



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano

Joaquim Pedro de Santana Xavier¹, Alexandre Hugo Cezar Barros², Daniel Chaves Webber³, Luciano José de Oliveira Accioly⁴, Flávio Adriano Marques⁵, José Coelho de Araújo Filho⁶ e Ademar Barros da Silva⁷

¹Mestrando no Programa de Pós-graduação em Geografia, PPGeo, Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, Avenida Professor Moraes Rego, no 1235, CEP: 50670-901, Cidade Universitária, Recife, PE. joaquimpedro05@gmail.com (autor correspondente). ²Pesquisador Embrapa Solos UEP Recife. alexandre.barros@embrapa.br; ³Analista Embrapa Solos UEP Recife. daniel.webber@embrapa.br; ⁴Pesquisador Embrapa Solos UEP Recife. luciano.accioly@embrapa.br; ⁵Pesquisador Embrapa Solos UEP Recife. flavio.marques@embrapa.br; ⁶Pesquisador Embrapa Solos UEP Recife, jose.coelho@embrapa.br; ⁷Pesquisador Embrapa Solos UEP Recife. ademar.barros@embrapa.br.

Artigo recebido em 11/06/2018 e aceito em 14/12/2018

RESUMO

Dentre os diversos métodos indiretos para estimar as perdas de solo por erosão, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) é a mais utilizada devido a sua robustez e por ser constituída de uma simples estrutura fatorial, que integra fatores naturais e antrópicos atuantes na perda de solos. A erosão é um dos fenômenos mais danosos ao solo e às atividades humanas e por isso seu estudo é importante. Para o cálculo das perdas de solo por meio da EUPS, a avaliação da erosividade das chuvas (fator R) é essencial, pois estima o fenômeno produzido pelas chuvas. O objetivo deste trabalho foi avaliar três metodologias disponíveis de obtenção da erosividade das chuvas para a região do semiárido pernambucano, avaliando sua influência nos resultados da EUPS. Os três modelos selecionados para estimar o Fator R foram desenvolvidos por Wischmeier e Smith (mais conhecido e utilizado), por Silva que estimou valores para diversas regiões do País e por Cantalice e outros que trabalharam especificamente para cada região climática do estado de Pernambuco. Os resultados indicam que as metodologias de Wischmeier e Smith e Silva obtiveram resultados de erosividade da chuva semelhantes, tendo Silva alcançado valores maiores. Cantalice e outros obtiveram os resultados mais baixos. Os resultados da EUPS indicam que, quantitativamente, os diferentes fatores R geram grande diferença nas perdas de solo, porém, qualitativamente chegam a resultados semelhantes na classificação de áreas de maior erosão, de acordo com a FAO. Logo, as três metodologias são viáveis na identificação de áreas prioritárias para a mitigação da erosão.

Palavras Chave: solos, erosão hídrica, EUPS, SIG.

Estimation of erosivity by different methods and their impact on the universal soil loss equation in Pernambuco semi-arid

ABSTRACT

Among several indirect methods to estimate soil erosion loss, the Universal Soil Loss Equation (EUPS) is the most used due to its robustness and because it is constituted of a simple factorial structure that integrates natural and anthropic factors which act in the loss of soils. Erosion is one of the most damaging phenomena to the soil and the human activities, evidencing the importance of studying it. The evaluation of rainfall erosivity (R factor) is essential for the calculation of soil loss through the EUPS, since it is possible to estimate how significant rainfall is to the occurrence of this phenomenon. The objective of this work was to evaluate three methodologies to obtain the rainfall erosivity available for the semi - arid region of Pernambuco, evaluating its influence on the results of the EUPS. The three models used to estimate the R-factor were developed by Wischmeier and Smith, the best known and used model, Silva who estimated values for several regions of the country and Cantalice and others who worked specifically for each climatic region of the state of Pernambuco. As a result, very similar results of rainfall erosivity were obtained between Wischmeier and Smith's and Silva's methodology,

859

Xavier, J. P. S., Barros, A. H. C., Webber, D. C., Accioly, L. J. O., Marques, F. A., Araújo Filho, J. C., Silva, A. B.

with Silva reaching higher values of energy amplitude, while Cantalice and others obtained the lowest results. The results of EUPS indicate that, quantitatively, the different R factors generate a large difference in soil loss, but qualitatively they reach similar results in the classification of areas where erosion are greater, according to the FAO. Therefore, the three methodologies are feasible in the identification of priority areas for erosion mitigation.

Keywords: soil, rainfall erosivity, USLE, GIS.

Introdução

A erosão hídrica é um dos fenômenos mais danosos ao solo e às atividades humanas, em especial as atividades agrícolas. É caracterizado pelo processo de desprendimento, transporte e deposição de partículas e nutrientes das camadas superficiais dos solos e seus, realizado devido a ação do escoamento superficial das águas da chuva (Ashiagbor et al., 2013; Bertoni e Lombardi Neto, 2014; Dechen et al., 2015; Belasri e Lakhouili, 2016; Barros et al., 2018).

Além do mais é um dos principais vetores da depuração dos solos que ocasiona vários impactos ao ambiente, como a perda da fertilidade natural do solo, a queda da produtividade agrícola, assoreamento dos cursos de água, diminuição do volume e da qualidade das águas e por consequência alterações nos ecossistemas aquáticos (Ashiagbor et al., 2013; Bertoni e Lombardi Neto, 2014; Barbosa et al., 2015; Oliveira, Seraphim e Borja, 2015). Por esses motivos, Wang et al. (2016) considera que a erosão do solo é um dos maiores problemas ambientais em escala global. Segundo Pham, Dagener e Kappas (2018) as taxas médias de erosão do solo em todo o mundo são estimadas entre 12 e 15 t ha⁻¹ ano⁻¹, isso significa que todos os anos são perdidos cerca de 0,90 - 0,95 mm de solo na superfície da terra.

De acordo com Cantalice et al. (2009), o estudo do potencial erosivo do solo possibilita dimensionar melhor as estruturas de conservação do solo e da água e gerenciar a predição de impactos ambientais. Existem vários métodos que possibilitam o estudo deste fenômeno. Métodos diretos de coleta e avaliação do material erodido em campo ou laboratório, ou métodos indiretos, em sua maioria as modelagens matemáticas. Anache, Bacchi e Alves-Sobrinho (2014) e Barros et al. (2018) concordam que os métodos diretos para a avaliação da erosão requerem experimentos permanentes com coletas contínuas de dados, demandando grande investimento e tornando-se dispendioso. Para diminuir estas limitações o uso de métodos indiretos, em ênfase as modelagens, tornam-se importantes ferramentas para estudos de

erosão tanto para a gênese do processo, quanto para estudos de risco, monitoramento de áreas degradadas e planejamento agrícola.

Dentre diversos métodos indiretos para estimar a perda de solo por erosão, a Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS é a mais utilizada (Wischmeier e Smith, 1978). O modelo EUPS foi desenvolvido originalmente no âmbito do Soil Conservation Service (SCS) e do Agricultural Research Service (ARS) dos Estados Unidos, em cooperação com algumas universidades norte americanas, desde a década de 1980. É um dos modelos para erosão laminar mais difundido e confiável por ter em sua abordagem uma premissa sistêmica que leva em consideração a integração dos principais fatores para a gênese do processo erosivo, tanto os de ordem natural (padrão de precipitação, tipo de solo, topografia) quanto de ordem antrópica (sistema de cultivo e práticas de manejo) (Bertoni e Lombardi Neto, 2014; Panagos et al., 2015; Morais e Sales, 2017; Pham, Degener e Kappas, 2018).

Portanto, a eficiência da EUPS está atrelada às variáveis que compõem a sua equação. Estas variáveis são obtidas e mensuradas de forma independente e se combinam posteriormente. De fato, o uso da EUPS está condicionado pela confiabilidade dos dados das suas variáveis separadamente, tornando a metodologia utilizada para a obtenção dos dados mais importante que a própria EUPS.

Tratando-se das variáveis, a avaliação da erosividade das chuvas, fator R da EUPS, é essencial para estimar as perdas de solo, pois exerce grande influência no impacto que as gotas de chuva provocam na desagregação das partículas do solo, e está relacionada diretamente com a duração e a intensidade da chuva. O Fator R estima o fenômeno produzido pelas chuvas, quando as gotas de água impactam o solo em função de sua energia cinética. Pode-se afirmar que o fator R é o índice de erosão pelas chuvas, que expressa a capacidade de uma chuva erodir um solo desprotegido. Esse parâmetro representa

numericamente a força da chuva e do escoamento.

De acordo com Trindade et al. (2016), no Brasil, são raras as informações espaço-temporais das chuvas para o cálculo do índice de erosividade, o que dificulta sua obtenção. A avaliação de modelos capazes de estimar os valores de erosividade, a partir de dados mais acessíveis, como média mensal ou anual de precipitação pluviométrica, constitui um esforço para melhorar a estimativa de perda de solos.

