

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

EROSIVIDADE DA CHUVA EM REGIÃO SEMIÁRIDA CEARENSE

Kassius Vinissius de Moraes Costa¹; José Vidal de Figueiredo²; José Carlos de Araújo³; Luiz Alberto Ribeiro Mendonça³; Sávio de Brito Fontenele⁴.

RESUMO – A erosividade das chuvas vem se tornando objeto de diversas pesquisas, uma vez que existem marcantes diferenças regionais deste parâmetro, que é indispensável nos estudos de modelos para predição de perdas de solo por erosão hídrica. Este trabalho teve como objetivo determinar a equação de erosividade de chuva ajustada para o município de Aiuaba – CE, localizado na região semiárida, tendo como base as formulações propostas por Wischmeier e Smith (1958) e Fournier (1960). A análise de regressão entre o índice de erosão mensal e coeficiente de chuva, apresentou uma boa correlação. O município de Aiuaba, no semiárido brasileiro, apresenta índice de erosão anual classificado como baixo. Os dados mostram que mais de 90% do potencial de erosão anual ocorrem durante os meses de janeiro a abril. A equação proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) superestima a erosividade do município de Aiuaba, quando comparada com os dados coletados no âmbito desse trabalho. A equação de erosividade do município de Aiuaba foi validada e apresentou um ótimo ajuste, com coeficiente de Nash e Sutcliffe de 0,9.

ABSTRACT - The rainfall erosivity has become the object of many studies, since there are marked regional differences in this parameter, which is essential in studies of models for predicting soil loss by water erosion. This study aimed at determining the equation of rainfall erosivity adjusted for Aiuaba, Ceará, located in the Brazilian semiarid region, based on the formulations proposed by Wischmeier and Smith (1958) and Fournier (1960). The regression analysis between the monthly erosion index and rainfall coefficient, showed a good correlation. The town of Aiuaba presents the annual erosion index classified as low. Data show that more than 90% of the potential annual erosion occurs during the months January to April. The Lombardi Neto and Moldenhauer (1992) equation overestimates the erosivity of Aiuaba, when compared with the field data obtained in this work. The equation of rainfall erosivity adjusted for Aiuaba was validated and showed good accuracy, Nash and Sutcliffe efficiency coefficient was 0,9.

Palavras-Chave – Erosividade da chuva, índice de erosão, precipitação pluviométrica.

INTRODUÇÃO

A erosividade das chuvas vem se tornando objeto de diversas pesquisas, uma vez que existem marcantes diferenças regionais deste parâmetro, que é indispensável nos estudos de modelos para predição de perdas de solo por erosão hídrica.

¹ Engenheiro Agrícola e Ambiental – UFERSA, mestrando em Engenharia Agrícola – UFC, (85)9662-0535, kassius.morais@gmail.com

² Professor do IFCE, Mestre em Engenharia Agrícola – UFC

³ Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – UFC

⁴ Engenheiro de Produção - URCA, doutorando em Engenharia Agrícola – UFC, (88)9616-2896, savio.fontenele@hotmail.com

O potencial da chuva em causar erosão pode ser avaliado por meio de índices ou equações, que permitem avaliações confiáveis da capacidade erosiva das chuvas de cada região utilizando registros pluviográficos. Inicialmente, o método adotado para determinar os valores de erosividade de chuva ou índice de erosão foi desenvolvido por Wischmeier e Smith (1958). Estes pesquisadores concluíram que o produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em trinta minutos expressa o potencial da chuva de causar erosão, representando com eficiência as fases de impacto das gotas de chuva sobre o solo, a desagregação das partículas do solo, o escoamento superficial das águas e o transporte do sedimento.

Outra equação amplamente utilizada que também estima valores de erosividade de chuva mensal e/ou anual, com boas correlações com as perdas de solo, foi desenvolvida por Fournier (1960). Essa abordagem expressa pela razão entre a precipitação mensal e a precipitação média anual e é denominada coeficiente de chuva. Sendo, portanto, uma equação de fácil aplicação, devido o número de variáveis exigidas e os tipos de dados de entrada, pois utiliza registros pluviométricos.

