

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE CHUVA INDIVIDUAL EROSIVA PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

MOREL DE PASSOS E CARVALHO
Engenheiro Agrônomo

1210001236



Proc. 040/2001-NPD 115/01

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCN. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBAMENTO
02/10/01	30/10/01
RECEBIMENTO	TEMPERATURA
Aleza	Te. 1236
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
ilustração autor R\$ 10,00	

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, para obtenção do Título de **Livre Docente** na disciplina de Manejo e Conservação do Solo.

ILHA SOLTEIRA
Estado de São Paulo – Brasil
Junho – 2001

50101064 MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO



AGRADECIMENTOS

- À minha mãe, D. Enide, e em memória do meu pai, Sr. João Baptista, razões da minha existência, inspirações da minha função profissional;
- À minha esposa, Rita de Cássia, e aos meus filhos, Livia e Diogo, pelo amor e compreensão dedicados;
- À minha irmã, Maira de Passos e Carvalho Chade, e ao seu esposo, Luiz Carlos Chade, pelo clima de excelente amizade e pelo auxílio prestado;
- Ao Prof. Adj. Angelo Cataneo e ao Dr. Francisco Lombardi Neto, dois amigos que decisivamente contribuíram com minha formação acadêmica;
- À Faculdade de Engenharia/UNESP – Campus de Ilha Solteira e à CAPES, pela possibilidade e apoio financeiro concedidos;
- À Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP – Campus de Botucatu e à Seção de Conservação do Solo do IAC, respectivamente pelo apoio e cessão dos dados, e
- A todos aqueles que direta, ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.



SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS	vii
RESUMO	ix
SUMMARY	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Equação universal de perda de solo	5
2.2. Análise conceitual de chuva individual erosiva	8
2.2.1. Critérios e sugestões para conceituação da chuva individual erosiva	8
2.2.2. Utilização dos critérios de conceituação da chuva individual erosiva pela pesquisa brasileira relatada na Revista Brasileira de Ciência do Solo	11
2.2.3. Comentários sobre os estudos efetuados	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Material utilizado.....	20
3.1.1. Caracterização do local de origem dos dados	20
3.1.1.1. Estação Experimental de Campinas	20
3.1.1.2. Estação Experimental de Mococa	21
3.1.1.3. Estação Experimental de Pindorama	21



	Página
3.1.2. Pluviógrafo e pluviogramas utilizados	22
3.1.3. Mesa digitalizadora, computador e programas computacionais utilizados	22
3.1.3.1. Digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva	23
3.1.3.2. Passagem dos pontos de inflexão da intensidade da chuva pela consistência, processamento e análise de regressão das variáveis ...	23
3.1.4. Parcela de campo representativa do solo e sistema coletor de solo e enxurrada.	24
3.2. Método empregado	24
3.2.1. Obtenção das características da chuva e da perda de solo	24
3.2.1.1. Determinação do número total de chuvas estudadas	25
3.2.1.2. Cotamento dos pontos de inflexão da intensidade da chuva	26
3.2.1.3. Digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva	26
3.2.1.4. Passagem dos pontos de inflexão da intensidade da chuva pela consistência, correção e redigitalização	27
3.2.1.5. Determinação das características estudadas da chuva	27
3.2.1.6. Determinação da perda de solo	29
3.2.2. Metodologia do estudo da análise conceitual da chuva individual erosiva	31
3.2.2.1. Análise preliminar	33



3.2.2.1.1. Situações estatísticas referentes ao primeiro critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas ($1S_n$)	33
3.2.2.2. Análise final.....	35
3.2.2.2.1. Situações estatísticas referentes ao segundo critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas ($2S_n$).....	35
3.2.2.2.2. Situações estatísticas referentes ao terceiro critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas ($3S_n$).....	36
3.2.2.3. Análise estatística	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Análise das situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas ($1S_n$)	41
4.1.1. Análise das situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas, para fins de correlação com a erosão.	43
4.1.2. Análise das situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas para fins de determinação do fator R	44
4.2. Análise das situações estatísticas referentes ao segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas ($2S_n$)	45



Página

4.2.1. Análise das situações estatísticas referentes ao primeiro estudo do segundo critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas estudadas ($21S_n$)	45
4.2.2. Análise das situações estatísticas referentes ao segundo estudo do segundo critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas estudadas ($22S_n$)	47
4.3. Análise das situações estatísticas referentes ao terceiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas ($3S_n$)	49
4.4. Considerações finais	52
5. CONCLUSÕES	53
6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	54



LISTA DE QUADROS

Quadro nº		Página
01	Situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas ($1S_n$)	34
02	Situações estatísticas referentes ao primeiro estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas ($21S_n$) com $n = \text{TRPC}$	37
03	Situações estatísticas referentes ao segundo estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas ($22S_n$) com n extraído dentro do universo do TRPC	38
04	Situações estatísticas referentes ao terceiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas ($32S_n$), com n extraído dentro do universo de todas 1239 chuvas.	39
05	Correlação entre o EI_{30} e a perda de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao primeiro critério ($1S_n$) de seleção das chuvas individuais erosivas, ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama no período de 01/07/79 a 30/06/85	42



