

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA KINEROS2-AGWA NUMA BACIA HIDROGRÁFICA NO ESTADO DE SERGIPE

Ricardo de Aragão¹, Marcus Aurélio Soares Cruz²

Eduardo Enéas de Figueiredo³, Vajapeyam S. Srinivasan⁴,

RESUMO --- A modelagem hidrossedimentológica distribuída quando aplicada a bacias hidrográficas fornece, dentre outras informações volume escoado sobre a superfície e a produção de sedimentos para um evento ou uma sequência de eventos de precipitação. Entretanto, sua aplicação depende de dados confiáveis para a sua parametrização, que nem sempre estarão disponíveis. Dentre as abordagens para suprir os valores dos parâmetros destes modelos está o emprego de Sistemas de informações geográficas (SIG) a eles acoplados. Neste trabalho o modelo KINEROS2 acoplado a um SIG (sistema AGWA) foi aplicado à sub-bacia do rio Japaratuba-Mirim, secção Fazenda Pão de Açúcar (136 km²), em Sergipe, visando avaliar o desempenho deste através da comparação dos resultados obtidos com aqueles obtidos via o emprego do mesmo modelo no seu formato padrão e parametrizado previamente. Os resultados mostram que os parâmetros gerados pelo SIG não levaram aos resultados satisfatórios e somente após a modificação de alguns parâmetros o modelo foi capaz de simular os eventos de forma compatível com o observado. Assim, fica o alerta para o fato que o uso direto dos parâmetros gerados automaticamente no sistema AGWA para o KINEROS2 poderá não fornecer bons resultados.

ABSTRACT --- The model KINEROS2-AGWA was applied to a sub-basin of the Japaratuba-Mirim river basin, located upstream of Fazenda Pão de Açúcar (136 km²) in the state of Sergipe, with the objective of evaluating the capabilities of the model to simulate the overland flow and the sediment yield. The model results were compared with those obtained from the previously calibrated KINEROS2 model utilizing the flow data and the associated precipitation data. The results show that the calibrated model could generate reasonably well the overland flow and sediment yield in the sub-basins but the parameters generated by AGWA on GIS platform were totally inadequate and their use resulted in no runoff at all in all the cases. By inserting the calibrated values of the Hydraulic Conductivity and the initial saturation values of the soil into the system KINEROS2-AGWA, it was possible to simulate adequately the runoff values and the production of sediments judged by the magnitude of flow and sediment yield when compared with those of the entire basin. Thus, the internally generated parameters of AGWA must be used with enough care to avoid the possibility of obtaining results of simulation with KINEROS2-AGWA incompatible with the reality in the field.

Palavras-chave: modelo distribuído, escoamento, erosão do solo, simulação.

¹ Prof. da Univ. Federal de Sergipe - SE, Av. Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, 49100-000; e-mail: ricardoaragao@yahoo.com

² Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros - Sergipe. Av. Beira Mar, 3250, Jardins, Aracaju-Sergipe, CEP:49025-040, . Fone (79) 4009-1310. e-mail: masacruz@cpac.embrapa.br

³ Prof. da Univ. Federal de C. Grande-PB; C. Postal 505 CEP: 58.100-970, C. Grande - PB. Fone (83) 3310-1156. e-mail: eneasef@yahoo.com

⁴ Professor Visitante Nacional Sênior, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru. e-mail: vajapeyam@yahoo.com

1 - INTRODUÇÃO

A crescente demanda por recursos de água e solo para a produção de alimentos e bens de consumo tem levado estes recursos à exaustão em diversas bacias hidrográficas do Brasil, principalmente na região semi-árida. Ao mesmo tempo esta ação leva a um processo cada vez maior de desmatamento e do aumento da carga de sedimento nos corpos hídricos. Em face destas pressões, surge a necessidade de se avaliar o potencial destas fontes e gerenciar as suas disponibilidades de forma que elas possam ser utilizadas de maneira igualitária e racional (Grassi, 2001).

O problema de desigualdade entre oferta e demanda evoluiu de um plano local e simplificado para um plano complexo e regional, onde diferentes usuários requerem diferentes volumes de recursos naturais. Neste sentido, uma estimativa do volume do escoamento gerado e a quantidade de sedimentos transportados se torna essencial. Diversas são as metodologias que poderão ser utilizadas para tratar e dar apoio na solução deste problema e dentre elas está o emprego de modelagem hidrológica distribuída. Estes modelos poderão calcular o volume escoado sobre a superfície e que chega a uma dada seção de medição, como também a produção de sedimentos (caso seja preparados para tal), em escala temporal e espacial para um evento ou uma sequência de eventos de precipitação. Quando estes modelos tomam por base a física dos processos hidrossedimentológicos envolvidos, a tendência é de, uma vez parametrizados, fornecerem resultados mais próximos do que ocorreriam na natureza (Beven, 2001).

O avanço na capacidade computacional favoreceu o uso de modelos hidrossedimentológicos de base física tais como o modelo KINEROS2 (Smith et al., 1995; Singh e Woolhiser 2002; Lopes e Canfield et al, 2004) Porém, para o seu uso, são necessários dados observados, visando calibrar os principais parâmetros dos modelos a ponto de fazê-los fornecer respostas considerando diferentes cenários que podem ocorrer na área de estudo. A disponibilidade destes dados tem sido um dos principais obstáculos no efetivo uso destes modelos. Por outro lado, dada as dificuldades inerentes no processo de coleta de dados sedimentométricos, geralmente só se registra dados de vazão em seções de medição, principalmente em grandes bacias (Singh, 1995; Singh e Woolhiser, 2002).

O advento das geotecnologias (sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto) propiciou o acoplamento de modelos hidrossedimentológicos a uma base SIG, como também a determinação de parâmetros destes modelos, tomando-se por base o modelo de elevação do terreno, os planos de informação referentes a uso do solo e tipo de solo (Melo, 2010) sendo exemplo os modelos ARCSWAT (Winchell et al., 2009), AGWA (Miller et al., 2007a, b). Contudo, dependendo da escala em que estas informações são obtidas, os valores dos parâmetros a elas associados poderão ser sub ou superestimados, se comparados aos valores levantados em campo.

Entretanto, na existência de dados de vazão para uma dada seção, como também na disponibilidade de levantamentos de características fisiográficas e geotécnicas da bacia, surge aí uma excelente oportunidade de avaliação do potencial das duas ferramentas citadas, os modelos hidrossedimentológicos e o acoplamento de SIG a modelos hidrológicos para obtenção de parâmetros necessários (Goodrich, 2000; Melo, 2010).

O modelo KINEROS2 (Smith et al., 1995) tem sido largamente aplicado em bacias de diferentes tamanhos e diferentes coberturas/ usos, fornecendo resultados satisfatórios (Aragão et al., 2010). Este será aqui avaliado considerando sua versão padrão (Smith et al., 1995) e a sua versão implantada no sistema AGWA (Automated Geospatial Watershed Assessment - Miller et al. 2007a, b), um sistema de informações geográficas que incorpora os modelos KINEROS2 (Smith et al., 1995) e SWAT (Neitsch, 2005) e utiliza dados espacializados e georeferenciados para fornecer os parâmetros de entrada para estes modelos. Os mesmos foram aplicados a uma sub-bacia do Rio Japarutuba-Mirim, tributário do rio Japarutuba, no Estado de Sergipe, considerando diferentes discretizações, visando avaliar o desempenho do modelo KINEROS2 com o acoplamento de AGWA.

