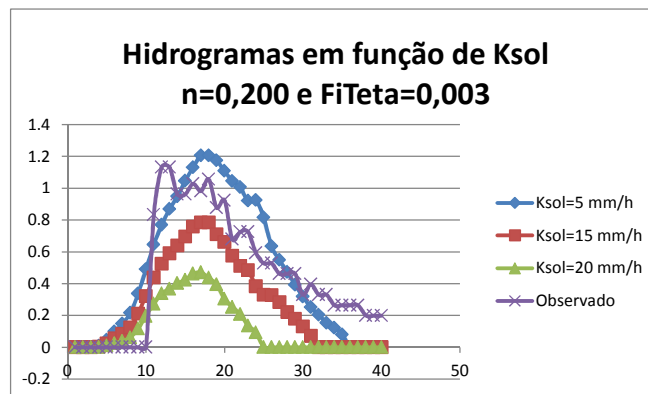


Figura 4 – Hidrogramas gerados em função de  $K_{sol}$  e o hidrograma observado

A consideração da variabilidade da declividade longitudinal dentro da parcela repercute em resposta mais rápida na fase ascensional do hidrograma. No entanto, a recessão também é mais rápida que o observado. A combinação dessa variação de declividade com os demais parâmetros pode levar a uma modelagem mais ajustada aos valores observados.

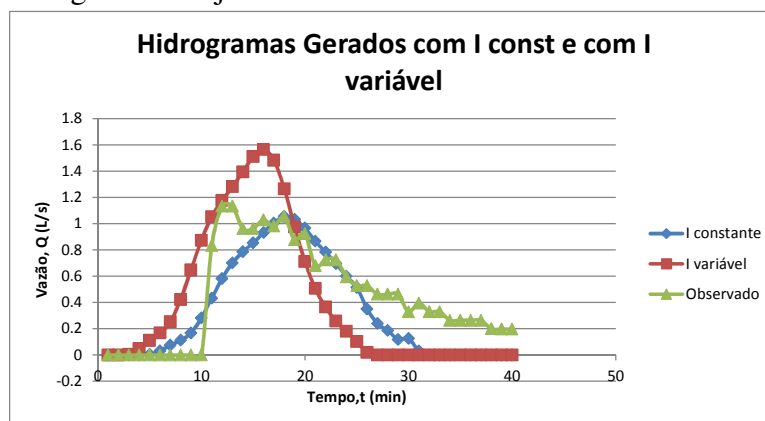


Figura 5 – Hidrogramas gerados em função da declividade

Por fim, considerou-se a possibilidade de concentração de fluxo através do escoamento em sulcos do micro relevo da parcela. O resultado foi satisfatório, pois se conseguiu um ótimo ajuste na fase ascensional assim como no período de esvaziamento da parcela.

No entanto, o tempo de atraso a partir do início da chuva para a ocorrência de deflúvio não foi devidamente simulado, pois, o equacionamento cinemático supõe resposta instantânea tão logo se estabeleça uma lâmina líquida. Daí a necessidade de se considerar a detenção superficial e a alta capacidade de infiltração no período inicial da precipitação. Uma vez preenchido esses armazenamentos, a chuva efetiva se aproxima da chuva real, com coeficiente de runoff bastante elevado.

A figura 6 é resultado da simulação em que se considera uma retenção inicial de água de 9 mm com intensidade efetiva igual à intensidade pluviométrica. O hidrograma simulado 1 apresentado na Figura 6 corresponde à utilização da declividade média da parcela. E o hidrograma simulado 2 com variações contínuas dessa declividade.

Enquanto o simulado 1 mantém a vazão de pico e curva de retenção próximas do observado, o simulado 2 tem ótimo ajuste na fase ascensional, porém pobre na fase de recessão.



