

Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica: aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos





Governador do Estado
Jorginho dos Santos Mello

Secretário de Estado da Agricultura
Valdir Colatto

Presidente da Epagri
Dirceu Leite

Diretores

Célio Haverroth
Desenvolvimento Institucional

Fabírcia Hoffmann Maria
Administração e Finanças

Gustavo Gimi Santos Claudino
Extensão Rural e Pesqueira

Reney Dorow
Ciência, Tecnologia e Inovação



ISSN 1413-960X (impresso)

ISSN 2674-9513 (on-line)

Junho/2023

BOLETIM TÉCNICO Nº 210

Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica: aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos

Álvaro José Back



Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

Florianópolis

2023

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)
Rodovia Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, Caixa Postal 502
88034-901 Florianópolis, SC, Brasil
Fone: (48) 3665-5000
Site: www.epagri.sc.gov.br

Editado pelo Departamento Estadual de Marketing e Comunicação (DEMC)

Assessoria técnico-científica: Denilson Dortzbach

Revisores *ad hoc*: Franciani Rodrigues da Silva – Epagri/E. Municipal de Lontras
Jefferson Schick – IFSC/Campus Canoinhas, SC

Editoração técnica: Paulo Sergio Tagliari

Revisão textual: Laertes Rebelo

Diagramação: Victor Berretta

Foto de capa: Solo de encosta erodido por forte chuva. Autoria de Maico Pergher, engº-agrônomo, extensionista rural de Faxinal dos Guedes, e-mail: maicopergher@epagri.sc.gov.br.

Primeira edição: junho 2023

Impressão: Gráfica CS

Tiragem: 450 exemplares

É permitida a reprodução parcial deste trabalho desde que a fonte seja citada.

Ficha catalográfica

BACK, Á. J. **Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica por meio da Equação Universal de Perdas de Solo**. Florianópolis: Epagri, 2023. 80p. (Epagri. Boletim Técnico, 210)

Erosão; Conservação do solo; Terraceamento; Software hidrológico.

ISSN 1413-960X (impresso)

ISSN 2674-9513 (*on-line*)

AUTOR

Álvaro José Back

Engenheiro-agrônomo, Dr.

Epagri, Estação Experimental de Urussanga

Rodovia SC 108, km 353, Bairro da Estação, Caixa Postal 049

Urussanga, SC

(49) 3043-1382

ajb@epagri.sc.gov.br

APRESENTAÇÃO

Um dos grandes desafios da agropecuária é o de produzir alimentos de qualidade com o uso racional e sustentável dos recursos naturais. Entretanto, mesmo com toda a tecnologia disponível, a degradação dos solos impõe a cada ano elevados custos à sociedade. Tais prejuízos são causados pela grande perda de solos agricultáveis através da erosão hídrica. Esta perda se reflete na redução da capacidade produtiva do solo, no assoreamento e na contaminação dos corpos d'água, causando consequentemente reflexos negativos para a economia, especialmente o empobrecimento dos produtores rurais.

Acreditamos que um dos caminhos para a mudança desse cenário está na informação. Nesse ínterim surge o HidroEUPS, um programa elaborado em linguagem Delphi, onde constam as rotinas de cálculo para as estimativas dos parâmetros da Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS) bem como tabelas para consulta destes parâmetros. O HidroEUPS surge como uma ferramenta disponibilizada para facilitar os cálculos e simulações de perdas de solo por erosão hídrica para diferentes condições edafoclimáticas e práticas de manejo.

Além de revisar os parâmetros da EUPS, esta publicação apresenta os principais métodos de estimativa e serve como manual para HidroEUPS, orientando a escolha da melhor técnica de conservação do solo e da água para determinadas condições específicas.

Trata-se, sem dúvida, de um grande avanço para a conservação do solo e da água. E sua utilização pelos técnicos e produtores contribuirá com o aumento do potencial produtivo do solo e reduzirá os problemas de erosão.

A Diretoria Executiva

SUMÁRIO

Introdução	9
1 Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)	11
1.1 O fator R	13
1.1.1 Definição da chuva erosiva.....	14
1.1.2 Cálculo da energia cinética.....	14
1.1.3 Índice de erosividade EI_{30}	15
1.1.4 Análise de dados pluviográficos	17
1.1.5 Padrões hidrológicos de distribuição temporal.....	18
1.1.6 Classificação da erosividade.....	19
1.1.7 Estimativa dos índices de erosividade com dados pluviométricos.....	19
1.1.8 Mapas de Erosividade	28
1.2 Fator LS.....	34
1.3 Fator K	36
1.3.1 Textura do solo	37
1.3.2 Estrutura do solo.....	40
1.3.3 Permeabilidade do solo	41
1.3.4 Equações para estimativa do fator K	41
1.4 Fator C	48
1.5 Fator P – Práticas conservacionistas	51
2 Tolerância de perdas de solo.....	55
3 Uso do Programa HidroEUPS.....	64
4 Exemplo de uso da USLE	72
Referências.....	73

Introdução

A erosão hídrica é a principal causa de degradação de solos agrícolas devido à remoção de partículas de solo e de nutrientes da camada superficial. Ela é provocada pelo desprendimento e a consequente desagregação das partículas do solo pelo impacto da chuva, ocasionando o selamento superficial, reduzindo a taxa de infiltração de água e aumentando o escoamento superficial. As consequências diretas da erosão são a redução da capacidade produtiva dos solos em razão da perda da camada de solo com melhor condição de fertilidade, estrutura e conteúdo de matéria orgânica. As principais consequências indiretas são o assoreamento dos rios e reservatórios e a contaminação dos recursos hídricos pelo carregamento de fertilizantes (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012; CASSOL et al., 2008).

De acordo com Machado & Wadt (2021), a erosão hídrica está entre os mais relevantes processos determinantes da degradação das terras na agricultura brasileira, tornando a adoção de práticas adequadas para seu controle um dos grandes desafios para a sustentabilidade da produção de grãos no Brasil. Pimentel et al. (1995) apontam que a erosão é uma das maiores ameaças para o desenvolvimento sustentável e para a manutenção da capacidade produtiva da agricultura. A degradação do solo devido à erosão tende a aumentar os custos de produção e também a pressão pela expansão de novas fronteiras agrícolas. Dessa forma, para promover uma agricultura sustentável, deve-se buscar técnicas que diminuam as taxas de erosão para níveis sustentáveis, isto é, taxas de perdas de solos menores que a capacidade de regeneração do solo, sem comprometer seu potencial e qualidade para as presentes e futuras gerações.

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) permite estimar as perdas de solo por erosão como o resultado da interação entre fatores do potencial erosivo da chuva, da suscetibilidade do solo à erosão, da topografia do terreno (comprimento e declividade de rampa) com fatores de manejo de solo e culturas e práticas conservacionistas complementares (LAL, 2000).

O potencial erosivo das chuvas e a topografia do terreno originam a energia capaz de causar erosão, enquanto a suscetibilidade do solo à erosão, o manejo de solo e culturas e as práticas conservacionistas representam as barreiras dissipadoras desta energia. O princípio básico do controle da erosão está, portanto, associado à mitigação da energia cinética (impacto) das gotas de chuva que atingem a superfície do solo, bem como à redução da energia cinética da enxurrada. Assim sendo, para alcançar um eficiente controle da erosão é necessário integrar o uso de práticas de manejo de solos e culturas às práticas conservacionistas complementares de modo a reduzir o efeito do impacto das

gotas de chuva sobre o solo e reduzir o volume e a velocidade da enxurrada (DENARDIN et al., 2005).

A compreensão dos fatores que afetam os processos erosivos e sua quantificação é fundamental para o planejamento de práticas de manejo e conservação do solo. A predição de perda de solo por erosão hídrica é um dado importante para a elaboração de um plano de cultivo conservacionista ou para a recuperação de áreas degradadas (COGO et al., 2003).

Este Boletim tem como objetivos revisar os parâmetros da Equação Universal de Perdas de Solos, apresentar os principais métodos de estimativa e servir como manual para HidroEUPS, que é uma ferramenta disponibilizada para facilitar os cálculos e simulações de perdas de solo por erosão hídrica para diferentes condições edafoclimáticas e práticas de manejo.

1 Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS)

Além do alto custo e de serem bastante trabalhosas, as técnicas de medição da erosão são difíceis de aplicar. Dessa forma, foram desenvolvidos vários modelos matemáticos para obter estimativas de perdas de solo por erosão e também possibilitar a avaliação de práticas de manejo e conservação do solo. Alguns modelos mais complexos são difíceis de aplicar devido à alta heterogeneidade dos fatores causadores de erosão do solo, e principalmente à carência de dados necessários para alimentar estes modelos. Dentre os modelos menos complexos para cálculo de perdas de solo por erosão, destaca-se a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) – *Universal Soil Loss Equation (USLE)* (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A EUPS foi desenvolvida baseada em dados de milhares de parcelas experimentais de campo avaliadas nos Estados Unidos (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Embora o foco inicial fosse orientado principalmente para as condições no centro e leste dos Estados Unidos, a EUPS foi estendido e aplicado em todo o mundo. Benavidez et al. (2018) ressaltam que, embora o nome sugira que o modelo pode ser aplicado a todos os solos, a EUPS original é mais preciso para solos com textura média e locais com declividades variando entre 3% e 18%, de comprimento de até 400 pés (122m), e manejado com práticas de cultivo consistentes com aquelas usadas nas parcelas experimentais dos estudos de erosão. Portanto, aplicar a EUPS em solos e locais que excedam esses limites requer uma parametrização cuidadosa do modelo e atenção do aumento da incerteza nas previsões.

No desenvolvimento original do modelo EUPS foi considerada a parcela agrícola padrão, chamada de “parcela unitária”, com 22,1m de comprimento, 1,83m de largura e inclinação de 9% (BENAVIDEZ et al., 2018). Nas bordas da parcela são inseridas chapas metálicas cravadas no solo delimitando exatamente a sua área. Todo o escoamento de água e sedimento é direcionado para tanques onde o sedimento é retido e posteriormente avaliado.

A EUPS é constituída pelos seis principais fatores que causam a erosão hídrica, e o produto desses fatores resultará na estimativa das perdas médias de solo. Essa equação pode ser expressa matematicamente, da seguinte forma:

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

em que:

A = perda anual média de solo, Mg ha⁻¹ ano⁻¹;

R = fator erosividade da chuva, expresso por um índice numérico que estima a capacidade da chuva de provocar erosão, $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$;

K = fator erodibilidade do solo, representando a suscetibilidade do solo à erosão, expresso numericamente pela relação entre a perda anual média de solo e o fator erosividade da chuva de uma parcela-padrão com 9% de declividade e 25m de comprimento, mantida continuamente sem cobertura vegetal e cultivada morro abaixo, de forma a manter a superfície do solo livre de crostas, em $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$;

L = fator comprimento do declive, que é a relação de perdas de solo entre uma encosta com certo comprimento e a padrão com 22,1m, sendo as demais condições iguais;

S = fator grau de declive, que é a relação de perdas de solo entre uma encosta com certo declive e a padrão com 9%, sendo as demais condições iguais;

C = fatores uso e manejo, que são a relação de perdas de solo entre um solo cultivado com determinada cultura e esse mesmo solo mantido constantemente sem cobertura, isto é, nas mesmas condições do fator K; e

P = fator prática conservacionista, que é a relação de perdas de solo entre um solo com determinada prática de controle da erosão e um solo sem prática conservacionista (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A EUPS é o método mais amplamente utilizado em todo o mundo para prever taxas de longo prazo de erosão em áreas agrícolas sujeitas a diferentes práticas de manejo. Este modelo pode ser utilizado para prever as perdas de solo por erosão, selecionar práticas de conservação de forma a minimizar as perdas, determinar os declives máximos para cultivo, de acordo com os tipos de solo e manejos e para estudos de pesquisa (CARVALHO, 2012). De acordo com Leprun (1981), a finalidade principal da EUPS é orientar a escolha da melhor técnica de conservação do solo e da água para determinadas condições específicas. Além do uso da EUPS para terras agrícolas, atualmente pesquisadores utilizam-na também em outros tipos de uso e ocupação do solo, como em áreas de construção urbana e aterros para construção de estradas (RENARD et al., 1991).

Um dos principais fatores limitantes para a aplicação da EUPS é que sua base é totalmente empírica, o que implica a necessidade de obtenção dos parâmetros da equação para o local do estudo. Outras limitações da EUPS são o fato de não considerar a variabilidade espacial e temporal dos fatores; não apresentar precisão na estimativa da erosão para eventos específicos, ou determinada estação ou mesmo um ano; não estimar a erosão por fluxo concentrado (voçorocas) e locais de deposição; não dispor de informações sobre tamanhos, densidade, área de superfície e outras características requeridas para estimar o potencial de deposição e adsorção e transporte de químicos nos sedimentos (MORGAN, 2005).

Apesar dessas limitações, a EUPS é considerada um bom instrumento para previsão das perdas de solo por erosão superficial, por exigir menor número de informações se comparada a modelos mais complexos, além de ser bastante conhecida e estudada (AMORIM et al., 2009).

Em função das limitações, algumas modificações e revisões foram realizadas na USLE (EUPS), possibilitando a criação de modelos MUSLE e RUSLE, além de vários outros modelos empíricos, bem como físicos e conceituais. A Equação Universal de Perdas de Solo Modificada (*MUSLE - Modified Universal Soil Loss Equation*) foi uma mudança no modelo original proposta por Williams (1975), exibindo um maior aperfeiçoamento no cálculo do fator hidrológico a fim de permitir a avaliação da perda de solo para eventos individuais de chuva, permanecendo os outros parâmetros idênticos aos da USLE.

Em 1987, o Serviço de Conservação de Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, conjuntamente com outros organismos, começou a revisar a USLE. Os avanços computacionais, principalmente na área de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR), permitiram modificações no modelo original da USLE, incorporando elementos, variáveis e novos métodos de levantamento de dados. O resultado ficou conhecido como Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (*RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation*), a qual, entre outras modificações, incorpora o conceito de vários valores do fator K ao longo do ano agrícola, um novo método para o cálculo do fator C e outro para o cômputo do fator P (RENARD et al., 1991). Outras modificações foram realizadas na forma como são determinados os seis fatores, em particular a adoção de uma abordagem para determinar o fator C de cobertura do solo que permite a aplicação do modelo em cultivos e sistemas de manejo que antes não estavam presentes no experimento original do desenvolvimento da USLE (MERRITT et al., 2003). Segundo Renard et al. (1994), a RUSLE tem melhor comportamento que a USLE em solos que são cultivados aplicando-se técnicas de preparo conservacionistas, como o plantio direto.

1.1 O fator R

A erosividade da chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva causar erosão em uma área sem proteção (FAO, 1967). É determinada através de fatores como distribuição do tamanho, velocidade de queda, número, momento e energia cinética das gotas e também a intensidade, duração e frequência da chuva.

Entre os fatores da EUPS, o fator R tem sido considerado um dos mais importantes, não só por sua capacidade de medir os efeitos do impacto das gotas de chuva, mas também por ser utilizado nas pesquisas para calcular os fatores K e C a partir de medições das perdas de solo. Bertol (1994) destaca também que, além de seu papel como componente da EUPS, o fator R pode servir como parâmetro de suporte a trabalhos de extensão e assistência técnica rural, pois permite definir épocas críticas quanto à ocorrência da erosão. Considerando os efeitos da chuva sobre o solo, a característica de maior influência no fenômeno erosivo é a intensidade, seguida da duração, que determina a chuva total. Pruski (2009) afirma que no processo de ocorrência de erosão hídrica, mais importantes que os totais anuais precipitados, são a distribuição do tamanho, a velocidade, a energia cinética das gotas e sua intensidade, além da duração e da frequência da chuva, sendo o conjunto destes fatores conhecido como erosividade da chuva.

A energia cinética da chuva determina a erosividade, que corresponde à habilidade da chuva em causar erosão. É o parâmetro mais utilizado por diversos autores para prever a perda de solo.

Para obter o fator R, devem-se analisar os registros pluviográficos e, para obter um valor confiável para o fator R, estima-se que sejam necessários de 10 a 20 anos de coleta de dados (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

1.1.1 Definição da chuva erosiva

Consideram-se chuvas erosivas aquelas que apresentam altura total precipitada igual ou superior a 10mm ou que, no mínimo, seja igual a 6mm em um período de 15 minutos. São consideradas chuvas independentes aquelas ocorridas em intervalo igual ou superior a seis horas consecutivas, sempre que a precipitação, nesse intervalo for inferior a 1,0mm (WISCHMEIER & SMITH (1965); CABEDA (1976).

O primeiro passo na análise da erosividade das chuvas é a individualização das chuvas erosivas, sendo que para calcular o fator R é necessário dividir o diagrama pluviográfico de cada chuva em segmentos com intensidade uniforme, calcular a energia cinética de cada segmento e multiplicar essa energia total pela maior quantidade de chuva registrada no período de 30 minutos consecutivos (CASSOL et al., 2007).

1.1.2 Cálculo da energia cinética

A energia cinética das chuvas pode ser determinada por meio da equação sugerida por Foster et al. (1981) como:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log (I) \quad (2)$$

Em que:

EC= energia cinética, em MJ ha⁻¹ mm⁻¹;

I = intensidade de chuva, em mm h⁻¹.

Segundo Foster et al. (1981), o diâmetro das gotas de chuva não aumenta quando as intensidades são iguais ou superiores a 76mm h⁻¹ e, dessa forma, a energia cinética passa a ter um valor máximo de 0,283MJ ha⁻¹ mm⁻¹.

1.1.3 Índice de erosividade EI₃₀

De acordo com Wischmeier & Smith (1978), o produto da energia cinética da chuva, por sua intensidade máxima em 30 minutos, representa os efeitos do impacto das gotas e turbulências combinado com a capacidade de transporte do escoamento superficial. Esse produto, denominado índice EI₃₀, é o índice mais utilizado para descrever a erosividade das chuvas.

A energia cinética do segmento da chuva com intensidade constante é calculada por:

$$EC_s = EC \cdot h \quad (3)$$

em que:

EC_s = energia cinética do segmento (MJ ha⁻¹);

EC= energia cinética, em MJ ha⁻¹ mm⁻¹;

h = altura pluviométrica do segmento (mm);

A energia cinética total da chuva é obtida somando-se a energia cinética de cada segmento uniforme, isto é:

$$EC_t = \sum EC_s \quad (4)$$

A determinação do índice EI₃₀, que representa a erosividade de cada chuva individual e erosiva, é realizada por:

$$EI_{30} = EC_t \cdot I_{30} \quad (5)$$

Em que:

EI₃₀ = índice de erosividade da chuva erosiva individual (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹);

EC_t = energia cinética total da chuva (MJ ha⁻¹);

I₃₀ = intensidade máxima de precipitação em 30 minutos (mm h⁻¹).