2 – A ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Japarutuba (10°13'00'' e 10°47'00'' de latitude Sul e 36°48'00'' e 37°19'00'' de longitude oeste) é uma das seis grandes bacias que compõe o Estado de Sergipe. Com uma área de 1687,67 km², a bacia abrange 23 municípios e tem sido fortemente impactada ao longo de muitos anos passados até os dias presentes, tanto por atividades de extrativismo como por atividades agropecuárias. O rio principal tem uma extensão de aproximadamente 94 km (Figura 1). Nesta bacia o período chuvoso ocorre entre os meses de abril e agosto sendo os meses de maio e junho os mais chuvosos (SEPLANTEC, 2004).

A bacia do rio Japarutuba possui três regiões climáticas, com diferentes regimes de precipitação: litoral úmido (1000 mm <P_{média} < 1400 mm), agreste (700 mm <P_{média} < 900 mm) e semi-árido (400 mm <P_{média} < 700 mm; período chuvoso entre janeiro e maio). A temperatura média anual é de 25 °C e a umidade relativa do ar é ~74 %. Da área total da bacia, 9,63 % pertencem à região semi-árida, 30,18 % a porção litoral úmido e 60,17 % estão localizadas no agreste (Figura 1).

A bacia é composta das sub-bacias dos rios Japarutuba (54% da área total), Siriri (23,37% da área total) e Japarutuba-Mirim (~20% da área total). A nascente do rio Japarutuba fica na porção semi-árida da bacia (inseridas no polígono da seca), em uma altitude pouco superior a 240 m. A declividade média do curso principal é de 2,6 m/km, A sub-bacia do rio Japarutuba-Mirim tem largura média de 8,83 km, comprimento de ~60km e área de drenagem de 335,4 km².

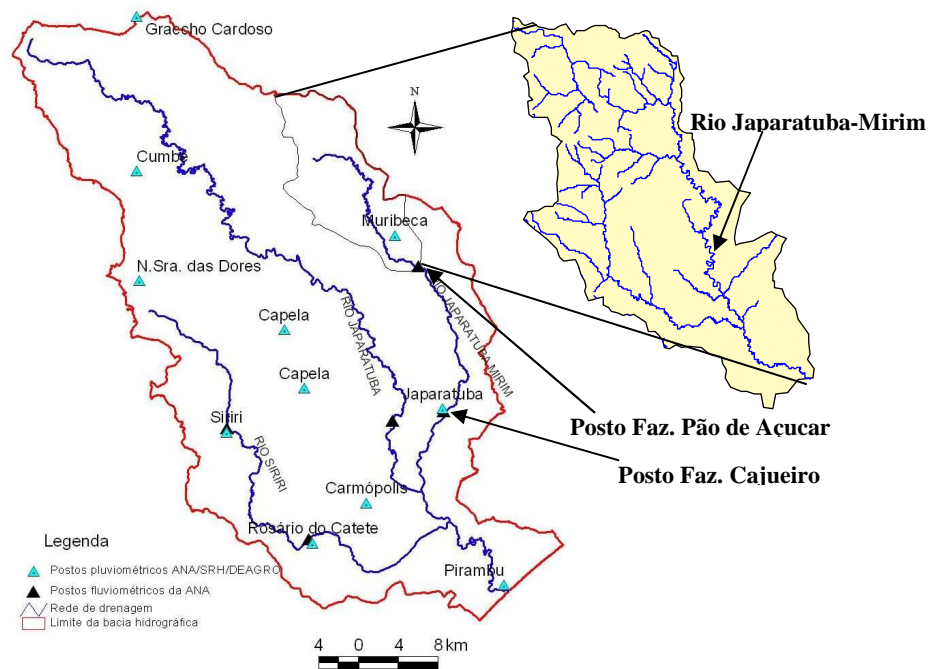


Figura 1 – Bacia do rio Japarutuba e a sub-bacia do rio Japarutuba-Mirim

O monitoramento hidrológico na bacia é feito através de cinco estações fluviométricas, enquanto o climatológico é feito com estações pluviométricas e climatológicas (convencional e automáticas), Figura 1.

O potencial hídrico da bacia é baixo, se comparado com o das outras bacias do Estado, e mesmo assim, tem sido bastante afetado pelos vários usos da terra. A vazão média na área da bacia atinge $3,94 \text{ m}^3/\text{s}$ para o posto estação Japarutuba, $0,66 \text{ m}^3/\text{s}$ para o posto Fazenda Pão de Açúcar, $1,70 \text{ m}^3/\text{s}$ para o posto Fazenda Cajueiro, $0,81 \text{ m}^3/\text{s}$ para o posto Siriri e $3,29 \text{ m}^3/\text{s}$ para o posto Rosário do Catete (Figura 1).

Em relação ao uso do solo e à cobertura, Aragão e Almeida (2009) constataram que, da cobertura vegetal original, apenas 6% ainda permanecem. O mesmo estudo mostra que a área de pastagem ocupa um total de 32,51 % do total e a área relativa ao cultivo ocupa 41,5% do total. Os municípios de Capela e Japarutuba também tiveram como foco a lavoura, principalmente cana-de-açúcar decorrente da recentemente expansão da indústria sucro-alcooleira.

As manchas de solo predominantes na área da bacia são do tipo podzólicos vermelho amarelo e podzólicos vermelho amarelo equivalente eutrófico seguidas de latossolo vermelho amarelo e solos aluviais. Maiores informações sobre a bacia e os estudos em andamento poderão ser vistos em Aragão e Almeida (2009).

3 – METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados dados climáticos, topográficos e de vazão, bem como as características físicas da bacia para a parametrização do modelo. Além destes, foram feitas diversas visitas a bacia, para o melhor entendimento e visualização dos processos físicos ali desenvolvidos. Assim, os dados necessários para a modelagem foram conseguidos.

3.1 – O modelo KINEROS2

O modelo KINEROS2 – Kinematic Runoff Erosion model (Smith et al., 1995), que é uma versão avançada do modelo KINEROS (Woolhiser, 1990). O modelo utiliza equações que são baseadas nos processos físicos e que norteiam a infiltração, o escoamento superficial e a erosão que ocorrem nas vertentes e nos rios. Para KINEROS2 a bacia é representada por um conjunto de planos retangulares e de elementos de canais trapezoidais, com os planos contribuindo para os canais com fluxo lateral ou na sua entrada de montante.

Por ser distribuído, cada elemento, plano ou canal, poderá ter seu próprio conjunto de parâmetros que o caracteriza adequadamente. O modelo utiliza a equação de Saint Venant com a simplificação da onda cinemática para a propagação do escoamento superficial unidimensional nos planos e nos canais. O processo de infiltração é modelado para uma chuva não permanente através do modelo de Smith e Parlange (Smith et al. 1995) indicada pela Equação(1):

$$f_c = K_s \left[1 + \frac{\alpha}{e^{\alpha/B} - 1} \right] \quad (1)$$

sendo f_c a taxa de infiltração, K_s a condutividade hidráulica saturada, α é o parâmetro que representa o tipo de solo, $B = (G + h)(\theta_s - \theta_i)$ é o fator que combina o potencial de capilaridade G e a capacidade de armazenamento de água do solo, $\Delta\theta = (\theta_s - \theta_i)$, h é a profundidade de fluxo, θ_s e θ_i são as umidades volumétricas de saturação e inicial, com $\theta_i = \phi S_i$, ϕ é a porosidade e S_i é a saturação inicial do solo. O parâmetro α que representa o tipo de solo se aproxima de 0 para areia e, neste caso, a Equação (1) aproxima-se à equação de Green-Ampt, e de 1 para um solo areno-argiloso (“loam well-mixed”).