Além disso, levando em conta a grande quantidade de dados necessária para a predição de erosão dos solos, há uma tendência, nos últimos anos, de utilizar estas modelagens associadas às técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), principalmente devido a integração de modelos de elevação de terreno que são essenciais para o cálculo da perda de solos além da possibilidade de aferição do comportamento erosivo em múltiplos cenários de manejo do solo. O uso da EUPS integrado as tecnologias de geoprocessamento permitem a automatização de tarefas anteriormente realizadas manualmente, torna mais eficiente a realização de análises complexas com extensa base de dados, além da possibilidade de espacialização dos resultados da modelagem, identificando as áreas de maior degradação e conseqüentemente, as áreas prioritárias para intervenções de caráter conservacionista (Ashiagbor et al., 2013; Oliveira e Seraphim; Borja, 2015; Ali e Hagos, 2016; Belasri e Lakhouili, 2016; Barros et al., 2018; Pham, Degener e Kappas, 2018).

Morais e Sales (2017) afirmam que os valores de perdas de solo não podem ser tomados com dados reais de erosão, e sim utilizados para caracterizar qualitativamente as áreas quanto a sua maior ou menor susceptibilidade à erosão laminar. Neste sentido, ainda que a EUPS seja um modelo que tem como um dos principais resultados, “o quanto” de solo está sendo perdido ao longo do ano, com o uso de SIG a EUPS pode contribuir bem mais respondendo “onde” estão as áreas mais degradadas pelo processo erosivo tendo como principal resultado produtos cartográficos. Planos de conservação dos solos em áreas de alta erosão necessitam de mapas de risco de ocorrência do fenômeno, que geralmente são criados a partir de modelos como a EUPS que permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade, possibilitando ações mais efetivas de planejamento ambiental e otimização dos recursos naturais (Barbosa et al., 2015; Oliveira, Seraphim

e Borja, 2015; Belasri e Lakhouili, 2016). Ashiagbor et al. (2013) afirma que em muitas situações, os administradores de terras e formuladores de políticas estão mais interessados na distribuição espacial do risco de erosão do solo do que em valores absolutos de perda de erosão do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as metodologias de obtenção da erosividade das chuvas (fator R) disponíveis para a região do semiárido pernambucano, que possui áreas em processo de degradação e verificar a sua influência nos resultados da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi delimitada a partir dos limites dos municípios de Cabrobó, Belém do São Francisco, Itacuruba e Floresta, na margem esquerda do rio São Francisco, no Estado de Pernambuco, entre as coordenadas 8°10' e 8°59' de latitude sul e 37°46' e 39°34' de longitude oeste (Figura 1), totalizando uma área de aproximadamente 7.557 km². Estes municípios somados a Orocó, Santa Maria da Boa Vista, Salgueiro, Parnamirim, Petrolina, Afrânio, Ouricuri e Araripina formam o Núcleo de Desertificação de Cabrobó (Perez-Marin et al., 2012).

A área está inserida na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, com relevo predominantemente suave-ondulado, cortado por vales estreitos, com vertentes dissecadas e presença de elevações residuais, como cristas e/ou outeiros. O clima é do tipo Tropical Semiárido, com chuvas de verão. A pluviometria média anual é de 492 mm, com vegetação, predominante de Caatinga Hiperxerófila, apresentando também vegetação de Floresta Caducifólia nas áreas de maiores altitudes. Com relação aos solos as classes Luvisolos e Planossolos são as que mais ocorrem na área de estudo, em associações com Neossolos (Litólico, Flúvico e Quartzarênico), Latossolos e Argissolos em menores proporções (Silva et al., 2001).

De acordo com Perez-Marin et al. (2012), as características ambientais, encontradas na área, corroboram para a degradação da vegetação e do solo, principalmente pela erosão. Esta última é comprovada pela remoção do horizonte superficial pela erosão laminar, ou ainda com incisões de erosão linear.

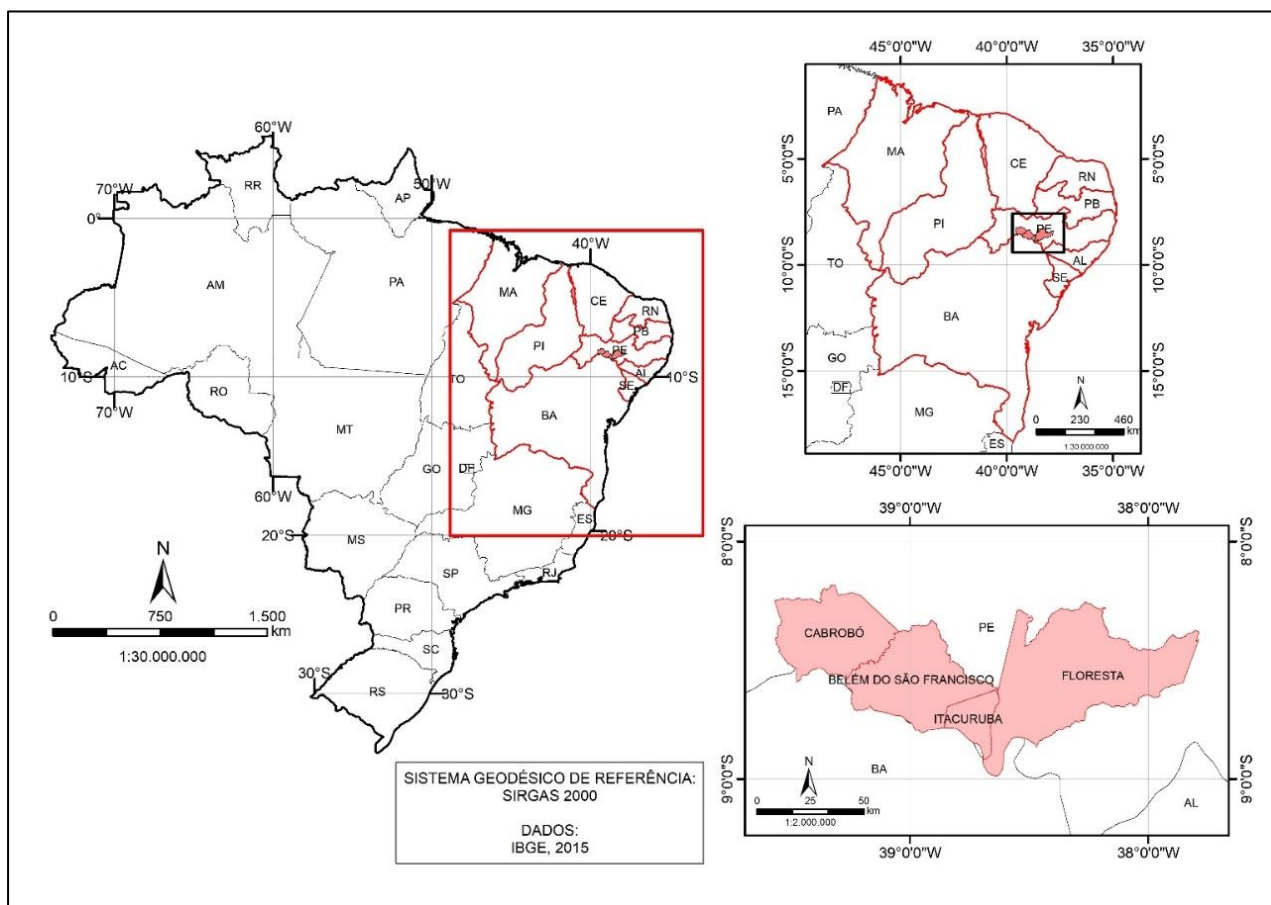


Figura 1. Localização da área de estudo, em Pernambuco.

Erosividade da chuva (Fator R)

Para se comparar as metodologias de determinação do fator de erosividade da chuva (Fator R) e sua influência na EUPS, foram obtidos valores do fator R por meio de três metodologias, utilizando-se de totais mensais de precipitações pluviométricas obtidos a partir da análise das séries históricas das estações meteorológicas presentes na região (Tabela 1).

A primeira metodologia utilizada para cálculo do fator R foi a de Wischmeier e Smith (1978). A equação original para o fator R da EUPS utiliza a somatória da média mensal do índice de erosividade (EI30) descrita na Equação 1.

$$R = \sum EI30 = 67,355 * \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,85} \quad (1)$$

Onde, R é a erosividade das chuvas (MJ Xavier, J. P. S., Barros, A. H. C., Webber, D. C., Accioly, L. J. O., Marques, F. A., Araújo Filho, J. C., Silva, A. B.

mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹); EI30 é a média mensal do índice de erosividade das chuvas, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹; r a precipitação pluviométrica média mensal (mm) e; P a precipitação pluviométrica média anual (mm).