Na Figura 1 consta uma representação de um pluviograma e a separação das chuvas erosivas. Na Tabela 1 encontram-se os cálculos do índice de erosividade EI₃₀.

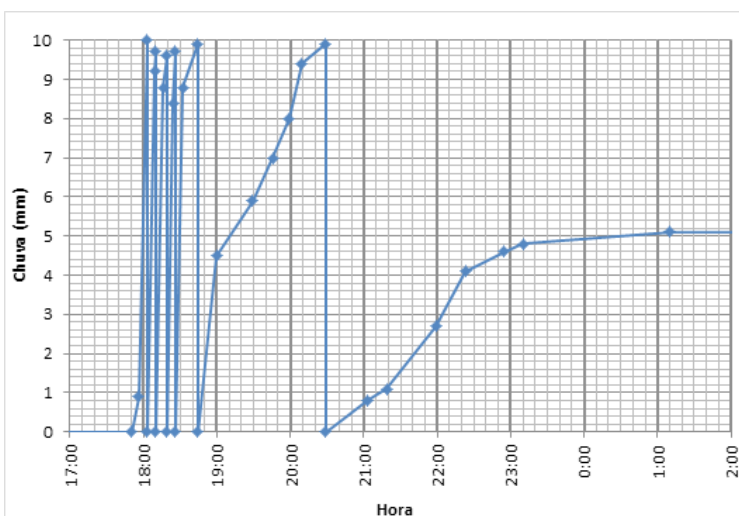


Figura 1. Representação da chuva erosiva (BACK, 2020)

Tabela 1. Cálculo dos índices de erosividade EI30

Dia Hora	Chuva h (mm)	Duração t- (min)	Intensidade I (mm h ⁻¹)	EC MJ ha ⁻¹ mm ⁻¹	ECs MJ ha ⁻¹
10 17h50	0,0	-	-	0,000	0,000
10 17h56	0,9	6	9,0	0,202	0,182
10 18h03	9,1	7	78,0	0,283	2,575
10 18h09	9,2	6	92,0	0,283	2,604
10 18h10	0,5	1	30,0	0,248	0,124
10 18h16	8,8	6	88,0	0,283	2,490
10 18h19	0,8	3	16,0	0,224	0,179
10 18h24	8,4	5	100,8	0,283	2,377
10 18h26	1,3	2	39,0	0,258	0,335
10 18h32	8,8	6	88,0	0,283	2,490
10 18h44	1,1	12	5,5	0,184	0,202
10 19h00	4,5	16	16,9	0,226	1,018
10 19h29	1,4	29	2,9	0,159	0,223
10 19h46	1,1	17	3,9	0,170	0,188
10 19h59	1,0	13	4,6	0,177	0,177
10 20h09	1,4	10	8,4	0,200	0,280
10 20h29	0,5	20	1,5	0,134	0,067
10 21h03	0,8	34	1,4	0,132	0,106
10 21h19	0,3	16	1,1	0,124	0,037
10 21h59	1,6	40	2,4	0,152	0,244
10 22h23	1,4	24	3,5	0,167	0,233
10 22h55	0,5	32	0,9	0,117	0,058
10 23h10	0,2	15	0,8	0,111	0,022
11 01h10	0,3	120	0,2	0,047	0,014
Total	63,9	440			16,225

Adaptado de Back (2020)

A intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}) ocorreu no horário entre 18h02 e 18h32, a precipitação foi de 39,32mm, obtendo-se assim $I_{30} = 78,4 \text{ mm h}^{-1}$. O índice EI_{30} para esta chuva é de $EI_{30} = 16,225 * 78,40 = 1.272,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

1.1.4 Análise de dados pluviográficos

A metodologia desenvolvida para determinar os índices de erosividade foi baseada na análise dos gráficos registrados nos pluviógrafos das estações meteorológicas convencionais. Na Tabela 2 constam os dados de Florianópolis, SC (BACK & POLETO, 2017) referentes ao período de 1986 a 2012, quando a precipitação média anual foi de 1.638,2mm, e 1.314,2mm (80,2%) foram chuvas erosivas. O número médio anual de chuvas foi de 208, sendo que 20,7% foram chuvas erosivas.

Tabela 2. Precipitação média anual e número de chuva com respectivos percentuais de chuvas erosivas no período de 1986 a 2012 de Florianópolis, SC

Período	Chuva (mm)		Nº de chuvas	
	Total	Erosiva (%)	Total	Erosivas (%)
Janeiro	226,2	83,5	25,1	24,4
Fevereiro	203,7	81,5	22,4	23,4
Março	164,4	76,2	21,8	17,7
Abril	109,7	78,7	15,4	20,6
Maiο	116,1	82,8	12,0	21,2
Junho	64,6	74,0	10,5	20,8
Julho	87,4	78,0	14,4	20,3
Agosto	77,0	80,8	11,8	18,6
Setembro	141,3	81,4	17,3	19,7
Outubro	145,4	80,2	19,1	20,0
Novembro	145,8	79,9	18,1	19,9
Dezembro	156,6	80,0	20,0	20,2
Total	1638,2	80,2	208,0	20,7

Fonte: Back & Poletto (2017)

Com as chuvas erosivas é possível calcular os índices de erosividade de cada chuva. Somando os valores, têm-se os totais mensais e o total anual. A média dos totais anuais se constitui no fator R, que é usado na equação universal de perda de solos. No entanto, é importante considerar também a variação anual e temporal da erosividade. Na Figura 2 constam os valores anuais de precipitação e erosividade de Videira, SC. Observa-se que a erosividade média é de $6.817,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no entanto os valores anuais variam de 2.880 a $11.800 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

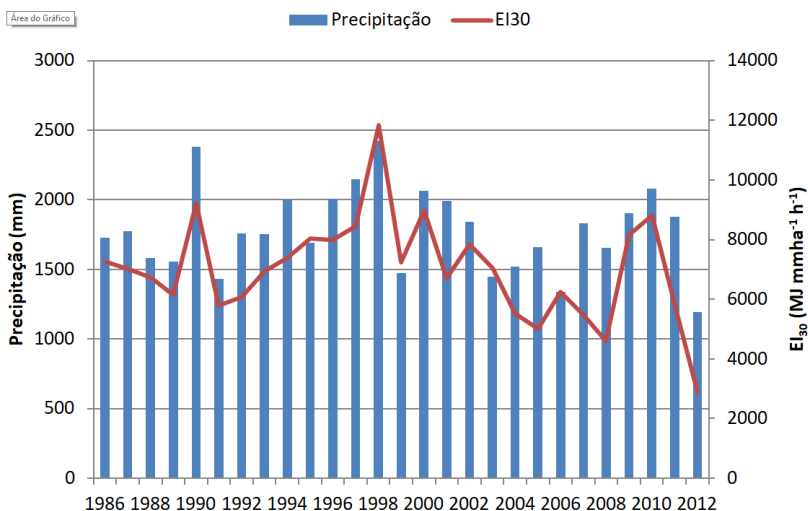


Figura 2. Variação da precipitação mensal e erosividade anual em Videira, SC
Fonte: Back et al. (2017)

1.1.5 Padrões hidrológicos de distribuição temporal

No estudo da erosividade das chuvas, além da determinação do fator de erosividade, é importante conhecer sua distribuição durante a duração da chuva. O estudo do padrão de distribuição temporal de chuvas é realizado com objetivo de caracterizar o padrão de chuva mais frequente.

O padrão de distribuição temporal das chuvas erosivas é caracterizado pela classificação das chuvas nos padrões Avançado, Intermediário e Atrasado. Conforme metodologia desenvolvida por Horner & Jens (1942), as chuvas são classificadas como padrão Avançado quando a maior intensidade ocorre no terço inicial do tempo de duração total da chuva; padrão Intermediário quando a maior intensidade é verificada no terço intermediário; e padrão Atrasado quando a maior intensidade ocorre no terço final do tempo total de duração da chuva.

Na Tabela 3 constam os padrões de distribuição temporal de chuvas erosivas de Santa Catarina. Em todos locais estudados predominam as chuvas do padrão Avançado, seguido do Intermediário e, com menor frequência, as do padrão Atrasado. As chuvas do padrão Atrasado são consideradas mais problemáticas para erosão e escoamento superficial, pois elas ocorrem no momento em que o solo já está úmido e com menor capacidade de infiltração. Dessa forma geram maior escoamento superficial e podem causar maior erosão.

Tabela 3. Padrão de distribuição temporal de chuvas erosivas em diferentes municípios de Santa Catarina

Local	Padrão de distribuição temporal (%)			Nº de chuvas erosivas
	Avançado	Intermediário	Atrasado	
São Miguel do Oeste	49,9	30,7	19,4	659
Chapecó	53,0	30,3	16,7	1885
Ponte Serrada	40,4	39,4	20,1	705
Campos Novos	48,1	34,6	17,2	1516
Videira	57,0	28,9	14,0	1517
Caçador	55,3	29,0	15,7	1110
Porto União	54,5	32,3	13,2	607
Lages	53,5	30,7	15,8	605
Urussanga	53,3	34,1	12,6	1221
Florianópolis	50,3	33,9	15,8	1181
Itá	55,6	26,3	18,2	990

1.1.6 Classificação da erosividade

Para a interpretação da erosividade foram propostas classificações dos valores de erosividade, como as indicadas na Tabela 4.

Tabela 4. Classes de erosividade da chuva média anual e mensal

Classe de erosividade	Valores de erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$)	
	anual	mensal
Muito baixa	$R < 2500$	$R < 250$
Baixa	$2500 < R < 5000$	$250 < R < 500$
Média	$5000 < R < 7000$	$500 < R < 700$
Alta	$7000 < R < 10000$	$700 < R < 1000$
Muito alta	$R < 10000$	$R < 1000$

Fonte: Back & Poletto (2018)

1.1.7 Estimativa dos índices de erosividade com dados pluviométricos

A determinação da chuva erosiva de uma chuva individual é realizada com a análise dos pluviogramas, sendo necessárias longas séries de dados. Vários autores comentam a dificuldade de obter esses dados, tanto no Brasil como em outros países (BESKOW et al., 2009; MELLO et al., 2007). Devido à dificuldade de obtenção de dados para o cálculo do

índice de erosividade da chuva, o fator R tem sido estimado com base em totais mensais de chuva. Fournier (1956) desenvolveu um índice correlacionado com a carga de sedimentos em rios, denominado índice de Fournier, que é dado por:

$$IF = \frac{(p_{max})^2}{p} \quad (6)$$

Em que:

IF = índice de Fournier (mm);

Pmax = precipitação média mensal do mês mais chuvoso (mm);

P = precipitação média anual (mm).

No entanto, foram verificadas deficiências do IF como estimador do índice de erosividade da chuva dentro do USLE. Entre as deficiências, constatou-se que pequenas quantidades de chuvas mensais podem ter poder erosivo e assim um aumento na quantidade total de precipitação deve resultar em um aumento da erosividade. Também se criticou a lógica em que embora o máximo de precipitação mensal permaneça o mesmo, com o aumento da precipitação anual média o IF diminui. Diante das deficiências do IF, Arnoldus (1980) modificou o IF considerando a quantidade de chuva de todos os meses do ano, que passou a ser denominado como Índice de Fournier Modificado (IFM), estimado por:

$$IFM = \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_i)^2}{P} \quad (7)$$

Em que:

IFM = Índice de Fournier Modificado (mm);

pi = precipitação média mensal (mm);

P = precipitação média anual (mm).

O índice IFM tem sido usado para a determinação da agressividade da chuva de uma região. É uma indicação do grau de erosividade das chuvas, mas não deve ser confundido com o índice de erosividade para uso na USLE (fator R). O conhecimento da agressividade das chuvas de uma região permite propor de forma sustentável seu uso presente e futuro, realizar o zoneamento de áreas de acordo com seu potencial erosivo e planejar o uso adequado do solo de acordo com o risco de erosão (RAMIREZ-ORITZ et al., 2007).

O cálculo do IFM tem como vantagem a boa correlação deste índice com a erosividade da chuva, além da facilidade de obtenção de longas séries de dados mensais de chuva. Deve-se destacar ainda que as séries pluviométricas disponíveis são relativamente longas, podendo-se dessa forma obter o valor médio mais representativo e também analisar a sua variabilidade temporal.

Na Europa tem sido adotada a classificação do grau de erosividade da chuva de acordo com CEC (1992). No entanto, estes limites mostram-se baixos para avaliar a agressividade das chuvas nas condições tropicais. Gomez (1975) apresentou valores limites bem superiores aos propostos por CEC (1992), que parecem mais indicados para as condições do Sul do Brasil (Tabela 5).

Tabela 5. Classificação da agressividade das chuvas

Grau de agressividade	Características da precipitação	Limites de IFM (mm)	
		Gomez (1975)	CEC (1992) ²
Leve	Chuvas leves, frequentes, bem distribuídas	< 140	< 60
Baixa	Chuvas de baixa intensidade, frequentes, bem distribuídas	140 - 210	60 - 90
Média	Chuvas de intensidade mediana, frequentes, de boa a regular distribuição	210 – 280	90 - 120
Alta	Chuvas fortes, frequentes ou não, de distribuição boa ou mal	280 – 350	120 - 160
Muito Alta	Chuvas frequentes ou não, de distribuição boa a má	>350	> 160

Com a dificuldade de obtenção de séries de chuvas de alta resolução temporal, uma alternativa muito usada é a estimativa do índice de erosividade a partir das médias pluviométricas mensais, que Waltrick et al. (2015) denominaram de método pluviométrico. Este método tem a vantagem de poder ser aplicado facilmente em um número grande de locais, uma vez que os dados de pluviômetros são mais simples de serem obtidos e possuem séries históricas longas na maioria das localidades brasileiras (CASSOL et al., 2008; MAZURANA et al., 2009).

No entanto, para a utilização do método pluviométrico, há necessidade de uma equação de correlação com o método pluviográfico (WALTRICK et al., 2015). O método mais utilizado para estimativa da erosividade por método pluviométrico consiste em correlacionar os valores médios mensais de erosividade EI30 com os valores do coeficiente de chuva (Rc), que é dado pelo Índice de Fournier Modificado, isto é:

$$Rc = \frac{\sum p^2}{P} \quad (8)$$

em que:

Rc = coeficiente de chuva, em mm;

p = precipitação mensal média, em mm; e

P = precipitação anual média, em mm.

Na regressão geralmente são empregados os modelos linear e potencial conforme:

$$EI_{30} = aRc + b \quad (9)$$

$$EI_{30} = aRc^b \quad (10)$$

em que:

EI_{30} = erosividade mensal;

a e b= os coeficientes ajustados para determinada estação pluviográfica;

Rc = coeficiente de chuva.

Na Figura 3 constam os ajustes das equações linear e potencial para os dados de erosividade observadas em Videira, SC, onde se observou melhor ajuste com o modelo potencial.

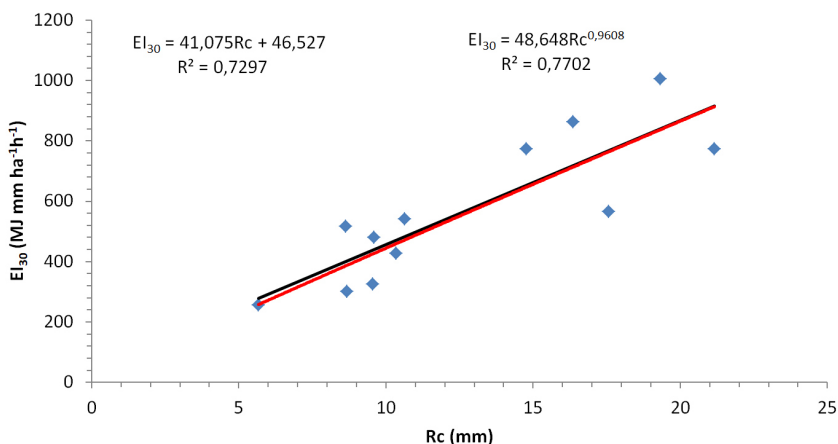


Figura 3. Equação de regressão ajustada para Videira, Santa Catarina (BACK et al., 2017)

Na Tabela 6 constam as equações para estimativa do índice EI_{30} pelo método pluviométrico para as estações pluviográficas de Santa Catarina e duas estações no estado do Paraná que, devido à localização próxima aos municípios de Porto União e Campo Erê, podem também ser usadas para alguns municípios catarinenses. Na Figura 4 constam os polígonos de Thiessen indicando as áreas representativas de cada estação.

Tabela 6. Equações de estimativa de erosividade aplicadas para os estados de Santa Catarina e Paraná

Estação	EI30= aRc + b			EI30 = aRc ^b		
	a	b	R ²	a	b	R ²
São M. do Oeste	35,57	299,2	0,7980	83,07	0,8640	0,9039
Chapecó	44,31	109,6	0,7440	77,07	0,8484	0,6657
Ponte Serrada	41,85	99,4	0,7946	68,56	0,8706	0,8424
Campos Novos	39,2	101,3	0,7594	64,00	0,8775	0,7433
Videira	41,08	46,5	0,7297	48,64	0,9608	0,7702
Caçador	23,80	234,6	0,8652	127,5	0,5725	0,8455
Porto União	39,6	74,4	0,4442	59,31	0,8883	0,4682
Lages	35,4	49,1	0,5137	46,1	0,9262	0,4790
Urussanga	45,10	-127,0	0,908	14,74	1,312	0,8483
Florianópolis	49,44	-9,52	0,8485	30,41	1,162	0,8927
Indaial	40,86	68,74	0,7090	66,54	0,8395	0,6286
Paraná (SW)	52,20	146,8	-	-	-	-
Paraná (L)	40,71	33,26	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Back & Poleto (2018)

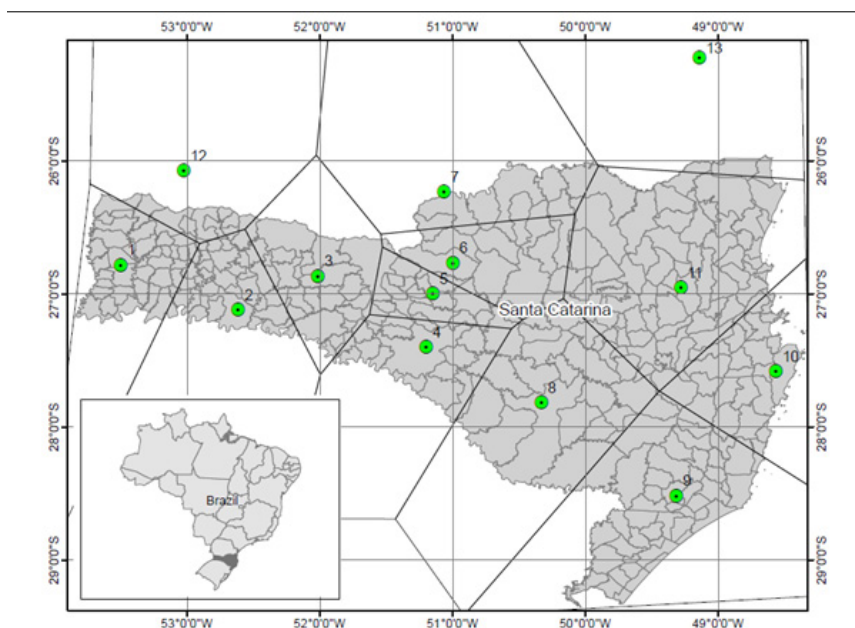


Figura 4. Polígonos de área de representatividade das equações de erosividade de Santa Catarina

Fonte: Back & Poleto (2018)

Na Tabela 7 constam os dados de precipitação média do município de Xavantina, no Oeste Catarinense. Com estes valores foram calculados os valores de coeficiente de chuva e, usando a regressão linear ajustada para Chapecó, foram estimados os valores de erosividade (EI_{30}). A classe de erosividade foi definida de acordo com a Tabela 4.