O potencial de capilaridade é determinado pela equação abaixo:

$$G = \int_{-\infty}^0 \frac{K(\Psi)}{K_s} d\Psi \quad (2)$$

onde $K(\Psi)$ é a condutividade hidráulica do solo dependente do potencial mátrico do solo (Ψ) e K_s a condutividade hidráulica saturada do solo.

3.1.1 - Fluxo nos planos

Para a modelagem desta componente, o KINEROS2 utiliza as equações de Saint Venant com a simplificação da onda cinemática para a propagação do escoamento superficial unidimensional nos planos e nos canais:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + amh^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = q(x,t) \quad (5)$$

onde h é o volume de água armazenado por unidade de área, os parâmetros a e m são relacionados à inclinação, à rugosidade da superfície e ao regime do fluxo, t é o tempo, x é a distância ao longo do sentido da inclinação, e $q(x,t)$ é a taxa de fluxo lateral.

3.1.2 - Fluxo nos canais

O escoamento nos canais é simulado considerando o fluxo não-permanente e também se baseia na aproximação da onda cinemática. Os canais podem receber fluxo lateral uniformemente distribuído, mas variável com o tempo, proveniente de planos ou de um ou dois canais, em somente um ou nos seus dois lados:

$$Q = aR^{m-1} A \quad (6)$$

onde Q é a vazão no canal (m^3/s), R é o raio hidráulico (m), A é a área da seção transversal (m^2). Se for utilizada a equação de resistência de Manning, $a = S^{1/2}/n$ e $m = 5/3$. As equações cinemáticas para os canais são resolvidas por uma técnica implícita de diferenças finitas definido em quatro pontos, similar ao que foi feito para os planos.

3.1.3 – Erosão do solo

A equação geral que descreve a dinâmica dos sedimentos dentro do fluxo é a equação de balanço de massa, dada por:

$$\frac{\partial(AC_s)}{\partial t} + \frac{\partial(QC_s)}{\partial x} - e(x,t) = q_s(x,t) \quad (7)$$

onde C_s é a concentração de sedimento no fluxo (m^3/m^3), Q é a vazão hidráulica (m^3/s), A é a área da seção transversal do plano ou canal (m^2), e é a taxa de erosão do solo (m^2/s) e q_s é taxa de entrada lateral de sedimento no fluxo, nos canais ($m^3/s/m$).

O processo erosivo sobre os planos ocorre pelo impacto das gotas de chuva (e_s) e a erosão e transporte pelo fluxo superficial (e_h). Por outro lado, a erosão causada pelo fluxo superficial leva em consideração a capacidade que o fluxo possui de erodir e transportar a carga erodida. Caso não haja capacidade para tal haverá a deposição do excesso desagregado e em movimento. No modelo KINEROS2, a erosão hidráulica é simulada através da aplicação da equação modificada de Engelund-Hansen (Smith et al., 1995). Uma vez em movimento, os sedimentos chegam ao leito do canal através da alimentação na extremidade de montante ou através de uma distribuição lateral. A erosão total causada pela chuva e pelo escoamento é:

$$e = e_s + e_h \quad (8)$$

onde e_s e e_h são dados pelas equações:

$$e_s = c_f e^{(-c_h h i^2)} \quad (9)$$

$$e_h = c_o (C_m - C_s) A \quad (10)$$

onde i é a intensidade da precipitação; C_f é um coeficiente relacionado às propriedades do solo e da superfície e deve ser determinado experimentalmente ou por calibração; $e^{(-c_h h i^2)}$ é um fator que representa a redução na erosão por impacto das gotas de chuva devido ao aumento da profundidade de fluxo (h); C_h representa a efetividade do amortecimento da superfície da água, assumido igual a 656; C_m é a concentração de equilíbrio na capacidade de transporte; $C_s = C_s(x,t)$ é a concentração real de sedimentos no fluxo; g é a aceleração da gravidade, S_s é a densidade relativa do sedimento, igual a 2,65, d é o diâmetro do sedimento e C_o é um coeficiente da taxa de transferência de sedimentos dado pelas equações abaixo para as condições de erosão e deposição;

$$C_o = c_o \frac{v_s}{h} \text{ se } C_s \leq C_m \text{ (erosão)} \quad (11)$$

$$C_o = \frac{v_s}{h} \text{ se } C_s > C_m \text{ (deposição)} \quad (12)$$

onde v_s é a velocidade de queda da partícula e h a profundidade de fluxo.

O modelo utiliza a fórmula de capacidade de transporte de Engelund e Hansen (1967), com a inclusão de um limite crítico do valor da potência unitária do fluxo $\Omega = uS$ (*Unit Stream Power*) igual a 0,004 m/s, onde u é a velocidade do fluxo e S é a declividade do canal. A equação para o cálculo da capacidade de transporte é a seguinte:

$$C_m = \frac{0,05}{d(S_s - 1)^2} \sqrt{\frac{Sh}{g}} (\Omega - 0,004) \quad (13)$$

onde g é a aceleração da gravidade, S_s é a densidade relativa do sedimento, igual a 2,65, d é o diâmetro do sedimento e h a profundidade de fluxo.

A simulação do transporte de sedimentos nos canais é realizada de maneira semelhante à simulação do transporte de sedimentos nos planos. A principal diferença nas equações é que a erosão por impacto das gotas de chuva é desprezada, e o termo q_s torna-se importante na representação da entrada de fluxo lateral.

O modelo KINEROS2 possui uma rotina para redistribuir a umidade do solo entre eventos (Smith et al., 1995) e esta função foi aqui utilizada uma vez que, dada a área da bacia (136 km²) e suas características, o hidrograma registrado na seção Fazenda Pão de Açúcar, seria resultante de vários eventos da chuva ocorridos na bacia. Assim sendo, os eventos de precipitação utilizados no presente trabalho cobrem não somente um único intervalo e sim um ou mais dias com chuva, o que corresponde ao período de geração do hidrograma (ascensão e recessão).

Neste sentido foram selecionados, no período de 1973 a 2005, hidrogramas relativos a eventos de pequenos, médios e grandes magnitudes, num total de 12. Em seguida, foi efetuada a separação do escoamento de base e do superficial para cada hidrograma e, posteriormente, os volumes a eles associados foram transformados em lâminas escoadas.

3.1.4 - Os parâmetros do modelo

As equações que fazem parte do modelo KINEROS2 possuem vários parâmetros que precisam ser determinados. Dentre estes, foi verificado que a saturação inicial relativa ($S_i = \theta/\phi$), a condutividade hidráulica saturada (K_s), o potencial de capilaridade (G), o coeficiente de Manning (n), o coeficiente relacionado às propriedades do solo e da superfície (C_f) e coeficiente da taxa de transferência de sedimentos ($C_g = C_o$) são os mais influentes no processo de geração de escoamento superficial e a conseqüente erosão hídrica (Srinivasan et al., 2006; Aragão et al., 2010). Contudo, estes parâmetros deverão ser fornecidos no início de cada simulação, mas não são diretamente mensuráveis em campo. Assim, para o presente trabalho, alguns deles foram calibrados (S_i , K_s , C_f e C_o) via tentativa e erro, visando fazer com que o modelo simule a lâmina, a vazão de pico e o volume registrados em cada evento, e outros foram adotados (n , G) com base nas informações na literatura (Chow, 1998; Lopes e Canfield, 2004).

3.2 – O sistema AGWA

O AGWA (Automated Geospatial Watershed Assessment Tool) é um sistema de análise hidrológica desenvolvido para a realização de estudos hidrológicos em diferentes escalas de bacias hidrográficas. O sistema é estruturado de forma que, a partir do modelo digital do terreno (DEM), do mapa de solo e mapa de uso do solo, são fornecidos via cruzamento de informações, os dados de entrada necessários para a parametrização dos modelos KINEROS2 e SWAT.

