

# MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA COM O MODELO MOSEE E DADOS DE MICROBACIAS EM SÃO JOÃO DO CARIRI - PB

*Zacarias Caetano Vieira<sup>1</sup>; Eduardo Eneas de Figueiredo<sup>2</sup>*

**RESUMO** --- Neste trabalho descreve-se a realização da modelagem hidrossedimentológica de três microbacias inseridas na Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC), utilizando o modelo distribuído MOSEE (Modelo de Simulação do escoamento e Erosão do Solo) e dados de escoamento e erosão observados nos anos de 2002, 2003 e 2004. O modelo simula de maneira contínua, em escala de bacia, o escoamento pelo excesso de precipitação sobre a capacidade de infiltração do solo e/ou pelo excesso de umidade da camada superficial do solo sobre a umidade de saturação, considerando a variabilidade espacial da chuva e as características físicas da bacia. A erosão do solo e o transporte dependem do desprendimento pela chuva e da capacidade de transporte do escoamento. A modelagem consistiu da calibragem do coeficiente de propagação do escoamento (C) do método Convexo do SCS e do parâmetro de erosividade da chuva ( $K_r$ ) para o desprendimento do solo, com base na comparação de picos, lâminas e cargas de sedimentos anuais simulados e observados. Os resultados mostram que o modelo MOSEE simulou, de maneira contínua, satisfatoriamente os processos de escoamento e erosão. Os bons resultados dos picos e erosões máximas sugerem que, se o modelo fosse calibrado evento a evento os resultados seriam ainda melhores.

**ABSTRACT** --- This paper reports the hydrossedimentologic modelling realized with the MOSEE model (a model for soil erosion estimation) and data of runoff and soil erosion observed in 2002-2004, in three microbasins in São João do Cariri Experimental Basin (SJCEB). The model work out on a continuous time basis and simulates runoff as a result of rainfall excess over infiltration capacity and/or saturation of the top soil. Soil erosion and transport depend on the rainfall intensity, and on the flow transport capacity, and takes into account the spatial rainfall and catchment variability. The modelling was carried out by calibrating the routing Convex method coefficient (C), and the rainfall erosivity coefficient ( $K_r$ ) via comparisons of observed and simulated laminas and loads of sediment, and annual peak runoffs and erosion. The continuous simulation results approached reasonable well the observed values. The good results of peaks and maximum erosions suggest that, if the model were calibrated event per event, the results would be even better.

**Palavras-chave:** semiárido; modelo hidrossedimentológico; calibração e simulação.

---

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pelo PPGECA/UAEC/UFCG, Campina Grande-PB – [zacariascaetano@yahoo.com.br](mailto:zacariascaetano@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Professor do PPGECA – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – AERH/UAEC/CCT/UFCG – [eduardo@dec.ufcg.edu.br](mailto:eduardo@dec.ufcg.edu.br)

## 1 – INTRODUÇÃO

A crescente demanda dos recursos hídricos, somada as alterações climáticas e as intervenções antrópicas, principalmente a retirada da cobertura vegetal, perturba os processos hidrológicos, necessitando-se, portanto, de uma avaliação dos efeitos sobre os processos para uma melhor gestão dos recursos disponíveis e consequente sustentabilidade. Nesse sentido, a modelagem hidrossedimentológica vem sendo utilizada cada vez mais, com diversas finalidades, principalmente para a simulação do escoamento e erosão do solo. Até meados dos anos 80 os modelos empíricos e semiconceituais foram os mais utilizados, tais como a equação universal de perda de solo USLE (Wischmeier, 1960) e alguns modelos semiconceituais combinados com a USLE (e.g. Williams, 1975). Posteriormente, foram desenvolvidos modelos mais complexos, denominados de modelos de base física, tais como o WESP (Lopes, 1987) e o SHE (Abbott et al., 1986a,b). Esses modelos utilizam leis físicas a parâmetros com significado que podem ser estabelecidos com base em observação ou estimados, sendo assim mais indicados para a investigação dos impactos das mudanças climáticas, das alterações da cobertura vegetal, uso do solo, escala, relevo e hidrografia. Modelos hidrossedimentológicos distribuídos de base física têm sido cada vez mais utilizados em estudos, análises e acompanhamento de sistemas e controle dos recursos naturais. Geralmente, em estudos com modelos distribuídos primeiramente realiza-se uma discretização da bacia em quadrículas, planos e canais ou sub-bacias (Figueiredo, 2009). Posteriormente efetua-se a parametrização, seja através da medição direta, quando esses forem mensuráveis, estimativa ou mesmo calibração quando se fizer necessário.

Segundo Aragão (2000) para um melhor entendimento dos processos hidrossedimentológicos e dos impactos no meio ambiente e seus efeitos, utilizam-se atualmente, com bastante frequência duas alternativas: a) observação dos processos em bacias experimentais e representativas; b) simulação através do uso de modelos. Em geral, a escassez de dados de escoamento e erosão tem sido uma limitação, evidenciando a importância da utilização desses modelos, os quais, quando calibrados e validados a partir de dados observados, permitem a simulação em condições semelhantes, além da simulação dos efeitos de mudanças do clima e uso do solo sobre os processos naturais.

O presente trabalho objetiva realizar a modelagem do escoamento e erosão do solo em três microbacias inseridas na Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC), utilizando o modelo distribuído denominado MOSEE – Modelo de Simulação do Escoamento e Erosão (Figueiredo, 2009) e dados de escoamento e erosão do solo observados no período 2002-2004. A modelagem e seus resultados são apresentados e discutidos.

## 2 – MODELO MOSEE

O modelo hidrossedimentológico MOSEE – Modelo de Simulação do Escoamento e Erosão do Solo contém duas componentes básicas: uma de fluxo e outra de erosão do solo. O modelo é distribuído, contínuo, desenvolvido para simular o escoamento e a erosão do solo em escala de bacia, sendo esta dividida em sub-bacias (no máximo 20 sub-bacias) onde o escoamento simulado é propagado ao longo do trecho de rio inserido. Atribui-se para cada bacia um posto pluviográfico e os parâmetros das manchas horizontais e do perfil vertical do solo, limitada a 3 camadas com espessuras  $h_A$ ,  $h_B$ ,  $h_C$  (cm), condutividades hidráulicas não saturadas médias dependentes da umidade  $\theta$  ( $m^3/m^3$ ),  $K_A(\theta)$ ,  $K_B(\theta)$  e  $K_C(\theta)$  (mm/h), e condutividade hidráulica saturada  $K_S$  (mm/h) de cada solo. As condutividades saturadas dependem do percentual de argila (%C) e areia (%S) em cada camada, calculadas com métodos alternativos (Figueiredo, 2009). A umidade entre os eventos de precipitação é considerada através do cálculo da evapotranspiração real e do potencial mátrico. Métodos alternativos para a evapotranspiração potencial são opcionais no programa do modelo. As alturas das chuvas e suas respectivas durações permitem o cálculo das intensidades. A área coberta juntamente com a altura de intercepção, que é uma característica de cada vegetação, determinam o volume de água interceptado. O escoamento superficial ocorre quando a intensidade da chuva for maior do que a capacidade de infiltração, quando a camada superficial do solo atingir a umidade de saturação, ou em ambos os casos. O escoamento gerado é propagado ao longo do trecho de rio alternativamente pelo método Convexo [ $Q_{t+\Delta t} = C I t + (1-C).Q_t$ , onde  $0 < C < 1$  é o coeficiente de propagação e  $I$  e  $Q$  os hidrogramas de entrada e saída do trecho ( $m^3/s$ )] do SCS (McCuen, 1982). A erosão do solo pela chuva (na versão do modelo utilizada neste trabalho, o desprendimento pelo escoamento não é considerado) tem por base o momento quadrado da chuva [ $D_r = K_r.F_w.(1-C_g-C_r).(M_r+M_d)$  ( $kg/m^2.s$ ), onde  $K_r$  é o coeficiente de erosividade da chuva,  $F_w$  é um fator que reduz a erosão conforme a lâmina do escoamento aumenta, e  $M_{r,d}$  os momentos quadrados da chuva direta e sob a vegetação] e o transporte de sedimentos que depende da capacidade de transporte pelo fluxo (e.g., Engelund & Hansen, 1967). Se a capacidade de transporte for maior do que a carga de sedimentos, toda a carga será transportada, caso contrário, a diferença será depositada.

## 3 – ÁREA DE ESTUDO

Para a aplicação do modelo foram selecionadas três microbacias (Tabela 1) inseridas na Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC). Segundo Santos (2008) a BESJC localiza-se próxima a cidade de São João do Cariri – PB na Região do Cariri Paraibano (Figura 1), com características

de semi-aridez mais acentuadas do que no sertão, apresenta elevações entre 400 e 600 m acima do nível do mar e ocupa uma área de aproximadamente 13,48 km<sup>2</sup>.