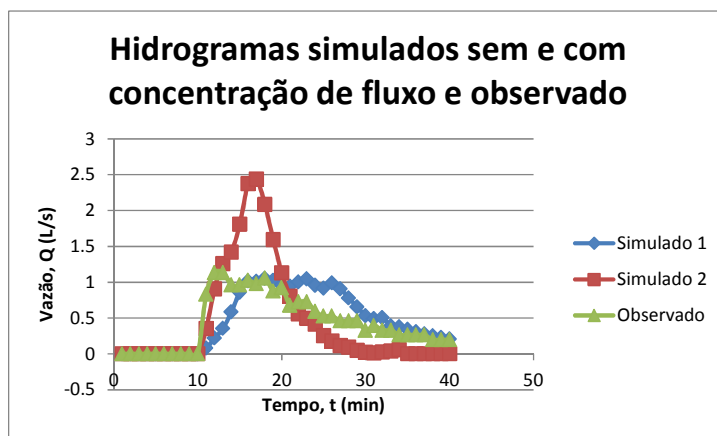


Figura 6 – Hidrogramas gerados com retenção inicial e com declividade constante e variável

A Figura 7 também mostra essas características do hidrograma de cheia para o caso de resposta da Bacia Experimental de Serra Negra do Norte, onde se insere a parcela em análise.

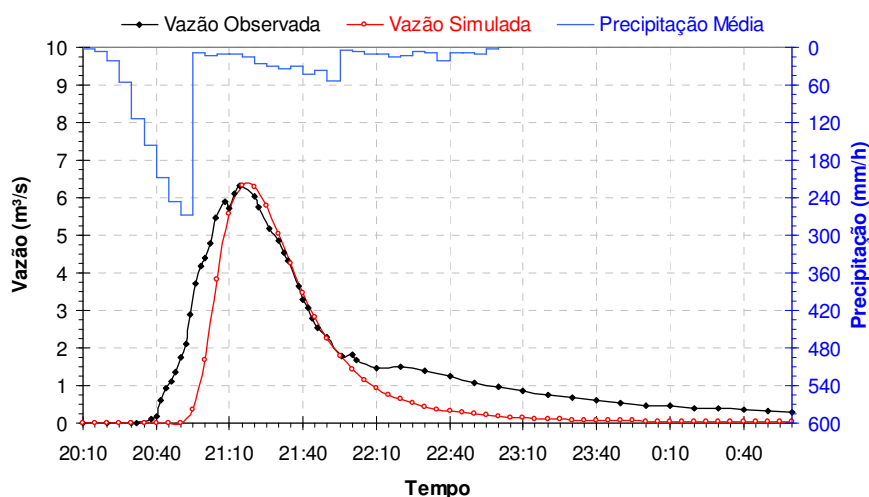


Figura 7 – Hidrograma de cheia observado e simulado na bacia experimental

#### 4. CONCLUSÕES

A resposta hidrológica de uma parcela em condições naturais do semiárido é de natureza complexa. Não somente os valores dos parâmetros hidrológicos usuais são extremamente sensíveis na modelagem, mas a própria dinâmica de transformações da parcela consubstanciada pela fauna e flora que são altamente influenciadas pelo ciclo climático atua de forma dramática nas respostas hidrológicas.

Nesta primeira etapa de modelagem da parcela, considerou-se tão somente o processo de transformação chuva-vazão com modelo cinemático. Apesar da simplificação inerente do método, as respostas são satisfatórias em função do ajuste dos principais parâmetros do modelo tomando-se como base as observações realizadas. Em suma, prognósticos apenas baseados em informações de

literatura dificilmente serão realísticos para a adequada quantificação dos deflúvios e transporte de sedimentos.

Na simulação do deflúvio superficial na parcela, há bem definida sequência de armazenamento e escoamento superficial. Inicialmente, a precipitação é totalmente absorvida pelo solo raso, caracterizando-se nessa fase, um coeficiente de deflúvio nulo. Em seguida, preenchido até a saturação da camada de solo, o escoamento superficial se inicia, com coeficiente de deflúvio próximo do valor máximo, ou seja, a precipitação é praticamente toda convertida em deflúvio. No entanto, a ascensão rápida e recessão lenta tem vinculação com o grau de retenção da camada superficial em nível de detenção superficial.