Para o AGWA, os passos para análise dos processos em bacias hidrográficas são divididos nos seguintes elementos: a) localização e delimitação da bacia hidrográfica; b) discretização da bacia em elementos compatíveis com o modelo escolhido; c) parametrização dos modelos de acordo com as características do solo e da cobertura do solo; d) seleção ou geração dos dados de chuva (diário e em intervalos de horas); e) execução do modelo e f) visualização dos resultados.

O sistema AGWA é uma extensão do SIG ArcGis 9.2 da ESRI e dentre as suas funcionalidades está o fato de poder discretizar a bacia baseado nas características geomorfométricas, o que torna as características dos elementos mais compatíveis com o encontrado no campo. Para tanto, o sistema utiliza a abordagem conhecida como área de contribuição para os riachos (Contributing Source Area - CSA), ou seja, considera-se um número mínimo de pixels a partir do qual ocorre a formação de canal. Valores baixos de CSA levam a um número muito grande de elementos da bacia. Por outro lado, altos valores de CSA levam a um menor número de

elementos na bacia que possa comprometer a precisão dos resultados. O valor padrão utilizado pelo sistema é de 2,5% que produzira bons resultados para análises preliminares conforme, Miller et al. (2007), porém este valor pode ser livremente escolhido pelo modelador.

Além disso, a parametrização via SIG traz como vantagem o fato de que todos os elementos terão parâmetros com valores compatíveis com o uso e o tipo de solo da área em estudo, fato que dificilmente poderá ser feito pela verificação in-situ, nas bacias não experimentais.

Outra vantagem grande do sistema AGWA é o fato do mesmo poder apresentar os resultados das simulações dos modelos de forma espacializada o que permite identificar as áreas mais afetadas por um determinado processo, seja antrópico ou natural.

Como desvantagem deste sistema, tem-se o fato do mesmo requerer diversas informações como o MDT, os mapas de solo e uso do solo, características climáticas (principalmente para o emprego do SWAT). Entretanto, com o avanço nas geotecnologias e a introdução do SRTM (Moreira et al, 2005), a obtenção destas informações citadas ficou bastante simplificada, sendo necessária apenas a obtenção das informações complementares no campo.

Fora os dados de eventos de chuva, que são fornecidos pelo usuário, o sistema prepara todas as informações necessárias para cada um dos modelos e o executa na sua forma padrão (no sistema operacional DOS), que no caso do KINEROS2, segue as equações previamente citadas no item 3.2. Ou seja, a diferença entre a utilização da forma padrão do modelo KINEROS2 e a utilização do AGWA está na preparação dos dados de entrada, a saber: discretização da bacia e determinação dos valores dos parâmetros de entrada do modelo. Assim sendo, daqui para frente, o modelo KINEROS2 no formato padrão (sem SIG) será citado como KINEROS2 e quando for utilizado via AGWA será citado como KINEROS2-AGWA. Maiores detalhes sobre o sistema AGWA poderão ser encontrados no trabalho de Miller et al. (2007a, b)

3.3 - Dados utilizados

Os dados sobre uso do solo, vegetação, localização dos postos pluviométricos, fluviométricos, foram disponibilizados pela Secretaria do Meio ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH-SE), através do Atlas de Recursos Hídricos (SEPLANTEC, 2004).

Os dados de precipitação e clima (evaporação, temperatura) cobrem o período de 1990 a 2005 e são provenientes da estação Fazenda Experimental Pirangi (latitude 10°29' Sul e longitude 37°04' Oeste (código ANA - 01037078)), localizada no município de Capela (ANA, 2002).

Os dados de vazão média cobrem o período 1973 a 2005 e são disponibilizados via portal HIDROWEB (ANA, 2002), tendo sido coletados no posto Fazenda Pão de Açúcar, que localiza-se no curso principal do rio Japarutuba-Mirim com área de contribuição de 136,5 km² (Figura 1). Estes dados estão listados na Tabela 1.

Os dados de altimetria, em espaçamento de 90 m x 90 m, são oriundos da missão topográfica radar Shuttle – SRTM (Miranda, 2005) e foram utilizados para a geração do modelo digital do terreno que foi empregado na discretização da bacia para uso no modelo.

Além dos dados acima citados, também são necessárias, para a modelagem, informações relativas à textura do solo, granulometria, profundidade e quantidade de horizontes do solo. No presente estudo, estas informações partiram dos dados fornecidos por SEPLANTEC (2004) ou, quando estes não foram disponibilizados, empregaram-se valores encontrados na literatura (Chow, 1988), tomando-se por base as características da região.

O mapa de solo (escala 1:100.000) empregado para a determinação dos valores dos parâmetros para o KINEROS2 foi disponibilizado por SEPLANTEC (2004). Por outro lado, para o KINEROS2-AGWA, o mapa de solo empregado foi o disponibilizado pela FAO (Food and Agriculture Organization) na escala de 1:5000.000 (Chagas et al., 2004). Embora esta escala seja muito pequena, comparado com a escala existente para o mapa de solo fornecido por SEPLANTEC (2004), 1:100.000, os dados embutido no mapa disponibilizado pela FAO e requeridos pelo AGWA são de difícil adaptação para o mapa em escala maior. Assim, foram assumidas no resultado do modelo as incertezas que esta diferença de escalas poderia gerar.

3.4 Discretização da Bacia

3.4.1 KINEROS2

A partir do modelo digital do terreno e das características de uso e cobertura vegetal (Figura 2) da bacia, foi efetuada a divisão manual da bacia em sub-bacias, procurando preservar nestas a homogeneidade quanto às condições de tipo do solo e seu uso (Figura 3). Posteriormente, conhecendo a área, comprimento e perímetro de cada elemento mostrado na Figura 3, os mesmos foram transformados em planos retangulares e os seus cursos de água em canais trapezoidais, resultando num total de 90 elementos (64 planos e 26 canais). Feito isto, foram definidos os parâmetros do modelo relativos a cada elemento em questão pela a sua condição geomorfológica e uso/cobertura.

3.4.1 KINEROS2-AGWA

Dada as características do sistema AGWA, a bacia é discretizada automaticamente considerando um valor de CSA aplicado ao modelo digital do terreno. Assim, utilizando-se destas características e visando comparar os resultados obtidos com o KINEROS2 bem como a influência da forma da discretização nos resultados (Lopes e Canfield, 2004) a bacia foi discretizada em três diferentes níveis (Figura 4): 18 elementos (13 planos e 5 canais), 90 elementos (63 planos e 27 canais), 98 (70 planos e 28 canais).