Tabela 7. Precipitação, Rc, EI_{30} observada e erosividade estimada para Xavantina, Santa Catarina

Período	Precipitação (mm)	Rc (mm)	EI_{30} (MJ ha mm ⁻¹ h ⁻¹)	Classe de erosividade
Janeiro	184,1	16,3	830,4	Alta
Fevereiro	187,6	16,9	858,0	Alta
Março	141,5	9,6	535,4	Média
Abril	178,5	15,3	787,2	Alta
Maio	166,5	13,3	699,1	Media
Junho	167,8	13,5	708,4	Alta
Julho	170,9	14,0	730,7	Alta
Agosto	128,5	7,9	460,8	Baixa
Setembro	187,2	16,8	854,8	Alta
Outubro	230	25,4	1234,6	Muito Alta
Novembro	166,2	13,3	697,0	Média
Dezembro	174,8	14,7	759,4	Alta
Ano	2083,6	176,9	9155,8	Alta

Na Tabela 8 constam as equações para estimativa do índice de erosividade EI_{30} para diversas estações pluviográficas do Brasil.

Tabela 8. Equações para estimativa da erosividade em função do índice de Fournier Modificado para diferentes locais no Brasil

Cidade	UF	N	M*	a	b	R ²	Fonte
Manaus	AM	10	1	3,760	42,770	0,720	Oliveira Junior e Fernandez Medina (1990)
Juazeiro	BA		1	42,307	69,763	-	Silva (2004)
Fortaleza	CE	20	2	73,989	0,739	0,980	Silva e Dias (2003)
Goiânia	GO	5	1	30,230	215,330	0,770	Silva et al (1997)
Açucena	MG	3	2	158,350	0,850	0,880	Silva et al. (2010b)
Belo Oriente	MG	3	2	215,400	0,650	0,890	Silva et al (2010b)
Bocaina de Minas	MG		2	102,530	0,759		Mello et al (2012)

Tabela 8. Continuação...

Cidade	UF	N	M*	a	b	R ²	Fonte
Caratinga	MG	3	2	321,630	0,480	0,860	Silva et al (2010b)
Lavras	MG		2	85,672	0,656	-	Aquino et al. (2012)
Sabinópolis	MG	3	2	123,330	0,740	0,950	Silva e tal (2010b)
Santa Barbara	MG	3	2	170,590	0,640	0,930	Silva e tal (2010b)
São Vicente de Minas	MG		2	72,800	0,778	-	Mello et al (2012)
Sto. Ant. Itambé	MG	3	2	179,330	0,770	0,900	Silva et al (2010b)
Sto. D. do Prata	MG	3	2	114,420	0,810	0,860	Silva et al (2010b)
Coxim	MS	4	2	138,330	0,743	0,910	Oliveira et al. (2011b)
Dourados	MS	8	2	80,305	0,897	0,880	Oliveira et al. (2011b)
Cáceres	MT	7	2	172,633	0,525	0,940	Almeida et al. (2011a)
Cáceres	MT	9	2	56,115	0,950	0,870	Moraes et al. (1991)
Cáceres	MT	7	2	36,849	1,085	0,840	Moraes et al. (1991)
Cáceres	MT		2	135,430	0,538		Almeida (2009)
Campo Grande	MT	3	2	139,440	0,678	0,910	Oliveira et al. (2011b)
Canarana	MT	-	2	317,398	0,485	0,860	Almeida et al (2011c)
Cuiabá	MT	18	2	109,412	0,744	0,910	Almeida et al. (2011a)
Cuiabá	MT		2	244,470	0,508		Almeida (2009)
Diamantino	MT		2	51,460	0,882		Almeida (2009)
Flechas	MT		2	36,849	1,085		Moraes et al. (1991)
Matupá	MT		2	115,720	0,746		Almeida (2009)
Nova Xavantina	MT		2	96,360	0,517		Almeida (2009)
Poxoréo	MT		2	272,866	0,419		Almeida et a. (2012)
Poxoréo	MT	-	2	272,866	0,419	0,660	Almeida et al (2011c)
Rondonópolis	MT		2	167,160	0,567		Almeida (2009)
Rondonópolis	MT	6	2	133,200	0,537	0,900	Almeida et al. (2011a)
São J. Rio Claro	MT	-	2	147,262	0,533	0,830	Almeida et al (2011c)

Tabela 8. Continuação...

Cidade	UF	N	M*	a	b	R ²	Fonte
São José do Rio Claro	MT		2	147,262	0,533		Almeida et al. (2012)
Vera	MT	-	2	399,539	0,459	0,840	Almeida et al (2011c)
Conc. Araguaia	PA	8	1	36,200	321,500	0,890	Oliveira Júnior, 1996
Araripina	PE	9	1	23,180	73,340	0,940	Cantalice et al (2009)
Belo Jardim	PE	7	2	61,810	0,580	0,670	Cantalice et al (2009)
Cabrobó	PE	9	1	23,180	73,340	0,940	Cantalice et al (2009)
Caruaru	PE	9	2	61,810	0,580	0,670	Cantalice et al (2009)
Catende	PE	5	2	57,320	0,618	0,750	Cantalice et al (2009)
Gloria de Goitá	PE	10	2	50,750	0,724	0,780	Cantalice et al (2009)
Olinda	PE	10	1	30,800	57,250	0,880	Cantalice et al (2009)
Ouricuri	PE	11	1	23,180	73,340	0,940	Cantalice et al (2009)
Petrolina	PE	8	1	23,180	73,340	0,940	Cantalice et al (2009)
Poço da Cruz	PE	8	1	23,180	73,340	0,940	Cantalice et al (2009)
São Caetano	PE	11	2	61,810	0,580	0,670	Cantalice et al (2009)
Centro S. PR	PR	-	2	107,520	46,890		Rufino et al. (1993)
Centro L. PR	PR	-	2	93,290	41,200		Rufino et al. (1993)
Centro PR	PR	-	2	191,790	48,400		Rufino et al. (1993)
Leste PR	PR	-	2	33,260	40,710		Rufino et al. (1993)
Noroeste PR	PR	-	2	164,120	39,440		Rufino et al. (1993)
Norte PR	PR	-	2	216,310	41,300		Rufino et al. (1993)
Oeste PR	PR	-	2	182,860	56,210		Rufino et al. (1993)
Sudoeste PR	PR	-	2	144,860	55,200		Rufino et al. (1993)
Angra dos Reis	RJ	6	1	44,610	73,210	0,840	Gonçalves et al. (2006)
Barrado Pirai	RJ	14	1	24,530	50,360	0,960	Gonçalves et al. (2006)

Tabela 8. Continuação...

Cidade	UF	N	M*	a	b	R ²	Fonte
Carmo	RJ	15	1	21,000	223,870	0,720	Gonçalves et al. (2006)
Conc. Macabu	RJ	15	1	37,900	39,860	0,910	Gonçalves et al. (2006)
Magé	RJ	19	1	47,680	64,590	0,890	Gonçalves et al. (2006)
Magé	RJ	16	1	46,370	146,280	0,700	Gonçalves et al. (2006)
Nova Friburgo	RJ	5	1	33,860	-67,990	0,850	Carvalho et al. (2005)
Pirai	RJ	15	1	20,700	112,540	0,820	Gonçalves et al. (2006)
Rio Bonito	RJ	16	1	35,130	38,480	0,810	Gonçalves et al. (2006)
Rio Claro	RJ	15	1	38,480	118,710	0,980	Gonçalves et al. (2006)
Rio das Flores	RJ	5	1	20,700	112,540	0,820	Gonçalves et al. (2006)
Rio de Janeiro	RJ	17	1	37,760	3,890	0,790	Gonçalves et al. (2006)
Rio de Janeiro	RJ	16	1	53,310	-76,270	0,700	Gonçalves et al. (2006)
Saquarema	RJ	15	1	50,020	-13,360	0,650	Gonçalves et al. (2006)
Seropédica	RJ	7	1	38,140	64,870	0,820	Carvalho et al. (2005)
Valença	RJ	7	1	27,740	194,080	0,820	Gonçalves et al. (2006)
Bagé	RS	21	1	37,960	174,580	0,629	Santos (2008)
Caxias do Sul	RS	18	1	21,290	250,870	0,243	Santos (2008)
Hulha Negra	RS	29	2	208,090	0,399	0,143	Martins et al. (2009)
Ijuí	RS	31	2	109,650	0,760	0,530	Cassol et al (2007)
Pelotas	RS	45	1	31,200	167,500	0,134	Santos (2008)
Quarai	RS	38	1	82,720	-47,350	0,840	Peñalva-Bazzano et al (2007)
Santa Rosa	RS	29	2	118,520	0,803	0,500	Mazurana et al. (2009)

Tabela 8. Continuação...

Cidade	UF	N	M*	a	b	R ²	Fonte
São Borja	RS	48	2	55,564	1,105	0,840	Cassol et al (2008)
São Borja	RS	36	1	52,190	72,400	0,665	Santos (2008)
Torres	RS	18	1	58,810	-221,000	0,580	Santos (2008)
Uruguaiana	RS	29	1	81,967	-96,735	0,936	Hickmann et al. (2008)
Uruguaiana	RS	23	1	54,910	-14,310	0,843	Santos (2008)
Campos Novos	SC	10	2	59,265	1,087	0,860	Bertol (1994)
Campinas	SP	22	2	68,730	0,841	0,980	Lombardi Neto e Moldenhauer (1992)
Juquiá	SP	7	1	40,650	207,210	0,900	Silva et al. (2009)
Mococa	SP	-	2	111,173	0,691	0,980	Carvalho et al. (1991)
Piracicaba	SP		2	7,278	0,807		Pereira (1983)
Piraju	SP	23	2	72,549	0,849	0,930	Roque et al. (2001)
Sete Barras	SP	9	1	55,400	316,200	0,980	Silva et al. (2009)
Teodoro Sampaio	SP	19	1	46,956	106,818	0,930	Colodro et al. (2002)

*1 – Modelo linear; 2 Modelo potencial

1.1.8 Mapas de Erosividade

A representação da distribuição da erosividade, em determinado espaço por meio de mapas (linhas isoerodotes), tem aplicação para visualizar a distribuição espacial da erosividade, o que permite identificar regiões mais críticas, e facilita a interpolação de valores para locais sem informação. A associação de mapas de erosividade com mapas de relevo e tipo de solo permite identificar regiões com maiores riscos de erosão, deslizamento ou escorregamento.

Mello & Silva (2013) comentam que o uso de mapas para identificação do comportamento espacial da erosividade consiste de uma ferramenta bastante útil no contexto do manejo ambiental de uma região ou bacia hidrográfica. Os autores destacam

que uso de mapas de erosividade é útil especialmente na composição de mapas de perdas de solo desenvolvidos a partir da EUPS com auxílio de SIG, identificando-se áreas mais vulneráveis à erosão hídrica.

Na Figura 5 tem-se o mapa de erosividade gerado para Santa Catarina com base nas precipitações médias mensais de 143 estações pluviométricas (BACK & POLETO, 2018). Na Tabela 9 constam os valores médios do fator R para cada município do estado de Santa Catarina.

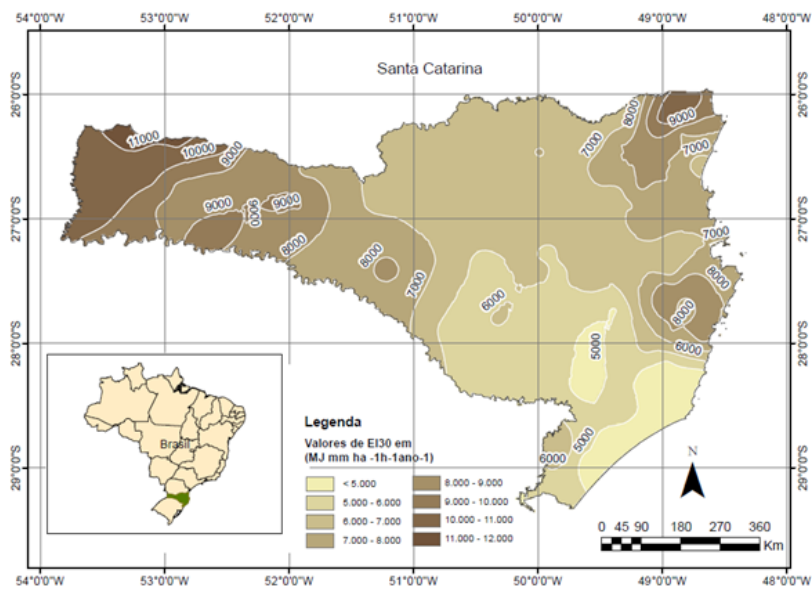


Figura 5. Mapa de erosividade para Santa Catarina (BACK & POLETO, 2018)

Tabela 9. Fator R de erosividade da chuva pelo índice EI30 ($\text{MJ ha mm}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$) para cada município do Estado de Santa Catarina

Município	R	Município	R	Município	R
Abdon Batista	7.475	Bal. Piçarras	7.400	Canelinha	6.898
Abelardo Luz	8.626	Bal. Rincão	4.386	Canoinhas	6.520
Agrolândia	5.902	Bandeirante	10.458	Capão Alto	5.734
Agronômica	6.314	Barra Bonita	10.447	Capinzal	7.378
Água Doce	7.647	Barra Velha	7.084	Capivari de Baixo	4.534
Águas de Chapecó	8.814	Bela V. do Toldo	6.432	Catanduvas	7.964
Águas Frias	8.556	Belmonte	10.403	Caxambu do Sul	8.924
Águas Mornas	8.139	Benedito Novo	6.789	Celso Ramos	7.648
Alfredo Wagner	5.817	Biguaçu	7.784	Cerro Negro	6.749
Alto Bela Vista	7.769	Blumenau	7.594	Chap. do Lageado	6.007
Anchieta	10.673	Bocaina do Sul	5.647	Chapecó	9.280
Angelina	7.686	Bom J. da Serra	4.975	Cocal Do Sul	5.176
Anita Garibaldi	7.251	Bom Jesus	8.762	Concórdia	8.195
Anitápolis	6.746	Bom J. do Oeste	10.078	Cordilheira Alta	8.983
Antônio Carlos	8.139	Bom Retiro	5.284	Coronel Freitas	8.547
Apiúna	6.662	Bombinhas	7.007	Coronel Martins	9.801
Arabutã	8.670	Botuverá	6.820	Correia Pinto	5.861
Araquari	7.397	Braço do Norte	4.858	Corupá	7.932
Araranguá	4.395	Br. do Trombudo	5.965	Criciúma	4.777
Armazém	4.638	Brunópolis	7.049	Cunha Porã	9.732
Arroio Trinta	6.966	Brusque	6.953	Cunhataí	9.204
Arvoredo	9.123	Caçador	6.423	Curitibanos	6.327
Ascurra	6.634	Caibi	9.634	Descanso	10.320
Atalanta	6.090	Calmon	6.223	Dionísio Cerqueira	10.891
Aurora	6.355	Camboriú	7.139	Dona Emma	6.361
Bal. Arroio Do Silva	4.402	Campo Alegre	7.558	Doutor Pedrinho	6.940
Bal. Barra Do Sul	7.279	Campo B. do Sul	6.072	Entre Rios	8.696
Bal. Camboriú	7.288	Campo Erê	10.897	Ermo	4.895
Bal. Gaivota	4.945	Campos Novos	7.785	Erval Velho	7.589

Tabela 9. Continuação...

Município	R	Município	R	Município	R
Faxinal dos Guedes	8.913	Indaial	7.206	Laguna	4.266
Flor do Sertão	10.224	Iomerê	7.077	Lajeado Grande	8.726
Florianópolis	7.694	Ipira	7.606	Laurentino	6.277
Formosa do Sul	9.306	Iporã do Oeste	10.113	Lauro Muller	5.109
Forquilha	4.845	Ipuaçu	8.815	Lebon Régis	6.347
Fraiburgo	6.710	Ipumirim	8.826	Leoberto Leal	6.495
Frei Rogério	6.757	Iraceminha	10.078	Lindóia do Sul	8.760
Galvão	10.410	Irani	8.470	Lontras	6.280
Garopaba	7.137	Irati	9.538	Luiz Alves	7.702
Garuva	10.405	Irineópolis	6.532	Luzerna	7.439
Gaspar	7.451	Itá	8.609	Macieira	6.854
Gov. Celso Ramos	7.278	Itaiópolis	6.659	Mafra	6.536
Grão Pará	5.448	Itajaí	7.341	Major Gercino	6.791
Gravatal	4.564	Itapema	7.077	Major Vieira	6.452
Guabiruba	7.183	Itapiranga	10.091	Maracajá	4.537
Guaraciaba	10.500	Itapoá	9.578	Maravilha	10.044
Guaramirim	8.142	Ituporanga	6.318	Marema	8.563
Guarujá Do Sul	10.788	Jaborá	7.976	Massaranduba	7.965
Guatambú	9.082	Jacinto Machado	5.971	Matos Costa	6.477
Herval D'ouest	7.495	Jaguaruna	4.287	Meleiro	5.122
Ibiam	7.677	Jaraguá do Sul	8.248	Mirim Doce	6.436
Ibicaré	7.347	Jardinópolis	8.868	Modelo	9.730
Ibirama	6.373	Joaçaba	7.544	Mondaí	9.829
Içara	4.545	Joinville	9.246	Monte Carlo	7.115
Ilhota	7.555	José Boiteux	6.436	Monte Castelo	6.419
Imaruí	4.875	Jupia	10.778	Morro da Fumaça	4.788
Imbituba	5.351	Lacerdópolis	7.431	Morro Grande	6.005
Imbuia	6.108	Lages	5.724	Navegantes	7.471

Tabela 9. Continuação.....