A segunda equação foi a de Silva (2004), que desenvolveu equações para diferentes regiões do Brasil, em diferentes escalas. Segundo o autor, no cálculo de erosividade das chuvas, para a região do semiárido, o fator R pode ser calculado por meio da somatória da média mensal do índice de erosividade (Rx), de acordo com a equação 2.

$$R = \sum Rx = 42,307 * \left(\frac{Mx^2}{P}\right) + 69,763 \quad (2)$$

Onde, Rx é a média mensal do índice de erosividade das chuvas, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹; Mx a precipitação pluviométrica média mensal (mm) e o P é a precipitação média anual (mm).

A terceira metodologia foi elaborada por Cantalice et al. (2009), que definiram o fator R para

Pernambuco, utilizando equações de regressão encontradas para cada região climática do estado. A equação para a região do sertão pernambucano é descrita pela equação 3.

$$R = \Sigma EI30 = -45,06 + 5,528 * P \quad (3)$$

Onde, EI30 é a média mensal do índice de erosividade das chuvas, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, e P é a precipitação média anual (mm)

Para a espacialização do fator R, foi utilizado o interpolador *thinspline* do software SAGAGIS.

Tabela 1. Postos pluviométricos, localização, série histórica e média anual de dados de chuvas utilizados para a determinação do fator R.

Fonte	Município	Série Histórica	Média anual de chuva (mm)
ANA/AGRITEMPO	Belém de São Francisco - PE	1990-2009	412
ANA/AGRITEMPO	Belém de São Francisco - PE	1990-2009	493
ANA/AGRITEMPO	Floresta – PE	1990-2009	498
ANA/AGRITEMPO	Floresta – PE	1990-2009	507
ANA/AGRITEMPO	Floresta – PE	1990-2009	554
SUDENE	Floresta – PE	1969-1989	603
SUDENE	Cabrobó - PE	1969-1990	565
SUDENE	Cabrobó - PE	1970-1990	554
SUDENE	Cabrobó - PE	1965-1985	579
SUDENE	Itacuruba – PE	1968-1990	369
ANA/AGRITEMPO	Parnamirim – PE	1990-2009	492
ANA/AGRITEMPO	Inajá – PE	1990-2009	460
ANA/AGRITEMPO	Serra Talhada - PE	1990-2009	500
SUDENE	Ibimirim – PE	1962-1985	601
SUDENE	Petrolândia – PE	1968-1990	486
SUDENE	Betânia – PE	1970-1990	591
SUDENE	Rodelas - BA	1968-1990	437
SUDENE	Salgueiro – PE	1969-1988	673

Erodibilidade do solo (Fator K)

O fator K ou erodibilidade do solo representa no modelo a suscetibilidade do solo ao processo erosivo (Silva et al., 2016). é a relação entre a energia empregada pela erosividade da chuva e a resistência do solo ao desprendimento e translocamento de partículas.

O fator K foi estimado pela análise de perfis representativos das unidades de mapeamento de solos de Pernambuco (Figura 2), obtidos no Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (Silva et al., 2001) distribuídos na área de estudo, para a profundidade 0 cm a 20 cm do solo, conforme equação 4, baseada em Denardin (1990).

$$K = (7,48 * 10^{-6} * M) + (4,48 * 10^{-3} * P) - (6,31 * 10^{-2} * DMP) + (1,04 * 10^{-2} * R) \quad (4)$$

Xavier, J. P. S., Barros, A. H. C., Webber, D. C., Accioly, L. J. O., Marques, F. A., Araújo Filho, J. C., Silva, A. B.

Onde, K é a erodibilidade do solo (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹);

M (%) é calculado pela expressão (equação 5):

$$M = (Af + S) * [(Af + S) + Ag] \quad (5)$$

Sendo proporções (%), de Af (areia fina), S (silte) e Ag (areia grossa).

P é a permeabilidade do perfil do solo, estimada a partir desses valores: 1 = muito baixa, 2 = baixa, 3 = baixa a moderada, 4 = moderada, 5 = moderada a rápida, 6 = rápida (Wischmeier, Johnson e Cross, 1971).

DMP é o diâmetro médio ponderado das partículas de solo (mm) dado pela relação da equação 6:

$$DMP = \frac{(0,65*Ag)+(0,15*Af)+(0,0117*S)+(0,00024*Ar)}{100} \quad (6)$$

Sendo Ag (areia grossa), Af (areia fina), S (silte) e Ar (argila) (%);

E R é a relação entre matéria orgânica e argila (equação 7):

$$R = Ag * \left(\frac{TMO}{100}\right) \quad (7)$$

Onde, Ag é areia grossa e TMO é o teor de matéria orgânica (%).

Os valores de K foram obtidos para cada perfil representativo da área de estudo. Para tanto, foi realizada a média ponderada dos valores das associações das classes de solos, de acordo com a sua proporção na unidade de mapeamento do solo.

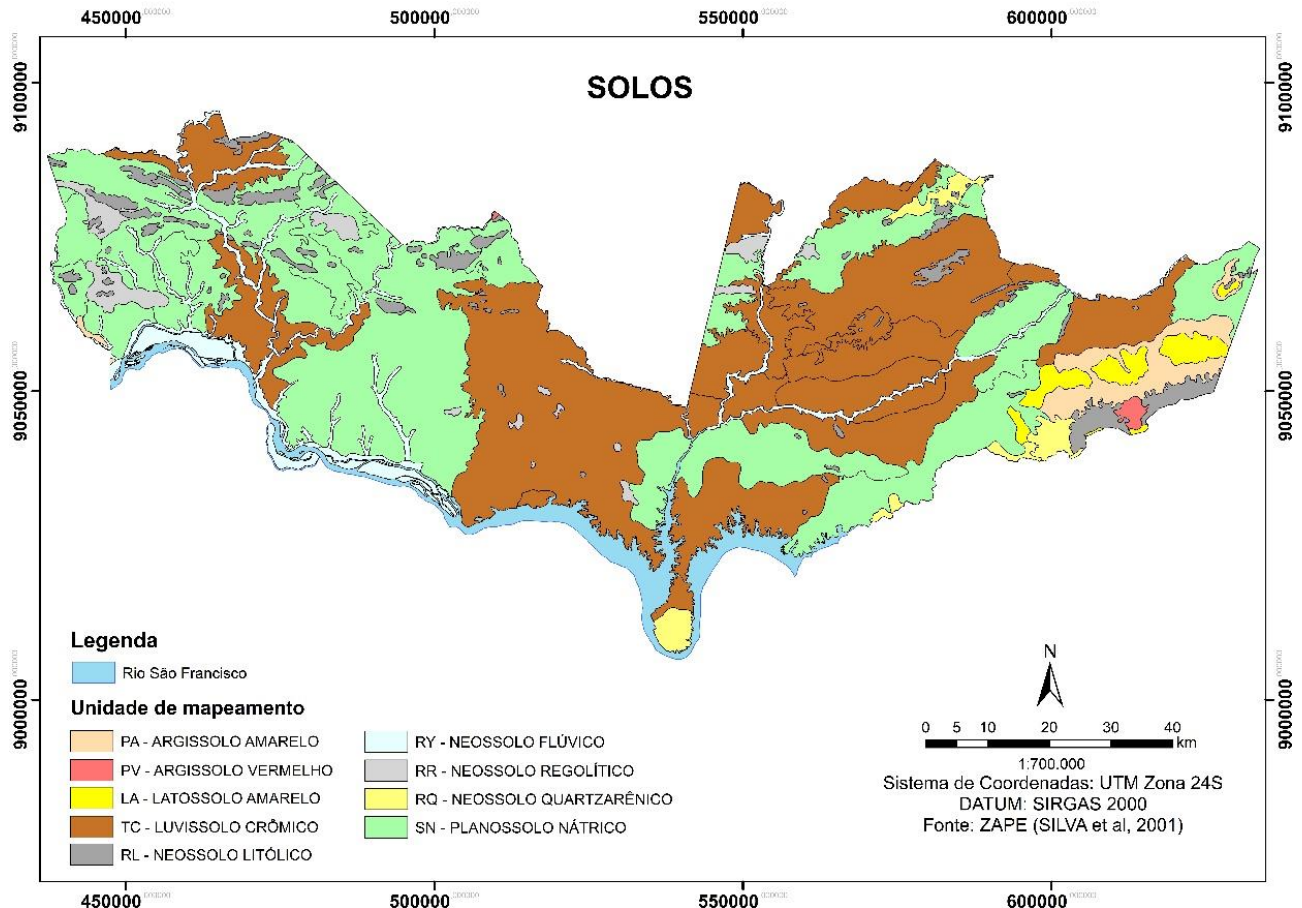


Figura 2. Unidades de mapeamento de solos representativos da área de estudo. Adaptado de Silva et al. (2001).