Como o monitoramento através de pluviógrafos é mais difícil no Brasil, diversos pesquisadores desenvolveram estudos objetivando correlacionar o índice de erosão com outras medidas de mais fácil obtenção, como as advindas de registros diários de precipitação. Os pesquisadores Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) desenvolveram um estudo em que relacionaram o índice de erosão e o coeficiente de chuva, respectivamente para cada evento individual, somados mensalmente e anualmente em uma série de 22 anos, para o município de Campinas, São Paulo. Nesse estudo eles encontraram um coeficiente de determinação de 98,3 %, ao correlacionar a média mensal do índice de erosão e a média mensal do coeficiente de chuva, simplificando o método para calcular o índice de erosão de um local, apenas com a entrada de dados de precipitação média mensal e média anual. Embora desenvolvida para a região de Campinas, a equação acima citada apresentou valores aceitáveis para algumas bacias do Ceará, como aponta Araújo (2003).

Em estudo relativo à erosividade das chuvas no Brasil, Silva (2004) apresentou uma divisão do país em oito regiões homogêneas, em termos de precipitação, sendo apresentadas equações para cada uma dessas regiões. As equações tiveram como base diferentes formulações: modelos lineares, modelo exponencial e o índice de Fournier (1960). Ainda o mesmo concluiu que a erosividade de chuva anual no Brasil varia de 3.115 a 20.035 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, com maiores valores para região noroeste e menores para a região nordeste. Nesse estudo ele concluiu que, aproximadamente 70% do território brasileiro, os valores de erosividade anual são classificados de forte a muito forte. Este trabalho teve como objetivo determinar a equação de erosividade de chuva ajustada para o

município de Aiuaba – CE, localizado na região semiárida, tendo como base as formulações propostas por Wischmeier e Smith (1958) e Fournier (1960).

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de chuvas foram registrados numa estação pluviográfica localizada na Bacia Experimental de Aiuaba (BEA), inserida totalmente no município de Aiuaba, CE ($6^{\circ}34'26''$ de Latitude Sul e $40^{\circ}7'26''$ de Longitude Oeste) (Figura 1). O clima da região, segundo Thornthwaite, é semiárido, com pouco ou nenhum excesso de água, e de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger é BSh, seco e muito quente. A região apresenta precipitação pluviométrica média anual de 560 mm (FUNCEME, 2012).

