



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

EQUAÇÃO DE EROSIVIDADE MENSAL PARA A BACIA DO ALTO JAGUARIBE

Pedro Henrique Lima Alencar^(a), Nazaré Suziane Soares^(a), José Carlos de Araújo^(b)

^(a) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, pedrohlencar@gmail.com, soaresns@alu.ufc.br

^(b) Professor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, jcaraujo@ufc.br

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

Resumo

Erosão e consequentes empobrecimento da camada superficial do solo e assoreamento de reservatórios são problemas centrais na sustentabilidade de ambientes semiáridos. Diversos modelos foram desenvolvidos para possibilitar a estimativa da perda de solo devido à erosão hídrica, sendo possivelmente o mais difundido a *Universal Soil Loss Equation* (Wischmeier e Smith, 1978). Não obstante, a equação requer um grande número de variáveis que podem ser de difícil acesso. A fim de simplificar a implementação, diversas equações baseadas em dados empíricos regionais vem sendo propostos, dentre elas para a obtenção da erosividade de chuvas mensais. Este trabalho visa propor uma equação para a erosividade mensal obtida a partir de dados de pluviometria coletados ao longo de 13 anos na Bacia Experimental de Aiuaba/CE.

Palavras chave: erosão laminar; intensidade de chuva; USLE.

1. Introdução

A erosão hídrica provocada pela pluviometria é um dos principais processos de produção de sedimentos no planeta, gerando perda de solo em sua camada mais superficial e mais rica em nutrientes, aumento do risco ecológico, assoreamento de corpos hídricos e perda da qualidade da água, aumentando o custo com tratamento da água para consumo.

Diversos modelos para prever a quantidade de perda de solo foram propostos ao longo do último meio século, como a USLE (Universal Soil Loss Equation – WISCHMEIER;



SMITH, 1978) RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation – RENARD et al., 1997) e WEPP (Water Erosion Prediction Project – ASCOUGH II et al., 1994), sendo o primeiro um dos mais utilizados até hoje dada sua simplicidade. No entanto, a USLE requer a definição de diversos fatores que tem forte influencia local, como a intensidade da chuva a cada trinta minutos, para a definição da variável erosividade. A erosividade representa a quantidade de energia erosiva que a chuva possui para produção de sedimentos. Este trabalho visa determinar uma equação simplificada de erosividade que possibilite calcular a erosão com base em dados mensais de pluviosidade no Estado do Ceará.

2. Materiais e Método

Para a obtenção de uma equação de erosividade mensal para a bacia do Alto Jaguaribe foram utilizados dados de precipitação diários da estação meteorológica localizada na Bacia Experimental de Aiuaba (Figura 1). A estação conta com pluviômetro de bascula com precisão de 0,25 milímetros e resolução temporal de cinco minutos (DE FIGUEIREDO, 2016).

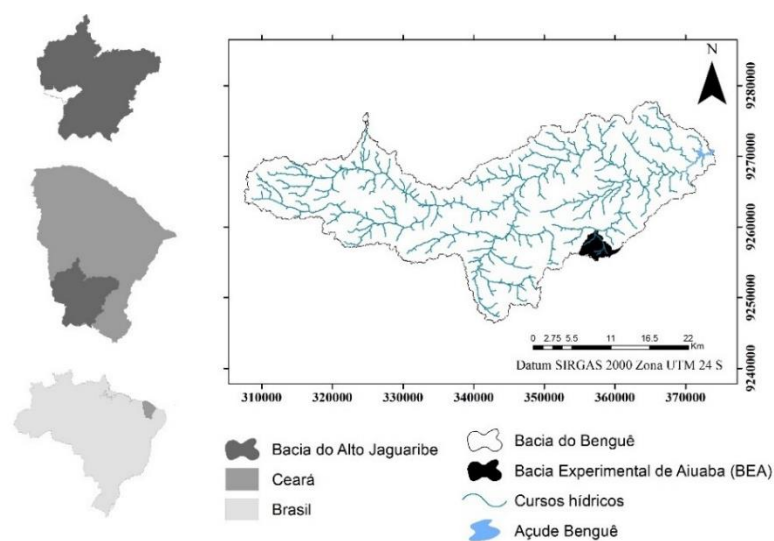


Figura 1 - Localização da área de estudo.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

A intensidade de chuva na bacia é monitorada desde 2004, apresentando falha na coleta entre abril de 2014 e dezembro de 2015. Estes meses foram descartados para este estudo. A base de dados pluviométricos é composta, portanto, de um total de 723 dias chuvosos distribuídos em 100 meses entre: 01/2004 – 03/2014 e 01/2016 – 12/2016 (FIGURA 1)