Como continuação deste trabalho, será realizada a modelagem bidimensional utilizando-se o método difusivo ou de onda dinâmica para, então, inferir a hidrologia dinâmica, considerando-se os processos biológicos e sedimentológicos que ocorrem na parcela experimental e da dinâmica de retenção e carreamento de material orgânico e inorgânico.

## 5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi objeto de financiamento do CNPq/MCT, pelo qual os autores agradecem.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BULL, L.J. & KIRKBY, M.J. (2002). “ *Channel heads and channel extension* ” , In: *Dryland rivers: hydrology and geomorphology of semi-arid channels*, John Wiley & Sons, New York.

DIETRICH, W.E. & DUNNE, T. (1993). “*The channel head*”, in: *Channel network hydrology*, John Wiley & Sons, New York.

THORNES, J.B. (1977). “*Channel changes in ephemeral streams: observations, problems and models*”, In: *River channel changes*, John Wiley, New York.

PEEBLES, W.R., SMITH, R.E. & YAKOWITZ, S.J. (1981). “*A leaky reservoir model for ephemeral channel flow recession*”, *Water Resources Research*, 173, pp. 628-636.

KIRKBY, M.J. (1987). “*Models in physical geography*”, in: *Horizons in Physical Geography*, pp. 47-61, MacMilan, Basingstoke.

ZHANG, X., DRAKE, N.A., WAINWRIGHT, J. & MULLIGAN, M. (1999). “*Comparison of slope estimates from low resolution DEMs: scaling issues and a fractal method for their solution*”, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 24, pp. 763-779.

CAMMERAAT, L.H. (2002) “*A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale*”, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 27, pp. 1201-1222.

CERDA, A. (2002) “*The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soils in eastern Spain*”, *Journal of Arid Environments*, Vol. 52, pp. 319-337.

MOREIRA, L.F.F., SILVA, F.O., RIGHETTO, A.M., MEDEIROS, V.M.A., GUIMARÃES JUNIOR, J.A., MATTOS, A. & ARAGÃO, R. (2009). “*Sediment yield in a northeastern Brazil semi-arid experimental plot, In: IAHS Publication, Hydrology in Mountain Regions: Observations, Processes and Dynamics*”, *Proceedings of the Perugia Symposium*, Vol. 326, pp. 167-173, Wallingford.

MICHAELIDES, K., LISTER, D., WAINWRIGHT, J., & PARSONS, A.J. (2009). “*Vegetation controls on small-scale runoff and erosion dynamics in a degrading dryland environment*”, *Hydrological Processes*, Vol. 23, pp. 1617-1630.

WAINWRIGHT, J., PARSONS, A.J. & ABRAHAMS, A.D. (2000). “*Plot-scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: case studies of Arizona and New Mexico*”, *Hydrological Processes*, Vol. 14, pp. 2921-2943.

NEARING, M.A. (2004). *Soil Erosion and Conservation, In: Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*, ISBN 100-471-49618-9, John Wiley & Sons, New York.

ABRAHAMS, A.D., LI G, KRISHNAM C. & ATKINSON, J.F. (1998). “*Predicting sediment transport by interrill overland flow on rough surfaces*”, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 23, pp. 481-492.

SHANNON, J., RICHARDSON, R. & THORNES, J. (2002). “*Modelling event-based fluxes in ephemeral streams*”, in: *Dryland rivers: hydrology and geomorphology of semi-arid channels*, John Wiley & Sons, New York.

PARSONS, A.J., STROMBERG, S.G.L. & GREENER, M. (1998). “*Sediment-transport competence of rain-impacted interrill overland flow, Earth Surface Processes and Landforms*”, Vol. 23, pp. 365-375.