Fator Topográfico (Fator LS)

O Fator LS é a relação entre as variáveis de comprimento de rampa de encostas (L) e a declividade (S) avaliados juntos na modelagem. O fator L representa a relação de perdas de solos entre comprimento do declive e comprimento de rampa de 25 m para os mesmos fatores solo, chuva, grau de declive, cobertura e manejo. O fator S trata da relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, sendo apresentada uma equação para possíveis ajustes às características

locais (Coutinho et al., 2014).

O cálculo do fator LS foi determinado a partir do modelo digital de elevação, derivado do Shuttle Radar Topography Mission - SRTM, com 30 m de resolução espacial, utilizando o método proposto por Baptista (1997), que define a fórmula para obtenção do fator LS como (equação 8):

$$LS = 0,00984 * L^{0,63} * S^{1,18} \quad (8)$$

Onde: LS é o fator topográfico; L

Xavier, J. P. S., Barros, A. H. C., Webber, D. C., Accioly, L. J. O., Marques, F. A., Araújo Filho, J. C., Silva, A. B.

comprimento de rampa (m); e S declividade em porcentagem (%).

A formula descrita na equação 8 foi realizada com o módulo *Map Algebra* do ArcGIS 10.3.

Fator de manejo e Práticas Conservacionistas (Fator CP)

Este Fator é a combinação entre as variáveis de uso do solo ou cobertura vegetal (C), que é a uma das medidas de prevenção a erosão, pois reduz a energia cinética das gotas de chuva

(fator R) e de práticas conservacionistas (P), que expressa a relação entre a intensidade esperada de perda de solo com o uso ou não de práticas conservacionistas.

Segundo Stein et al. (1987), se o objetivo é especializar fenômenos por meio de geoprocessamento, a obtenção dos dados de C e P podem ser analisados de forma integrada em função do uso e ocupação do solo.

Assim foram atribuídos valores para cada classe de uso da terra mapeadas por Accioly et al. (2016) os valores do fator C e P foram adaptados de Stein et al. (1987) (tabela 2).

Tabela 2. Fator CP associado ao uso da terra.

Classe	CP
Agricultura	0,2
Agricultura Irrigada	0,25
Lâmina d'Água	0
Área Urbana	0
Caatinga	0,01
Mata Serrana	0,00004
Pastagem	0,1
Solo Exposto	1

Fonte: adaptado de Stein et al. (1987)

Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS (A)

Para cada metodologia de cálculo do fator R foi calculado a EUPS para comparação dos resultados. A EUPS foi calculada de acordo com a equação 9, definida por Wischmeier e Smith (1978).

$$A = R * K * LS * C * P \quad (9)$$

Onde, A é a perda de solo (t ha⁻¹ ano⁻¹); R é o fator de erosividade da chuva (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹

ano⁻¹); K é o fator de erodibilidade do solo (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹); LS é o fator topográfico (comprimento de rampa e declividade - adimensional); C é o fator de uso e manejo do solo (adimensional); e P é o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

A EUPS foi calculada em ambiente SIG no *software ArcGIS 10.3* pelo módulo *map algebra*, a partir das variáveis em formato matricial. A figura 3 ilustra o fluxograma dos procedimentos utilizados para os cálculos. O resultado foi classificado segundo a metodologia da FAO (1980), de acordo com a tabela 3.

Tabela 3. Classificação das perdas de solo.

t/ha/ano	Classificação
<10	Sem erosão
10 - 50	Erosão moderada
50 - 200	Erosão alta
>200	Erosão muito alta

Fonte: FAO (1980)

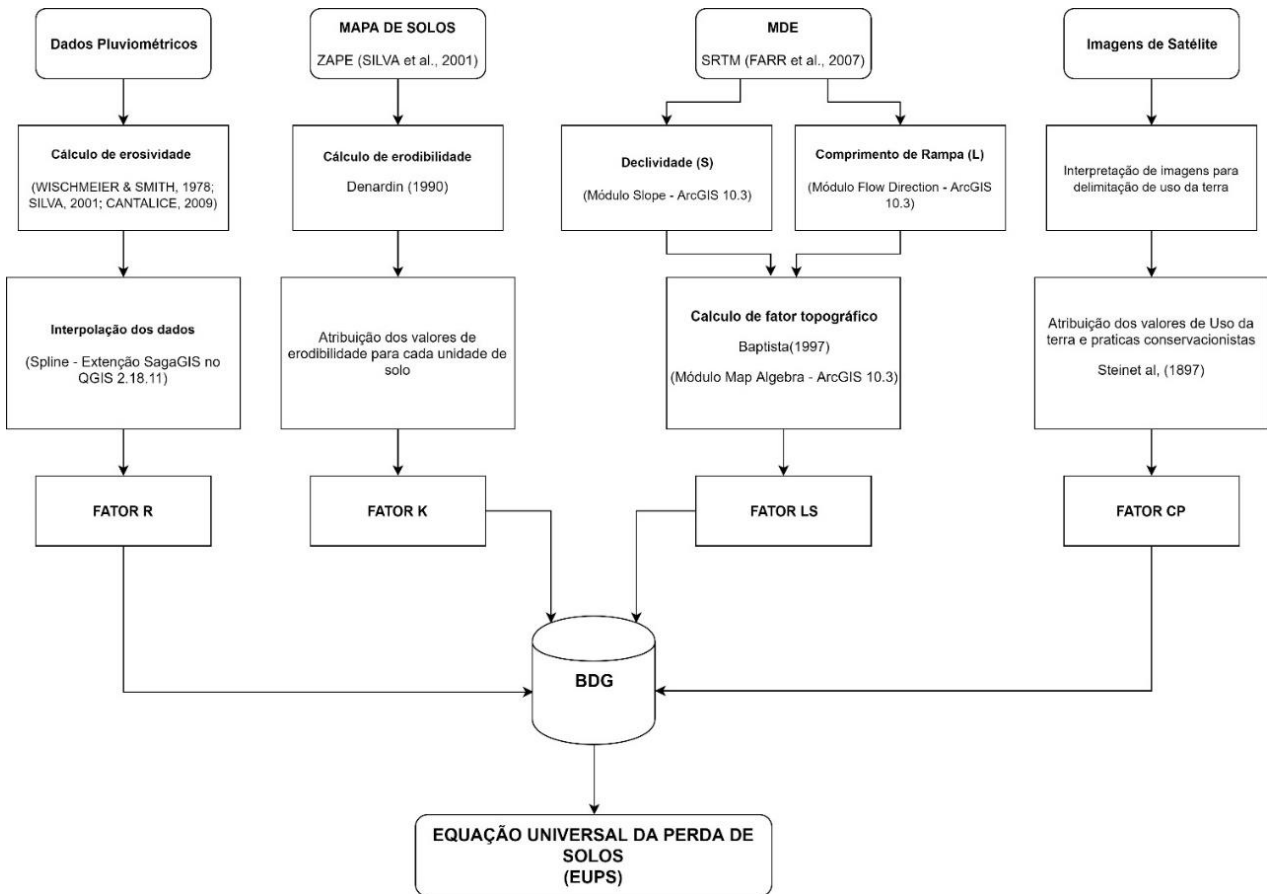


Figura 3. Fluxograma que ilustra os processos para a obtenção da Equação Universal de Perdas de Solo.

Resultados e discussão

Fatores de erosividade da chuva (R)

As metodologias de Wischmeier e Smith (1978) e Silva (2004) obtiveram resultados de erosividade da chuva bem semelhantes, com amplitude de energia de aproximadamente, 2.362 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ a 4.281 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 2.833 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ a 5.067 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. No entanto, os valores de amplitude de Silva (2004) foram superiores aos de Wischmeier e Smith (1978), essa semelhança pode ser também identificada espacialmente (Figura 4).

Cantalice et al. (2009) obtiveram os resultados mais baixos em relação as outras duas metodologias, com uma amplitude energética entre

1.330 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ a 3.928 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Sua espacialização também difere das demais, apresentando áreas de baixa erosividade a noroeste e mais altas a sudeste, em comparação as outras duas (figura 4), isso é explicado possivelmente pelas variáveis utilizadas nas equações, já que tanto Wischmeier e Smith (1978) quanto Silva (2004) utilizam-se das precipitações médias anuais e mensais. Já Cantalice et al. (2009) utilizam apenas as médias mensais como variável na sua equação. No entanto, pode-se verificar que ao longo da calha do rio São Francisco os valores do fator R são da mesma ordem de magnitude.