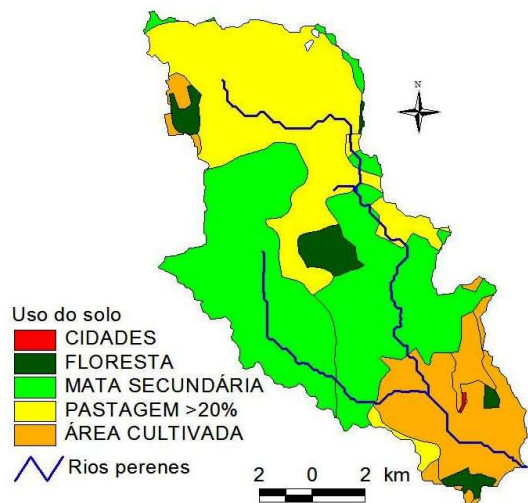


Figura 2 – Mapa de uso do solo

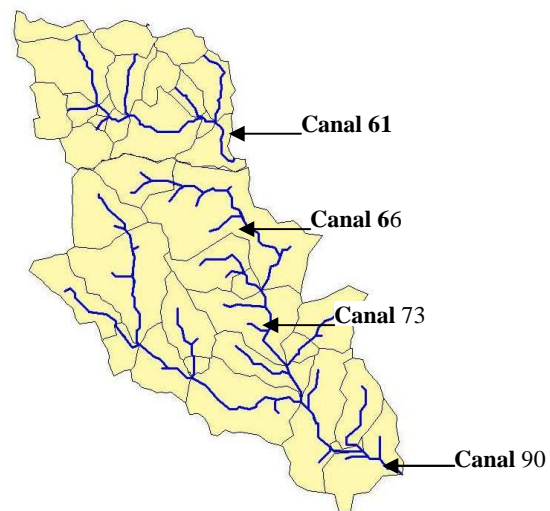


Figura 3 - Discretização da bacia em 90 elementos (KINEROS2)

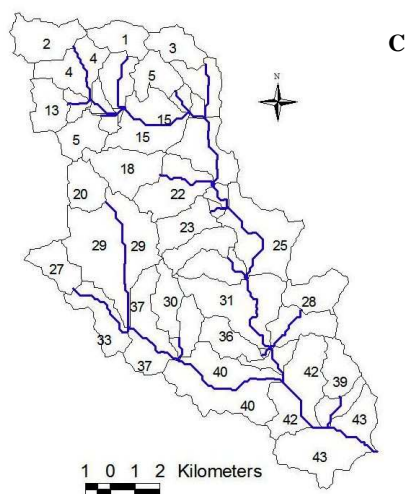
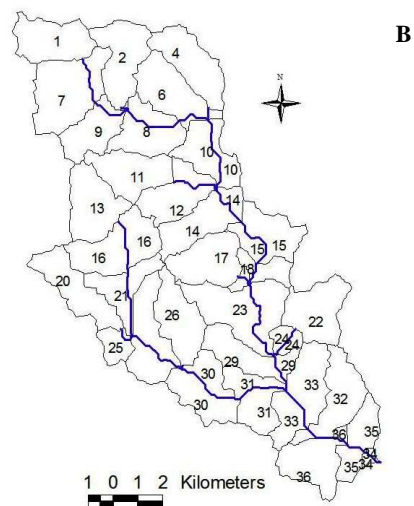
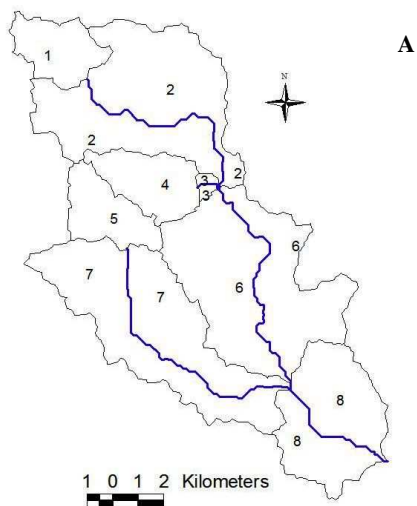


Figura 4 – Discretização da bacia: a) para 18 elementos (13 planos e 5 canais); b) 90 elementos (63 planos e 27 canais); c) 98 elementos (70 planos e 28 canais)

3.5 Parametrização

3.5.1 KINEROS2

Considerando que a cobertura do solo na região é essencialmente formada por pasto, cultivo e mata secundária, foram utilizados, inicialmente, para cada parte da bacia, valores diferenciados para o coeficiente de rugosidade de Manning, n , indicados por Chow (1988) e Imam (2000), ou seja, 0,035 para canais, e entre 0,17 a 0,40 para planos, dependendo do estado da cobertura vegetal.

Num trabalho anterior nesta mesma bacia (Aragão et al., 2010), foi identificado o melhor conjunto de parâmetros que faça com que o modelo simule o escoamento superficial, vazão de pico e volume escoado o mais próximo do observado e, como consequência, forneça valores de produção de sedimentos realistas para a área da bacia. Como resultado, Aragão et al. (2010) constataram que: para a simulação de lâmina escoada, em termos médios, os valores de K_s para as duas condições de n foram, aproximadamente os mesmos ($n=0,24$ e $K_{sméd}=1,56$ mm/h; $n=0,40$ e $K_{sméd}=1,30$ mm/h). Para a simulação de vazão de pico, o valor de K_s para $n=0,24$ foi maior ($K_s=3,84$ mm/h) do que para $n=0,40$ (3,08 mm/h), para solo com dois horizontes. Para a simulação de volume escoado o melhor conjunto de parâmetros foi para a condição $n=0,24$, textura Sandy clay loam (franco areno argilosa- $K_s=4,3$ mm/h) na primeira camada (0,3m) e textura Clay loam (franco argilosa - $K_s=2.3$ mm/h) na segunda camada.

Em termos de produção de sedimentos, como não havia a disponibilidade de dados para estes eventos, não foi possível a calibração dos parâmetros C_f e C_o , relacionados ao processo erosivo.. Ao invés disso, os valores destes parâmetros foram admitidos em: $C_f=1000$ e $C_o=0,01$.

Vale ressaltar que no processo de calibração do parâmetros S_i e K_s não foi possível aproximar pelas simulações os valores observados em todos os eventos (Aragão et al., 2010). Este tipo do problema foi observado em trabalhos também com este modelo como no caso do estudo de Srinivasan et al., (2006). Em se tratando de saturação inicial (Sat), nas simulações em que este parâmetro foi calibrado, em alguns casos o mesmo atingiu os seus valores limite antes do valor simulado aproximar ao observado. A razão para esta situação pode ser as limitações das equações do modelo ou as heterogeneidades no campo que nem sempre podem ser adequadamente consideradas no modelo.

3.5.2 KINEROS2-AGWA

Para esta configuração, o sistema AGWA faz o cruzamento de informações entre o modelo digital do terreno, mapa de uso do solo e mapa do solo e, a partir deste, determina os valores dos parâmetros mais adequados para o KINEROS2. Nestes termos os parâmetros para cada elemento são, geralmente, diferentes entre si, conforme o conceito de modelo distribuído.

Como o objetivo inicial era avaliar o desempenho do modelo KINEROS2-AGWA, quando simulado para os mesmos eventos de precipitação que foram utilizados com o KINEROS2, os valores de saturação inicial (Sat) calibrados para o KINEROS2 foram empregados na versão AGWA. Apesar disto, para os 12 eventos aqui empregados, as simulações iniciais mostraram que a lâmina e a produção de sedimentos calculados pelo KINEROS2-AGWA eram iguais a zero.

Uma inspeção no arquivo gerado pelo sistema mostrou que a condutividade hidráulica saturada estava entre 30 e 45 mm/h (para planos e canais), bem superior ao valor empregado com a outra versão ($K_s=4,3$ mm/h – planos; $K_s=2.3$ mm/h – canais). A substituição do valor de K_s (planos e canais) por estes valores, juntamente com os valores de Sat do KINEROS2, permitiu o cálculo de lâmina, vazão de pico, volume escoado e produção de sedimentos pelo modelo de forma satisfatória para a maioria dos eventos, apesar de encontrar para alguns eventos os valores calculados bem diferentes do observado. Também foram encontrados valores de alguns outros parâmetros bem diferentes em comparação com os utilizados com KINEROS2.