Tabela 1 – Características das microbacias da BESJC (Paiva, 2008)

Microbacia	Área (ha)	Declividade Média (%)	Perímetro (m)	Cobertura Vegetal
M1	0,18	7,5	175	Com resto de caatinga
M2	0,16	9,75	209	Com resto de caatinga
M3	1,63	6,75	533	Com resto de caatinga

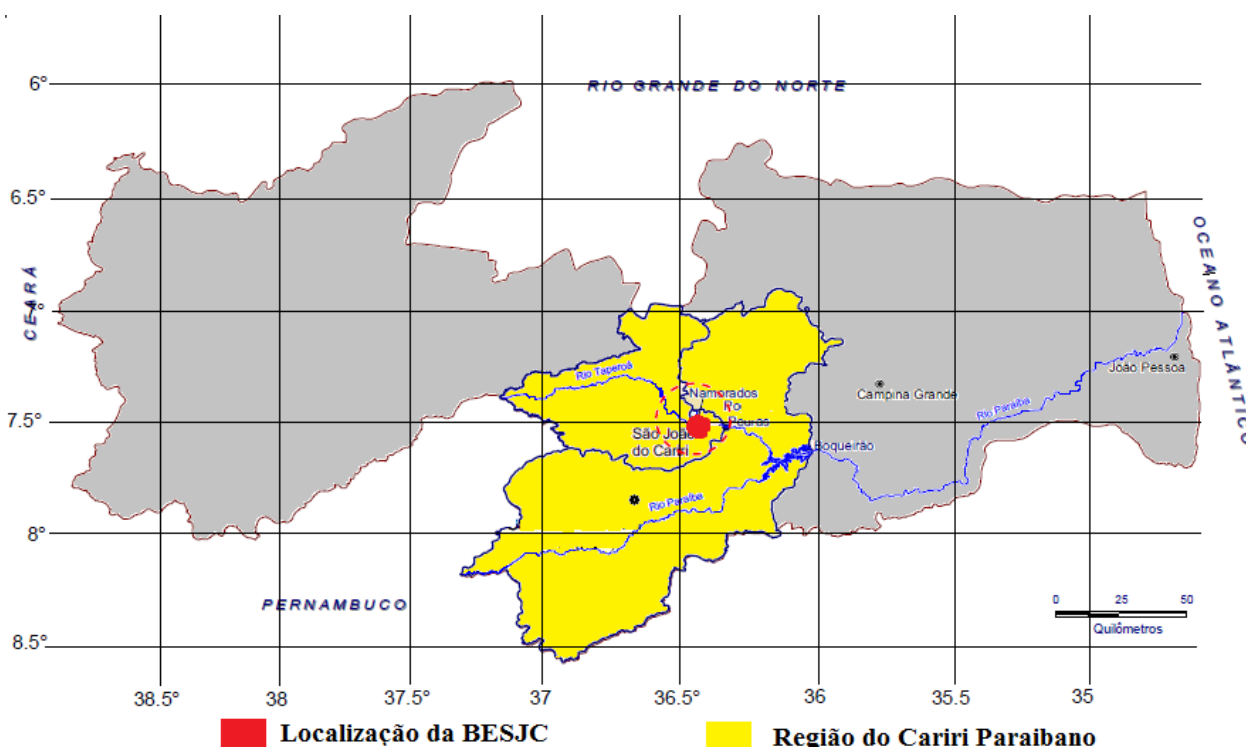


Figura 1 – Região do Cariri Paraibano e localização da BESJC no Estado da Paraíba  
 Fonte: Srinivasan et al., 2004

## 4 – MODELAGEM E RESULTADOS

### 4.1 – Modelagem

As microbacias selecionadas foram divididas em 20 sub-bacias, com áreas iguais, para simplificação, sendo a topografia (altitudes máximas e mínimas, extensões e larguras dos trechos de rios) e a textura das camadas de solo informadas ao modelo em arquivos específicos. Fixou-se a proporção da cobertura vegetal em 20% para a microbacia M1, e 40% para as microbacias M2 e M3, enquanto que a proporção de afloramentos de rochas foi fixada em 2% para todas as microbacias. As larguras de todos os trechos de rios foram fixadas em 0,50 m. Dados de evaporação

potencial ( $E_p$ ) foram observados em tanques evaporimétricos e utilizados para calcular a evapotranspiração real em termos da tensão do solo segundo Saxton et al (1986), que utiliza a textura do solo, e do potencial mátrico. As espessuras das camadas de solo foram fixadas em  $h_A = 10$  cm,  $h_B = h_C = 20$  cm e foi adotada a textura do solo apresentada na tabela 2.

Tabela 2 – Textura do solo das microbacias (BESJC)

	Microbacia 1		Microbacia 2		Microbacia 3	
Camada	Argila (%)	Areia (%)	Argila (%)	Areia (%)	Argila (%)	Areia (%)
A	15,0	72,5	12,7	70,7	13,3	71,9
B	33,0	54,7	24,0	65,3	26,7	62,3
C	33,0	54,7	24,0	65,3	26,7	62,3

As equações de Saxton et al (1986), e de Brooks & Corey (1964) com  $\eta = -1/B$ , foram utilizadas para o cálculo das condutividades hidráulicas saturadas e não saturadas respectivamente. A umidade inicial foi adotada como sendo igual a do ponto de murcha e a umidade de saturação  $\theta_s = f_{ar} \cdot \phi$ , com  $f_{ar} = 0,91$  (camada A) e 0,8 (camadas B e C), sendo a porosidade  $\phi$  determinada com base na textura do solo (Rawls & Brakensiek, 1989). A estimativa da capacidade de infiltração foi feita utilizando os parâmetros  $C = 7$  e  $D = 0,8$  obtidos da curva de capacidade de infiltração ajustada [ $f=C\theta^{-D}$ ] aos dados de Sumé. A propagação do escoamento foi feita com o método Convexo do SCS (McCuen, 1982) e tempo de propagação dado pela equação de Kirpich (1940). O coeficiente de Manning foi fixado em  $n = 0,03$  para os canais. O método de Engelund-Hansen (1967) foi escolhido para determinação da capacidade de transporte pelo escoamento, com o diâmetro representativo  $D_{50} = 0,3$  mm obtido de ensaios granulométricos do sedimento erodido.

Foram escolhidos dados de lâminas e erosões observados num ano seco (2003), num ano normal (2002) e num ano úmido (2004). Sendo os resultados da componente de erosão do modelo diretamente relacionados com os resultados da componente de fluxo, inicialmente foram calibrados os coeficientes de propagação do escoamento (C) pela comparação das lâminas e picos anuais observadas e simuladas. Posteriormente, realizou-se a calibração do coeficiente de erosividade da chuva ( $K_r$ ), primeiramente para ajustar a produção anual de sedimentos e depois para ajustar a erosão máxima (Vieira, 2011).

#### 4.2 – Resultados da Calibração do Coeficiente de Propagação do Escoamento (C)

A calibração do coeficiente de propagação (C) foi feita por tentativa e erro comparando-se lâminas e picos anuais observados com simulados de modo a se obter o melhor ajuste com base nos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e erros percentuais. Os valores de C são apresentados

nas Tabelas 3 (ano 2002), 4 (ano 2003) e 5 (ano 2004), obtidos com base na comparação das lâminas (Figuras 2 a 4 para o ano de 2002, 5 a 7 para o ano de 2003 e 8 a 10 para o ano de 2004).

Tabela 3 – Calibração de  $C = \Delta t/t_c$  para ajuste da Lâmina Anual – 2002 (BESJC)

Microbacias	$L_o$ (mm)	$L_s$ (mm)	Erro Percentual (%)	$\Delta t$ (min)	$t_c$ (min)	C(-)	$R^2$
M1	78,94	78,84	-0,13	0,228	0,2864	0,796	0,700
M2	5,11	5,22	2,15	0,048	0,1273	0,377	0,720
M3	1,50	1,51	0,67	0,099	0,5756	0,172	0,482

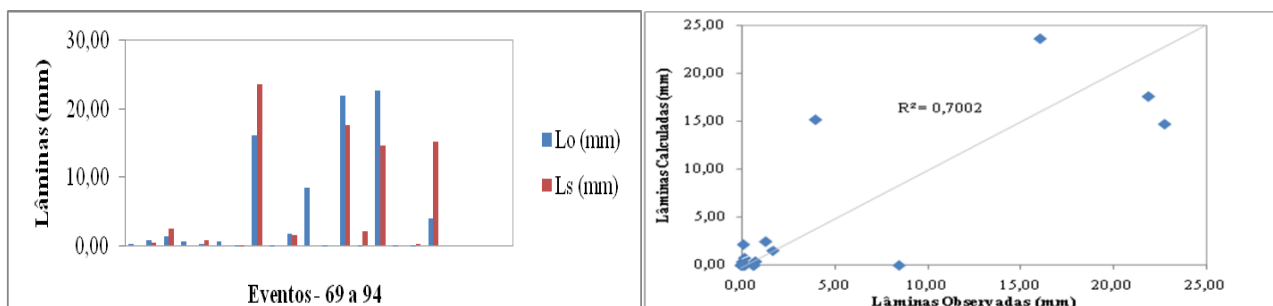


Figura 2 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste da Lâmina Anual - M1 – 2002 (BESJC)

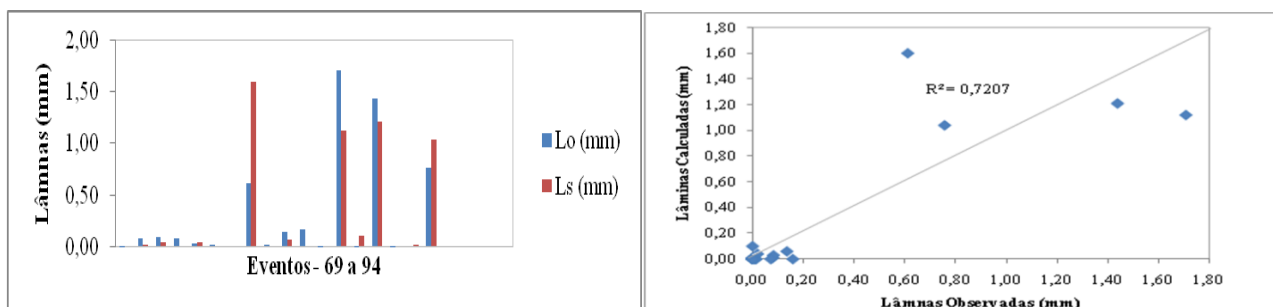


Figura 3 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste da Lâmina Anual - M2 – 2002 (BESJC)