Estes valores não divergem da estimativa da erosividade das chuvas do Nordeste do Brasil, realizada por Leprun (1983) e Silva (2004), que encontraram para todo o sertão nordestino valores entre 3.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 7.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

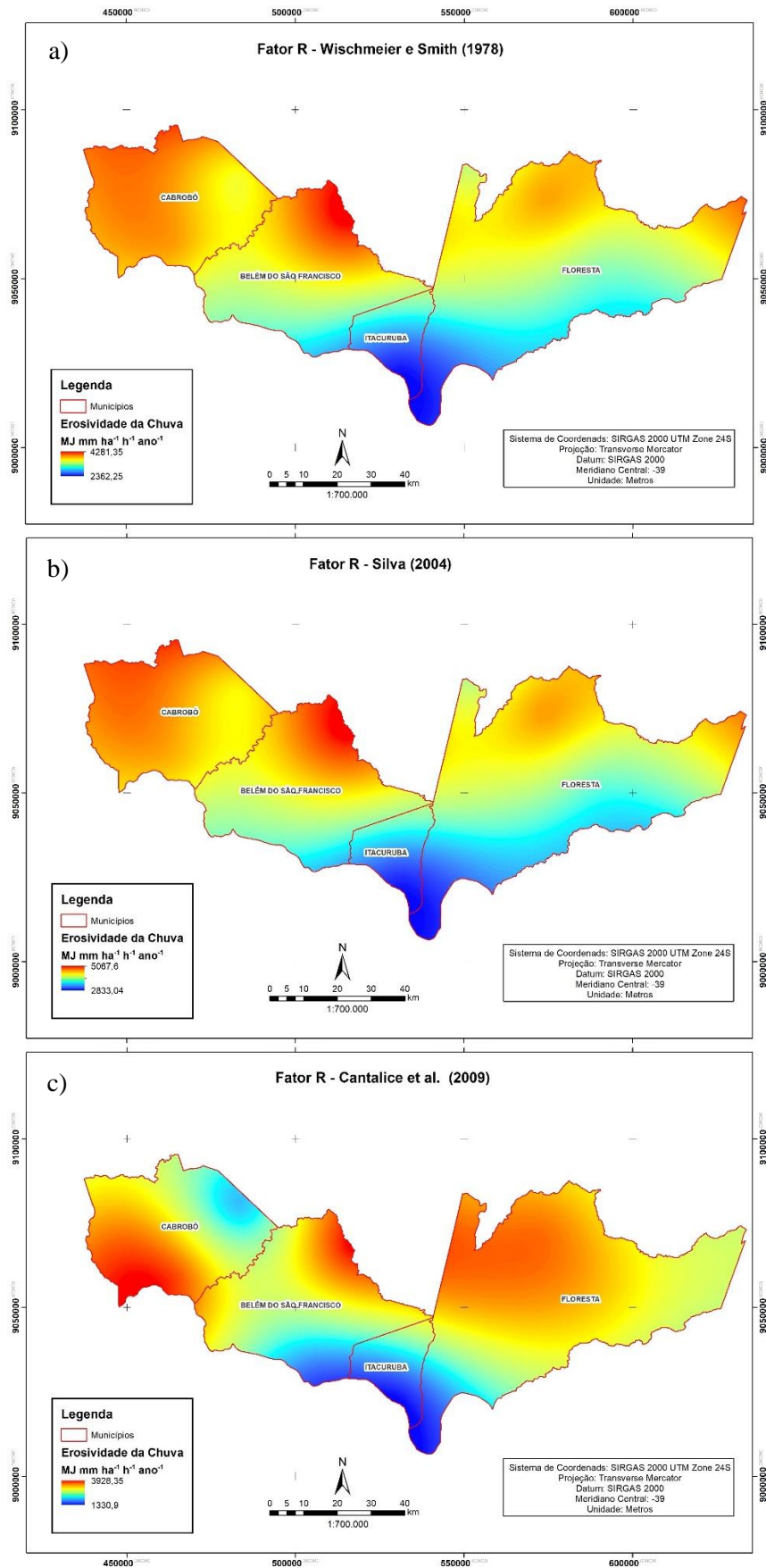


Figura 4. Mapas da área de estudo com as simulações dos fatores R para as três metodologias analisadas. a) Wischmeier e Smith (1978); b) Silva (2004); c) Cantalice et al. (2009).

Fatores da EUPS e sua relação com o Fator de erosividade da chuva

Os solos da área em estudo, de acordo com o fator K, apresentam uma baixa resistência a erosão. Os Planossolos e Luvisolos são predominantes e apresentam limitações muito fortes relacionadas com a permeabilidade lenta ou

muito lenta, e normalmente são adensados devido ao acúmulo de argila principalmente na subsuperfície. A redução da infiltração da água favorece a erosão, possibilitando a aceleração dos processos de degradação e salinização. Podem ser encontrados valores altos de erodibilidade para a classe dos Neossolos, devido a sua granulometria mais arenosa e por serem solos pedologicamente pouco desenvolvidos (tabela 4 e figura 5).

Tabela 4. Fator de erodibilidade das unidades de mapeamento de solos (K) da área estudada em Pernambuco.

Unidade de Mapeamento do Solo*	Classe de Solo Predominante	Fator K (média)
A10	Neossolo Flúvico	0,03073
A11	Neossolo Flúvico	0,03073
A12	Neossolo Flúvico	0,03576
A13	Neossolo Flúvico	0,03280
AQ12	Neossolo Quartzarênico	0,02056
AQ13	Neossolo Quartzarênico	0,02056
AQ17	Neossolo Quartzarênico	0,02183
AQ7	Neossolo Quartzarênico	0,02054
AQ9	Neossolo Quartzarênico	0,02091
LA'1	Latossolo Amarelo	0,01207
LA'15	Latossolo Amarelo	0,01376
LA'6	Latossolo Amarelo	0,01546
NC12	Luvissolo Crômico	0,02727
NC13	Luvissolo Crômico	0,02981
NC14	Luvissolo Crômico	0,03195
NC15	Luvissolo Crômico	0,02859
NC17	Luvissolo Crômico	0,02850
NC6	Luvissolo Crômico	0,02827
NCp16	Luvissolo Crômico	0,03009
PA'45	Argissolo Amarelo	0,02209
PA'46	Argissolo Amarelo	0,02517
PA'47	Argissolo Amarelo	0,02181
PA'p4	Argissolo Amarelo	0,02069
PS10	Planossolo Nátrico	0,02293
PS11	Planossolo Nátrico	0,03159
PS12	Planossolo Nátrico	0,02497
PS3	Planossolo Nátrico	0,02580
PS6	Planossolo Nátrico	0,02671
PS7	Planossolo Nátrico	0,02941
PS8	Planossolo Nátrico	0,02251
PV57	Argissolo Vermelho	0,02203
PV64	Argissolo Vermelho	0,02828
R46	Neossolo Litólico	0,03293
R52	Neossolo Litólico	0,02531
R55	Neossolo Litólico	0,02643
R58	Neossolo Litólico	0,02451
R60	Neossolo Litólico	0,01926
R69	Neossolo Litólico	0,03040
R73	Neossolo Litólico	0,02439
R74	Neossolo Litólico	0,02439
RE'7	Neossolo Regolítico	0,02588
RE25	Neossolo Regolítico	0,03486
RE26	Neossolo Regolítico	0,03852

* De acordo com o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE). Fonte: Silva et al. (2001)