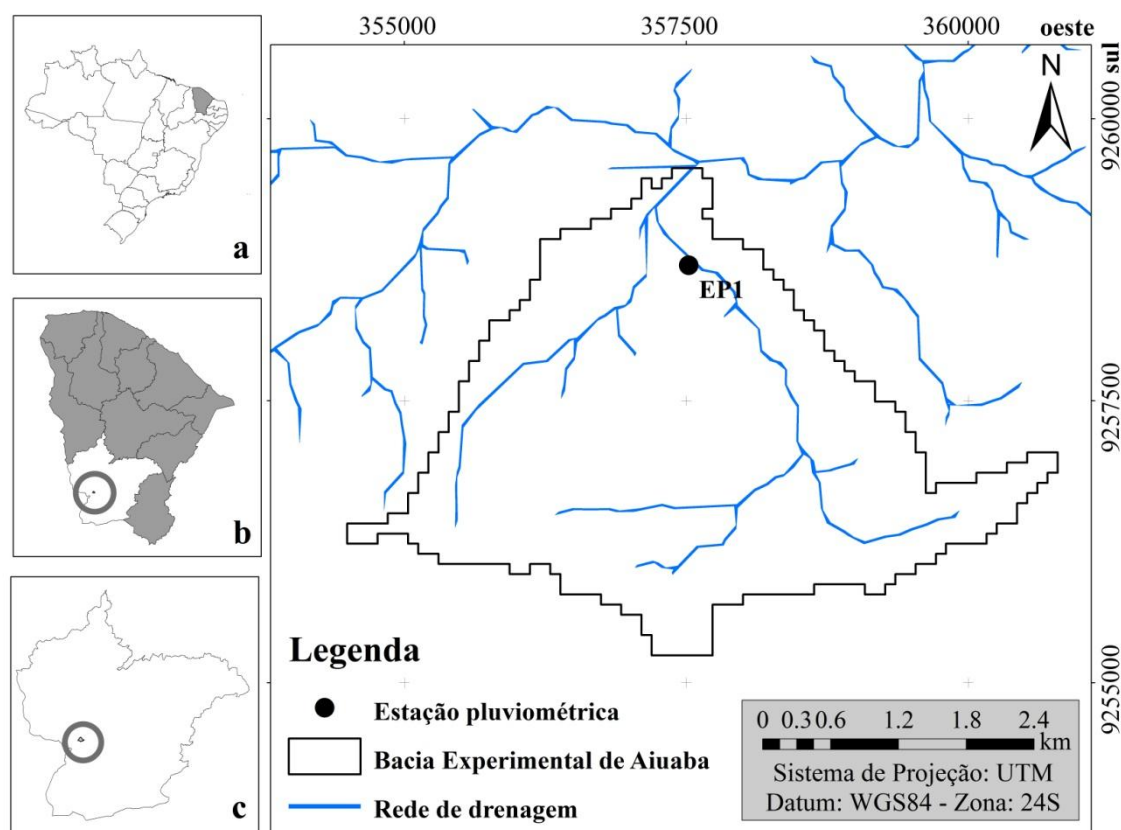


Figura 1 - Localização da estação pluviométrica na Bacia Experimental de Aiuaba. Em “a”, o Estado do Ceará destacado no mapa do Brasil; em “b”, o Estado do Ceará dividido em sub-bacias, destacando-se a do Alto Jaguaribe, a sudoeste, e em “c”, a sub-bacia do Alto Jaguaribe com destaque para a BEA.

A BEA tem sido monitorada desde janeiro de 2003 pelo Grupo de Pesquisa Hidrossedimentológicas do Semiárido (HIDROSED, www.hidroсед.ufc.br). Os dados de chuvas foram registrados por pluviógrafo a cada cinco minutos, durante oito anos. A partir desses dados calcularam-se, a hora do início do evento, a duração, a quantidade total de chuva, a energia cinética,

a intensidade total do evento e a intensidade máxima de 30 minutos. As chuvas medidas em um período consecutivo, separadas por intervalo de tempo igual ou superior a seis horas de estiagem, foi o critério adotado para separação dos eventos individuais. As chuvas individuais de 15 mm ou maiores foram contabilizadas nesse estudo de erosividade, pois são capazes de gerar escoamento superficial na área.

A erosividade foi calculada através da correlação entre o índice de erosão proposto por Wischmeier e Smith (1958) (Equação 1) e o coeficiente de chuva proposto por Fournier (1960) (Equação 2), ajustada a uma linha de tendência do tipo potência.

$$EI = EC \cdot I30 \quad (1)$$

Em que:

EI = índice de erosão ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$);

$EC = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I$, energia cinética ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1}$);

I = intensidade do evento chuva ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$).

$I30$ = intensidade da chuva em 30 minutos ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$).

$$CC = \frac{HM^2}{HA} \quad (2)$$

CC = Coeficiente de chuva (mm);

HM = Chuva mensal (mm);

HA = Chuva média anual (mm).

No cálculo da energia cinética proposto por Wischmeier e Smith (1978), considerou-se que as gotas de tamanho médio não aumentam de tamanho quando a intensidade de chuva excede $76 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, limite superior do campo de definição da variável I .

Nesse procedimento, os valores do índice de erosividade para cada chuva individual foram somados mensalmente e anualmente. Posteriormente, os índices de erosão anuais foram classificados quanto a intensidade, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos valores do índice erosão anual.

Erosividade ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	Classe de Erosividade
$R \leq 2.452$	Baixo
$2.452 < R \leq 4.905$	Médio
$4.905 < R \leq 7.357$	Médio-Forte
$7.357 < R \leq 9.810$	Forte
$R > 9.810$	Muito Forte

Fonte: Carvalho (1994)

Para a validação do modelo desenvolvido neste trabalho foi utilizada o critério eficiência de Nash e Sutcliffe (1970) (Equação 3), usando dados de um pluviógrafo instalado a uma distância de 3 Km a montante do utilizado na elaboração da equação. Essa metodologia também foi aplicada para verificar as eficiências das equações desenvolvidas: por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), para regiões de clima úmido, obtidos com dados do Município de Campinas – SP; e por Silva (2001) apud Silva (2004), para a região semiárida, obtida com dados do Município de Juazeiro – BA.

$$NSE = 1 - \frac{\sum(i-e)^2}{\sum(i-\hat{i})^2} \quad (3)$$

Em que:

i = valor calculado;

$\hat{i}$ = valor calculado médio; e

e = valor estimado.