Além do fato do sistema AGWA gerar um valor de K_s bem diferente do que foi obtido pela calibração para KINEROS2, outros parâmetros como coeficiente de rugosidade de Manning, porosidade, potencial de capilaridade, fatores de impacto de gota de chuva e de coesão do solo, também receberam valores bem diferentes. Ainda, o sistema AGWA só considerou uma única camada de solo, enquanto nas simulações com KINEROS2, duas camadas do solo com valores de parâmetros distintos para cada uma foram utilizadas.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados observados referente aos 12 eventos utilizados nas simulações com KINEROS2-AGWA estão apresentados na Tabela 1. Pode-se observar na Tabela 1 que os eventos cobrem uma ampla faixa de valores de vazão de pico, volume escoado e as lâminas correspondentes. Desta forma, o conjunto de eventos pode ser considerado bastante representativo para uma análise comparativa..

Considerando que os valores de saturação inicial e de condutividade hidráulica saturada calibrados para KINEROS2 foram diretamente utilizados em KINEROS2-AGWA, seria natural que os valores simulados nem sempre aproximem dos valores observados. Contudo, a direta aplicação de Sat inicial no KINEROS2-AGWA levou a simular valores tanto de lâmina quanto de volume escoados bem próximo dos observados (Tabelas 2 e 3).

Nas simulações com o KINEROS2 a saturação inicial (Sat) foi calibrada visando fazer o modelo calcular o valor do volume escoado próximo do observado (Tabela 2). Daí, quando os vales de Sat foram aplicados no KINEROS2-AGWA, os valores de volume escoado calculado e de lâmina escoada também se colocaram próximos dos valores observados. Isto mostra que, apesar de

serem diferentes os métodos de discretização e de parametrização, os resultados foram consistentes (Tabela 3).

Se compararmos os resultados simulados pelo modelo para diferentes discretizações (Tabela 3) com a discretização com 90 elementos (Tabela 2) utilizada para calibração para KINEROS2, será visto que existe uma boa aproximação entre os resultados desta Tabela 2 (lâmina e volume do escoamento bem como a produção de sedimentos) com os dados para uma discretização envolvendo 18 elementos. Para o caso de 98 elementos, enquanto o volume escoado e a lâmina chegam próximos, a produção de sedimento são bem diferentes. Esta situação não tem uma explicação óbvia e precisa ser mais bem investigado para uma justificativa plausível.

Apesar de todas as distinções entre os valores dos parâmetros inseridos de forma direta e aqueles selecionados a partir das características do solo e do uso deste no AGWA, existe uma boa correlação entre os valores observados e simulados para as diferentes discretizações no tocante a lâmina e volume escoado (Tabela 3). Contudo, os valores de vazão de pico são bem distintos dos observados (Figura 5). No que concerne a produção de sedimentos, não se pode afirmar nada visto que não se tem dados observados neste respeito..

As diferentes discretizações não influenciaram muito os valores de lâmina, volume e vazão de pico simulados, mas parecem ter uma certa influencia sobre os valores de produção de sedimentos (Tabela 3).

Vale salientar que todas as simulações só foram possíveis após a troca do valor de condutividade hidráulica determinada pelo sistema AGWA pelo valor calibrado em KINEROS2. De outra forma os resultados seriam sempre nulos. Esta informação serve de alerta para o fato que, a determinação dos parâmetros com base nas informações do solo e do uso do solo no SIG não necessariamente levará a valores destes parâmetros mais condizentes com a realidade. Além disso, a escala do mapa de uso do solo aqui empregada foi muito pequena (1:5000.000), o que levou, provavelmente, a perda de maiores informações e isto refletiu negativamente na estimativa dos valores dos parâmetros, principalmente do valor de K_s .

Assim, a automatização do processo de entrada de dados para a modelagem hidrológica é uma realidade de grande utilidade em muitos casos, porém deve ser utilizada com parcimônia, porque, de outra forma, o mais arrojado dos modelos poderá fornecer resultados irrealistas ou mesmo sem confiabilidade.

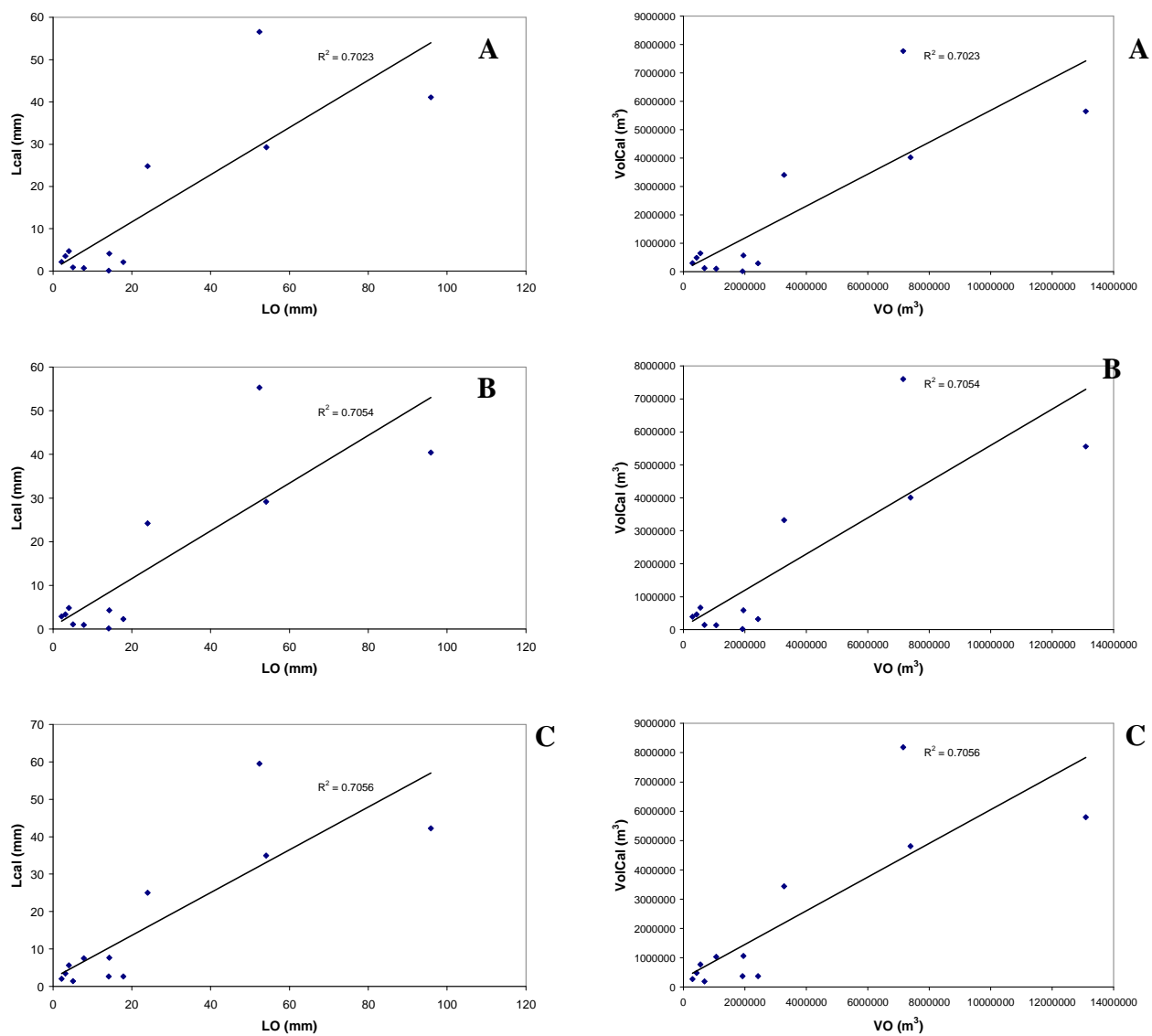


Figura 5 – Lâmina e volume calculados para as diferentes discretizações – A) 18 elementos; B) 90 elementos; C) 98 elementos