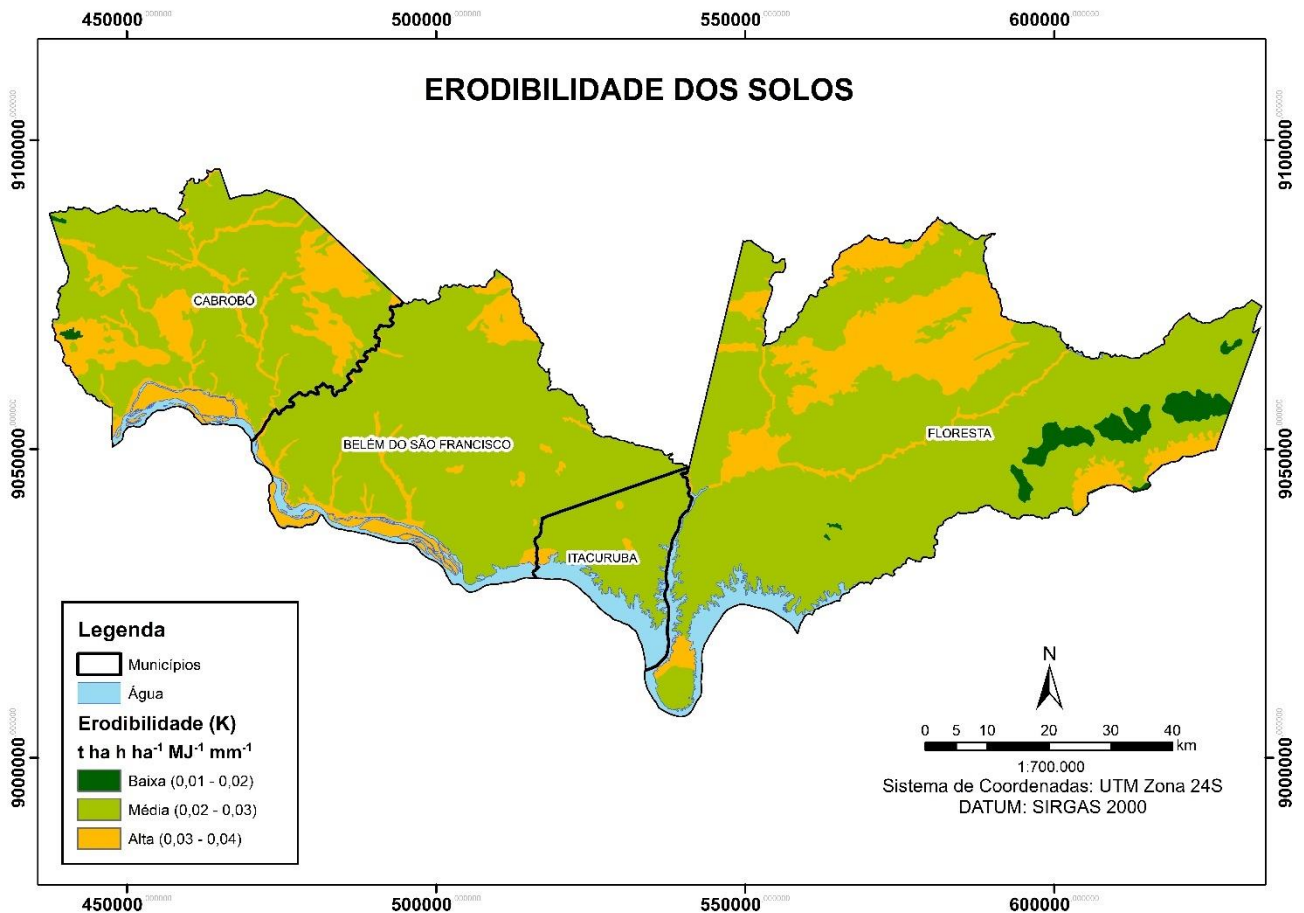


Figura 5. Fator de erodibilidade do solo (K) utilizado na EUPS.

O fator topográfico LS, de maneira geral, apresentou baixa influência na gênese de um evento erosivo, a área de estudo está localizada dentro da depressão são franciscana, caracterizada por apresentar relevo plano em sua maior parte, com algumas situações de relevo residual (inselbergs), onde se tem maior declividade e maior influência do fator LS na erosão. Essas áreas de relevo residual com maior declividade ocorrem mais a norte da área de estudo e, comparando com o fator K, são áreas com presença de Neossolos, tornando essas áreas ainda mais suscetíveis a processos erosivos (figura 6).

Já o fator CP, de maneira geral, também apresentou baixa influência no processo erosivo,

isso acontece devido o fato de que a maior parte da área de estudo apresenta caatinga aberta ou fechada. Observam-se, também, práticas de agricultura irrigada nas várzeas dos rios da área de estudo, práticas de agricultura mais a oeste e pastagens a oeste e extremo leste da região (figura 7).

Ainda que o valor adaptado de Stein et al. (1987) para a cobertura de caatinga (0,01) tenha sido generalizada, seja nativa ou aberta, esse valor se aproximou bem aos de Albuquerque et al. (2002) que analisaram parcelas de perdas de solo no sertão paraibano com caatinga nativa com valor de 0,0178.

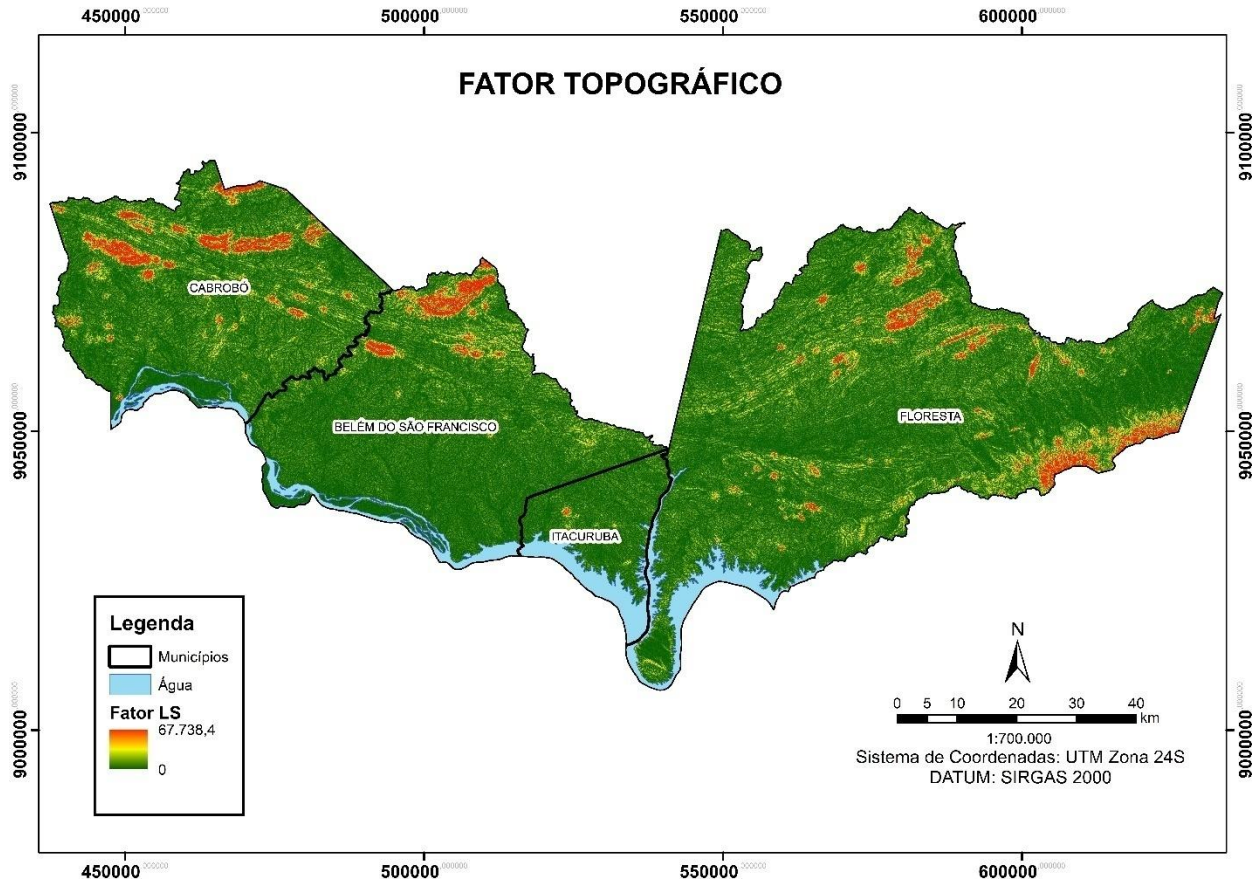


Figura 6. Fator topográfico (Fator LS) utilizado na EUPS.