O coeficiente NSE pode variar a partir de negativo infinito a 1, sendo o valor 1 indicativo de um perfeito ajuste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, observa-se os valores de precipitações mensais e anuais, e na Tabela 3, as precipitações mensais e anuais consideradas erosivas. Durante o período de observação verificou-se a ocorrência de 91 chuvas erosivas.

Tabela 2 – Registro de precipitações mensais e anuais em mm, de 2003 a 2010.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Jan	-	489,51	260,27	14,44	53,32	54,96	62,23	109,47
Fev	-	295,95	72,73	89,77	-	228,33	40,13	20,57
Mar	60,89	60,53	72,97	97,3	-	223,41	101,1	145,29
Abr	0,0	16,68	2,25	168,25	270,4	142,35	314,7	158,24
Mai	0,0	28	0,25	87,21	28,14	52,23	124,46	0,0
Jun	3,76	47,88	3,51	11,14	7,6	0,0	23,11	0,0
Jul	0,0	9,54	2,5	1,76	0,0	7,57	28,19	0,0
Ago	0,0	2,77	3,31	0,0	0,0	6,27	13,97	0,0
Set	0,0	2,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Out	0,0	0,0	0,0	22,79	0,0	2,03	11,43	0,0
Nov	0,0	82,51	0,0	31,93	1,77	0,0	15,24	0,0
Dez	31,68	27,56	99,78	36,24	51,12	16,26	8,13	0,0
TOTAL	-	1062,94	517,57	560,83	-	733,41	742,69	433,57

“- ”: refere-se a ausência de dados: nos meses de janeiro e fevereiro de 2003, o pluviógrafo ainda não tinha sido instalado e; nos meses de fevereiro e março de 2007, o equipamento estava com defeito.

Tabela 3– Precipitações mensais, anuais e consideradas erosivas, em mm.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Jan	-	445,69	230,71	0,0	47,74	17,26	29,72	72,4
Fev	-	252,41	57,32	73,08	-	200,96	18,8	0,0
Mar	59,88	24,84	0,0	68,53	-	67,97	79,51	107,95
Abr	0,0	0,0	0,0	89,82	242,51	107,63	242,57	104,9
Mai	0,0	0,0	0,0	79,1	21,3	25,64	73,65	0,0
Jun	0,0	42,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,65	0,0
Ago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Set	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Out	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nov	0,0	75,18	0,0	28,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Dez	17,26	24,79	95,24	35,26	33,19	16,26	0,0	0,0
TOTAL	-	865,00	383,27	374,19	-	435,72	469,9	285,25

“- ”: refere-se a ausência de dados.

A Tabela 4 apresenta os valores acumulados mensais e anuais dos índices de erosão calculados a partir da Equação 1, proposta por Wischmeier e Smith (1958).

Tabela 4 – Valores acumulados mensais e anuais dos índices de erosão.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Jan	-	63,56	55,37	0,0	9,23	5,00	1,50	25,81
Fev	-	26,61	14,28	22,81	-	42,55	3,69	0,0
Mar	6,27	4,75	0,0	9,12	-	13,36	11,14	6,89
Abr	0,0	0,0	0,0	39,56	51,13	22,18	38,95	14,97
Mai	0,0	0,0	0,0	10,52	3,85	7,24	15,40	0,0
Jun	0,0	3,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,42	0,0
Ago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Set	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Out	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nov	0,0	12,88	0,0	6,43	0,0	0,0	0,0	0,0
Dez	3,52	2,05	9,55	7,37	4,04	5,84	0,0	0,0
TOTAL	-	113,4	79,2	95,81	-	96,17	73,1	47,67

“- ”: refere-se a ausência de dados.

Verifica-se também que na Tabela 4 que 91% do índice de erosão anual deriva das chuvas que ocorrem de janeiro a abril, correspondendo a 87% do total de chuvas anuais, implicando em maior perda de solo no referido período. Esses resultados mostram que a região estudada apresenta índice de erosividade anual classificada como baixa, conforme a Tabela 1.

A Tabela 5 apresenta os valores acumulados mensais e anuais dos coeficientes de chuva calculados a partir da Equação 2, proposta por Fournier (1960).