Tabela 1 – Eventos utilizados na análise e suas características

| Evento | Data | P | Qpico | VOL | LO | Evento | Data | P | Qpico | VOL | LO |
|--------|--------------------|--------|-------------------|----------------|-------|--------|--------------------|--------|-------------------|----------------|-------|
| | | (mm) | m ³ /s | m ³ | mm | | | (mm) | m ³ /s | m ³ | mm |
| 1 | 30/05 a 01/06/2001 | 37,91 | 3,06 | 434246,40 | 3,17 | 7 | 10/01 a 14/01/2004 | 87,71 | 2,14 | 304992,00 | 2,19 |
| 2 | 05/05 a 11/05/2002 | 77,42 | 16,38 | 2020896,00 | 14,32 | 8 | 15/01 a 21/01/2004 | 89,09 | 10,45 | 3288816,00 | 24,02 |
| 3 | 23/05 a 27/05/2002 | 44,55 | 7,47 | 1120176,00 | 7,81 | 9 | 26/01 a 02/02/2004 | 140,10 | 20,21 | 7449494,40 | 54,13 |
| 4 | 02/07 a 06/07/2002 | 39,68 | 16,93 | 2534976,00 | 17,83 | 10 | 29/06 a 01/07/2004 | 33,41 | 5,03 | 738979,20 | 5,06 |
| 5 | 09/07 a 12/07/2002 | 26,54 | 11,24 | 1981152,00 | 14,14 | 11 | 29/03 a 31/03/2005 | 49,25 | 1,85 | 551232,00 | 4,04 |
| 6 | 03/11 a 08/11/2003 | 173,84 | 40,37 | 7162041,60 | 52,36 | 12 | 01/05 a 06/05/2005 | 136,50 | 55,12 | 13064544,00 | 95,88 |

Tabela 2 – Calibração da saturação inicial para ajuste de volume escoado considerando n =0,24, uma textura Sandy clay loam (franco areno argilosa-Ks=4,3 mm/h) na primeira camada (0,3m) e a segunda camada com textura Clay loam (franco argilosa-Ks=2.3 mm/h)

| EVENTO | DATA | P | VOL | LO | Qpico | n de Manning = 0,24 | | | | | |
|--------|------------------|--------|----------------|-------|-------------------|---------------------|------|-------------------|----------------|-------|----------|
| | | | | | | Ks | Sat | QpicoCal | VOLcal | Lcalc | SedYield |
| | | mm | m ³ | mm | m ³ /s | mm/h | | m ³ /s | m ³ | mm | kg/há |
| 1 | 30/05 A 01/06/01 | 37,91 | 434246,40 | 3,18 | 3,06 | 4,3/2,3 | 0,83 | 20,57 | 445333,00 | 3,26 | 5,35 |
| 2 | 05/05 a 11/05/02 | 77,42 | 2020896,00 | 14,80 | 16,38 | 4,3/2,3 | 0,94 | 87,05 | 1868279,00 | 13,68 | 51,92 |
| 3 | 23/05 a 27/05/02 | 44,55 | 1120176,00 | 8,20 | 7,47 | 4,3/2,3 | 0,95 | 7,64 | 320751,00 | 2,34 | 1,77 |
| 4 | 02/07 a 06/07/02 | 39,68 | 2534976,00 | 18,56 | 16,93 | 4,3/2,3 | 0,95 | 2,72 | 192041,00 | 1,40 | 0,49 |
| 5 | 09/07 a 12/07/02 | 26,54 | 1981152,00 | 14,51 | 11,24 | 4,3/2,3 | 0,95 | 7,37 | 242155,00 | 1,77 | 1,25 |
| 6 | 03/11 a 08/11/03 | 173,84 | 7162041,60 | 52,45 | 40,37 | 4,3/2,3 | 0,75 | 326,22 | 7121518,00 | 52,15 | 477,93 |
| 7 | 10/01 a 14/01/04 | 87,71 | 304992,00 | 2,23 | 2,14 | 4,3/2,3 | 0,65 | 11,59 | 313837,00 | 2,29 | 1,95 |
| 8 | 15/01 a 21/01/04 | 89,09 | 3288816,00 | 24,08 | 10,45 | 4,3/2,3 | 0,90 | 216,82 | 3312547,00 | 24,25 | 149,43 |
| 9 | 26/01 a 02/02/04 | 140,10 | 7449494,40 | 54,55 | 20,21 | 4,3/2,3 | 0,94 | 156,51 | 4430811,00 | 32,44 | 148,73 |
| 10 | 29/06 a 01/07/04 | 33,41 | 738979,20 | 5,41 | 5,03 | 4,3/2,3 | 0,95 | 8,28 | 296623,00 | 2,17 | 1,65 |
| 11 | 29/03 a 31/03/05 | 49,25 | 551232,00 | 4,04 | 1,85 | 4,3/2,3 | 0,71 | 29,36 | 558890,00 | 4,09 | 7,55 |
| 12 | 01/05 a 06/05/05 | 136,50 | 13064544,00 | 95,67 | 55,12 | 4,3/2,3 | 0,94 | 387,99 | 7240874,00 | 53,02 | 494,71 |

* onde VOL=Volume escoado (m³), LO=Lâmina observada (mm), Si=Saturação Inicial, Lcalc=Lâmina calculada pelo modelo (mm), Q pico=Vazão de pico observado (m³/s), QpicoCal= Vazão de pico calculado (m³/s), SedYield=Produção de sedimentos calculada (kg/há)

Tabela 3 – Aplicação dos valores de Saturação inicial, calibrado para o KINEROS2, no KINEROS2-AGWA para diferentes discretizações

| Evento | 18 elementos (5 canais e 13 planos) | | | | 90 elementos (27 canais e 63 planos) | | | | 98 elementos (28 canais e 70 planos) | | | |
|--------|-------------------------------------|--------------------------|------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------|-------------------|
| | Qpicocal m ³ /s | VolCal m ³ | Lcal mm | SedYeild kg/ha | Qpicocal m ³ /s | VOLcal m ³ | Lcal mm | SedYeild kg/ha | Qpicocal m ³ /s | VolCal m ³ | Lcal mm | SedYeild kg/ha |
| 1 | 38,43 | 487347,00 | 3,55 | 377,08 | 34,28 | 462335,00 | 3,36 | 416,02 | 34,27 | 477929,00 | 3,48 | 278,45 |
| 2 | 28,71 | 567458,00 | 4,13 | 316,16 | 26,71 | 591324,00 | 4,30 | 383,09 | 48,30 | 1058170,00 | 7,70 | 498,24 |
| 3 | 3,80 | 97902,00 | 0,71 | 32,62 | 5,56 | 133683,00 | 0,97 | 52,86 | 44,14 | 1033023,00 | 7,52 | 542,99 |
| 4 | 6,05 | 290942,00 | 2,12 | 86,78 | 7,14 | 318104,00 | 2,31 | 113,53 | 8,18 | 369133,00 | 2,69 | 200,00 |
| 5 | 0,33 | 11508,00 | 0,08 | 1,55 | 2,98 | 17997,00 | 0,13 | 5,43 | 43,99 | 368844,00 | 2,68 | 200,54 |
| 6 | 577,45 | 7773877,00 | 56,57 | 15895,57 | 507,59 | 7603143,00 | 55,33 | 15697,79 | 571,45 | 8181366,00 | 59,54 | 11,45 |
| 7 | 23,98 | 297065,00 | 2,16 | 184,80 | 36,67 | 393785,00 | 2,87 | 295,40 | 13,66 | 275931,00 | 2,01 | 98,21 |
| 8 | 334,96 | 3405502,00 | 24,78 | 5482,33 | 286,28 | 3323181,00 | 24,18 | 5611,32 | 316,92 | 3441274,00 | 25,04 | 3893,83 |
| 9 | 186,62 | 4023085,00 | 29,28 | 4438,96 | 167,58 | 4011229,00 | 29,19 | 4849,73 | 205,21 | 4804892,00 | 34,97 | 3884,00 |
| 10 | 5,94 | 119680,00 | 0,87 | 36,47 | 7,67 | 144918,00 | 1,05 | 52,25 | 9,70 | 191137,00 | 1,39 | 49,94 |
| 11 | 74,23 | 644538,00 | 4,69 | 639,77 | 70,20 | 666695,00 | 4,85 | 731,09 | 82,92 | 776257,00 | 5,65 | 594,96 |
| 12 | 502,36 | 5646133,00 | 41,09 | 10401,93 | 444,40 | 5554909,00 | 40,42 | 10465,87 | 496,44 | 5799473,00 | 42,21 | 7368,23 |