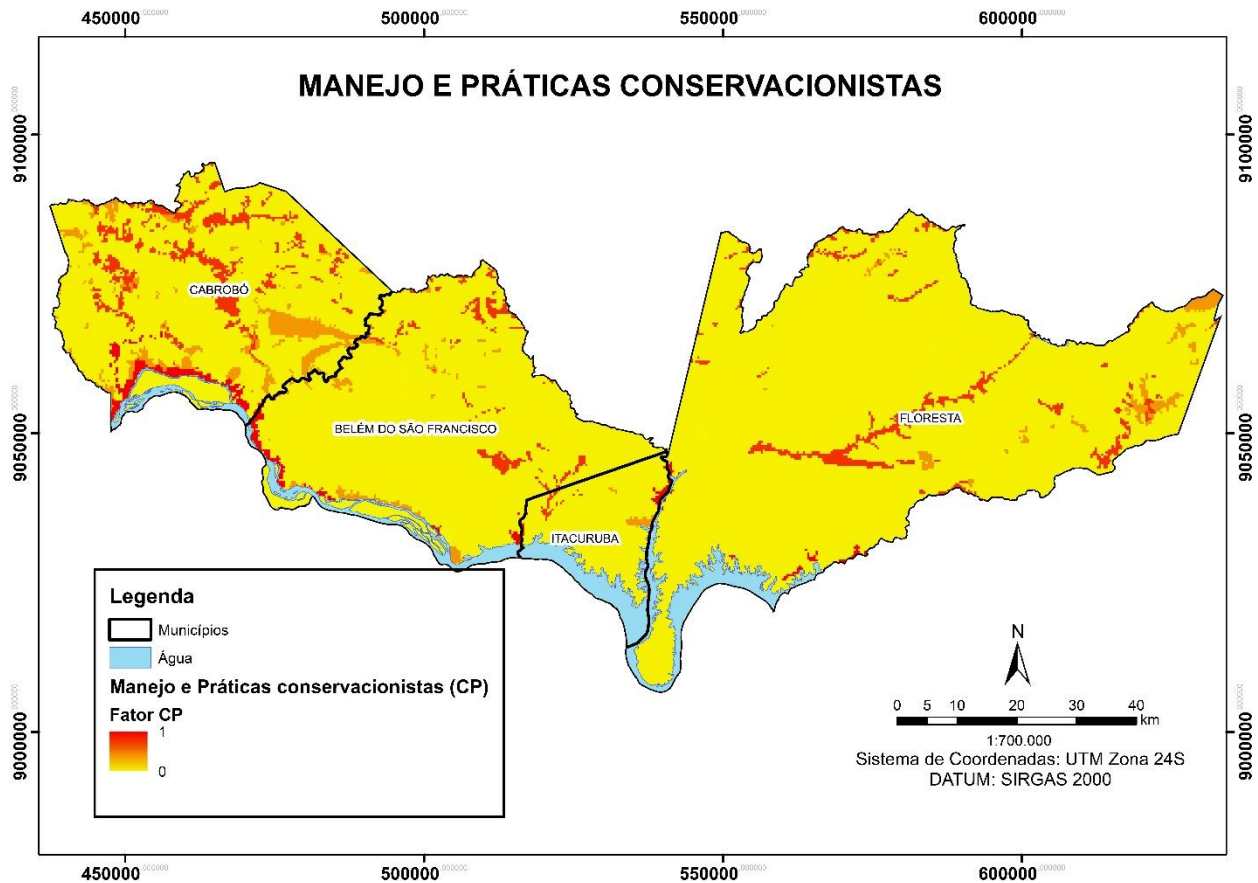


Figura 7. Fator de uso e manejo e práticas conservacionistas (Fator CP) utilizado na EUPS.

Os resultados para Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS, utilizando os três métodos para o cálculo do fator R, foram quantitativamente equivalentes. Nas EUPS com o Fator R de Wischmeier e Smith (1978) e Cantalice et al. (2009) os resultados foram da ordem de 328 t ha⁻¹ ano⁻¹ e 314 t ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. No entanto, para o cálculo com o fator R de Silva (2004), os valores de erosividade das chuvas foram superiores, o cálculo da EUPS alcança valores de

perdas de solo da ordem de 779 t ha⁻¹ano⁻¹

Observa-se que embora a erosividade das chuvas de Wischmeier e Smith (1978) e Silva (2004) que tinham valores mais semelhantes, não repetem a mesma situação na perda de solos, tendo valores totais bem distintos nos resultados da EUPS. Já os valores do fator R, antes distintos, como Wischmeier e Smith (1978), Cantalice et al. (2009), quando aplicados na EUPS obtiveram valores de perdas de solo semelhantes (tabela 5).

Tabela 5. Relação fator R e EUPS

Metodologia	Fator R		EUPS	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Wischmeier e Smith (1978)	3.478,02	402,85	986,17	4.663,37
Silva (2004)	4.116,01	483,85	1.169,85	6.218,39
Cantalice et al. (2009)	2.966,50	561,54	830,71	4.088,51

Os resultados da EUPS, classificados segundo FAO (1980), apontam pouca diferenciação entre as três metodologias do fator R, tanto na porcentagem das áreas (tabela 6) quanto na espacialização das mesmas (figura 8). Chegando próximo as constatações de Gomez (2012) que realizou o cálculo da EUPS em todo território nacional, a EUPS aplicada a grandes escalas, apresenta uma sensibilidade de apenas 12% a mudanças do fator R.

As áreas classificadas como sem erosão, correspondem a aproximadamente 60% da área de estudo (tabela 6), são praticamente as áreas que apresentam fator CP próximo de 0. Ainda é possível observar áreas sem erosão em situações a leste da área de estudo, estas áreas apresentam valores de fator topográfico próximos de 0 por serem mais planas e apresentam Latossolos mais resistentes a erosão por sua alta permeabilidade (figura 8).

As áreas de erosão moderada ocorrem apenas em menos de 3% da área de estudo,

variando menos de 1% entre as três metodologias de fator R utilizadas (tabela 6).

As áreas com erosão alta variaram entre 8,33% a 12,14%, menos de 4%. São áreas, que apresentam em sua maioria erosividade da chuva próximas a 3.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, de topografia plana, com Luvisolos e Planossolos e com cobertura de caatinga mais a leste da área de estudo ou próximo as áreas de erosão muito alta (figura 8).

As áreas com erosão muito alta são as mais presentes na área de estudo, depois das áreas sem erosão, variando entre 25,13% para fator R com Cantalice et al. (2009), 27,55% para fator R com Wischmeier e Smith (1978) e 29,81% para fator R com Silva (2004) (tabela 6). São áreas mais a norte, nos municípios de Cabrobó, Belém de São Francisco e Floresta (figura 8). Estas áreas apresentam os maiores valores de fator R, entre 3.800 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ a 5.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, onde o fator R rege o processo erosivo quase que independente das outras variáveis, variando desde inselbergs com Neossolos, a relevos planos com Luvisolos.

Tabela 6. Porcentagem de áreas classificadas de acordo com FAO (1980).

Fator R	Sem erosão	Moderada	Alta	Muito alta
Wischmeier e Smith (1978)	60,44%	1,81%	10,21%	27,55%
Silva (2004)	60,35%	1,51%	8,33%	29,81%
Cantalice et al. (2009)	60,53%	2,20%	12,14%	25,13%

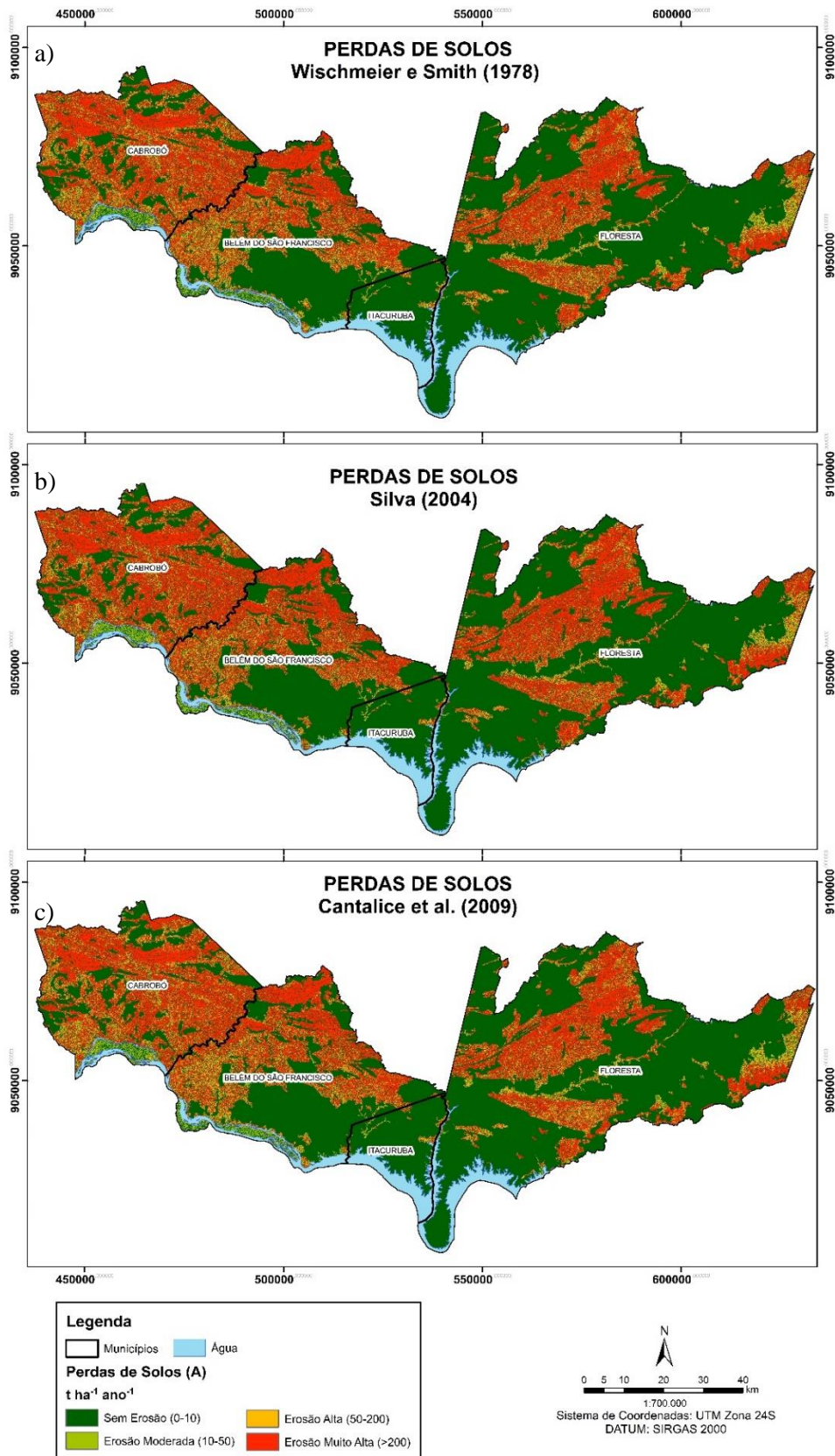


Figura 8. Mapas finais da EUPS, utilizando as três metodologias para estimativa do fator R a) Wischmeier e Smith (1978); b) Silva (2004); e c) Cantalice et al. (2009).