Município	R	Município	R	Município	R
Nova Erechim	8.622	Planalto Alegre	8.827	Salto Veloso	7.152
Nova Itaberaba	8.679	Pomerode	7.980	Sangão	4.427
Nova Trento	6.533	Ponte Alta	5.878	Santa Cecília	6.436
Nova Veneza	5.319	Ponte Alta do Norte	6.287	Santa Helena	10.344
Novo Horizonte	10.307	Ponte Serrada	8.844	Santa Rosa de Lima	6.075
Orleans	5.086	Porto Belo	7.008	Santa Rosa do Sul	5.463
Otacílio Costa	5.963	Porto União	6.619	Santa Terezinha	6.556
Ouro	7.504	Pouso Redondo	6.013	S. Ter. do Progresso	10.408
Ouro Verde	8.632	Praia Grande	5.534	Santiago do Sul	9.167
Paial	9.014	Pres. Castello Branco	7.793	S. Am. da Imperatriz	7.966
Painel	5.706	Presidente Getúlio	6.294	São Bento do Sul	7.229
Palhoça	8.267	Presidente Nereu	6.439	São Bernardino	10.620
Palma Sola	11.260	Princesa	10.556	São Bonifácio	7.234
Palmeira	5.970	Quilombo	8.666	São Carlos	8.947
Palmitos	9.321	Rancho Queimado	7.958	São Cristóvão do Sul	5.947
Papanduva	6.602	Rio das Antas	6.685	São Domingos	9.510
Paraíso	10.463	Rio do Campo	6.598	São Franc. do Sul	8.486
Passo de Torres	5.455	Rio do Oeste	6.262	São João Batista	6.813
Passos Maia	8.494	Rio do Sul	6.199	São João do Itaperiú	7.148
Paulo Lopes	7.671	Rio dos Cedros	7.670	São João do Oeste	10.037
Pedras Grandes	4.991	Rio Fortuna	5.650	São João do Sul	5.651
Penha	7.353	Rio Negrinho	6.658	São Joaquim	5.660
Peritiba	7.782	Rio Rufino	5.279	São José	8.258
Pescaria Brava	4.403	Riqueza	9.888	São José do Cedro	10.586
Petrolândia	6.029	Rodeio	6.644	São José do Cerrito	6.162
Pinhalzinho	9.041	Romelândia	10.409	São Lour. do Oeste	10.573
Pinheiro Preto	7.208	Salete	6.697	São Ludgero	4.749
Piratuba	7.474	Saltinho	10.183	São Martinho	5.363

Tabela 9. Continuação.....

Município	R	Município	R	Município	R
S. Mig. da Boa Vista	10.245	Timbé do Sul	6.622	Urussanga	5.402
São Mig. do Oeste	10.462	Timbó	7.270	Vargeão	8.845
S. Ped. de Alcântara	8.334	Timbó Grande	6.338	Vargem	7.320
Saudades	9.056	Três Barras	6.553	Vargem Bonita	8.282
Schroeder	8.854	Treviso	5.145	Vidal Ramos	6.263
Seara	8.843	Treze de Maio	4.671	Videira	7.011
Serra Alta	9.831	Treze Tílias	7.296	Vitor Meireles	6.301
Siderópolis	5.246	Trombudo Central	6.107	Witmarsum	6.415
Sombrio	4.982	Tubarão	4.575	Xanxerê	8.881
Sul Brasil	9.396	Tunápolis	10.257	Xavantina	8.982
Taió	6.670	Turvo	5.599	Xaxim	9.047
Tangará	7.382	União do Oeste	8.653	Zortéa	7.473
Tigrinhos	10.190	Urubici	5.009		
Tijucas	7.047	Urupema	5.499		

Para o Brasil a Embrapa possui uma publicação com mapas de suscetibilidade e vulnerabilidade dos solos brasileiros à erosão hídrica (HERNANI et al. 2020), onde consta o mapa de erosividade (Figura 6). Também Trindade et al.(2016) apresentaram um mapa de erosividade para o Brasil (Figura 7).

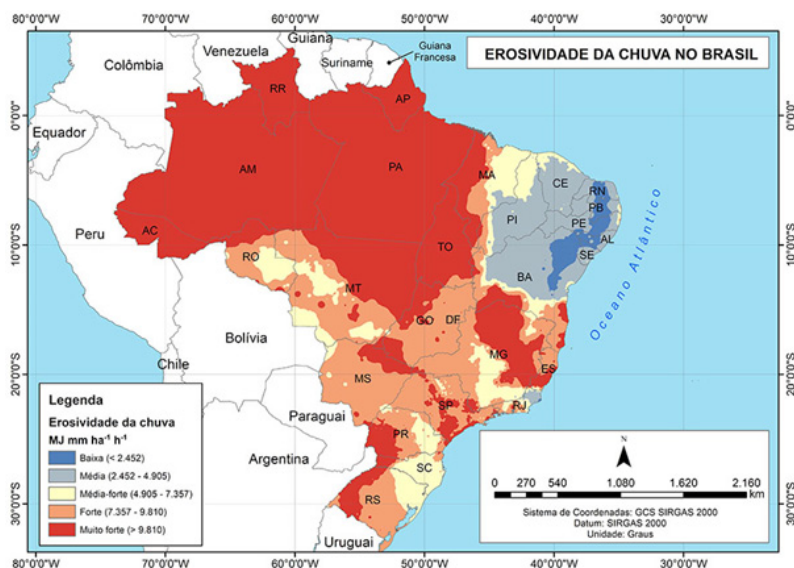


Figura 6. Mapa de erosividade para Brasil (HERNANI et al., 2020)

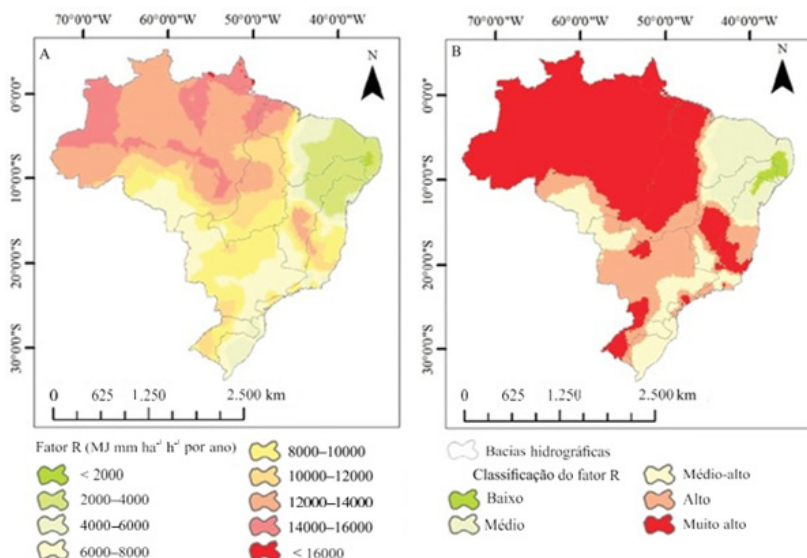


Figura 7. Mapa de erosividade para o Brasil
Fonte: Trindade et al., 2016

Alguns trabalhos realizados no Brasil apresentam os mapas de erosividade para determinados estados. Dentre estes se destacam os trabalhos de Lombardi Neto et al. (1981) e Vieira & Lombardi Neto (1995) para o estado de São Paulo; Rufino et al. (1993) e Waltrick et al. (2015) para o estado do Paraná; Mello et al. (2007) para Minas Gerais; Montebeller et al. (2007) para Rio de Janeiro; Almeida (2009) e Salton et al. (2013) para o estado do Mato Grosso do Sul; Oliveira et al. (2012) para o Mato Grosso do Sul; Santos (2008) para o Rio Grande do Sul; Amaral et al. (2014) para o estado da Paraíba; Mello et al. (2012) para o estado do Espírito Santo; Galdino et al. (2015) para o Estado de Goiás; Machado (2011) para o estado do Rio de Janeiro e Amaral et al. (2014) para o estado da Paraíba.

1.2 Fator LS

O fator de comprimento do declive (L) e o fator do grau de declividade (S) são muitas vezes tratado juntos pela denominação de fator “LS” ou fator topográfico. Eles representam a relação da perda de solo entre a rampa analisada nas condições de obtenção padrão (L=22,1 m e S=9%) e as condições na área analisada. O valor do fator topográfico LS é geralmente obtido com uma equação de conversão ou com um gráfico de conversão para as características locais (SILVA et al., 2007).

A estimativa do fator LS pode ser obtida por meio de ábacos (WISCHMEIER & SMITH,

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2) \quad (11)$$

Em que:

L = comprimento da rampa (m);

S = grau de declividade (%).

O ábaco (e consequentemente as fórmulas dele derivadas) é válido para comprimento de até 150m e grau de declive de 18%.

Bertoni & Lombardi Neto (2012) apresentam a equação:

$$LS = 0,00984C^{0,63} D^{1,18} \quad (12)$$

Em que: C = comprimento da rampa (m);

D = grau de declive (%)

Esta equação também apresenta limitações quando aplicada em pendentes com inclinação irregular

A perda de solo aumenta quando o comprimento da rampa e o grau de declive aumentam. Comprimento do declive é definido como a distância entre o ponto de origem do fluxo superficial até o ponto onde a declividade diminui, tanto que o sedimento começa a se depositar ou até que o fluxo superficial encontre uma rede de drenagem ou um canal bem definido.

Uma expressão mais geral para estimativa do fator LS em função da declividade do terreno

$$LS = \left(\frac{L}{22,1} \right)^m (0,065 + 0,045\alpha + 0,0065\alpha^2) \quad (13)$$

Em que:

L = comprimento da rampa (m);

α = declividade (%);

m = 0,5 para $\alpha \geq 5\%$;

m = 0,4 para $3,5\% \leq \alpha \leq 5\%$;

m = 0,3 para $1\% \leq \alpha \leq 3,5\%$;

m = 0,2 para $\alpha < 1,0\%$.

Esta equação pressupõe os declives e os comprimentos de rampas essencialmente

uniformes, desconsiderando os efeitos de rampas côncavas ou convexas e complexas (CARVALHO, 2012).

1.3 Fator K

O fator de erodibilidade do solo (K) corresponde à quantidade de erosão por unidade de índice de erosão pluvial (R). Ele depende das características físicas, químicas e biológicas do solo. Altos valores de K indicam que o solo é mais suscetível à erosão.

O fator de erodibilidade do solo K pode ser obtido pelo método direto, por meio de medições em parcelas experimentais, ou por métodos indiretos, usando equações que estimam a erodibilidade em função de outras características do solo.

No método direto a determinação do valor de K pode ser feita com a coleta de material (A) de coletores colocados em parcelas experimentais em uma área conhecida com comprimento de 22,1m, declividade de 9%, sem cobertura vegetal preparada no sentido do declive. Com o monitoramento da chuva obtém-se o fator R e, uma vez que os demais parâmetros (L, S, C, P) da USLE são conhecidos, o valor de K pode ser calculado por:

$$K = \frac{A}{R} \quad (14)$$

Para a boa representatividade devem-se coletar os dados por longos períodos (15 a 20 anos). O uso de simuladores de chuva pode reduzir significativamente esse período.

Vários métodos indiretos foram propostos para estimar o fator K em função de características físicas e químicas do solo, como o conteúdo de matéria orgânica, textura e informações sobre a estrutura e permeabilidade do solo. Para o uso do nomograma de Wischmeier & Smith (1978) (Figura 8) ou das equações propostas para estimativa do fator K, essas características devem ser indicadas adequadamente.

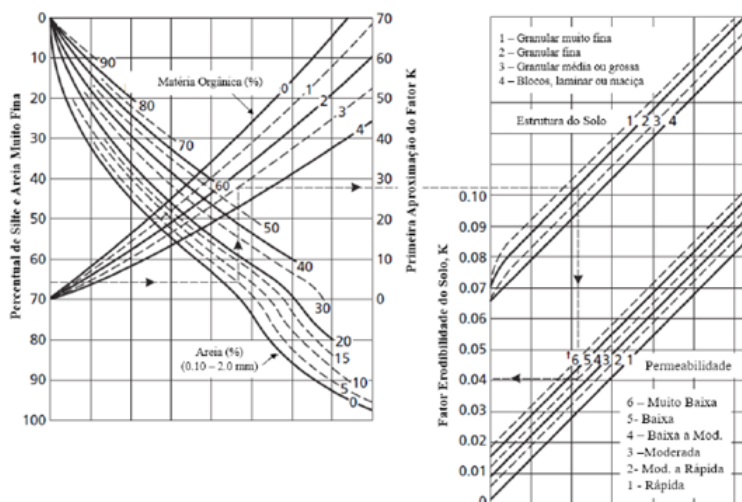


Figura 8. Nomograma para obtenção do fator erodibilidade do solo
Adaptado de Wischmeier et al. (1971)

1.3.1 Textura do solo

A textura do solo é uma propriedade relacionada ao tamanho das partículas do solo, que tem influência em várias características relacionadas ao movimento da água no solo e na erodibilidade. O termo textura é empregado especificamente para composição granulométrica das frações com diâmetro inferior a 2mm. O diâmetro das partículas individuais do solo varia conforme o tipo de classificação em diversas ordens de grandeza, de matações (1m) a argilas submicroscópicas ($< 10^{-6}$ m). A granulometria refere-se ao tamanho das partículas do solo, desde as frações de natureza coloidal até as mais grosseiras, como cascalhos e calhaus.

Os solos podem ser classificados de acordo com a distribuição percentual das frações argila, silte e areia. Existem várias classificações para a distribuição do tamanho das partículas do solo, adotadas por diferentes áreas do conhecimento e também entre os países. A maioria dessas classificações compartilha os limites superiores de diâmetro de partícula de 0,002mm e 2,0mm para as frações argila e areia, respectivamente. As maiores diferenças são encontradas na separação entre silte e areia. Nas Tabelas 10 a 14 encontram-se as frações com os respectivos diâmetros adotados pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo (*International Society of Soil Sciences*) (Tabela 13), Departamento de Agricultura dos Estados unidos (*USDA - United States Department of*

Agricultural) (Tabela 14), Departamento de Estradas Públicas dos Estados Unidos (*USPRA* - *United States Public Roads Administration*) (Tabela 15), Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) (Tabela 16) e Embrapa (Tabela 17). Os limites empregados nestes sistemas de classificação não são puramente arbitrários, mas refletem grandes mudanças no comportamento das partículas e nas propriedades físicas do solo por elas determinadas.

Tabela 10. Frações textuais adotadas pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo

Fração	Diâmetro (mm)	Diâmetro médio (mm)
Argila	< 0,002	
Silte	0,002 a < 0,02	0,011
Areia fina	0,02 a < 0,2	0,11
Areia grossa	0,2 a < 2,0	1,1

Fonte: Corral-Pazos-de-Provens et al. (2022)

Tabela 11 Frações texturais adotadas pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA)

Fração	Diâmetro (mm)	Diâmetro médio (mm)
Argila	< 0,002	0,00376
Silte	0,002 a < 0,05	0,026
Areia muito fina	0,05 a < 0,1	0,075
Areia fina	0,1 a < 0,25	0,175
Areia média	0,25 a < 0,5	0,375
Areia grossa	0,5 a < 1,0	0,75
Areia muito grossa	1,0 a < 2,0	1,5

Fonte: Corral-Pazos-de-Provens et al. (2022)

Tabela 12. Frações texturais adotadas pelo Departamento de Estradas Públicas dos Estados Unidos (USPRA)

Fração	Diâmetro (mm)	Diâmetro médio (mm)
Argila	< 0,005	0,00376
Silte	0,005 a < 0,05	0,0275
Areia fina	0,05 a < 0,25	0,15
Areia grossa	0,25 a < 2,0	0,375

Tabela 13. Frações texturais adotadas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS)

Fração	Diâmetro (mm)	Diâmetro médio (mm)
Argila	< 0,002	0,00376
Silte	0,002 a < 0,05	0,026
Areia fina	0,05 a < 0,20	0,125
Areia grossa	0,20 a < 2,0	1,1

Tabela 14. Frações texturais adotadas pela Embrapa

Fração/Classe	Tamanho da partícula (mm)	
argila	< 0,002	0,000376
Silte	0,002 a < 0,053 -	0,0275
Areia	0,053 a < 2,0 -	1,025
Divisão da fração Areia		
Areia Fina	0,053 a < 0,210	0,132
Areia grossa	0,210 a < 2,0	0,605
Divisão detalhada da fração Areia		
Areia muito fina	0,053 a < 0,105	0,079
Areia fina	0,105 a < 0,25	0,178
Areia média	0,25 a < 0,50	0,375
Areia grossa	0,50 a < 1,0	0,75
Areia muito grossa	1,0 a < 2,0	1,5

Nos solos naturais observam-se as mais diversas combinações das frações do solo, e dessa forma, foram propostos agrupamentos em classes texturais permitindo a classificação do solo. A classificação textural do USDA (Figura 9A) é bastante usada e alguns parâmetros da USLE foram relacionados a estas classes. No Brasil adota-se a classificação textural apresentada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Figura 9B), que apresenta como diferença a divisão da classe Argila e Muito argilosa.

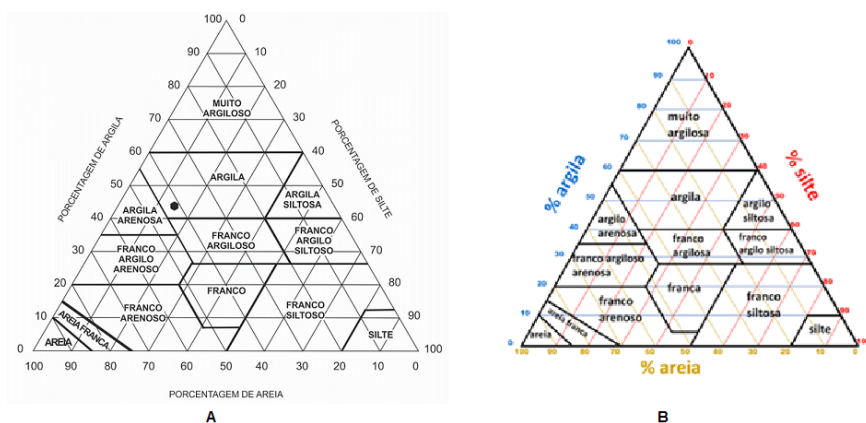


Figura 9. Triângulo Textural do USDA (A) e da SBCS (B)

A Embrapa apresenta um triângulo textural (Figura 10) contendo apenas as classes texturais: Muito Argilosa (>60% argila), Argilosa (35% a 60% de argila), Média (<35% de argila e >15% de areia); Arenosa (<15% argila) e Siltosa (< 15% de areia e < 35% de argila)



Figura 10. Triângulo textural simplificado da Embrapa
Fonte: Santos et al., 2018

1.3.2 Estrutura do solo

A estrutura do solo refere-se aos arranjos das partículas de areia, silte, argila e matéria orgânica em estruturas menores chamadas de agregados. Um agregado de solo natural individual é chamado de ped. A classificação da estrutura envolve a consideração da forma e disposição, o tamanho e a distinção dos agregados visíveis ou peds. A estabilidade da estrutura é dada pela estabilidade dos agregados, que é definida como a resistência do solo à desagregação frente a atuação de uma força externa. O grau da estrutura do solo depende do teor de umidade do solo e varia sazonalmente.