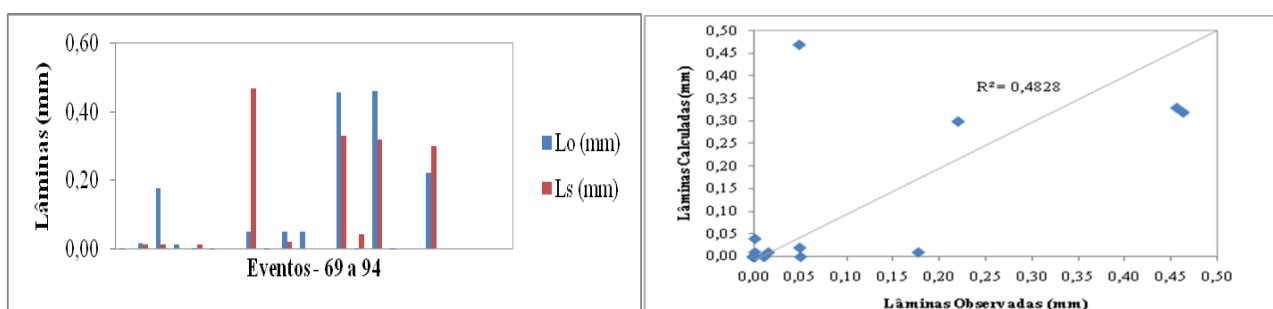


Figura 4 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste da Lâmina Anual - M3 – 2002 (BESJC)

Tabela 4 – Calibração de  $C = \Delta t/t_c$  para ajuste da Lâmina Anual – 2003 (BESJC)

Microbacias	$L_o$ (mm)	$L_s$ (mm)	Erro Percentual (%)	$\Delta t$ (min)	$t_c$ (min)	C(-)	$R^2$
M1	3,75	1,12	-70,13	0,286	0,2866	0,998	0,778
M2	2,94	0,77	-73,81	0,127	0,1275	0,996	0,695
M3	1,48	0,86	-41,89	0,577	0,5770	1,000	0,971

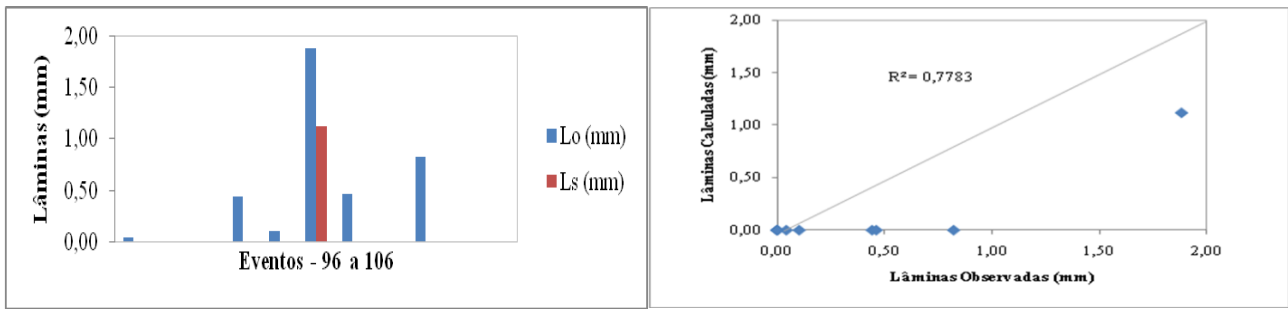


Figura 5 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste da Lâmina Anual - M1 – 2003 (BESJC)

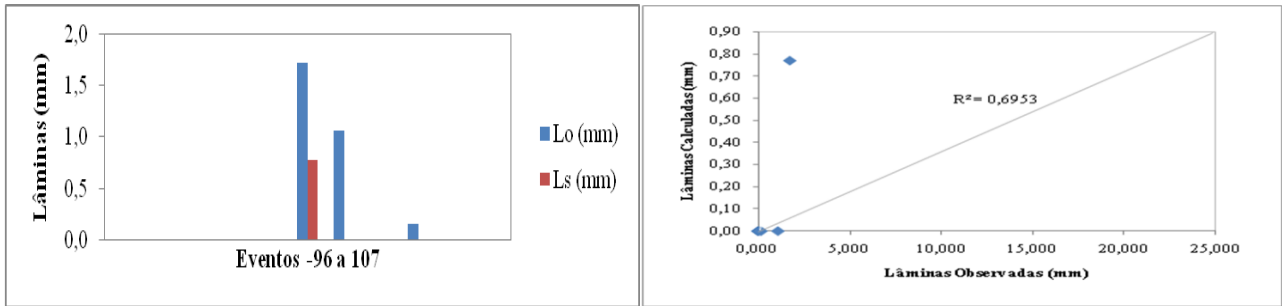


Figura 6 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste da Lâmina Anual - M2 – 2003 (BESJC)

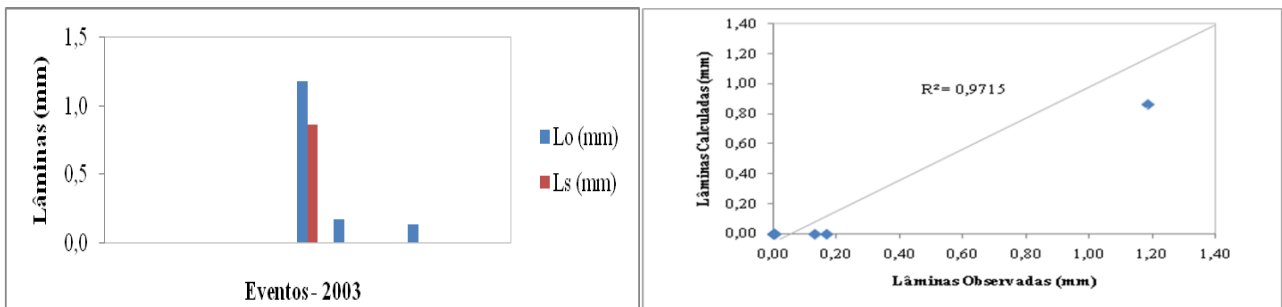


Figura 7 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste da Lâmina Anual - M3 – 2003 (BESJC)

Tabela 5 – Calibração de  $C = \Delta t/t_c$  para ajuste da Lâmina Anual – 2004 (BESJC)

Microbacias	$L_o$ (mm)	$L_s$ (mm)	Erro Percentual (%)	$\Delta t$ (min)	$t_c$ (min)	C(-)	$R^2$
M1	87,99	86,84	-1,31	0,270	0,2866	0,942	0,769
M2	64,86	56,24	-13,29	0,127	0,1275	0,996	0,806
M3	48,94	49,72	1,59	0,535	0,5771	0,927	0,927

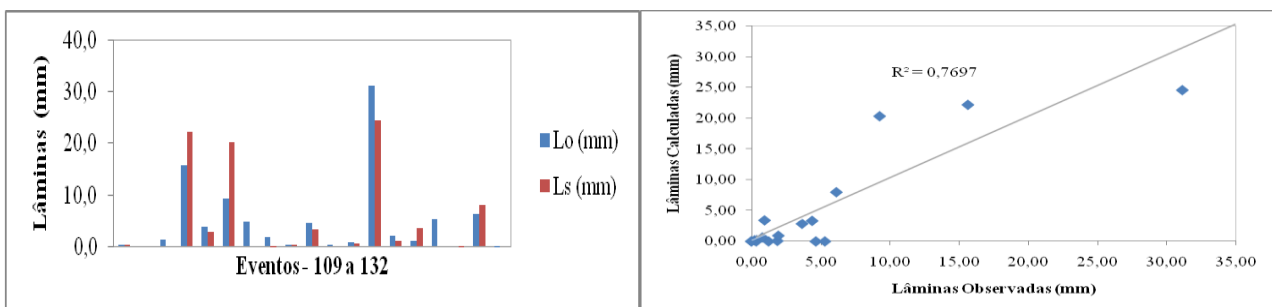


Figura 8 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste da Lâmina Anual - M1 – 2004 (BESJC)

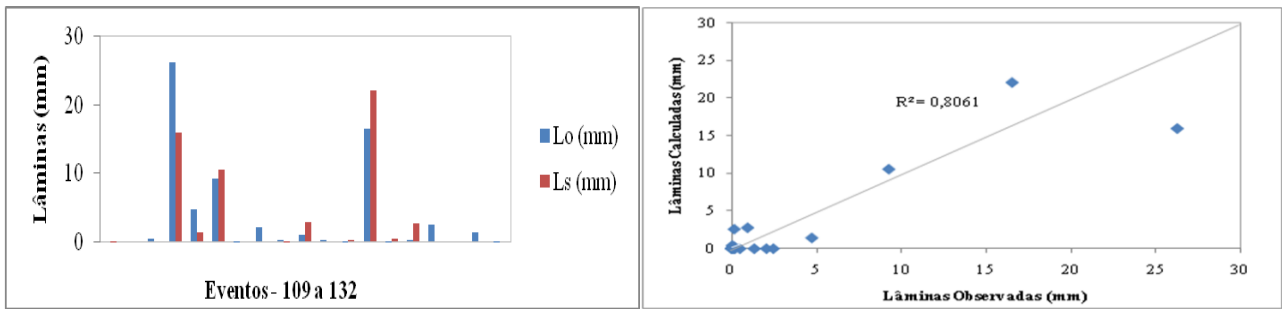


Figura 9 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste da Lâmina Anual - M2 – 2004 (BESJC)

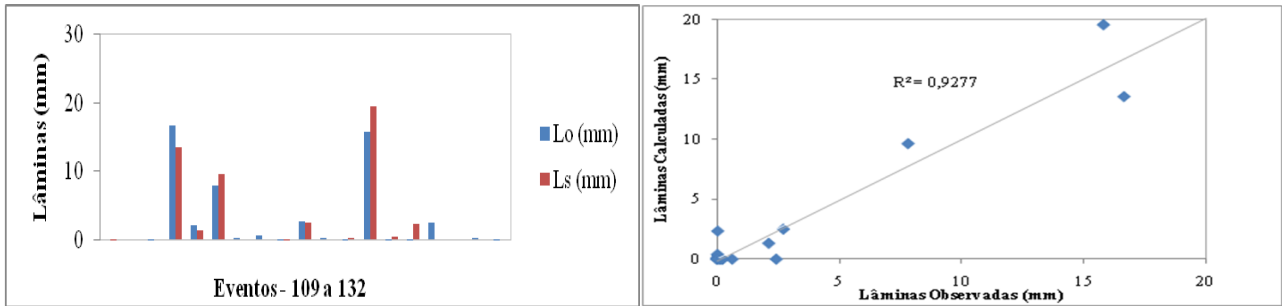


Figura 10 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste da Lâmina Anual - M3 – 2004 (BESJC)

Os valores de C apresentados nas Tabelas 6 (ano 2002), 7 (ano 2003) e 8 (ano 2004), foram obtidos com base na comparação dos picos (Figuras 11 a 13 para o ano de 2002, 14 a 16 para o ano de 2003 e 17 a 19 para o ano de 2004).