* onde VOL=Volume escoado (m³), LO=Lâmina observada (mm), Si=Saturação Inicial, Lcalc=Lâmina calculada pelo modelo (mm), Qpico=Vazão de pico observado (m³/s), QpicoCal= Vazão de pico calculado (m³/s), VOLcal= Volume calculado (m³/s); SedYield=Produção de sedimentos calculada (kg/há)

5 - CONCLUSÕES

A aplicação do modelo KINEROS2-AGWA à bacia do rio Japarutuba-Mirim permitiu uma avaliação deste através da comparação dos resultados obtidos com àqueles obtidos com o modelo KINEROS2, cujos parâmetros tinham sido calibrados. Também foi possível avaliar a influência da forma de discretização da bacia. O sistema KINEROS2-AGWA traz a grande vantagem de gerar os valores dos parâmetros importantes pelo AGWA, mas existe uma grande dependência sobre a informação dos tipos de solo e uso do solo e a escala do mapa disponível. Neste sentido, apesar de o arquivo de parâmetro gerado por este sistema não considerar duas camadas de solo (como foi o caso da parametrização com KINEROS2), os resultados para as três discretizações, no que diz respeito à lâmina e volume escoados, foram bastante próximos. Na presente investigação e para a escala em questão, a discretização teve influência notável apenas no caso da produção de sedimentos. Portanto, pode se concluir que, o emprego de parametrização automática em modelagem hidrológica é bastante útil, porém deverá ser feito com bastante cautela porque, de outra forma, poderá gerar resultados não compatíveis com as realidades do campo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq-Brasil, através do Projeto de *Avaliação dos impactos das ações antrópicas sobre os recursos hídricos numa bacia do Estado de Sergipe*, aprovado no edital Universal 02/2006, Processo No 477467/2006-7. Os autores também agradecem a Universidade Federal de Sergipe – UFS e a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, a Secretaria de Recursos Hídricos de Sergipe – SRH-SE na pessoa do senhor João Carlos, e ao centro de Meteorologia de Sergipe (CEMESE), na pessoa do senhor Overland Amaral pelos dados climatológicos.

BIBLIOGRAFIA

- ANA (2002). HIDRO - Sistema de Informações Hidrológicas. Versão 1.0. Manual do Usuário.
- ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S. (2010). Runoff And Sediment Yield Evaluation In The Japarutuba-Mirim River Basin/Brazil With The Kineros2 Model In: Proceedings of the 17th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association of Hydraulic Engineering and Research incorporating the 7th International Urban Watershed Management Conference. AUCKLAND, NEW ZEALAND: IAHR-AIRH, 2010. v.1. p.1 - 10
- ARAGÃO, R; ALMEIDA, J. A. P.. (2009). Avaliação Espaço Temporal do Uso do Solo na Área da Bacia do Rio Japarutuba - Sergipe Através de Imagens LANDSAT. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. NATAL-RN : INPE, v. 1. p. 1231-1238.
- BEVEN, K. (2001). Rainfall-Runoff Modelling-The Primer. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England. 360p.

- IMAM, B. (2000). Range of Manning Number. Disponível em: <http://hydis.eng.uci.edu/CEE273/Homeworks/Homework_3/Range%20of%20Manning%20Numbers.pdf>. Acesso em 02 de junho de 2008.
- CHAGAS, C. S. et al. (2004). Estrutura e organização do sistema de informações georreferenciadas de solos do Brasil (Sigsolos - versão 1.0). Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2004, vol.28, n.5, pp. 865-876. ISSN 0100-0683.
- CHOW, V.T; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. (1988) Applied Hydrology. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. Singapore. 572p.
- GOODRICH, D. C.; Hernandez, M.; Miller, S. Kepner, W. G et al., (2000); Landscape Indicator Interface with Hydrologic Models. Research Plan. U.S. Environmental Protection Agency (EPA).
- GRASSI, M. T. (2001) As águas do planeta Terra. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. Edição especial.
- LOPES, V.L.; CANFIELD, H.E. (2004). “Effects of Watershed Representation on Runoff and Sediment Yield Modeling”. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 40(2):311-319.
- MELO, H. A. (2010) Integração entre Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informações Geográficas: Uma Avaliação Metodológica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG
- MILLER, S. N; GOODRICH, D. C.; HERNANDEZ, M.; SEMMENS, D. J.; MILLER, R. C.; KEPNER, W. G.; GUERTIN, D. P. (2007) The automated geospatial watershed assessment tool. Environmental Modelling & Software, v.22, n.3, p. 365-377,.
- MILLER, S. N.; GUERTIN, D. P.; GOODRICH, D. C. (2007). Hydrologic Modeling Uncertainty Resulting From Land Cover Misclassification. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA). Vol. 43, No. 4. 2007. p. 1065-1075.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). (2005) Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em: 5 jun. 2009.
- NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J.G; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J. R. (2005) Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation – version 2005. USDA Agricultural Research Service.
- SEPLANTEC (2004). Atlas Digital de Recursos Hídricos. Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia de Sergipe: Superintendência de Recursos Hídricos, 2004.
- SINGH, V.P. (1995). Watershed Modelling. In: V.P. Singh (editor). Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publication, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- SINGH, V.P., WOOLHISER, D. A. (2002). Mathematical Modeling of Watershed Hydrology. Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 7, No. 4, July 1, 2002.
- SMITH R. E., GOODRICH, D. C., WOOLHISER, D. A., AND UNKRICH, C. L. (1995). KINEROS – A KINematic Runoff and EROSION Model. In: V. S. Singh (editor). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, United States.
- SRINIVASAN, V. S. ARAGÃO, R., MORAES, H. A.; SANTOS, L. L. (2006) Applicability of the Model KINEROS2 for the Semiarid Basins of the North-East of Brazil. In: Proceedings of 15TH Congress of Asia and Pacific Division of the IAHS and International Symposium on Maritime Hydraulics, 2006, Chennai, India: IAHS, 2006. v. 1. p.1.
- WINCHELL, M.; SRINIVASAN, R.; DI LUZIO, M.; ARNOLD, J. (2009) ARCSWAT 2.3.4 interface for SWAT2005 - user's guide. USDA Agricultural Research Service.

WOOLHISER, D. A.; SMITH, R. E.; GOODRICH, D.C. (1990). KINEROS: A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 1990.