Conclusão

Os valores estimados de erosividade (fator R) variaram de 2.362 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ a 4.281 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ para Wischmeier e Smith (1978); 2.833 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ a 5.067 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ para Silva (2004); e Cantalice et al. (2009) com valores menores da ordem de 1.330,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ a 3.928,35 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

Embora apresentem diferenças na previsão da quantidade e erosão absoluta, as diferentes metodologias de obtenção do fator R para localização de áreas com grande suscetibilidade a perdas de solos por erosão laminar não apresentaram diferenças qualitativas para a identificação e priorização de áreas para intervenções conservacionistas e de manejo dos solos.

Os maiores valores de perdas de solo estão associados a solos aluviais (Neossolos Flúvicos), no entanto, os Planossolos e Luvisolos, com maior presença na área de estudo, apresentam erodibilidade entre média e alta, devido a sua permeabilidade lenta. Os outros Neossolos também apresentaram alta erodibilidade devido a sua granulometria arenosa e pouco desenvolvimento pedológico.

A utilização da EUPS se mostrou viável na avaliação da suscetibilidade à perda de solo, principalmente considerando uma abordagem qualitativa. Os mapas finais permitem destacar áreas com potencial erosivo, e podem ser utilizados para fins de planejamento de ações voltadas para o manejo e conservação dos solos.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições que forneceram dados pedológicos e pluviométricos para realização deste trabalho.

Referências

- Accioly, L. J. O., Silva, E. A., Junior, C., Alves, E. A., Pereira, E. S., Silva, A. G. S., . . . R R, (2016). Mapeamento do Uso e Cobertura das Terras do Semiárido Pernambucano. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento. *Embrapa Solos*, 260, [\[Google Scholar\]](#)
- Albuquerque, A. W., Neto, L., Srinivasan, F., Santos, V. S., & J R, (2002). Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em. *Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6, 136-141. [\[Google Scholar\]](#)
- Ali, S. A., & Hagos, H. (2016). Estimation of soil erosion using USLE and GIS in Awassa Catchment, Rift valley, Central Ethiopia. *Journal of Geoderma Regional [online]* 7. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.03.005>. Acesso, 23, [\[Google Scholar\]](#)
- Anache, J. A. A., Bacchi, C. G., & Alves-Sobrinho, T. (2014). Modeling of (R) USLE C-factor for pasture as a function of Normalized Difference Vegetation Index. *European International Journal of Science and Technology*, 3, 214-221. [\[Google Scholar\]](#)
- Ashiagbor, G., Forkuo, E. K., Laari, P., & Aabeyir, R. (2013). Modeling Soil Erosion Using RUSLE and GIS Tools. *International Journal Of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG)*, 2, 7-17. [\[Google Scholar\]](#)
- Baptista, G. M. M. (1997). *Diagnóstico ambiental e perda laminar de solos no Distrito Federal, por meio de geoprocessamento. Dissertação (Mestrado)*. Brasília, UNB. [\[Google Scholar\]](#)
- Barbosa, A. F., Oliveira, E. F., Mioto, C. L., Filho, P., & A C, (2015). Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ [online] 38. Disponível: http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_170_179. Acesso, 26, [\[Google Scholar\]](#)
- Barros, E. N. S., Viola, M. R., Rodrigues, J. A. M., Mello, C. R., Avanzi, J. C., & Giongo, M. (2018). Modelagem da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Manoel Alves Pequeno, Tocantins. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias [online]* 13. Disponível: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5509>. Acesso, 26, [\[Google Scholar\]](#)
- Belasri, A., & Lakhouili, A. (2016). Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco. *Journal Of Geographic Information System [online]* 8. Disponível:
- Xavier, J. P. S., Barros, A. H. C., Webber, D. C., Accioly, L. J. O., Marques, F. A., Araújo Filho, J. C., Silva, A. B.

- [Http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.81010](http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.81010). Acesso, 23, [\[Google Scholar\]](#)
- Cantalice, J. R. B., Bezerra, S. A., Figueira, S. B., Inácio, E. S. B., & Silva, M. D. R. O. (2009). Linhas Isoerosivas do Estado de Pernambuco. *1ª Aproximação. Revista Caatinga*, 22, 75-80. [\[Google Scholar\]](#)
- Coutinho, L. M., Cecílio, R. A., Garcia, G. O., Xavier, A. C., Zanetti, S. S., & Moreira, M. C. (2014). Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. *Revista Agro@mbiente*, 8, 1-9. [\[Google Scholar\]](#)
- Dechen, S. C. F., Telles, T. S., Guimarães, M. F., & Maria, I. C. (2015). Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia*, 74, 224-233. [\[Google Scholar\]](#)
- Denardin, J. E. (1990). *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Tese (Doutorado)*. Piracicaba, USP. [\[Google Scholar\]](#)
- Food, F. A. O., Organization, A., & 1980. *Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos*. Roma. [\[Google Scholar\]](#)
- Gomez, J. D. P. (2012). *Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo território Brasileiro. Dissertação (Mestrado)*. Piracicaba, USP. [\[Google Scholar\]](#)
- Leprun, J. C. (1983). *Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo no Nordeste brasileiro*. SUDENE/ORSTOM, Recife. [\[Google Scholar\]](#)
- Morais, R. C. S., & Sales, M. C. L. (2017). Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. *Caderno de Geografia, Belo Horizonte [online]* 27. Disponível: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27nesp1p84>. Acesso, 26, [\[Google Scholar\]](#)
- Oliveira, F. G., Seraphim, O. J., & Borja, M. E. L. (2015). Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do Lageado, Botucatu – SP. *Energia na Agricultura [online]* 30. Disponível. Acesso, 26, 10-17224. [\[Google Scholar\]](#)
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy [online]* 48. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>. Acesso, 23, [\[Google Scholar\]](#)
- Pham, T. G., Degener, J., & Kappas, M. (2018). 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 [online]* 6. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>. Acesso, 23, [\[Google Scholar\]](#)
- Perez-Marín, A. M., Cavalcanti, A. M. B., Medeiros, S. S., Tinôco, L. B. M., & Salcedo, I. H. (2012). Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica. *Parcerias Estratégicas*, 17, 87-106. [\[Google Scholar\]](#)
- Silva, A. M. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena [online]* 57. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>. Acesso, 23, [\[Google Scholar\]](#)
- Silva, F. B. R., Santos, J. C. O., Silva, A. B., Cavalcanti, A. C., Silva, F. H. B. B., Burgos, N., . . . A H C, (2001). Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco. *Embrapa Solos UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco - Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária, Recife. (Embrapa Solos. Documentos, 35, [Google Scholar]*
- Silva, L. F. S., Marinho, M. A., Rocco, E. O., Walter, M. K. C., & Boschi, R. S. (2016). Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um Latossolo Vermelho da região de Campinas. *SP. Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, 3, 51-58. [\[Google Scholar\]](#)
- Xavier, J. P. S., Barros, A. H. C., Webber, D. C., Accioly, L. J. O., Marques, F. A., Araújo Filho, J. C., Silva, A. B.

- Stein, D. P., Donzelli, P., Gimenez, A. F., Ponçano, W. L., Neto, L., & F, (1987). Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema. In: *SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO*, 4, 105-135. [[Google Scholar](#)]
- Trindade, A. L. F., Oliveira, P. T. S., Anache, J. A. A., & Wendland, E. (2016). Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária brasileira* [online] 51. Disponível: [Http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200002](http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200002). Acesso, 26, [[Google Scholar](#)]
- Wang, X., Zhao, X., Zhang, Z., Yi, L., Zuo, L., Wen, Q., . . . Liu, B. (2016). Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. *Catena* [online] 137. Disponível: [Https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.004](https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.004). Acesso, 23, [[Google Scholar](#)]
- Wischmeier, W. H., Johnson, C. B., & Cross, B. V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26, 189-193. [[Google Scholar](#)]
-