As informações sobre a estrutura do solo para séries de solos específicas podem ser obtidas nos levantamentos de solos do local. O Nomograma de Wischmeier & Smith (1978) considera quatro tipos de estrutura (Tabela 15).

Tabela 15. Valores de **b** para estrutura do solo

b	Tipo de estrutura
1	Granular muito fina
2	Granular fina
3	Granular média ou grossa
4	Blocos, laminar ou massiva

1.3.3 Permeabilidade do solo

A permeabilidade é definida como a capacidade do solo em transmitir água e ar através da camada mais restritiva quando úmida, sendo a propriedade que o solo apresenta de permitir o fluxo através dele. A permeabilidade é influenciada por vários fatores, destacando-se a textura, estrutura e porosidade.

A permeabilidade refere-se a todo o perfil do solo, entretanto, Wischmeier et al. (1971) sugerem que o horizonte do solo mais impermeável dentro dos 2 pés (0,6m) superiores do perfil do solo seja considerado para a classificação de permeabilidade. Na Tabela 16 constam as classes de permeabilidade do nomograma de Wischmeier & Smith (1978) e a indicação das classes textuais geralmente presentes nesta classe de permeabilidade.

Tabela 16. Valores de **c** para classe de permeabilidade fonte

c	Permeabilidade	Taxa de infiltração	Classe textural
1	Rápida	>150mm h ⁻¹	Arenoso, areia Franca
2	Moderada a rápida	50 - 150mm h ⁻¹	Franco arenosa
3	Moderada	15 - 50mm h ⁻¹	Franco, Franco siltosa
4	Lenta a moderada	5 - 15mm h ⁻¹	Franco argilo siltosa, Franco argilosa
5	Lenta	1 - 5mm h ⁻¹	Muito argilosa, Argilosa, Argilo Siltosa
6	Muito lenta	< 1mm h ⁻¹	*

*Solos com camada impermeável

1.3.4 Equações para estimativa do fator K

Existem várias equações que foram propostas para estimativa de K. Wischmeier & Smith (1978) propuseram equação dada por:

$$K = [2,1 \times 10^{-4} M^{1,14} (12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)]^{\frac{0,1317}{100}} \quad (15)$$

Em que:

K = fator erodibilidade do solo, em $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$;

M = (% de Silte + % Areia muito fina)(100 - %argila);

a = conteúdo de matéria orgânica (%);

b = código adimensional relacionado à estrutura do solo (Tabela 15);

c = código adimensional relacionado à permeabilidade (Tabela 16).

Os valores de fator K obtidos pela equação acima são multiplicados pelo fator de correção igual a 0,1317 para poder expressar os resultados nas unidades métricas.

Um modelo simplificado para o cálculo do fator de erodibilidade do solo foi proposto pela expressão de Bouyoucos (1935), baseado na textura conforme a seguinte equação:

$$K = \frac{\%L + \%S}{\%C} \frac{1}{100} \quad (16)$$

Em que:

%L = percentual de silte;

%S = percentual de areia;

%C = percentual de argila.

Denardin (1990) propôs a seguinte expressão para estimar o parâmetro K

$$K = 0,00000748M + 0,00448059b - 0,0631175DMP + 0,010396REL \quad (17)$$

Sendo M dado pela equação:

M = (% de Silte + % areia muito fina) (100 - %argila)

b é um valor adimensional relacionado à permeabilidade do solo (Tabela 16);

DMP é o diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2mm, sendo expresso em:

$$DMP = \frac{\sum C_i P_i}{100}$$

sendo: C_i = centro da classe textural i, expresso em mm; P_i = proporção de ocorrência da classe textural i, expressa em %.

REL é a relação entre o conteúdo de matéria orgânica e o conteúdo de partículas entre 0,1 e 2,0mm.

REL = multiplicação do teor de matéria orgânica (%) pelo teor da nova areia (%).

R = [areia grossa x (teor de matéria orgânica/100)]

$$REL = \frac{MOxNovaAre}{100}$$

P é a permeabilidade do solo, conforme codificação contida em Wischmeier et al., (1971). A atribuição da classe de permeabilidade pode se realizada observando a textura do solo, conforme descrito em Demarchi e Zimback (2014), (Tabela 16).

Obs.: Nova Areia = (Areia muito grossa + areia grossa + areia média + areia fina)

Esta expressão para o Fator K é válida para solo com teores de silte + areia muito fina que não ultrapassem 70%.

Renard et al.(1997) propuseram a seguinte equação para estimativa do fator K:

$$K = 0,0034 + 0,0405 \exp \left[-0,5 \left(\frac{\log(Dg) + 1,659}{0,7101} \right)^2 \right] \quad (18)$$

Dg é o diâmetro geométrico da partícula baseada na classe de fração textural e nas médias aritméticas do diâmetro das partículas de cada classe textural.

$$DG = \exp \left(0,01 \sum f_i \ln(m_i) \right)$$

Sendo:

DG o diâmetro médio geométrico das partículas solo (mm);

f_i é a fração correspondente ao tamanho da partícula (%);

m_i é a média aritmética dos limites de tamanho de partícula (mm).

Considerando somente as frações argila, silte e areia, o diâmetro médio geométrico pode ser calculado por:

$$DG = \exp \left(\frac{Argila}{100} * \ln(a) + \frac{Silte}{100} \ln(b) + \frac{areia}{100} \ln(c) \right)$$

Em que:

a = tamanho médio da fração argila (mm);

b = tamanho médio da fração silte (mm);

c = tamanho médio da fração areia (mm).

Na expressão de Sharpley & Williams (1990), usada em Williams (1995), o fator K é calculado por:

$$K = Ax Bx Cx Dx 0,1317 \quad (19)$$

$$A = 0,2 + 0,3 \exp\left(-0,0256\%S \left(1 - \frac{\%L}{100}\right)\right)$$

$$B = \left(\frac{\%L}{\%C + \%L}\right)^{0,3}$$

$$C = \left[1 - \frac{0,25Co}{Co + \exp(3,72 - 2,95Co)}\right]$$

$$D = \left[1 - \frac{0,70SN1}{SN1 + \exp(-5,41 + 22,95SN1)}\right]$$

Em que:

A = fator que confere baixo fator de erodibilidade do solo para solos com alto teor de areia grossa e altos valores para solos com pouca areia;

B = fator que confere baixo fator de erodibilidade do solo para solos com altas relações argila/silte;

C = fator que reduz o fator de erodibilidade para solos com alto conteúdo de matéria orgânica;

D = fator que reduz o fator de erodibilidade para solos com conteúdo extremamente alto de areia;

%S = percentual de areia (0,05 a 2,0mm);

%L = percentual de silte (0,002 – 0,05mm);

%C = percentual de argila (<0,002mm);

Co é o conteúdo de carbono orgânico;

SN1 = 1 menos é o conteúdo de areia dividido por 100, isto é:

$$SN1 = 1 - \%S/100$$

O percentual de carbono orgânico no solo pode ser estimado pelo conteúdo de matéria orgânica do solo (MO), calculado por:

$$Co = \frac{MO}{1,72}$$

Na Tabela 17 constam as faixas de valores do fator K para diferentes classes texturais. Na Tabela 18 constam valores de erodibilidade de acordo com a classe textural e teor de matéria orgânica. Na Tabela 19 constam valores de K para alguns solos de Santa Catarina, baseados no nomograma de Wischmeier (PUNDEK, 1994). Na Tabela 20 consta a indicação de erodibilidade para solos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo.

Tabela 17. Indicação geral de suscetibilidade a erosão de acordo com a textura do solo

Textura do solo superficial	Suscetibilidade relativa à erosão hídrica	Faixa de fator K Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹
Areia muito fina	Extremamente	> 0,05
Areia muito fina siltosa Areia franca Areia muito fina siltosa Franco argilo arenosa	Altamente	0,05 – 0,05
Franco argilosa Franco Argilo siltosa Argila Franco argilo arenoso	Moderadamente	0,03 – 0,04
Franco arenosa Areia fina siltosa Areia fina Areia grossa siltosa	Levemente	0,007 – 0,03
Areia siltosa Areia	Muito levemente	<0,007

Fonte: Wall et al. (2002)

Tabela 18. Valor de erodibilidade do solo K ($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) para classes texturas e teor de matéria orgânica

Classe	Teor de matéria orgânica		
	<2 %	>2%	Média
Muito argilosa	0,025	0,020	0,022
Argila	0,032	0,028	0,029
Franco argilosa	0,044	0,037	0,040
Franca	0,045	0,038	0,040
Franco arenoso	0,018	0,016	0,017
Arenoso	0,001	0,003	0,001
Franco siltosa	0,054	0,049	0,050
Argilo siltosa	0,036	0,034	0,034
Areia franca	0,007	0,005	0,005
Franco argilo arenosa	-	0,026	0,026
Franco argilo siltosa	0,046	0,040	0,042
Areia muito fina	0,061	0,049	0,057
Areia muito fina siltosa	0,054	0,044	0,046
Areia fina	0,012	0,008	0,011
Areia fina siltosa	0,029	0,022	0,024
Areia fina siltosa	0,020	0,012	0,015
Areia muito fina fina siltosa	0,058	0,033	0,051

Fonte: Adaptado de Wall et al. (2002)

Tabela 19. Valores de erodibilidade do solo ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) (fator K) para alguns solos do estado de Santa Catarina

Solos	Fator K
1 Solos com horizonte B latossólico	
1.1 Latossolo Bruno	0,0144
1.2 Latossolo Amarelo	0,0146
1.3 Latossolo vermelho	0,0179
1.4 Latosolo Vermelho-Amarelo	0,0182
2. Solos com horizonte B textural	
2.1 Nitossolo Bruno	0,0187
2.2 Terra Vermelha-Brunada Estruturada	0,0225
2.3 Nitossolo Háplico	0,0207
2.4 Nitossolo Vermelho	0,0227
2.5 Chernossolo	0,0365
2.6 Argissolo Vermelho	0,0375
2.7 Argissolo Bruno Acinzentado	0,0392
3.0 Solos com horizonte B incipiente	
3.1 Cambissolo	0,0347
3.2 Cambissolo	0,0356
4. Solos pouco desenvolvidos	
4.1. Neossolo Quatzarênico	0,0228
4.2 Solos Litólicos Neossolo Litólico	0,0458
4.3 Solos Litólicos	0,0421

Adaptado de Pundek, 1994

Tabela 20. Valores de erodibilidade para diferentes tipos de solos

Embrapa ¹	FAO ²	Soils Survey Staff ³	K (th MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Argissolos	Acrisols	Ultisols	0,0374
Cambissolos	Cambisols	Inceptisols	0,0353
Chenossolos	Chernozems	Molisols	0,0287
Espodossolos	Porzols	Spodosols	0,0736
Gleissolos	Gleysols	Entosols	0,0344
Latossolos	Ferrosols	Oxosols	0,0246
Luvissolos	luvisols	Aridosols	0,0478
Neossolos Flúvicos	Fluviosols	Fluvents	0,0450
Neossolos Litólicos	Leptpsols	Lithic	0,0351
Neossolos Quartzarênicos	Arenosols	Quatzipsamments	0,0534
Neossolos Regolíticos	Regosols	Psamments	0,0791
Nltossolos	Nitosols	Oxisols Kandic	0,0132

¹Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

²Referência mundial para recursos de solo (FAO, 1998) World reference base for soil resources.

³Soil taxonomy (Soil Sourvey Staff, 1999).

1.4 Fator C

O fator C é o fator de cobertura e manejo do solo. Representa a relação das perdas de solo entre um solo com determinada prática de controle de erosão e as perdas de um solo sem prática conservacionista. Alguns valores do fator C para diferentes culturas e tipos de manejo são apresentados nas Tabelas 21 a 25.

Tabela 21. Fator C para estimativa da perda de solos pela USLE (PRUSKI, 2009)

Uso e manejo do solo	C
Algodão morro a baixo	0,69
Algodão em nível	0,69
Milho em nível	0,34
Cana de açúcar em sulco em nível	0,15
Milho	
Preparo convencional (aração e duas gradagens)	0,34
Preparo reduzido (duas gradagens)	0,34
Preparo reduzido (escarificado e duas gradagens)	0,34
Preparo com grade pesada (grade pesada e duas gradagens niveladoras)	0,34
Soja e trigo em sucessão	
Cultivo convencional	0,54
Gradagem pesada + niveladora	0,54
Plantio Direto	0,20
Sucessão trigo e soja com cultivo mínimo	
Cultivo da soja e preparo convencional do solo	0,54
Cultivo da soja em sistema de plantio direto	0,25
Pousio invernal e milho verão	0,25

Tabela 22. Fator C para diferentes tipos de cobertura do solo e índices de recobrimento vegetal

Tipo de cobertura	Índice de recobrimento (%)				
	0	25	50	75	10
Sem cobertura, solo desnudo	1,00	-	-	-	-
Culturas agrícolas	-	0,50	0,25	0,10	0,05
Pastagem e ervas-daninhas	-	0,45	0,20	0,09	0,01
Arbustos	-	0,40	0,1	0,09	0,005
Árvores, reflorestamento	-	0,35	0,15	0,008	0,003
Floresta densa	-	0,28	0,10	0,05	0,001

Fonte: Walker (2004)

Tabela 23. Fator C em função do tipo de recobrimento de solo para áreas impactadas e degradadas

Tipo	Eficiência (%)	Fator C
Sem recobrimento do solo	0	1,00
Hidrossemeadura á base de 4t/ha de mulching	15	0,85
Hidrossemeadura a base de 6t/ha	30	0,70
Grama em placas estaqueadas	45	0,55
<i>Strawmulch</i> à base de 5t/ha	60	0,40
Biomantas antierosivas de palha	70	0,30
Biomantas antierosivas de fibra de coco	85	0,15
Biomantas antierosivas tridimensionais	95	0,05

Fonte: Pereira (1999)

Tabela 24. Intervalos típicos de valores do fator C média anual para diferentes culturas e sistemas de manejo

Prática	Fator C
Solo nu ou exposto	1,00
Floresta ou arbusto denso, resíduos de colheita ou cobertura morta densa	0,001
Campo ou pradaria com boa cobertura	0,01
Campo ou pradaria super pastoreada	0,10
Milho, sorgo ou painço, alta produtividade lavoura convencional	0,20-0,55
Milho, sorgo ou painço, baixa produtividade lavoura convencional	0,50-0,90
Milho, sorgo ou painço, alta produtividade lavoura arado	0,10-0,20
Milho, sorgo ou painço, baixa produtividade lavoura arado	0,30-0,45
Milho, sorgo ou painço, alta produtividade lavoura cultivo mínimo	0,02-0,10
Algodão	0,40-0,70
Grama ou pastagem	0,01-0,025
Soja	0,20-0,50
Trigo	0,10-0,40
Arroz	0,10-0,20
Amendoins	0,30-0,80
Palmeiras, café, cacau com cultura de cobertura	0,10-0,30
Abacaxi em contorno, resíduos removidos	0,10-0,40
Abacaxi em contorno, com resíduos na superfície	0,01
Batata em linhas morro a baixo	0,20-0,50
Batata com linhas em curva de nível	0,10-0,40
Feijão	0,30-0,40
Morangos	0,27
Romã com cobertura de erva daninha	0,08
Romã capinado e limpo	0,56
Cana de açúcar	0,13-0,40
Inhame	0,40-0,50
Café após a primeira colheita	0,05
Banana após estabelecimento	0,05-0,10
Mamão	0,21

Fonte: Wischmeier e Smith (1978), Roose (1977), Singh et al. (1981), El-Swaify et al. (1982), Hurni (1987)

A cobertura vegetal varia com o estágio de desenvolvimento de cada cultura, por isso pode-se detalhar e determinar as perdas de solo em diferentes períodos. Na Tabela 25 constam os valores de fator C durante o ciclo de cultivo das culturas de soja e algodão.

Tabela 25. Valores de C durante o ciclo de cultivo do algodão e soja

Estágio ou período de cultivo		Fator C	
		Algodão	Soja
0	Do preparo ao plantio	0,0567	0,0032
1	Do plantio a 1 mês depois	0,1089	0,0432
2	De 1 a 2 meses após o plantio	0,1056	0,0672
3	De 2 meses após o plantio à colheita	0,3720	0,1037
4	Da colheita ao preparo do solo	0,0414	0,0020
Totais		0,6846	0,2193

Fonte: Carvalho (2012)

1.5 Fator P – Práticas conservacionistas

O fator P é a razão das perdas de solo sob uma dada prática conservacionista e as perdas de solo quando o mesmo é cultivado no sentido do declive (morro a baixo ou morro acima).

As práticas conservacionistas consideradas para o fator P são aquelas ditas práticas complementares, como o preparo do plantio em contorno, culturas em faixa, cordões de pedra, etc. Outras práticas, tais como evitar queimadas e rotação de culturas, são consideradas dentro do fator C. Nas Tabelas 26 a 29 constam alguns valores do fator P que podem ser usados.