Tabela 5 – Valores acumulados mensais e anuais dos coeficientes de chuva.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Jan	-	354,71	95,05	0,0	4,07	0,53	1,57	9,36
Fev	-	113,77	5,86	9,54	-	72,11	0,63	0,0
Mar	6,40	1,10	0,0	8,38	-	8,25	11,28	20,81
Abr	0,0	0,0	0,0	14,40	105,02	20,68	105,07	19,65
Mai	0,0	0,0	0,0	11,17	0,811	1,17	9,68	0,0
Jun	0,0	3,16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,17	0,0
Ago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Set	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Out	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nov	0,0	10,09	0,0	1,44	0,0	0,0	0,0	0,0
Dez	0,53	1,09	16,19	2,22	1,96	0,47	0,0	0,0
TOTAL	-	483,92	117,1	47,15	-	103,21	129,4	49,82

“-”: refere-se a ausência de dados.

A correlação entre índice de erosão acumulado mensal e o coeficiente de chuva, ajustada a uma linha de tendência do tipo potência, está representada na Equação 4, com $R^2 = 0,906$, (Figura 2, em escala bi-logarítma).

$$Elm = 4,5367 \cdot \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0,4637} \quad (4)$$

Em que:

Elm = índice de erosividade acumulado mensal ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}^{-1}$);

p = precipitação mensal (mm.mês^{-1});

P = precipitação anual média (mm.ano^{-1});

Nesse método, o índice de erosividade acumulado anual pode ser determinado com a soma dos valores dos índices mensais.

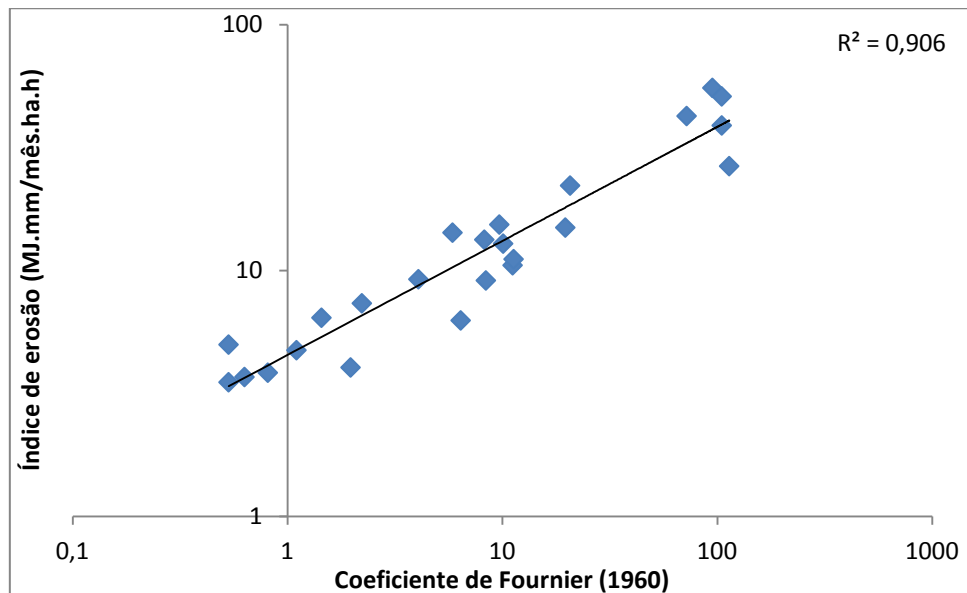


Figura 2 - Correlação entre o índice de erosão acumulado mensal e coeficiente de chuva, em escala logarítmica.

O coeficiente de Nash e Sutcliffe, utilizado na validação da Equação 4, foi de 0,9, indicando um ótimo ajuste. A Figura 3 mostra a comparação entre os valores de erosividade calculada para o pluviógrafo utilizado na validação e a erosividade estimada pela Equação 4.