Tabela 6 – Calibração de  $C = \Delta t/t_c$  para ajuste dos Picos – 2002 (BESJC)

Microbacias	$L_o(\text{máx})$ (mm)	$L_s(\text{máx})$ (mm)	Erro Percentual (%)	$\Delta t$ (min)	$t_c$ (min)	C(-)	$R^2$
M1	22,78	22,81	0,13	0,226	0,2890	0,789	0,700
M2	1,71	1,68	-1,75	0,049	0,1276	0,384	0,717
M3	0,46	0,47	2,17	0,099	0,5756	0,172	0,482

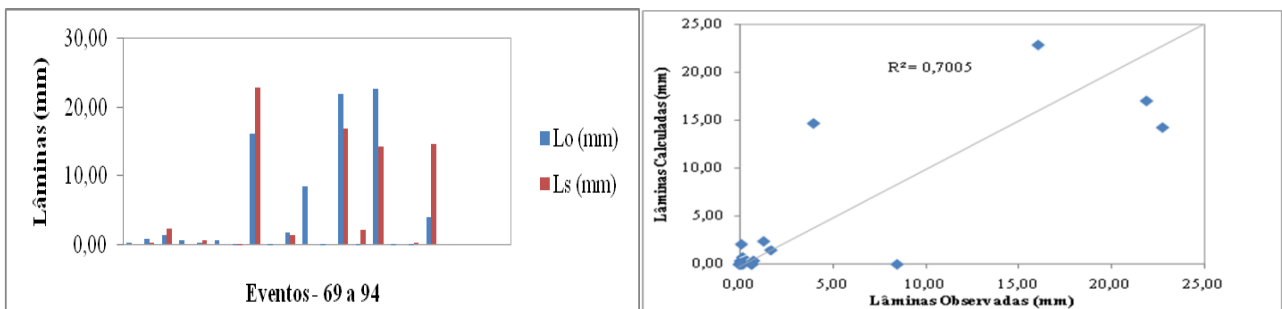


Figura 11 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste do Pico - M1 – 2002 (BESJC)



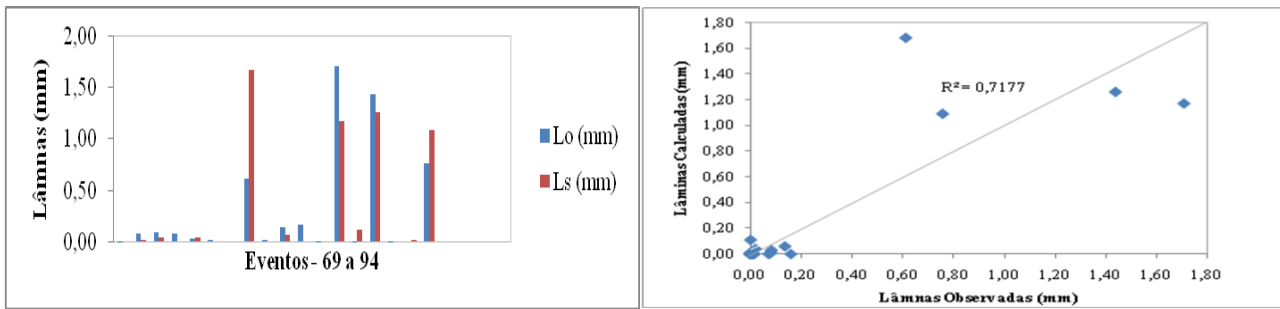


Figura 12 Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste do Pico –M2 – 2002 (BESJC)

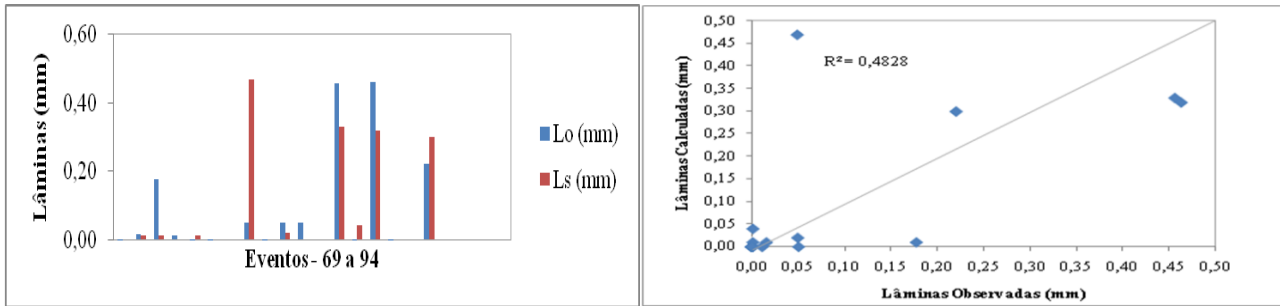


Figura 13 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste do Pico - M3 – 2002 (BESJC)

Tabela 7 – Calibração de  $C = \Delta t/t_c$  para ajuste dos Picos – 2003 (BESJC)

Microbacias	$L_o(\text{máx})$ (mm)	$L_s(\text{máx})$ (mm)	Erro Percentual (%)	$\Delta t$ (min)	$t_c$ (min)	C(-)	$R^2$
M1	1,88	1,12	-40,42	0,286	0,2866	0,998	0,788
M2	1,72	0,77	-55,23	0,127	0,1275	0,996	0,695
M3	1,19	0,86	-27,73	0,577	0,5770	1,000	0,971

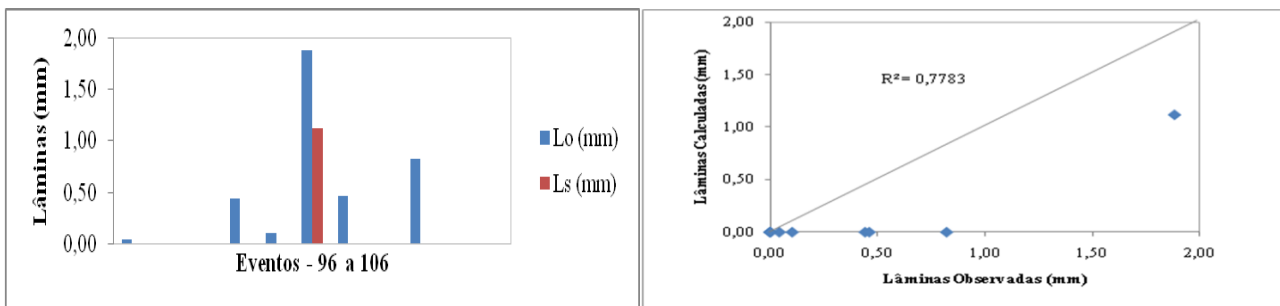


Figura 14 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste do Pico - M1 – 2003 (BESJC)

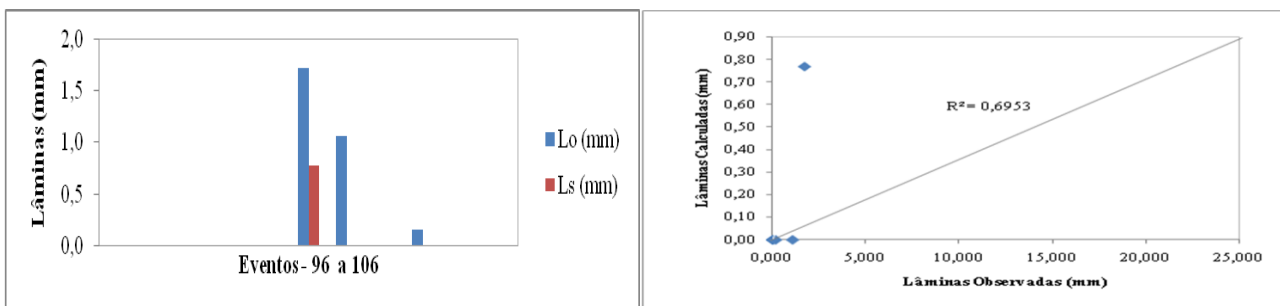


Figura 15 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste do Pico - M2 – 2003 (BESJC)

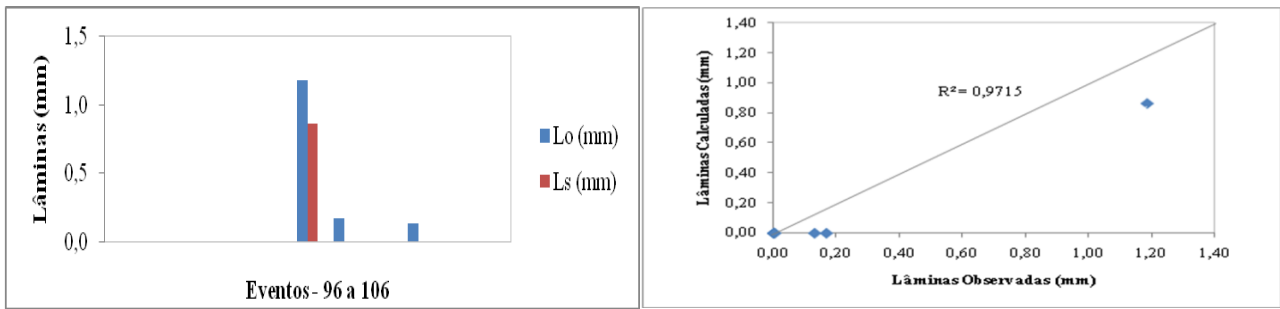


Figura 16 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste do Pico - M3 – 2003 (BESJC)