Tabela 26. Valores de Fator P para preparo e plantio em contorno

Declividade (%)	Valor P	Máximo comprimento do declive (m)
1 a 2	0,60	120
3 a 5	0,50	90
6 a 8	0,50	60
9 a 12	0,60	40
13 a 16	0,70	25
17 a 20	0,80	20
21 a 25	0,90	15

Tabela 27. Valores de P para algumas práticas conservacionistas

Prática conservacionista	P
Plantio em morro a baixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2
Terraço	0,1

Fonte: Carvalho (2012)

Tabela 28. Fator P de práticas de cultivo

Declividade (%)	Tipo de cultivo		
	Nível	Faixas	Terraços
2	0,60	0,30	0,12
5	0,50	0,25	0,10
10	0,60	0,30	0,12
15	0,70	0,35	0,14
20	0,80	0,40	0,16
30	0,90	0,45	0,18

Fonte: Diaz (2001)

Tabela 29. Fator P em função de práticas de controle de erosão

Prática de controle de erosão	Valor do Fator P
Cultivo em contorno declividade de 0-1º	0,60
Cultivo em contorno declividade de 2-5º	0,50
Cultivo em contorno declividade de 6-7º	0,60
Cultivo em contorno declividade de 8-9º	0,70
Cultivo em contorno declividade de 10-11º	0,80
Cultivo em contorno declividade de 12-14º	0,90
Terraço em nível, patamar	0,14
Terraço em patamar de inclinação reversa	0,05
Terraço em patamar inclinado para fora	0,35
Terraço de retenção	0,05

Fonte: Wischmeier & Smith (1978), Roose (1977)

Embora o terraceamento conste em algumas Tabelas do fator P, alguns autores não consideram o terraceamento com fator de preparo do solo (Fator P) por considerar seu efeito no fator L, pela diminuição do comprimento de rampa.

2 Tolerância de perdas de solo

A erosão do solo é um processo natural, mas para o uso racional do solo deve-se procurar empregar um uso e manejo de forma a manter as perdas de solo dentro de um nível tolerável, que permita manter uma produtividade elevada por longo tempo. A tolerância de perdas representa a máxima intensidade de erosão do solo permitida de ocorrer, mantendo integrais suas propriedades, por longo prazo e com segurança (PUNDEK, 1994). Wischmeier & Smith (1978) usam o termo tolerância de perdas de solo para designar a intensidade máxima de erosão de solo que permitirá a uma elevada produtividade manter-se sustentável.

Bertol & Almeida (2000) comentam que as informações sobre a tolerância de perda de solo podem ser usadas na ULSE e RUSLE para testar a eficácia dos sistemas de manejo do solo como um critério e também para definir a distância entre terraços numa lavoura.

O critério mais importante do ponto de vista agrônomo para a determinação dos limites de tolerância é a espessura da camada de solo favorável ao enraizamento das culturas, ou seja, a profundidade dos horizontes A e B (BAPTISTA, 2003).

Bertoni & Lombardi Neto (1975) estabeleceram então um critério para a relação textural no cálculo da tolerância: para uma relação inferior a 1,5, ou seja, se a porcentagem de argila do horizonte A dividida pela porcentagem de argila do horizonte B for inferior a 1,5, considera-se a espessura total dos horizontes A e B; Para uma relação textural entre 1,5 e 2,5, considera-se 75% da espessura desses horizontes. Para uma relação textural superior a 2,5 considera-se apenas 50% da espessura desses horizontes. Com base nesses critérios os autores desenvolveram a seguinte equação para expressar a tolerância de perdas de solo por erosão laminar.

$$T = \frac{hr}{1000} \quad (20)$$

Em que:

T = camada de solo possível de ser removida do horizonte (mm ano⁻¹);

h = espessura dos horizontes A e B (mm) (h ≤ 1.000);

r = fator que depende da relação textural (Tabela 30).

Bertol & Almeida (2000) destacam que o termo 1.000 representa uma constante que expressa o período de tempo necessário para desgastar uma camada de solo de 1.000mm de espessura, desconsiderando a formação nesse mesmo período. Dessa forma os autores recomendam limitar a profundidade h em 1 metro ou 1.000mm.

Tabela 30. Valor de r para estimativa da tolerância a perdas de solos

Relação textural ¹	Valor de r
< 1,5	1,0
1,5 – 2,5	0,75
> 2,5	0,5

¹Teor de argila no horizonte A dividido pelo teor de argila no horizonte B

Para os Neossolos Litólicos nos quais o horizonte B não está presente, Bertol & Almeida (2000) consideraram valor $r = 0,75$ quando o horizonte A ocorria acima do horizonte C, e $r = 0,50$ quando o horizonte A ocorria diretamente sobre a rocha. Para a Neossolos quartzarênicos, Bertol & Almeida (2000) indicam o valor $r = 1,0$.

Os métodos de estimativa da tolerância de perda de solo por erosão, embora utilizem atributos que influenciam a erosão do solo, são empíricos notadamente no que se refere à definição dos fatores, o que conduz a estimativas de tolerâncias diferentes para um mesmo solo (BERTOL & ALMEIDA, 2000). Não há ainda um consenso entre os pesquisadores em relação à tolerância de perda de solo. De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (2012), em consequência da intensidade da erosão variar grandemente para diferentes solos, a imposição de limites fixos de perda de solo aplicáveis a solos semelhantes parece irracional. Apesar de haver mais de um tipo de equação para se estimar a tolerância de perdas de solo, diversos autores, entre os quais Silva et al. (2000); Mannigel et al. (2002); Fiori et al. (2004); Oliveira et al. (2008); Campos et al. (2008), utilizam a equação criada por Lombardi Neto & Bertoni (1975) que, além da espessura dos horizontes A e B, considera a relação textural entre os horizontes A e B como um dos fatores importantes para a determinação das perdas, pois ela afeta a infiltração e a permeabilidade dos solos. Uma relação alta determina uma menor capacidade de infiltração, aumentando a erosão.

Bertol & Almeida (2000) apresentaram uma modificação no método de Lombardi Neto & Bertoni (1975), alterando os limites dos intervalos da relação textural e introduzindo o teor de argila no horizonte A como variável associada à relação textural. Os autores justificam a alteração dos intervalos da relação textural argumentando que a faixa de valores entre 1,5 e 2,5 é excessivamente larga e não discrimina adequadamente solos cujos limites de tolerância devem ser diferentes. Com esse método, a expressão de tolerância é calculada por:

$$T = \frac{hr_a}{1000} \quad (21)$$

Em que:

T = camada de solo possível de ser removida do horizonte (mm/ano);

h = espessura dos horizontes A e B (mm);

r_a = fator que expressa conjuntamente o efeito da relação textural entre os horizontes B e A e do teor de argila do horizonte A (Tabela 31).

Tabela 31. Fator r_a para o método sugerido por Bertol & Almeida (2000)

Relação textural	Teor de argila no horizonte A (%)		
	> 40	20- 40	< 20
< 1,5	1,00	0,90	0,80
1,5 – 2,0	0,80	0,70	0,60
> 2,0	0,60	0,50	0,40

Um terceiro método foi proposto Bertol & Almeida (2000) acrescentando duas variáveis consideradas importantes do ponto de vista da erodibilidade, que são o teor de matéria orgânica na camada de 0 – 20cm e o grau de permeabilidade. Neste método a tolerância é calculada por:

$$T = \frac{hr_a mp}{1000} \quad (22)$$

Em que:

T = camada de solo possível de ser removida do horizonte (mm ano⁻¹);

h = espessura dos horizontes A e B (mm);

r_a = fator que expressa conjuntamente o efeito da relação textural entre os horizontes B e A do teor de argila do horizonte A (Tabela 30);

m = fator que expressa o efeito da matéria orgânica no solo (Tabela 32);

p = fator que expressa o efeito da permeabilidade do solo (Tabela 33).

Tabela 32. Fator m para cálculo da tolerância da perda de solos

Teor de matéria orgânica na camada de 0 -20 cm	Fator m
> 5 dag kg ⁻¹	1,00
2,5 a 5 dag kg ⁻¹	0,85
< 2,5 dag kg ⁻¹	0,70

Tabela 33. Fator p para cálculo da tolerância da perda de solos

Classe de permeabilidade	Fator p
Rápida	1,00
Moderada	0,85
Lenta	0,70

Bertol & Almeida (2000) concluem que o terceiro método, o qual leva em consideração o teor de matéria orgânica e o grau de permeabilidade, é mais rigoroso que os outros dois métodos e por isso é sugerido para estimar a tolerância da perda de solos da maioria dos Latossolos (Lattossolos¹) e de todas as Terras Brunas (Nitossolos¹), Podzólicos (Argissolos¹), Cambissolos (Cambissols¹) e Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos¹) do estado de Santa Catarina, e para as demais classes, pode-se empregar qualquer um dos métodos.

Os autores ressaltam que os métodos para estimar a tolerância de perda de solo por erosão são empíricos, destacando a fragilidade de considerar o período de mil anos como sendo necessário para desgastar completamente uma camada de até um metro de solo. Os valores obtidos para os solos de Santa Catarina variaram de 1,16mm ano⁻¹ (para Terra Bruna Estruturada) a 0,15mm ano⁻¹ (para Litólicos).

Importante ressaltar que os valores de tolerância de perdas de solo por erosão não levam em conta critérios relacionados à qualidade da água e à contaminação de recursos hídricos pelos produtos da erosão hídrica.

Os valores de tolerância de perdas de solos para Santa Catarina (Tabela 33) foram estabelecidos com base nos valores estabelecidos para São Paulo por Bertoni & Lombardi Neto (2012), considerando as mesmas classes de solo.

¹ No Sistema Brasileiro de Classificação do Solo Solos (SiBCS)

Tabela 33. Tolerância de perdas de solo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)

Solos	Tolerância
• Solos com horizonte B. latossólico	
Latossolo Bruno (Latossolos ¹)	11,2
Latossolo (Latossolos ²)	11,6
Latossolo Vermelho-Amarelo (Latossolos ²)	12,3
• Solos com horizonte B. textural	
Terra Bruna Estruturada (Nitossolos ²)	11,3
Terra Vermelha-Brunada Estruturada (Nitossolos ²)	12,0
Terra Bruna Estruturada intermediária a Terra Roxa estruturada (Nitossolos ²)	12,5
Terra Roxa Estruturada (Nitossolos ²)	12,9
Brunizem (Chernossolos ²)	10,9
Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo Vermelho Amarelo ²)	7,3
Podzólico Bruno-Acinzentado (Luvisolos ²)	7,8
• Solos com horizonte B. incipiente	
Cambissolo Bruno (Cambissolo ²)	8,6
Cambissolo (Cambissolo ²)	9,8
• Solos pouco desenvolvidos	
Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos ²)	10,8
Solos Litólicos (contato lítico) (Neossolos lítico ²)	4,2
Solos Litólicos (contato litóide) (Neossolos ²)	6,5

Bertol & Almeida (2000) apresentaram estudo detalhado das perdas de solo estimadas por três diferentes métodos (Tabela 34).

Tabela 34. Valores médios de tolerância de perdas de solo por erosão (mm ano) para as principais classes de solo do estado e Santa Catarina estimado por diferentes métodos

Classe de solo	Método I	Método II	Método III
Terra Bruna Estruturada	1,16	1,16	1,05
Latossolo Bruno/Roxo	1,13	1,13	1,13
Terra Vermelha/Bruna/Estruturada	1,11	1,11	1,03
Terra Bruna/Roxa Estruturada	1,07	1,07	0,91
Latossolo Vermelho-Amarelo	1,07	0,99	0,84
Latossolo Bruno	1,01	1,01	0,89
Latossolo Vermelho-escuro	1,01	1,01	0,93
Latossolo Roxo	1,00	1,00	0,86
Cambissolo Húmico	0,93	0,90	0,74
Cambissolo	0,91	0,91	0,71
Cambissolo eutrófico	0,91	0,84	0,63
Terra Roxa Estruturada	0,89	0,87	0,87
Podzólico Vermelho-Escuro	0,86	0,75	0,52
Cambissolo Bruno-Húmico	0,86	0,82	0,60
Podzólico Vermelho-Amarelo	0,81	0,75	0,58
Brunizem Avermelhado	0,79	0,72	0,65
Areia Quartzosa	0,32	0,26	0,18
Litólico Húmico	0,20	0,21	0,18
Litólico	0,21	0,21	0,15

Fonte: Adaptado de Bertol & Almeida (2000)

Com a USLE pode-se calcular as perdas de solo e comparar com os valores de tolerância de perdas de solos, avaliando a sustentabilidade do sistema. Caso as perdas de solo superem os limites de tolerância, deve-se procurar uma combinação dos fatores de uso e manejo (C) e práticas conservacionistas (P) que impliquem perdas de solo abaixo do limite de tolerância. Também é possível avaliar a redução nas perdas de solo com práticas de terraceamento e, dessa forma, a redução do fator L.

3 Uso do Programa HidroEUPS

O HidroEUPS é um programa elaborado em linguagem Delphi 10.3. No programa constam as rotinas de cálculo para as estimativas dos parâmetros da EUPS, bem como tabelas para consulta destes parâmetros. O programa está disponível para *download* em <https://docweb.epagri.sc.gov.br/pub/HidroEUPS.zip>.

A finalidade principal da EUPS é estimar as possíveis perdas de solo por erosão hídrica de forma a orientar a escolha da melhor técnica de conservação do solo e da água para determinadas condições específicas.

O programa consta de 10 abas, em que na aba EUPS (Figura 11) consta a EUPS com os parâmetros de entrada no Sistema Internacional de Unidade. O programa permite ao usuário definir a variável a ser calculada (1), devendo as demais variáveis ser informadas como parâmetros de entrada (2). O programa apresenta também a opção de calcular ou informar os valores de LS em conjunto ou separadamente (3).

Ao clicar no botão Calcular (4), o programa exibe os resultados das perdas de solo (5).

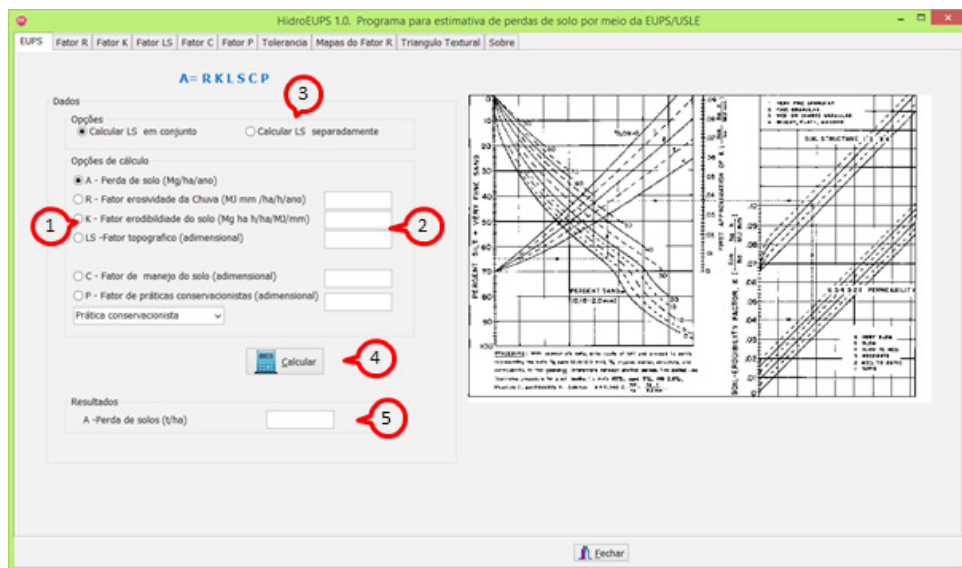


Figura 11.Tela para cálculo da EUPS

Na aba **Fator R** (Figura 12) constam as rotinas para cálculo e interpretação do fator R. O programa apresenta a lista de equações para estimativa do índice EI_{30} pelo método pluviométrico (1). O usuário deverá selecionar a equação de referência. Estão cadastradas mais de 100 (cem) equações de diversos estados do Brasil. Ao selecionar o local, o programa exibe os coeficientes (2), bem como o modelo adequado (3) e a referência (fonte) da equação (4). Outra opção que poderá ser utilizada é selecionar o modelo de equação e digitar os coeficientes “a” e “b” nos respectivos campos.

O usuário deverá digitar os dados de chuva média mensal na coluna **Prec (mm)** (5). Também é possível copiar os dados de outra fonte e colar nesta coluna usando as teclas de atalho padrão (CTRL+ C e CTRL+V).

Ao clicar em **Calcular** (6), o programa realiza os cálculos exibindo os valores mensais de IFM e EI_{30} com sua classificação, bem como o valor anual do IFM e o fator R, também com sua classificação (7).

Também são exibidos os gráficos com os valores mensais de EI_{30} (8) e outro com a distribuição da precipitação e EI_{30} ao longo do ano (9).

Ao clicar em **Adotar** (10), o programa transfere valor do fator R para a aba EUPS.

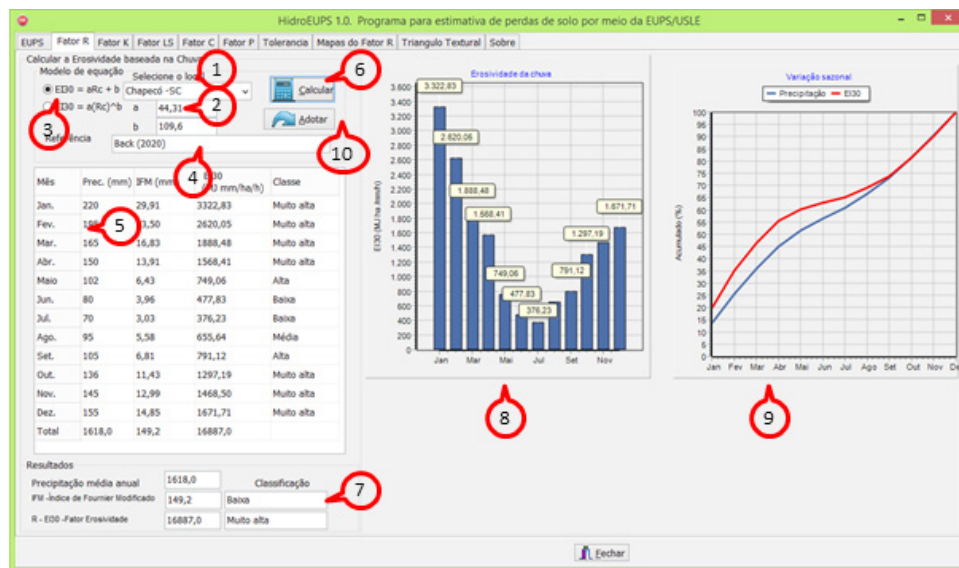


Figura 12. Tela para estimativa do fator R pelo método pluviométrico

Na Aba fator K (Figura 13) constam as rotinas para estimativa do fator K, onde constam as opções (1) para os métodos descritos por:

- Wischmeier & Smith (1978);
- Denardin (1990);
- Renard et al. (1997);
- Bouyoucos (1935);
- Sharpley & Williams (1990).