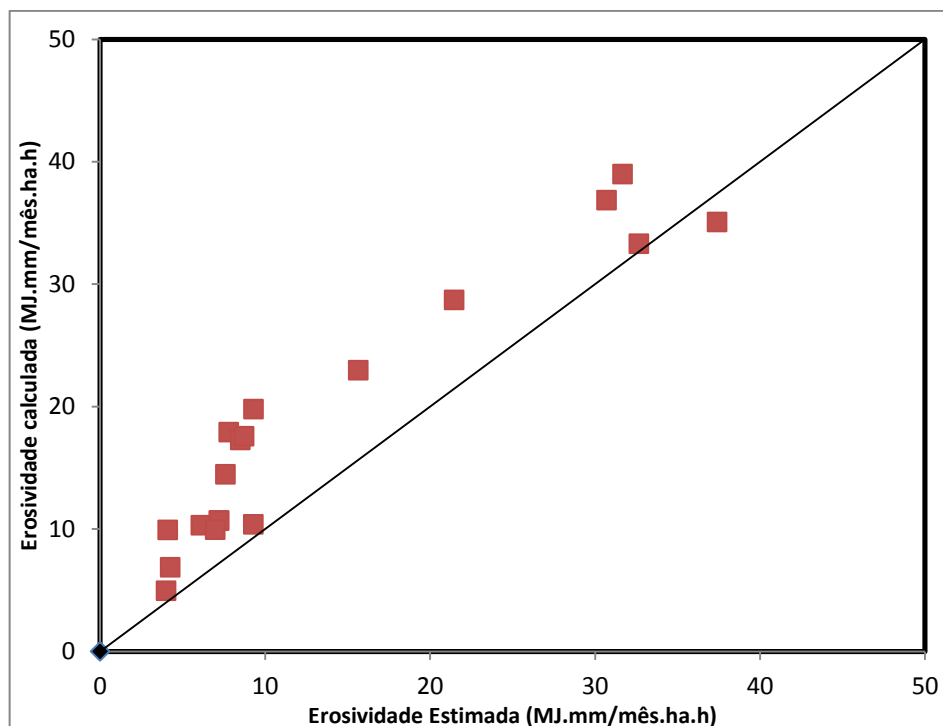


Figura 3 – Diagrama de dispersão dos valores de erosividade calculado para o pluviógrafo de validação e estimados pela equação Aiuaba, a linha contínua refere ao ajuste ideal.

Os coeficientes de Nash e Sutcliffe para as equações propostas por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) (Equação 5) e por Silva (2001) *apud* Silva (2004) (Equação 6) foram de

respectivamente -7.537,39 e -11.864,4, indicando que esses modelos são inexpressivos ao serem utilizados no Município de Aiuaba.

$$Elm = 68,73 \cdot \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0,841} \quad (5)$$

$$Elm = 42,307 \cdot \left(\frac{p^2}{P}\right) + 69,763 \quad (6)$$

CONCLUSÃO

1. O período de janeiro a abril é o mais crítico em relação ao potencial erosivo das chuvas, ocorrendo 91% do índice de erosividade anual potencial, para 87% do total de chuvas anuais;
2. A análise de regressão entre o índice de erosão mensal e coeficiente de chuva, apresentou uma boa correlação, com coeficiente de determinação R^2 de 91%;
3. O município de Aiuaba, no semiárido brasileiro, apresenta índice de erosão anual classificado como baixo;
4. A equação proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) superestima a erosividade do município de Aiuaba, quando comparada com os dados de campo.
5. A equação de erosividade do município de Aiuaba foi validada e apresentou um ótimo ajuste, com coeficiente de Nash e Sutcliffe de 0,9.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, J. C. (2003). “Assoreamento em reservatórios do semi-árido: modelagem e validação”, Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v. 8, n.2, p. 39-56.
- CARVALHO, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM Rio de Janeiro – RJ, 372 p.
- FOURNIER, F. (1960). *Climat et erosion*. Press Universitaires de France, Paris, 201p.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em: <www.funceme.br>. Acesso em: 24 maio 2012.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. (1992). “Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP)”, Revista Bragantia. v. 51, n. 2, p.189 – 196.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. (1970). *“Riverflow forecasting through conceptual models”* Journal of Hydrology. v. 10, n. 3, p. 282-290.

SILVA, A.M. (2004). *“Rainfall erosivity map for Brazil”*, Catena. v. 57, n. 3, p. 251-259.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. (1958). *“Rainfall energy and its relationship to soil loss”* Transactions of the American Geophysical Union, v.39, n.2, p.285-291.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. (1978). *“Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning”* Agriculture Handbook Number n.537. Washington: United States Department of Agriculture, 58p.