Tabela 8 – Calibração de  $C = \Delta t/t_c$  para ajuste dos Picos – 2004 (BESJC)

Microbacias	$L_o(\text{máx})$ (mm)	$L_s(\text{máx})$ (mm)	Erro Percentual (%)	$\Delta t$ (min)	$t_c$ (min)	C(-)	R <sup>2</sup>
M1	31,15	26,94	-13,52	0,286	0,2866	0,998	0,760
M2	26,28	22,06	-16,05	0,127	0,1275	0,996	0,806
M3	16,66	16,64	-0,12	0,505	0,5771	0,875	0,927

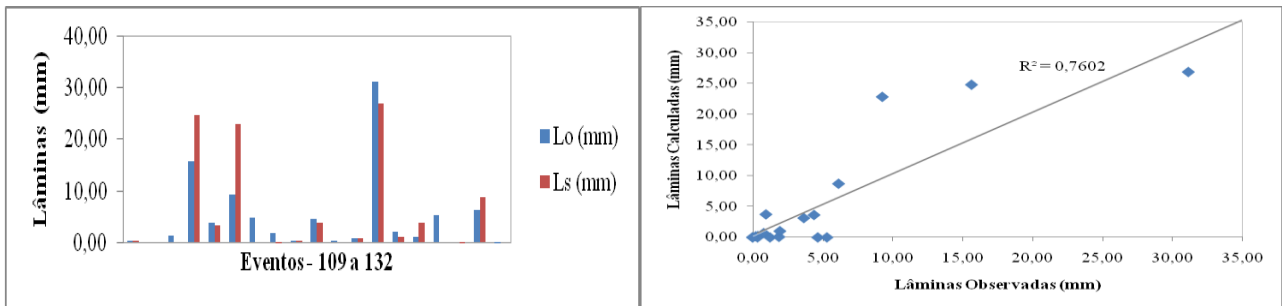


Figura 17 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste do Pico - M1 – 2004 (BESJC)

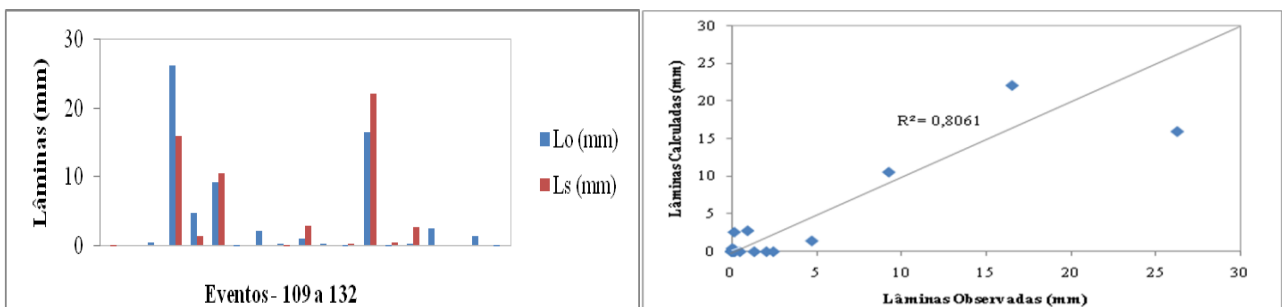


Figura 18 - Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste do Pico - M2 – 2004 (BESJC)

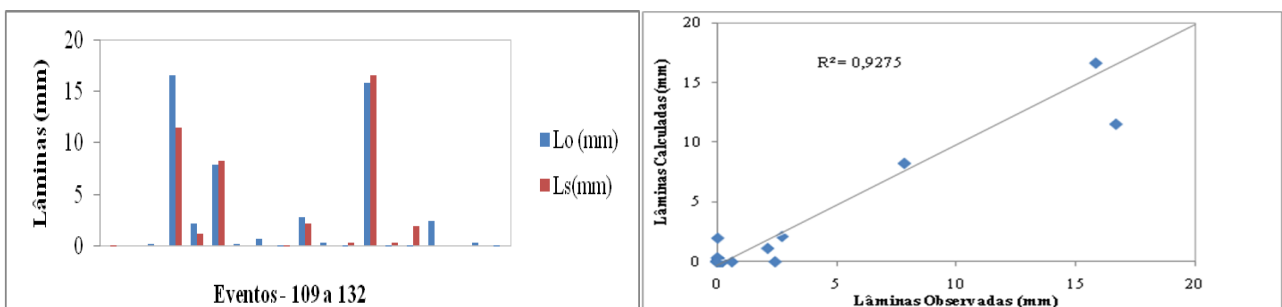


Figura 19- Lâminas observadas e simuladas com C calibrado para ajuste do Pico - M3 – 2004 (BESJC)

### 4.3 – Resultados da Calibração do Coeficiente de Erosividade da Chuva ( $K_r$ )

A calibração do coeficiente de erosividade da chuva ( $K_r$ ) foi feita também por tentativa e erro, comparando-se as cargas máximas e cargas totais de sedimentos anuais simuladas e observadas, com ajuste analisado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e erros percentuais. Os resultados são apresentados nas Tabelas 9 (ano de 2002), 10 (ano de 2003) e 11 (ano de 2004). As Figuras 20 a 22, 23 a 25 e 26 a 28 mostram as comparações para os anos 2002, 2003 e 2004 (cargas anuais).

Tabela 9 – Calibração de  $K_r$  para ajuste da Produção Anual de Sedimentos – 2002 (BESJC)

Microbacias	$E_o(t)$	$E_c(t)$	Erro Percentual (%)	$K_r$ ( $s^2/kg,m^2$ )	$R^2$
M1	0,0921	0,0922	0,10	0,3810	0,542
M2	0,0051	0,0052	1,96	0,0225	0,426
M3	0,0185	0,0186	0,05	0,0075	0,314

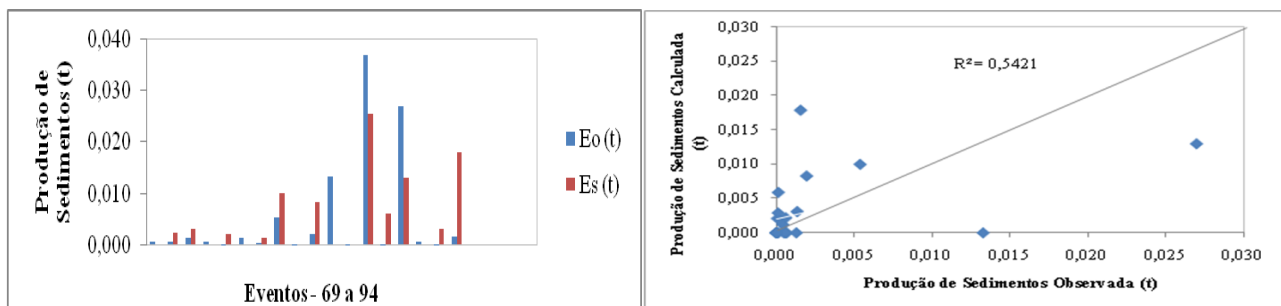


Figura 20 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da produção anual de sedimentos - M1-2002 (BESJC)

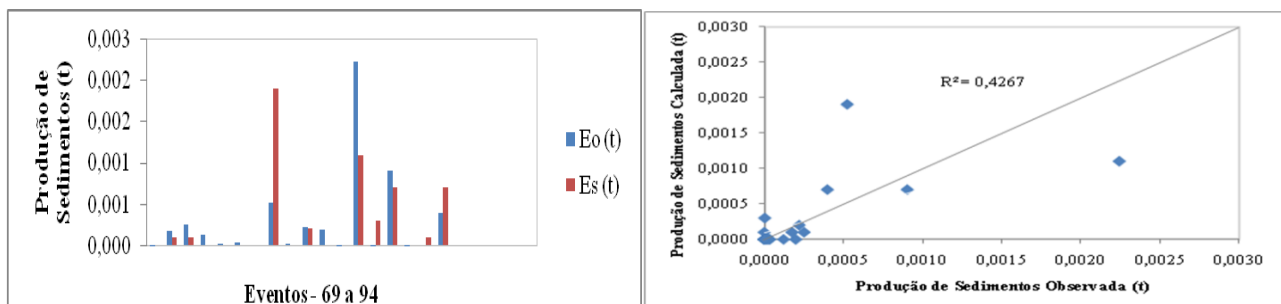


Figura 21 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da produção anual de sedimentos - M2 - 2002 (BESJC)

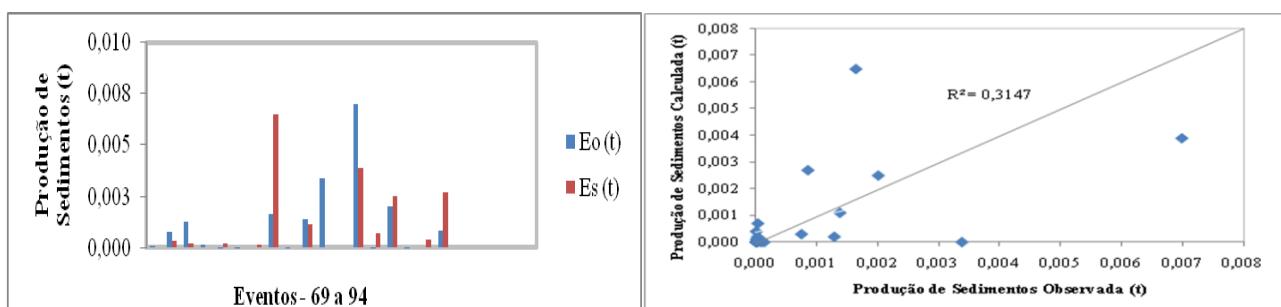


Figura 22 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da produção anual de sedimentos - M3 - 2002 (BESJC)