The screenshot shows the 'Fator K' tab in the HidroEUPS 1.0 software. On the left, a list of methods is shown, with 'Wischmeier_Smit (1978)' selected (1). The main area displays the formula for K: $K = [2.1 \times 10^{-4} M^{1.24} (12 - a) + 3.25 (b - 2) + 2.5 (c - 3)] \frac{0.1317}{100}$. Below this, there are input fields for 'Dados de entrada': 'M - Parâmetro de textura do solo', 'a - Matéria orgânica (%)', 'b - Fator relacionado a estrutura', and 'c - Fator relacionado a permeabilidade'. To the right, there is a section for 'Cálculo do Parâmetro M' with input fields for 'Silte (%)', 'Areia muito Fina (%)', and 'Argila (%)'. At the bottom, there are buttons for 'Calcular' (4) and 'Adotar' (5). The 'Resultados' section shows 'Parâmetro K'.

Figura 13. Tela para estimativa do fator K

Para o método de Wischmeier & Smith (1978), o programa apresenta a possibilidade de calcular o parâmetro M (2), bem como as opções para os fatores relacionados à estrutura e permeabilidade (3). Ao clicar em **Calcular** (4), o programa exibe o valor do parâmetro K e, ao clicar em **Adotar** (5), o valor é transferido para a aba EUPS.

Para o método descrito por Denardin (1990) (Figura 14), o programa apresenta o quadro **Cálculo do fator M** (1), onde se devem informar os valores dos percentuais de argila, silte e areia (2). Ao clicar em **Calcular** (3), o programa exibe o valor do parâmetro M (4). Ao clicar em **Adotar** (5), o programa transfere o valor para o quadro **Cálculo de K**.

No quadro **Cálculo de DMP** (6) o programa calcula o valor do diâmetro médio ponderado. Devem-se informar os valores dos diâmetros médios das frações texturais e

os percentuais. Ao clicar em **Calcular** (7), o programa exibe o valor do parâmetro M. Ao clicar em **Adotar** o programa transfere o valor para o quadro **Cálculo de K**.

No quadro Cálculo do fator K (8) devem-se informar os dados solicitados e clicar em **Calcular** (9) para obter o resultado. Ao clicar em **Adotar** (10), o programa transfere o valor para a Aba EUPS.

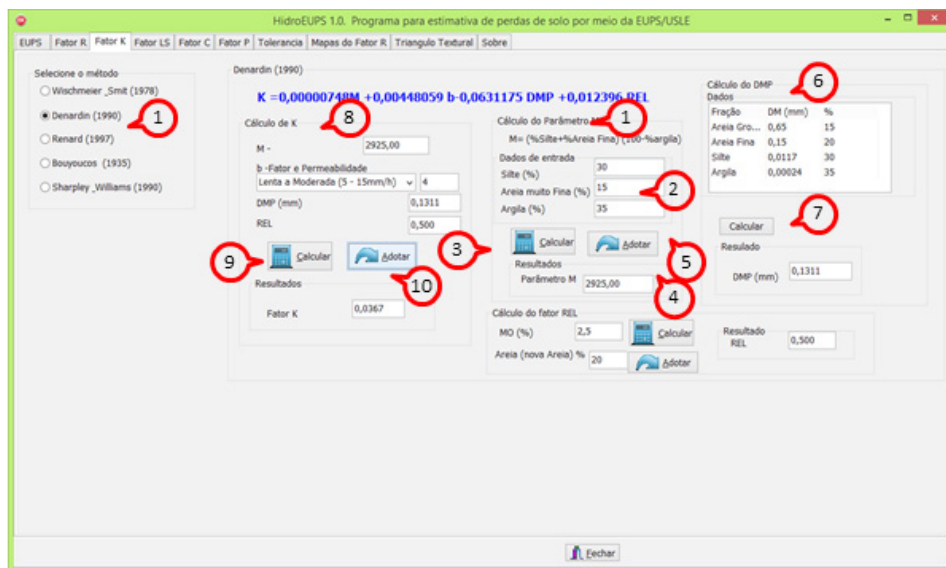


Figura 14. Quadro para estimativa do fator K pelo método de Denardin (1990)

Para o método descrito por Renard et al. (1997) (Figura 15), o programa apresenta o quadro **Cálculo do fator Dg** (1), onde se devem informar os valores dos diâmetros médios das frações texturais (2) e os percentuais (3). Ao clicar em **Calcular** (4), o programa exibe o valor do parâmetro Dg (5). Ao clicar em **Adotar** (6) o programa transfere o valor para o quadro **Cálculo de K** (7). No quadro Cálculo do fator K devem-se informar os dados solicitados e clicar em **Calcular** (8) para obter o resultado (9). Ao clicar em **Adotar** (10), o programa transfere o valor para a Aba EUPS.

Para o método de Bouyoucus (1935) (Figura 16), devem-se informar os percentuais de areia, silte e argila. Ao clicar em **Calcular** o programa o exibe valor do parâmetro K e ao clicar em **Adotar** o valor é transferido para a aba EUPS.

Para o método de Sharpley & Williams (1990) (Figura 17), devem-se informar os percentuais de areia, silte e argila. Ao clicar em **Calcular** o programa o exibe os valores do parâmetro A, B, C, D, e SN1 e também do fator K. Ao clicar em **Adotar**, o valor é transferido para a aba EUPS.

HidroEUPS 1.0. Programa para estimativa de perdas de solo por meio da EUPS/USLE

EUPS | Fator R | Fator K | Fator LS | Fator C | Fator P | Tolerancia | Mapas do Fator R | Triangulo Textural | Sobre

Selecione o método

- ☐ Wischmeier_Smit (1978)
- ☐ Denardin (1990)
- ☒ Renard (1997)
- ☐ Bouyoucos (1935)
- ☐ Sharpley_Williams (1990)

Renard et al. (1997)

Cálculo de K

Dados

Dg (mm)

Resultados

Fator K

Cálculo de Dg

Fração	DM (mm)	%
Areia Grossa	1,10	15
Areia Fina	0,1265	25
Silte	0,0275	30
Argila	0,0075	30

DG (mm)

web.whatsapp.com • agora
Luiza Back

Figura 15. Quadro para estimativa do fator K pelo método de Renard et al. (1997)

Bouyoucos

$$K = \frac{\text{Silte} + \text{Areia}}{\text{Argila}} \frac{1}{100}$$

Dados

Argila (%)

Silte (%)

Areia (%)

Resultados

Parâmetro K

Figura 16. Quadro para estimativa do fator K pelo método de Bouyoucos

Sharpley e Williams (1990)

K = A B C D 0,1317

Cálculo de K

Dados

A = 0,3296

B = 0,6968

C = -106,8114

D = 0,9999

Calcular

Resultado

Fator K 0,0016

Cálculo dos parâmetros A, B, C, D

Dados

C - Argila (%) 42

L - Silte (%) 18

S - Areia (%) 40

Co - Carbono Orgânico (%) 1,2

Resultados

A = 0,3296

B = 0,6968

C = -106,8114

D = 0,9999

SN1 = 0,6000

Calcular **Adotar**

Figura 17. Quadro para estimativa do fator K pelo método de Sharpley e Williams (1990)

Na aba **Fator LS** (Figura 18) constam as rotinas para calcular ao fator LS, onde constam as equações de Wischmeier & Smith (1978) na versão mais completa (1) e simplificada (2) e a equação de Bertoni & Lombardi Neto (2012) (3). Para estas equações deve-se informar o valor do comprimento da encosta e a declividade (4). Ao clicar em **Calcular** (5) o programa exhibe o valor de fator LS, e clicando e **Adotar** (6) o valor é transferido para a aba EUPS.

HidroEUPS 1.0. Programa para estimativa de perdas de solo por meio da EUPS/USLE

EUPS | Fator R | Fator K | Fator LS | Fator C | Fator P | Tolerancia | Mapas do Fator R | Triangulo Textural | Sobre

Método Wischmeier e Smith

$LS = \left(\frac{L}{22,1} \right)^m (0,065 + 0,045a + 0,0065a^2)$

Dados de entrada

L - Comprimento da encosta (m)

S - Ângulo do declive (%)

m - Coeficiente ajuste

Calcular **Adotar**

Resultados

LS - Fator Topográfico

Wischmeier e Smith

$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (1,36 + 0,973 + 0,1385S^2)$

Dados de entrada

L - Comprimento da encosta (m)

S - Ângulo do declive (%)

Calcular **Adotar**

Resultados

LS - Fator Topográfico

Bertoni e Lombardi Neto (1985)

$LS = 0,00984 L^{0,63} S^{1,11}$

Dados de entrada

L - Comprimento da encosta (m)

S - Declividade da encosta (%)

Calcular **Adotar**

Resultados

LS - Fator Topográfico

Fechar

Figura 18. Quadro com opções para cálculo do fator LS

Na aba **Fator C** (Figura 19) o usuário poderá consultar as tabelas indicativas do fator C (1). Ao selecionar a tabela o programa exibe a mesma na tela (2), permitindo a consulta.

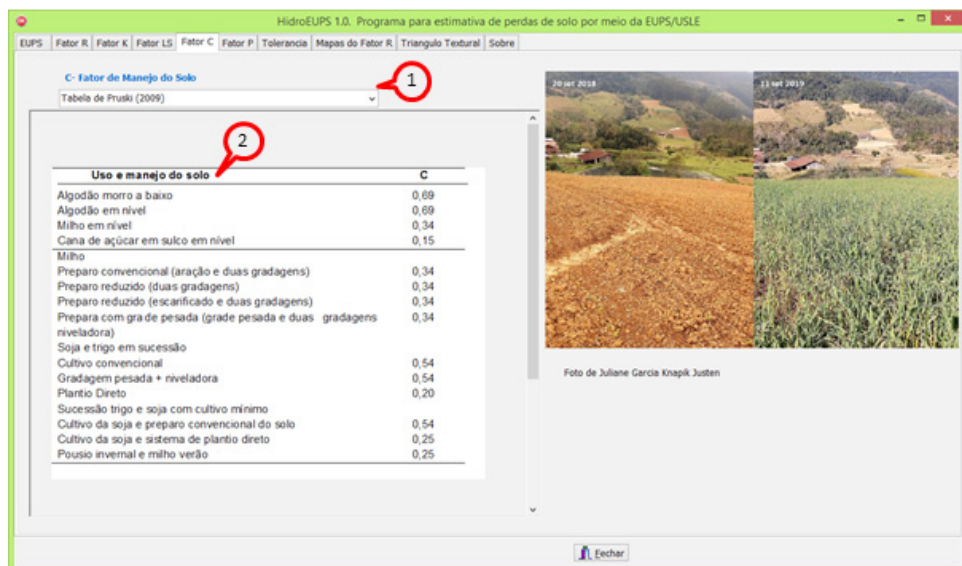


Figura 19. Tela Fator C do programa HidroEUPS

Na aba **Fator P** (Figura 20) o usuário poderá consultar as tabelas indicativas do fator P (1). Ao selecionar a tabela o programa exibe a mesma na tela (2), permitindo a consulta.

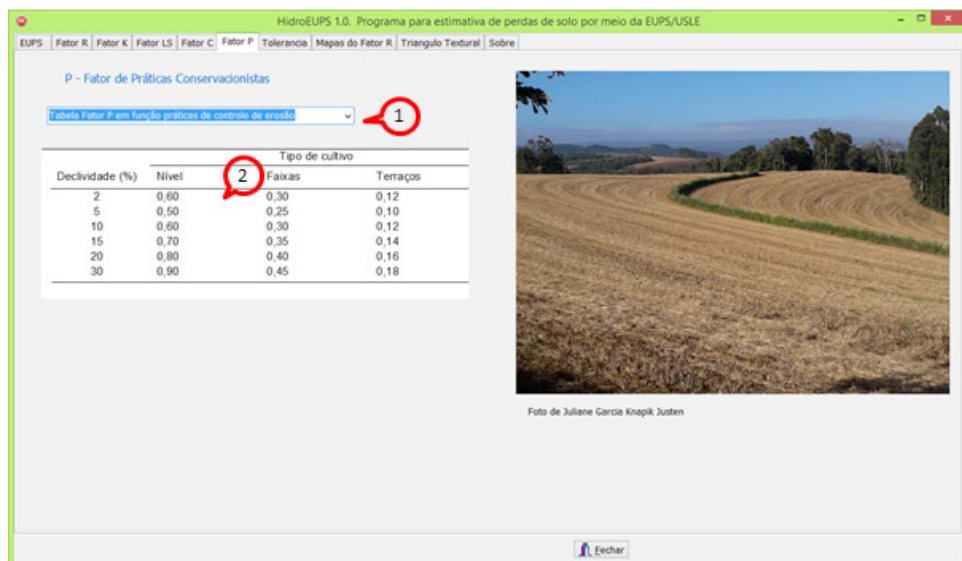


Figura 20. Tela Fator P do programa HidroEUPS

Na aba **Tolerância** (Figura 21) o usuário poderá calcular a tolerância de perda de solos pelo método de Bertoni & Lombardi Neto (1975) (1) e os métodos I (2) e II (3) indicados por Bertol & Almeida (2000). Para o cálculo da tolerância deve-se informar a espessura dos horizontes A e B (4) e a indicação da relação textural (5). Os valores do fator r (assim como os fatores r_a , m e p) podem ser consultados diretamente no programa. Informando a densidade aparente (6) do solo o programa ao clicar em **Calcular** (7) estima a tolerância em $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ($Mg\ ha^{-1}$) (8), que poderá ser comparado às perdas de solo estimadas na EUPS.

Figura 21. Tela Tolerância do programa HidroEUPS

Na aba **Mapas do fator R** (Figura 22), o usuário poderá selecionar os mapas para estimativa da erosividade do Brasil e de alguns estados, como:

- Santa Catarina;
- Paraná;
- Mato Grosso;
- Goiás;
- Espírito Santo;
- Minas Gerais;
- Rio de Janeiro;
- Pernambuco.

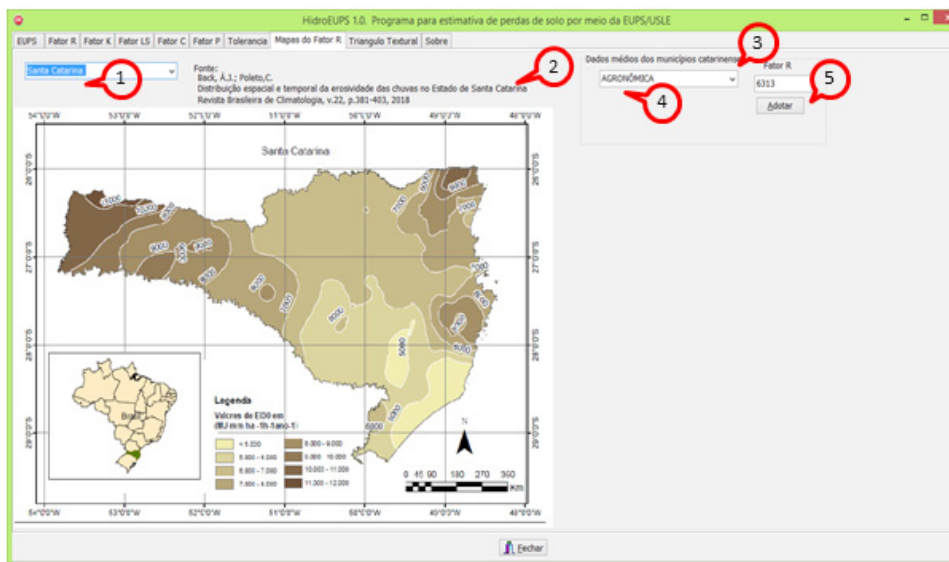


Figura 22. Tela Mapas de fator R do programa HidroEUPS

Para cada mapa selecionado (1), o programa exibe a fonte e referência (2). Para o estado de Santa Catarina o programa, além de exibir o mapa, permite obter um valor médio para cada município (3). Ao selecionar o município (4) o programa exibe o valor médio. Ao clicar em **Adotar** (5) o valor é transferido para a aba EUPS.

Na aba **Triângulo Textural** (Figura 23), constam as rotinas para classificação do solo segundo os triângulos texturais do USDA, SBCS e da Embrapa. Ao selecionar o modelo adotado (1), o programa exibe a figura com o respectivo triângulo textural (2). O usuário deverá informar os teores percentuais de areia e argila (2). O programa calcula a quantidade de silte por diferença, e exibe a classificação do solo com as principais características (3).

Na aba **Sobre** (Figura 24) constam os dados do programa, a versão e a data de atualização, além dos contatos dos autores.

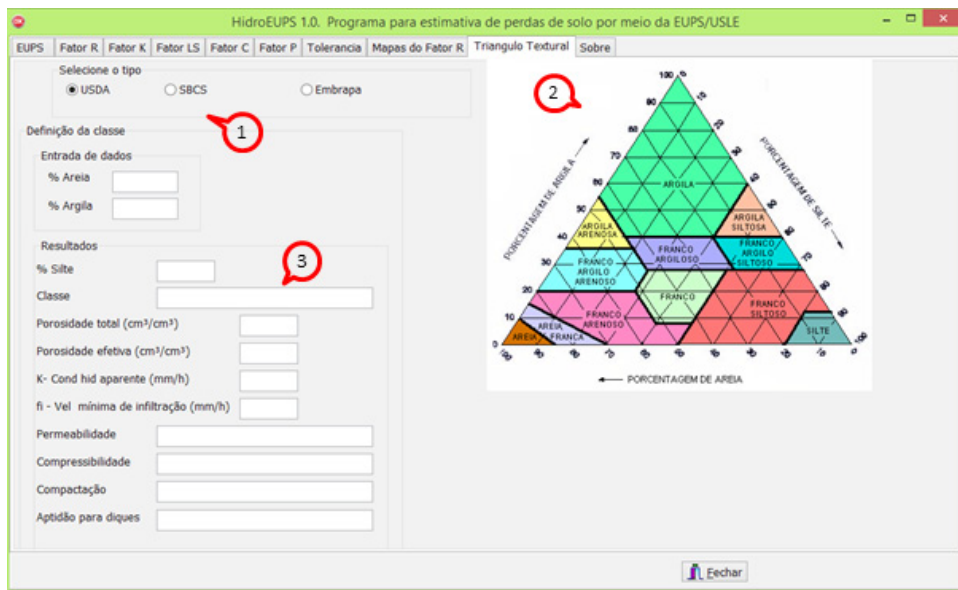


Figura 23. Tela Tolerância do programa HidroEUPS

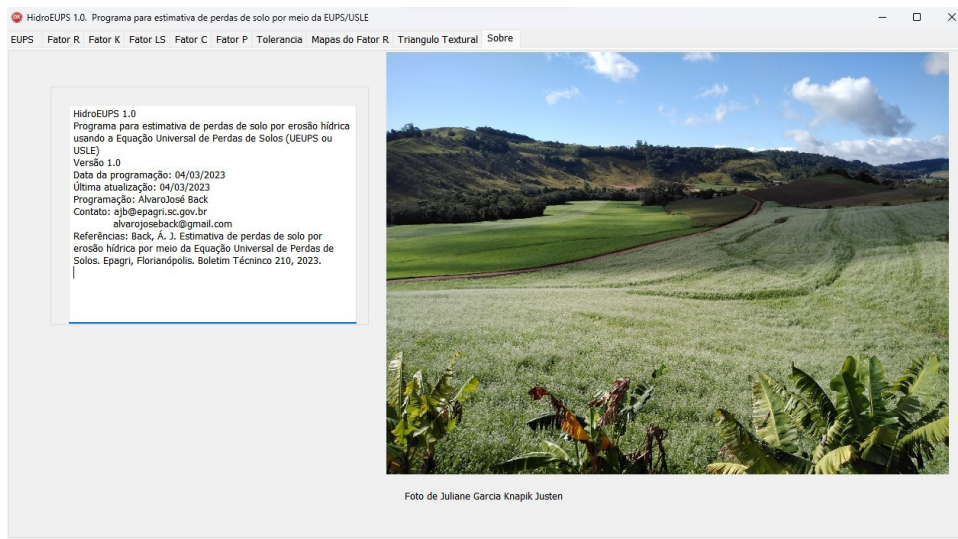


Figura 24. Tela Sobre do programa HidroEUPS

4 Exemplo de uso da EUPS

Avaliar as perdas de solo para o município de Campos Novos, em solo Terra Bruna Estruturada, cultivado com soja e trigo convencional em morro a baixo, em solos com 12% declividade e comprimento de rampa de 200m.