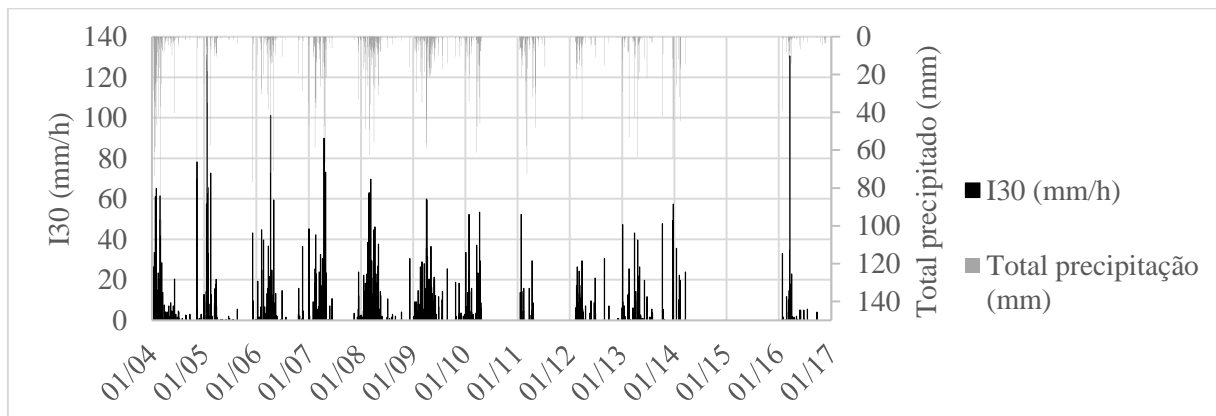


Figura 2 - Intensidade I_{30} (A) e total precipitado mensal (B) para o período de estudo

A erosividade de cada evento (R) é relacionada com a intensidade de 30 minutos (I_{30}) e a intensidade média (I_a), segundo a equação 1 proposta por Wischmeier e Smith (1978). A erosividade mensal é, portanto, a soma da erosividade de todos os eventos de precipitação do mês (Eq. 2).

$$R = (12,14 + 8,88 \times \log_{10} I_a) \times I_{30} \quad (1)$$

$$R_m = \sum_{i \text{ eventos}} R_i \quad (2)$$

A partir dos dados de erosividade mensal obtidos pelas Equações 1 e 2 foi calibrada uma nova equação de erosividade mensal para a região, correlacionando o total precipitado mensal (P_m) e a precipitação anual média (P_a), como indicado na equação 3.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

$$R_m = \alpha \times \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^\beta \quad (3)$$

Os valores α e β são parâmetros a serem calibrados. A equação acima tem a mesma forma da equação 4 de Bertoni e Lombardi Neto (1993) amplamente utilizada em estudos de erosão para todo o Estado do Ceará (LOPES et al., 2011).

$$R_m = 67,355 \times \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^{0,85} \quad (4)$$

Para avaliação do desempenho da equação obtida, foi ainda esta foi aplicada para a Bacia Experimental de Aiuaba e para a Bacia do Benguê em que utilizou-se a USLE (Universal Soil Loss Equation) para a estimativa do total assoreado nos respectivos reservatórios. A USLE, expressa pela Equação 5 de Williams (1975), tem como termos: E que é a perda de solo em t (ou Mg).ha⁻¹; R o fator energia cinética da chuva ou fator de escoamento (MJ mm ano⁻¹ ha⁻¹), K é erodibilidade do solo (Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹), LS é o fator topográfico (adimensional), C é o fator de cobertura do solo (adimensional) e P é o fator de práticas conservacionistas (adimensional). Os parâmetros da USLE foram determinados para a área de estudo, sendo aplicáveis na avaliação de perdas de solo das bacias e, assim, no estudo do assoreamento nos pontos de exultório dessas bacias.

$$E = R \times K \times LS \times C \times P \quad (5)$$

A erodibilidade solos foi determinada com base na classificação dos tipos de solo presentes na bacia, tomando como base os valores apresentados por Silva (1978) presentes no trabalho de Lopes et al. (2011). Assim, utilizando os tipos de solos da bacia, a erodibilidade do solo foi determinada



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

O fator LS foi determinado pela Equação 2 proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1993) utilizando dados obtidos em medições em campo.

$$LS = 0,00984 \times L_R^{0,63} \times D^{1,18} \quad (6)$$

Sendo LR o comprimento de rampa (m) e D a declividade (%). Os dados de comprimento de rampa (25,75 m) e área da parcela (51,50 m²) foram obtidos com trena. A declividade foi determinada por diferença de nível com o auxílio de uma mira topográfica. As medições foram realizadas em três pontos no início da parcela e em três pontos no final da parcela (Figura 2).

$$Lr = \sqrt{(resolução\ espacial)^2 + \left[\frac{D}{100} * (resolução\ espacial)^2 \right]} \quad (7)$$