Tabela 10 – Calibração de  $K_r$  para ajuste da Produção Anual de Sedimentos – 2003 (BESJC)

Microbacias	$E_o(t)$	$E_c(t)$	Erro Percentual (%)	$K_r$ ( $s^2/kg,m^2$ )	$R^2$
M1	0,0007	0,0008	14,29	0,1120	0,778
M2	0,0005	0,0005	0,00	0,1125	0,695
M3	0,0024	0,0024	0,00	0,0510	0,971

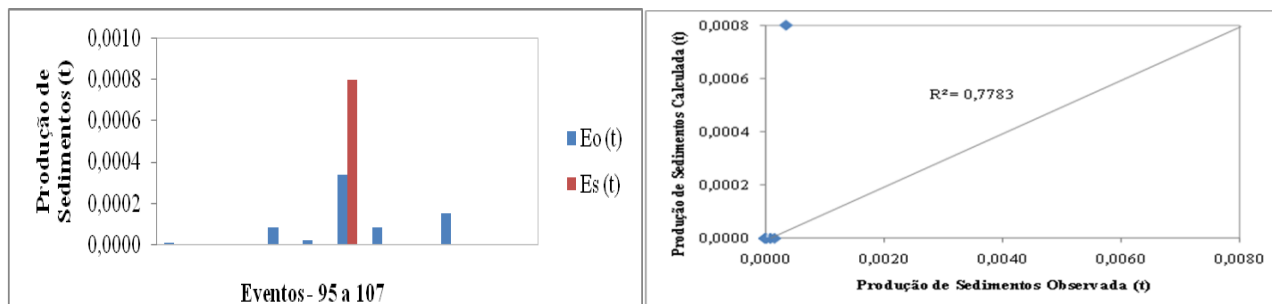


Figura 23 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da produção anual de sedimentos - M1 - 2003 (BESJC)

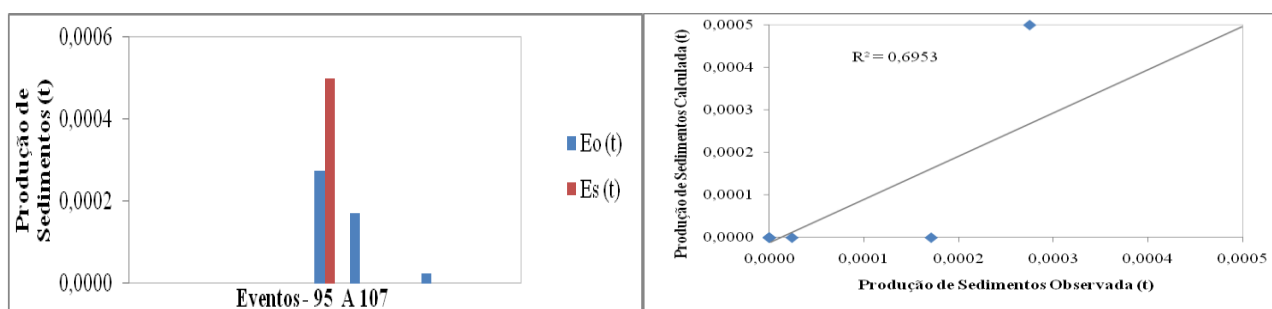


Figura 24 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da produção anual de sedimentos - M2 - 2003 (BESJC)

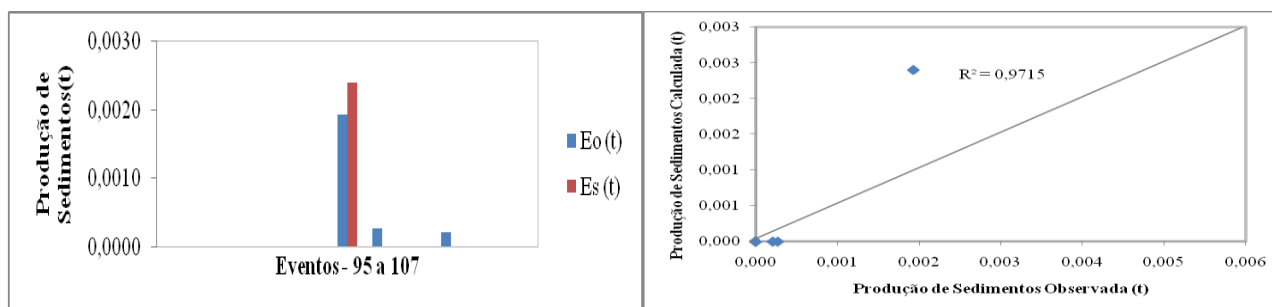


Figura 25 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da produção anual de sedimentos - M3 - 2003 (BESJC)

Tabela 11 – Calibração de  $K_r$  para ajuste da Produção Anual de Sedimentos – 2004 (BESJC)

Microbacias	$E_o(t)$	$E_c(t)$	Erro Percentual (%)	$K_r$ ( $s^2/kg,m^2$ )	$R^2$
M1	0,1014	0,1024	0,99	0,4150	0,431
M2	0,0480	0,0464	-3,33	0,4025	0,509
M3	0,2828	0,2808	-0,70	0,2350	0,535

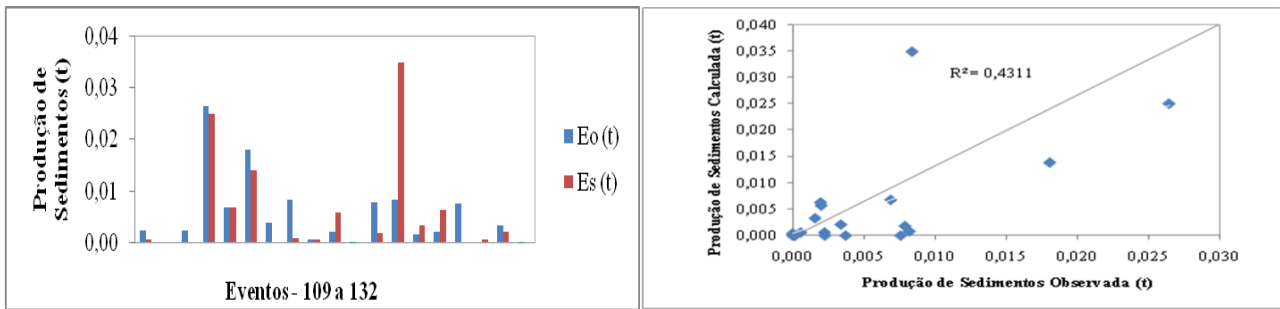


Figura 26 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da produção anual de sedimentos - M1 - 2004 (BESJC)

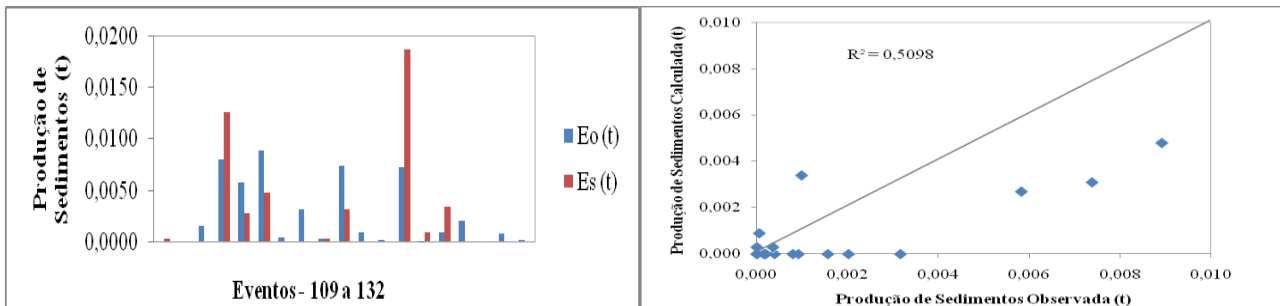


Figura 27 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da produção anual de sedimentos - M2 - 2004 (BESJC)

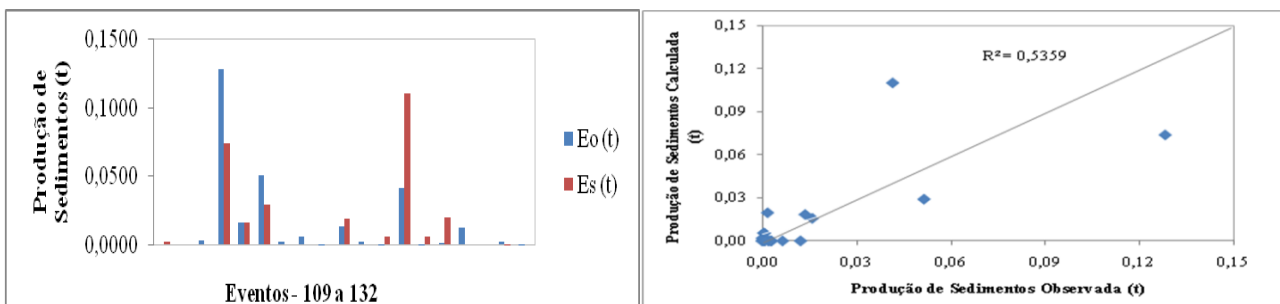


Figura 28 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da produção anual de sedimentos - M3 - 2004 (BESJC)

Os resultados da calibração de  $K_r$  para as erosões máximas anuais são apresentados nas Tabelas 12 (ano de 2002), 13 (ano de 2003) e 14 (ano de 2004). As Figuras 29 a 31, 32 a 34 e 35 a 37 mostram as comparações para os anos 2002, 2003 e 2004.