- Fator R = 7785 (Tabela 9);
- Fator LS = 4,65 (Equação 11);
- Fator K = 0,0187 (Tabela 19);
- Fator C = 0,54 (Tabela 21);
- Fator P = 1,0 (Tabela 27).

A perda de solos é

$$A = RKLSCP = 7785 \times 0,0187 \times 4,65 \times 0,54 \times 1,0 = 365,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}.$$

Uma vez que o limite tolerado é de $11,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 33), o exemplo mostra que o solo está em elevado processo de degradação. Em busca da sustentabilidade, foi planejado o terraceamento, reduzindo o comprimento de rampa para 80 metros. O cultivo recomendado é sucessão de soja e trigo em plantio direto. Nesta nova configuração, são alterados os seguintes fatores:

- Fator LS = 2,94 (Equação 11);
- Fator C = 0,20 (Tabela 21);
- Fator P = 0,14 (Tabela 29).

A perda de solo passa a ser:

$$A = RKLSCP = 7785 \times 0,0187 \times 2,94 \times 0,20 \times 0,14 = 11,1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}.$$

Observa-se que com as alterações propostas se reduzem consideravelmente as perdas de solo, mantendo-se numa alternativa de manejo conservacionista do solo.

Referências

- ALMEIDA, C.O.S. **Erosividade das chuvas no Estado de Mato Grosso**. Dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias. Universidade de Brasília, 2009. Brasília. 98p.
- ALMEIDA, C.O.S.; AMORIM, R.S.S.; COUTO, E.G.; ELTZ, F.L.F.; BORGES, L.E. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.178-184, 2011a.
- ALMEIDA, C.O.S.; AMORIM, R.S.S.; ELTZ, F.L.F.; COUTO, E.G.; PELISSARI, A.L. Correlação do índice de erosividade (EI30) com o coeficiente de chuvas em Cáceres (MT) e Rondonópolis (MT). Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33, 2011, Uberlândia, **Anais[...]** Uberlândia, 2011b.
- ALMEIDA, C.O.S.; AMORIM, R.S.S.; ELTZ, F.L.F.; COUTO, E.G.; JORDANI, S.A. Erosividade em quatro municípios do estado de Mato Grosso e suas correlações com dados pluviométricos. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33, 2011, Uberlândia, **Anais[...]** Uberlândia, 2011c.
- ALMEIDA, C. O. S.; AMORIM, R. S. S.; ELTZ, F. L. F.; COUTO, E. G.; JORDANI, S. A. Erosividade da chuva em municípios do Mato Grosso: Distribuição sazonal e correlações com dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.142–152, 2012.
- AMARAL, B.S.D; DANTAS, J.C.; SILVA, R.M; CARVALHO NETO, J.F. Variabilidade da erosividade das chuvas no estado da Paraíba. **Revista Brasileira Geografia Física**, v.7, p.691-701, 2014.
- AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D; PRUSKI, F.F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: PRUSKI FF. (ed.), **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**, 2 ed., Cap. 4, Viçosa: Ed. Viçosa, 2009.
- AQUINO, R.F.; SILVA, M.L.N.; FREITAS, D.A.F.; CURI, N.; MELLO, C.R. AVANZI, J.C. Erosividade das chuvas e tempo de recorrência para Lavras, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.61, n.1, p.9-16, 2014.
- ARNOLDUS, H.M.J. An approximation to the rainfall factor in the universal soil loss equation. In: DE BOODT, M.; GABRIELS, D, **Assessment of Erosion**, John Wiley and Sons, New York, 127-132, 1980.
- BACK, Á.J.; POLETO, C. Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, p.381-403, 2018.
- BACK, Á.J.; POLETO, C. Avaliação temporal do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.21, p.264-283, 2017.
- BACK, Á.J.; POLA, A.C.; LADWIG, N.I.; SCHWALM, H. Erosive rainfall in Rio do Peixe Valley in Santa Catarina, Brazil: Part I – determination of the erosivity index. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, p.774-779, 2017.
- BACK, Á.J. **Informações climáticas e hidrológicas dos municípios catarinenses (com programa HidroClimaSC)**. Florianópolis: Epagri, 2020. 157p.

BAPTISTA, G.M.M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Universa, 2003.

BERNAVIDEZ, R.; JACKSON, B.; MAXEL, D.; NORTON, K. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.22, p.6059–6086, 2018.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.1453-1458, 1994.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24. p.657-668, 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8.ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR, R. **Equação de Perdas de Solo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. (Boletim Técnico, 21).

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, D. L.; CURTI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed model. **Catena**, v.79, n.1, p.49-59, 2009.

BOUYOUCOS, G.J. The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.27, p.738-741, 1935.

CAMPOS, M.C.C.; JÚNIOR, J.M.; FILHO, M.V.M.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M.; BARBIERI, D.M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Ciência Rural**, v.38, n.9, 2008.

CANTALICE, J.R.; BEZERRA, S.A.; FIGUEIRA, S.B.; INÁCIO, E.S.; SILVA, M.D. Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco-1ª aproximação. **Revista Caatinga**, v.22, n.2, p.75-80, 2009.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 599 p.

CARVALHO, D.F.D.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Rainfall patterns and erosion indices at Seropédica and Nova Friburgo, Rio de Janeiro-Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.7-14, 2005.

CARVALHO, M.D.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. Correlação entre o índice de erosividade E130 médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Mococa-SP. **Científica**, v.19, n.1, p.1-7, 1991.

CASSOL, E.A.; MARTINS, D.; ELTZ, F.L.F. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.15, n.3, p.220-231, 2007.

CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; MARTINS, D.; LEMOS, A.M.; LIMA, V.D.; BUENO, A.C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1239-1251, 2008.

CEC - COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **CORINE soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community**. Report EUR 13233, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.1992.

- COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753, 2003.
- COLODRO, G.; CARVALHO, M.P.; ROQUE, C.G.; PRADO, R.M. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26, n.3, p.809-818, 2002.
- CORRAL-PAZOS-DE-PROVENS, E.; RAPP-ARRARÁS, I.; DOMINGO-SANTOS, J. M. Estimating textural fractions of the USDA using those of the International System: A quantile approach. *Geoderma*, v.416, n.15, 2022. 115783
- DEMARCHI, J.C.; ZIMBACK, C.R.L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura, Botucatu**, v.29, n.2, p.102-114, 2014.
- DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FLORES, C.A.; FERREIRA, T.N.; CASSOL, E.A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R.A. Energia da Gota de Chuva e da Enxurrada. In: DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FLORES, C.A.; FERREIRA, T.N.; CASSOL, E.A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R.A. **Manejo de Enxurrada em Sistema Plantio Direto**. Porto Alegre, RS: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. p.37-45. (Capítulo 3).
- DIAZ, J.S. **Control de erosión en zonas tropicales**. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial Santander, 2001. 555p.
- EL-SWAIFI, S.A.; DANGLER, E.W.; ARMSTRONG, C.L. **Soil erosion by waters in the tropics**. University of Hawaii, Research Extension Series 024, HITAGR, College of tropical agriculture and human resources, Honolulu, Hawaii. 1982. 184p.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **La erosión del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Roma: Organización de Las Naciones Unidas, 1967. 207p.
- FAO. **World reference base for soil resources**. Roma, 1998. 88p. (FAO. World soil resources reports, 84).
- FIORI, C.O.; FIORI, A. P.; HASUI, Y. Tolerância de perdas de solo na bacia do Rio Itiquira, Mato Grosso, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, n.54, p.83-99, 2004.
- FOSTER, G.R.; MCCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.36, n.6, p.355-359, 1981.
- FOURNIER, F. **The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff**. [S.l.]: Association Hydrologic Int. Public, 1956. v.38, 6 p.

GALDINO, S.; SANO, E.E.; ANDRADE, R.G.; GREGO, C.R.; NOGUEIRA, S.F.; BRAGANTINI, C.; FLOSI, A.H. Large-scale modeling of soil erosion with RUSLE for conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures. **Land Degradation & Development**, v.26, n.6, p.41-54, 2015.

GOMEZ, A.A. Sistema IUM para determinación del uso y manejo de los suelos de ladera, **Cenicafé**, Manizales, v.26, n.2, p.72-86, 1975.

GONÇALVES, F.A.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; CARVALHO, D.F.; CRUZ, E.S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.269-276, 2006.

HERNANI, L.C.; GONÇALVES, A.O.; ORTOLAN, B.; SOUZA, E.F. de.). **Procedimentos para determinação do Índice de Dissipação de Erosividade (IDE)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2020. (Documentos, 214).

HICKMANN, C.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; COGO, C.M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI 30, com base no período de 1963 a 1991. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.825-831, 2008.

HORNER, W.W.; JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transaction of the ASAE**, v.107, p.1039-1117, 1942.

HURNI, H. **Erosion-Productivity-Conservation Systems in Ethiopia**. Proceedings 4th International Conference on Soil Conservation, Maracay, Venezuela, p.654-674. 1985.

LEPRUN, J.C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste Brasileiro: balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa**. Recife: SUDENE-DRN, 1981. 106p. (Série: Brasil. SUDENE, Recursos de Solos, 15)

LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Science**, v.165, n.1, p.57-72, 2000.

LOMBARDI NETO, F.; SILVA, I.R.; CASTRO, O.M. Potencial de erosão das chuvas no Estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3, 1981, Recife, **Anais[...]**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 1981.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28)

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, v.51, n.2, p.189-196, 1992.

MACHADO, P.L.O.A.; WADT, P.G. Boas práticas agrícolas: Terraceamento. Embrapa <https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID01.pdf>. Acessado em 23 abr. 2021.

MACHADO, R.L. **Características físicas de chuvas e erosividade no estado do Rio de Janeiro e erosibilidade de Argissolo Vermelho Amarelo em Seropédica –RJ**. Tese de Doutorado em Ciências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. 2011. 117p.

MANNIGEL, A.R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D.; MEDERIOS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p.1335-1340, 2002.

MARTINS, D.; CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; BUENO, A.C. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Hulha Negra, Rio Grande do Sul, Brasil, com base no período de 1956 a 1984. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.15, n.1, p.29-38, 2009.

MAZURANA, J.; CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; BUENO, A. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.975-983, 2009.

MELLO, C.R.; SILVA, A.M.da. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Editora UFLA, 2013. 455p.

MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; CURI, N.; SILVA, A.M. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.36, n.6, p.1878-1891, 2012.

MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da Dione Pereira Cardoso et al. *Revista Verde*, v.11, n.3, p.98-103, 2016 chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.537-545, 2007.

MERRITT, W.S.; LETCHER, R.A. ; JAKEMAN, A.J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, v.18, p.761–799, 2003.

MONTEBELLER, C.A.; CEDDIA, M.B.; CARVALHO, D.F.; VIEIRA, S.R.; FRANCO, E.M. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the State of Rio de Janeiro, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p.426–435, 2007.

MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T.M.C.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.15, p.339-44, 1991

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**, 3rd edn, Blackwell Pub, Malden. 2005. 316p.

OLIVEIRA, P.T.S.; WENLAND, E.; NEARIONGA, M.A. Rainfall erosivity in Brazil. **Cattena**, v.100, p.139-147, 2012.

OLIVEIRA, P.T.S.; SOBRINHO, T.A.; RODRIGUES, D.B.B.; PANACHUKI, E. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management**, v.25, n.3, p.1021-1036, 2011.

OLIVEIRA, F.P.; SANTOS, D.; SILVA, I.F.; SILVA, M.L.N. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.8, n.2, p.60-71, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.; FERNANDEZ MEDINA, B. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.235-239, 1990.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.C. **Índice de erosividade das chuvas na região de Conceição do Araguaia, Pará**. EMBRAPA-CPATU. Boletim de pesquisa, 1996.

OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.; FERNANDEZ MEDINA, B. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.14, p.235-239, 1990.

PEÑALVA-BAZZANO, M.G.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1205-1217, 2007.

PEREIRA, A.R. Determinação de perda de solo. In: SIMPÓSIO DE EROSÃO, Anais... Belo Horizonte: Sociedade Mineira de Engenheiros (SME), **Anais [...]** 1999. 27p.

PEREIRA, H.H.G. **Índices de erosividade da chuva: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba (SP)**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1983. 70p. (Tese de Mestrado).

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SPHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science**, v.267, n.5201, p.1117-1123, 1995.

PRUSKI, F.F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 279p.

RAMIREZ-ORTIZ, F.A.; HINCAPIÉ-GÓMEZ, E.; SADEGHIAN-KHALAJABADI, S. PÉREZ, G.U. Erosividad de las lluvias en la Zona Cafetera Central y Occidental del Departamento de Caldas. **Cenicafé**, Manizales, v.58, n.1, p.40-52, 2007

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. USDA Agriculture Handbook, 251p., 1997.

RENARD, K.G.; LAFLIN, J.M.; FOSTER, G.R.; MCCOOL, D.K. The revised universal soil loss equation. In: R. Lal (ed.) **Soil Erosion Research Methods**. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, 2nd ed., 105– 124, 1994

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; PORTER, J.P. RUSLE: revised universal soil loss equation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.46, n.1, p.30–33, 1991.

ROOSE, E.J. Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa. In: GREENLAND, D. J.; LAL, R. (Eds.). **Soil conservation and management in the humid tropics**. Chichester: John Wiley & Sons, 1977. p. 177-187.

RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através da pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.439-44, 1993.

SALTON, J.C.; COMUNELLO, É.; FIETZ, C.R. **Estimativa de índices de erosividade da chuva para o Estado de Mato Grosso**. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, 2013. (Documentos 116).

SANTOS, C. N. **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. 2008. 140p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5 ed., Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356p.

SHARPLEY, A.N.; WILLIAMS, J.R. **EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator**: 1. Model Documentation. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin, v.1768, 235p., 1990.

SILVA, R.B. Avaliação da qualidade do solo sob três agrossistemas do município de Areia - PB. 2000. 39p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 2. Ed. São Carlos: RIMA, 2007. 153p

SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.10, p.275-89, 1997.

SILVA, J. R. C.; DIAS, A. S. A erosividade das chuvas em fortaleza (CE). II - Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.27, p.347-354, 2003.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, p.251-259, 2004.

SILVA, R.B.; IORI, P.; ARMESTO, C.; BENDINI, H.N. Assessing rainfall erosivity with artificial neural networks for the Ribeira Valley, Brazil. **International Journal of Agronomy**, v.2010, p.1-7, 2010.

SILVA, M.A.D.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SANTOS, G.R.D.; MARQUES, J.J.G.D. S.; MENEZES, M.D.D.; LEITE, F.P. Evaluation and spatialization of rainfall erosivity in the Rio Doce Valley, central-eastern region of Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, p.1029-1039, 2010.

SILVA, R.B.; IORI, P.; SILVA, F.D. M. Proposition and compare of equations to estimate the rainfall erosivity in two cities of São Paulo State. **Irriga**, v.14, n.4, p.533-547, 2009.

SINGH, G., CHANDRA, S., AND BABU, R. **Soil Loss and Prediction Research in India**. Ankeny, Iowa: Central Soil and Water Conservation Research Training Institute. 1981.

Soil Survey Staff, 1999. **Soil Taxonomy, a basic classification for making and interpreting soil surveys**, 2nd edition Agriculture Handbook 436. USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington. 869p

TEIXEIRA, D.B.S. **Erosividade da chuva no estado de São Paulo com base em séries sintéticas de dados pluviográficos**. 2019. 118f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019

TRINDADE, A.L.F.; OLIVEIRA, P.T.S.; ANACHE, J.A.A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.12, 2016.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. Física e Conversação do Solo. **Bragantia**, v.54, n.2, p.405-412. 1995

WALKER, D. **Professional development course training manual**. Philadelphia, Pennsylvania: International Erosion Control Association (IECA), 2004. 78p.

WALL, G.J.; COOTE, D.R.; PRINGLE E.A; SHELTON I.J. **RUSLEFAC — Revised Universal Soil Loss Equation for Application in Canada: A Handbook for Estimating Soil Loss from Water Erosion in Canada**. Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada. Ottawa. Contribution No. AAFC/AAC2244E. 2002. 117p.

WALTRICK, P.C. **Erosividade de chuvas no Paraná: Atualização, influência do El Nino e La nina e estimativas para cenários climáticos futuros**. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. UFPR. 2010. 107p.

WALTRICK, P.C.; MACHADO, M.A.D.M.; DIECKOW, J. ; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, p.256-267, 2015.

WILLIAMS J.R. Chapter 25: The EPIC model. In V.P.Singh (ed.) Computer models of watershed hydrology .**Water Resources Publications**. p. 909-1000, 1995.

WILLIAMS, J.R. Sediment routing for agricultural watersheds. **Water Resources Bulletin**, v.11, p.965-974, 1975.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**: Guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, DC: USDA, 1965. 47p. Agricultural Handbook 282.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning**. 7th International Congress Soil Science, v.1, p.418-425, 1960.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. U.S Department of Agriculture, Agr. Handbook, 537:1-58, 1978.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.26, p.189-193, 1971.



www.epagri.sc.gov.br



www.youtube.com/epagritv



www.facebook.com/epagri



www.twitter.com/epagrioicial



www.instagram.com/epagri



linkedin.com/company/epagri



<http://publicacoes.epagri.sc.gov.br>