Os valores de C foram obtidos a partir de Pham et al. (2018) em função do IVDN (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), em especial para a região da BEA obteve-se um parâmetro C em torno de 0.04, devido ao caráter preservado da vegetação e serrapilheira (WISHMEIER; SMITH, 1978). Ao fator P foi atribuído o valor 1, uma vez que práticas preventivas e conservacionistas não são tomadas na região (LIMA, 2010)

Pzara o estimar da quantidade de sedimentos que atingiu o reservatório foi calculado o SDR (Razão de Aporte de Sedimentos) dado pela equação 8 (DE ARAÚJO, 2003). L_m é o comprimento da bacia e F_t a diferença entre a cota do exultório e a cota média do divisor de águas.

$$\log(SDR\%) = 2,943 - 0,824 \times \log \frac{L_m}{F_t} \quad (8)$$

3. Resultados e discussão

A equação obtida após a calibração e validação é apresentada abaixo:



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

$$R_m = 565 \times \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^{0,42} \quad (9)$$

A equação obtida apresenta melhores avaliadores de desempenho que a equação de Bertoni e Lombardi Neto (1993 – Eq. 4), como apresentado na Tabela I. Na Figura 3 podemos observar a dispersão de valores de erosividade obtidos pela equação de Wischmeier e Smith (EWS) bem como pelas equações de Bertoni e Lombardi (EBL) e a equação para o Alto Jaguaribe (EAJ).

Tabela I - Avaliadores de desempenho das equações

	Eq. 4	Eq. 5
NSE	0.546857	0.583942
R ²	0.676909	0.814483
RMSE	1047.653	675.7629

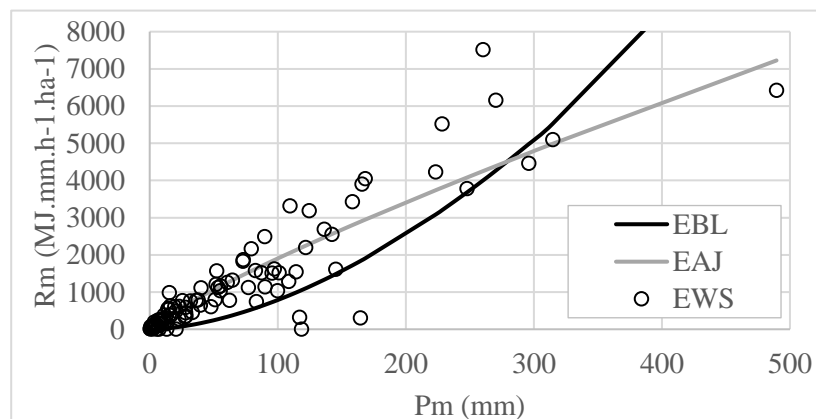


Figura 3 - Dispersão dos valores de erosividade mensal pelas diversas equações. EBL = Equação de Bertoni e Lombardi, EAJ = Equação do Alto Jaguaribe. EWS = Equação de Wischmeier e Smith.

Observa-se da figura que, para a equação calibrada para a região do Alto Jaguaribe, meses com pluviosidades menores que 270 mm (cerca de 98% dos meses) a erosividade é maior que a obtida pela equação de Bertoni e Lombardi (EBL). O resultado é compatível com o regime e tipos de chuva da região, com predominância de precipitações orográficas e convectivas, que produzem chuvas de curta duração e alta



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

intensidade, ao passo que chuvas na região sudeste comumente tem forma ciclônica, produzindo chuvas longas e pouco intensas, logo menos erosivas.

A fim de validar a equação obtida para o Alto Jaguaribe dois reservatórios foram selecionados, Benguê (exultório da Bacia do Benguê) e Boqueirão (exultório da Bacia Experimental de Aiuaba). Ambos os reservatórios possuem curvas de cota-área-volume obtidas em datas distintas permitindo a determinação do volume assoreado no período, conforme indicado na Tabela II.

Tabela II – Capacidade de armazenamento de reservatórios estudados, ano da obtenção das CAV e volume assoreado no período.

	Aiuaba		Benguê	
	Ano	Volume (m ³)	Ano	Volume (m ³)
1º CAV	2003	59,700 ⁽¹⁾	2000	33,940,000 ⁽²⁾
2º CAV	2009	59,453 ⁽¹⁾	2012	32,300,000 ⁽³⁾
Total Assoreado		247 m ³		1,640,000 m ³

Fonte: 1- Lima (2010); 2- Mamede (2008); 3- COGERH (2019).

Para a obtenção da massa de sedimentos assoreado o volume foi multiplicado pela massa específica aparente seca do sedimento depositado nos reservatórios, sendo 1,3 g.cm⁻³ no reservatório Boqueirão (LIMA, 2010) e 1,60 g.cm⁻³ para o reservatório Benguê (MAMEDE, 2008).