Tabela 12 – Calibração de  $K_r$  para ajuste da Erosão Máxima – 2002 (BESJC)

Microbacias	$E_{o(max)}$ (t)	$E_{c(max)}$ (t)	Erro Percentual (%)	$K_r$ ( $s^2/kg,m^2$ )	$R^2$
M1	0,0371	0,0371	0,00	0,5515	0,542
M2	0,022	0,0022	0,00	0,0265	0,442
M3	0,0070	0,0070	0,00	0,0080	0,315

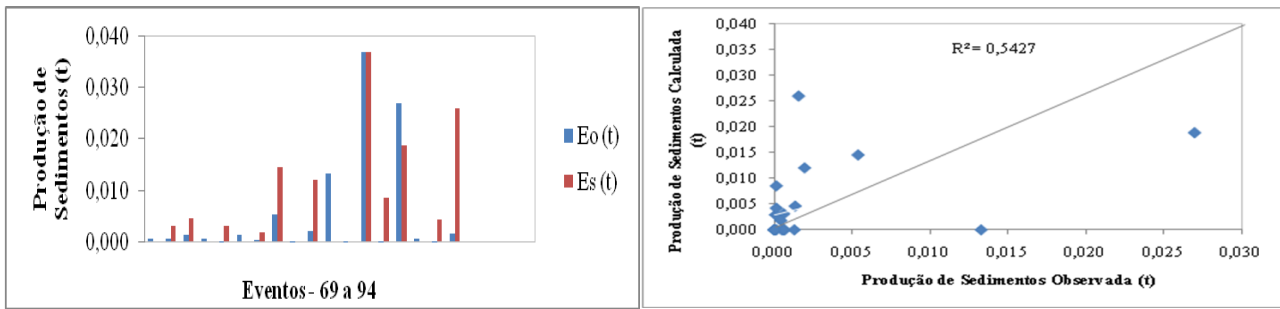


Figura 29 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da erosão máxima - M1 - 2002 (BESJC)

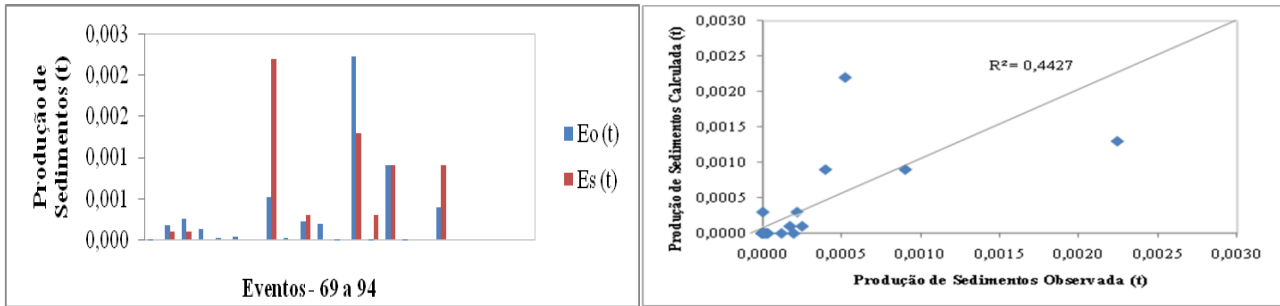


Figura 30 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da erosão máxima - M2 - 2002 (BESJC)

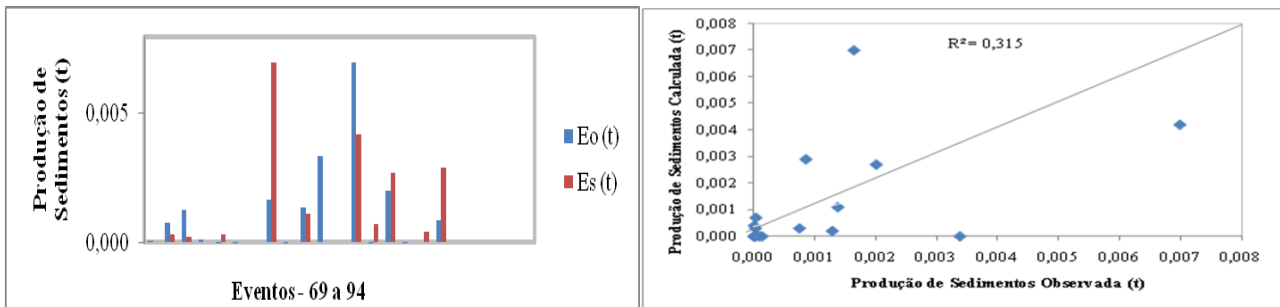


Figura 31 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da erosão máxima - M3 - 2002 (BESJC)

Tabela 13 – Calibração de  $K_r$  para ajuste da Erosão Máxima – 2003 (BESJC)

Microbacias	$E_{o(max)}$ (t)	$E_{c(max)}$ (t)	Erro Percentual (%)	$K_r$ ( $s^2/kg, m^2$ )	$R^2$
M1	0,0003	0,0003	0,00	0,0475	0,778
M2	0,0003	0,0003	0,00	0,0620	0,695
M3	0,0019	0,0019	0,00	0,0395	0,971

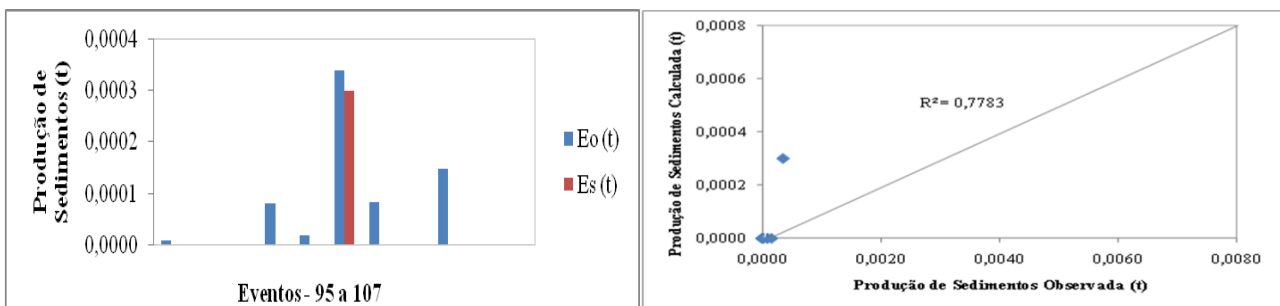


Figura 32 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da erosão máxima - M1 - 2003 (BESJC)

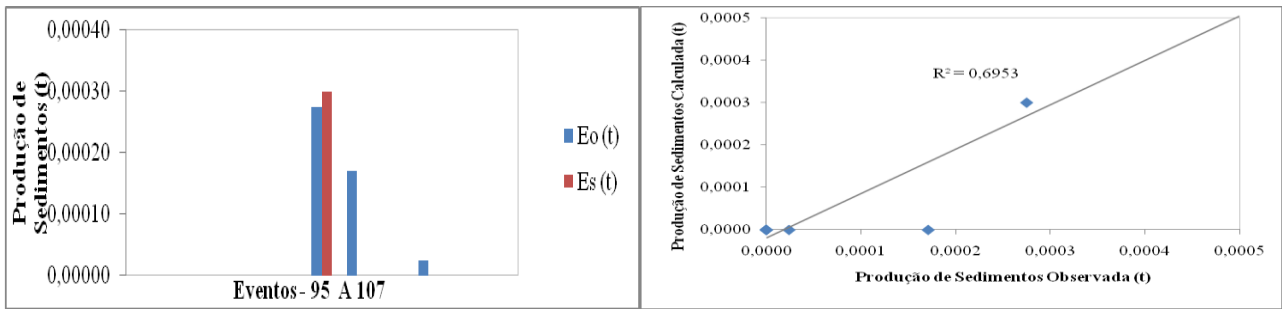


Figura 33 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da erosão máxima - M2 - 2003 (BESJC)

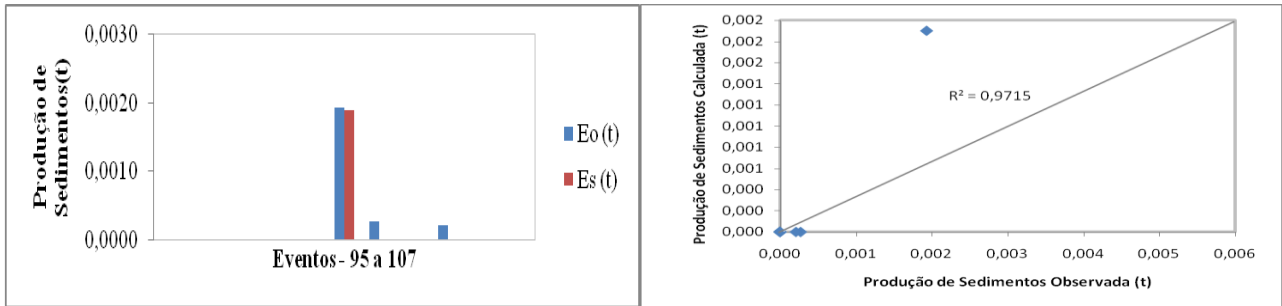


Figura 34 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da erosão máxima - M3 - 2003 (BESJC)

Tabela 14 – Calibração de  $K_r$  para ajuste da Erosão Máxima – 2004 (BESJC)

Microbacias	$E_{o(max)}$ (t)	$E_{c(max)}$ (t)	Erro Percentual (%)	$K_r$ ( $s^2/kg, m^2$ )	$R^2$
M1	0,0264	0,0265	0,38	0,3135	0,428
M2	0,0089	0,0089	0,00	0,1910	0,506
M3	0,1281	0,1281	0,00	0,2720	0,527

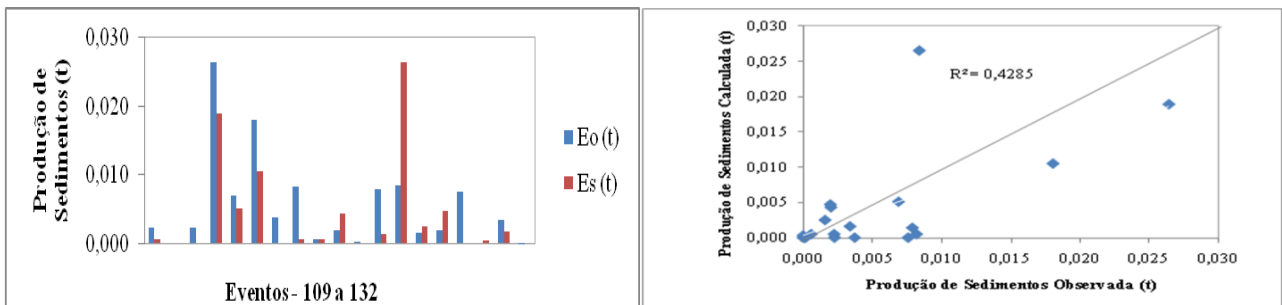


Figura 35 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da erosão máxima - M1 - 2004 (BESJC)

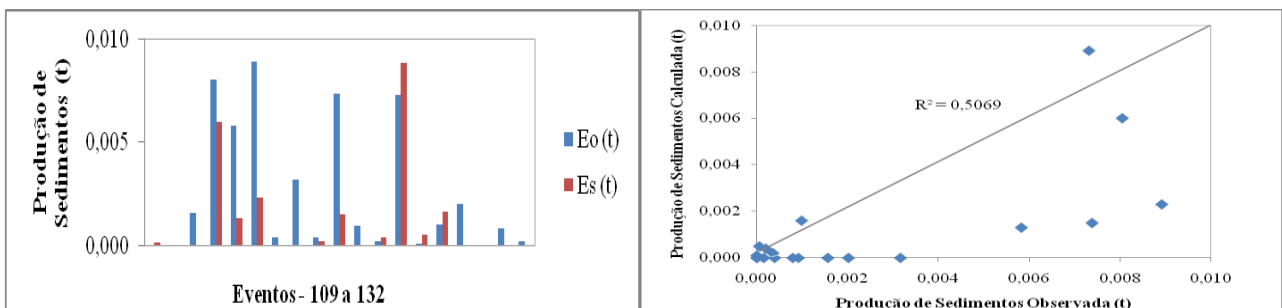


Figura 36 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da erosão máxima - M2 - 2004 (BESJC)

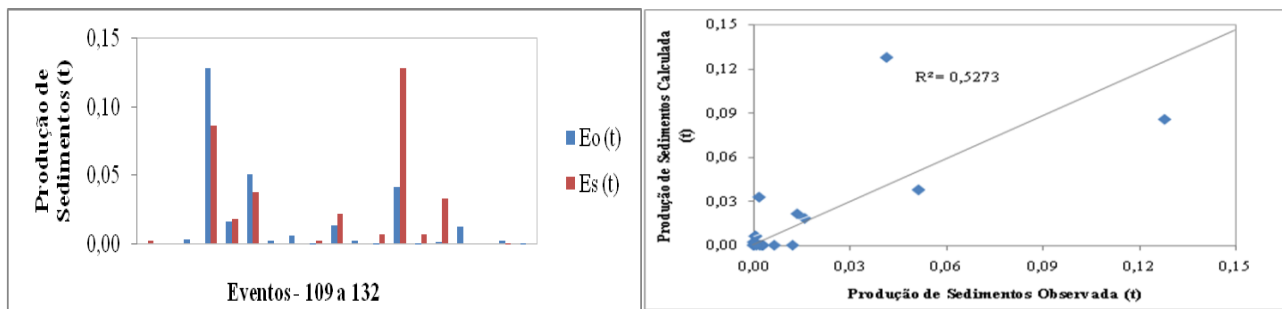


Figura 37 - Erosões observadas e simuladas com  $K_r$  calibrado para ajuste da erosão máxima - M3 - 2004 (BESJC)

## 5 – ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados indicados nas tabelas anteriormente apresentadas mostram que o modelo representou bem as lâminas e os picos dos escoamentos anuais em todas as micro-bacias, com valor médio do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,76$  (geral) e erro percentual, em termos absolutos, da ordem de 19,5% (geral). Esses valores são bem representativos haja vista que as calibrações do coeficiente de propagação (C) e do coeficiente de erosividade da chuva ( $K_r$ ) foram feitas com base na comparação dos valores anuais. Ademais, os gráficos comparativos dos valores de lâminas e erosões simulados e observados em cada ano mostram boas aproximações. Particularmente no caso dos picos de escoamento e erosão anuais, os resultados são muito próximos com erros percentuais baixos (exceto para a bacia M3 em 2003), sugerindo que se o modelo fosse calibrado evento a evento os resultados seriam ainda melhores. Os valores calibrados tanto do coeficiente de propagação (C) quanto do coeficiente de erosividade da chuva ( $K_r$ ) mostram-se consistentes, com valores de  $0,15 < C < 1$  e de  $0,008 < K_r < 0,55$ , dependendo do índice pluviométrico anual. Para o escoamento superficial, algumas lâminas simuladas não puderam ser mais aproximadas das lâminas observadas por que o limite superior do coeficiente de propagação do escoamento ( $0 < C < 1$ ) foi atingido, resultando em altos erros percentuais (e.g., M1, M2 e M3 (Tabela 4); M2(Tabela 5)). O mesmo comportamento foi observado na calibração do coeficiente (C) para ajuste dos picos de escoamento. Com respeito a erosão, os erros percentuais foram baixos e os coeficientes de determinação bons.

## 6 – CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho são: a) a modelagem do escoamento e erosão do solo foi realizada com êxito utilizando-se o modelo hidrossedimentológico distribuído MOSEE e dados de chuvas, lâminas e erosões observados em microbacias experimentais localizadas na Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC); b) os parâmetros calibrados com base em totais



anuais apresentaram valores consistentes ( $0,15 < C < 1$ ;  $0,05 < K_r < 0,55$ ) em cada uma das unidades investigadas, conforme pluviometria anual; c) o modelo simulou satisfatoriamente ( $R^2 = 0,76$  e erro percentual da ordem de 19,5%) o escoamento e a erosão do solo de forma contínua, podendo ser utilizado para modelagem hidrossedimentológica em bacias semelhantes em regiões semi-áridas; d) as simulações de picos e erosões máximas apresentaram erros percentuais muito baixos, sugerindo que se o modelo fosse calibrado evento a evento os resultados seriam ainda melhores.

## BIBLIOGRAFIA

ABBOTT, M.B., BATHURST, J.C., CUNGE, J.A., O'CONNELL, P.E. & RASMUSSEN, J. (1986a). *An introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen, "SHE", 1: History and Philosophy of a Physically-Based, Distributed Modelling System*. J. Hydrol., 87: 45-59.

ABBOTT, M.B., BATHURST, J.C., CUNGE, J.A., O'CONNELL, P.E. & RASMUSSEN, J. (1986b). *An Introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen, "SHE", 2: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System*. J.Hydrol., 87: 61-77.

ARAGÃO, R.(2000). *Estimativa dos Parâmetros do Modelo Distribuído WESP com os Dados da Bacia Experimental de Sumé – PB*. Dissertação de mestrado, DEC/CCT/UFPB.

BROOKS, R.H. & COREY, A.T. (1964). *Hydraulic Properties of Porous Media*. Hydrol. Paper No. 3, Colorado State Univ., Fort Collins.

ENGELUND, F. & HANSEN, E. (1967). *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams*. Teknisk Vorlag, Copenhagen.

FIGUEIREDO E. E. (2009). *MOSESS\_2D. A model for runoff and soil erosion prediction at the catchment scale*. Projeto de pós-doutoramento. University of Sheffield, UK.

KIRPICH, Z. P. (1940). *Time of concentration of small agricultural watershed*. ASCE. Civil engineering, 10(6).

LOPES, V. L. (1987). *A Numerical Model of Watershed and Sediment Yield*, Ph.D. Dissertation, University of Arizona.

McCUEN, R.H. (1982). *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, United States.

PAIVA, F. M. L. (2008) *Estudo Comparativo entre Três Modelos de Base Física na Modelagem Hidrossedimentológica em Microbacias na região Semi-árida Paraibana*. Dissertação de Mestrado. UAEC/CTRN/UFCG.

RAWLS, W. J. & BRAKENSIEK, D.vbL. (1989). *Estimation of Soil Water Retention and Hydraulic Properties*. In: H.J.Morel-Seytoux (editor). *Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling Theory and Practice*, 275-300, Kluwer Academic Publisher.

SANTOS, L. L. (2008). *Modelagem Hidrossedimentológica e Avaliação Comparativa de Três Modelos em Pequenas Sub-Bacias na Região Semi-Árida Paraibana*. Dissertação de Mestrado. UAEC/CTRN/UFCG

SAXTON, K. E., RAWLS, W. J., ROSEMBERGER, J. S. & PAPENDICK, R. I. (1986). *Estimating generalized soil-water characteristics from texture*. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 50, 1031-1036.

SRINIVASAN, V.S., GALVÃO, C.O., SANTOS, C.A.G, FIGUEIREDO, E.E., REGO, J.C., ALCÂNTARA, H.M., ALBUQUERQUE, J.P.T., ARAGÃO, R., MELO, R.N.T., CRUZ, E., GUEDES, G.A., LACERDA, I., SANTOS, L.L. & ALVES, F.M. (2004). *Bacia Experimental de São João do Cariri-PB*. In: Righetto, A.M. (Org.), Implantação de Bacias Experimentais no Semi-árido, Cap. 4, FINEP/FUNPEC/CNPq/CTBRASIL. 93-126.

WILLIAMS, J. R. (1975). *Sediment Routing for Agricultural Watersheds*. Water Res. Bulletin, Am. Water Res. Ass. (AWRA), 11, No. 5, pp. 965-974.

WISCHMEIER, W. H. (1960). *A Universal Soil-Loss Estimating Equation to Guide Conserv. Farm Planning*. Trans. of the 7th Cong. Int. Soil Sci. Soc., 1:418-425.

VIEIRA, Z. C. (2011). *Modelagem do escoamento e erosão do solo sob diferentes condições de chuva e uso do solo em bacias do cariri paraibano com o modelo distribuído MOSEE*. Dissertação de mestrado. UAEC/CTRN/UFCG, Campina Grande, PB. 146 p.