Os valores de erosividade acumulados no período estão apresentados na Tabela III. Observa-se uma grande aproximação entre os valores obtidos por EAJ e EWS, como esperado de acordo com a Figura 3.

Tabela III - Valores de erosividade acumulada para o período de assoreamento em cada bacia.

Erosividade acumulada (MJ.mm.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Aiuaba	Benguê
	2003-2009	2000-2012
EAJ	87,108	140,703
EBL	57,456	81,330
EWS	94,260	132,676



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Para a obtenção do total assoreado a USLE (Equação 5) foi utilizado o software de sistema de informação geográfica e álgebra de mapas. O valor obtido foi multiplicado pelo SDR de cada bacia. Para a Bacia Experimental de Aiuaba este valor é de 3,6% (DE ARAÚJO, 2007) e para o Benguê 25% (MEDEIROS, 2009). Os valores de assoreamento (em massa) obtidos a partir do modelo USLE-SDR estão apresentados na Tabela IV.

Tabela IV - Assoreamento nos reservatórios Benguê e Boqueirão (em toneladas) obtidos a partir do modelo USLE-SDR e as diversas equações de erosividades (EAJ: Equação do Alto Jaguaribe; EBL: Equação de Bertoni e Lombardi; EWS: Equação de Wischmeier e Smith)

		EAJ	EBL	EWS	Medido
Benguê	Assoreamento	1,320,847	763,484	1,245,494	2,624,000
	Erro relativo (%)	49.7%	70.9%	52.5%	-
Boqueirão	Assoreamento	276	182	299	321
	Erro relativo (%)	14.0%	43.3%	7.0%	-

Observa-se um ganho significativo da qualidade do modelo quando tomada a erosividade obtida a partir de dados coletados na região por 12 anos. Para o açude Benguê a redução do erro foi da ordem da ordem de 42 % e para o Boqueirão o erro foi três vezes menor. Nota-se ainda a proximidade dos valores obtidos pela equação calibrada e a equação da USLE, indicando que mesmo em baicas sem dados de assoreamento para validação a equação proposta deve ser aplicada em detrimento da EBL.

5. Conclusão

Concluimos que a equação calibrada neste trabalho (Equação de Erosividade para o Alto Jaguaribe – EAJ) reduziu de forma significativa o erro e, portanto, deve ser aplicada em estudos para a região do Alto Jaguaribe, bem como outras localidades do semiárido brasileiro, quando na ausência de dados locais. A preferência pela nova equação se dá pelo tratamento local dado a erosividade, intimamente ligada a o tipo de precipitação ocorrente na região.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

7. Referências Bibliográficas

ASCOUGH II, J. C. et al. The WEPP watershed model: I. Hydrology and erosion. **Transactions of the ASAE**, v. 40, n. 4, p. 921-933, 1997.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 3ª edição, Ícone Editora, São Paulo. 1993.

COGERH. Disponível em <<http://www.hidro.ce.gov.br/reservatorios/volume/nivel-diario>> Acesso em 16 de janeiro de 2019.

DE ARAÚJO, J. C. Entropy-based equation to assess hillslope sediment production. **Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 32, n. 13, p. 2005-2018, 2007.

DE ARAÚJO, J. C. Assoreamento em Reservatórios do Semi-árido : Modelagem e Validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 8, pp. 39–56. 2003.

DE FIGUEIREDO, J. V et al. Runoff initiation in a preserved semiarid Caatinga small watershed, Northeastern Brazil. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 13, p. 2390-2400, 2016.

LIMA, Y. C. P., (2010) Análise do assoreamento de um pequeno reservatório: Estudo de caso Açude Boqueirão, Aiuaba, Ceará. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. 2010.

LOPES, F. B. et al. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@ mbiente on-line**, v. 5, n. 2, p. 88-96, 2011.

MAMEDE, G. L. (2008) Reservoir Sedimentation in Dryland Catchments: Modelling and Management. Tese de Doutorado, Instituto de Geoecologia, Universidade de Potsdam, Alemanha. 2008.

MEDEIROS, P. H. A., (2009) Processos hidrossedimentológicos e conectividade em bacia semiárida: Modelagem distribuída e validação em diferentes escalas. Tese de Doutorado,



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. 2009.

PHAM, T. G.; DEGENER, J.; KAPPAS, M. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 6, n. 2, p. 99-110, 2018. doi: 10.1016/j.iswcr.2018.01.001.

RENARD, K.G.; et al. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: USDA, 1997. 404 p.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses. **Supersedes Agriculture Handbook**, v. 282, n. 537, pp. 1-69. doi: 10.1029/TR039i002p00285. 1978