Quadro nº

Página

- 06 Correlação entre as intensidades máximas, de 5 em 5 minutos até 60 (In), e as perdas de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao **primeiro estudo do segundo critério; (21S_n – intensidades máximas de 5 em 5 minutos-I_n)** de seleção das chuvas individuais erosivas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama entre 01/07/79 a 30/06/85. Número de eventos (n) igual a 318 = (1239 – 921) = TRPC 46
- 07 Correlação entre o EI₃₀ e a perda de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao **segundo estudo do segundo critério; (22S_n – classes de quantidades de chuva ocorridas em 15 minutos)** de seleção das chuvas individuais erosivas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama entre 01/07/79 a 30/06/85 48
- 08 Correlação entre o EI₃₀ e a perda de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao **terceiro critério; (3S_n – classes de energia cinética)** de seleção das chuvas individuais erosivas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama entre 01/07/79 a 30/06/85 50



CARVALHO, M.P. Critérios de classificação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo. Ilha Solteira, UNESP, 2001, 62p. Tese (Livre Docência em Manejo e Conservação do Solo) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2001.

RESUMO

Foram analisados os critérios para conceituação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo, destinados ao estudo do fator erosividade da chuva, como também para o estudo da correlação do EI_{30} com as perdas de solo por erosão. Para tanto, foram analisados dados pluviográficos e de perda de solo e/ou enxurrada por erosão de 83, 71 e 53 parcelas anuais mantidas continuamente em condições de alqueive, respectivamente das Estações Experimentais de Conservação do Solo de Campinas, Mococa e Pindorama, pertencentes ao Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, Brasil.

Para o estudo de correlação, foram feitas análises de regressão linear simples, entre os EI_{30} das chuvas e as respectivas perdas de solo, compreendidas entre 01/07/1979 e 30/06/1985, de forma a investigar as situações estatísticas necessárias ao estabelecimento dos critérios conceituais de chuva individual erosiva. Foram separadas 1239 destas chuvas para as três localidades, sendo 961 classificadas como erosivas, assim como 278 como não erosivas, mas que proporcionaram perda de solo e/ou enxurrada. As análises computacionais e



estatísticas necessárias foram realizadas na Faculdade de Ciências Agrônômicas e na Faculdade de Engenharia, respectivamente dos Campi de Botucatu e Ilha Solteira, ambos da Universidade Estadual Paulista / UNESP.

A análise final para classificação da chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo possibilitou concluir que, quando o propósito do estudo for o de correlação do EI_{30} com as perdas de solo por erosão, devem ser adotados os seguintes critérios: 1) considerar todas as chuvas maiores ou iguais a 10,0 mm; 2) considerar aquelas menores do que 10,0 mm se apresentarem uma quantidade maior ou igual a 6,0 mm em 15 minutos, e 3) considerar todas as que apresentaram perda de solo por erosão e/ou enxurrada. Por outro lado, quando o propósito do estudo for o de determinação do fator erosividade da chuva R , tais critérios devem ser: 1) considerar todas as chuvas maiores ou iguais a 10,0 mm, e 2) considerar aquelas menores do que 10,0 mm se apresentarem uma quantidade maior ou igual a 6,0 mm em 15 minutos.

TERMOS DE INDEXAÇÃO: equação universal de perda de solo (modificada e remodificada), USLE, MUSLE, RUSLE, erosividade da chuva, fator erosividade da chuva, erosão do solo.



CARVALHO, M.P. Classification criterions of erosive individual-storm at the São Paulo State, Brazil. Ilha Solteira, 2001, 62p. Tese (Livre Docência em Manejo e Conservação do Solo) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2001.

SUMMARY

The criterions to classify the erosive individual-storm, used in rainfall erosivity factor, as well as to study the correlation of the EI_{30} index with the erosion soil losses, were investigated at Sao Paulo State, Brazil. Therefore, recording rain gauge and erosion soil loss and/or runoff data were analysed from 83, 71 and 53 annual plots, maintained everytime in continuous fallow, and located, respectively, in Campinas, Mococa and Pindorama Experimental Stations, Instituto Agronômico of the State of São Paulo, Brazil.

To study the correlation, analysis of simple linear regression, between the rainfall EI_{30} indexes and the respectives soil losses, at the period July 01, 1979 and June 30, 1985, were made to research the necessary statistical treatments to the establishment of the criterions of the erosive individual-storm. A total of 1,239 individual-storms from those localities were considered for the correlation study, 961 erosive storms, and, 278 non-erosives rains, however with significant losses of soil and/or runoff. The computacional and statistical analysis were made in the Faculdade de Ciências Agronômicas (Botucatu City) and Faculdade de Engenharia (Ilha Solteira City) / UNESP.



The conclusive analysis to the classification of erosive individual-storm at the State of Sao Paulo were destined to two purposes. In the first case, with a view to study the correlation of the EI_{30} index with the erosion soil losses, the following criterions will must be used: 1) to compute the EI_{30} index for all storms equal or greater than 10.0 mm; 2) to compute the EI_{30} index for storms of less than 10.0 mm only if they to show a precipitation equal or greater than 6.0 mm in 15 minutes, and 3) to compute the EI_{30} index for all storms with erosion soil losses and/or runoff. Otherwise, with a view to determine the rainfall erosivity factor (R), to use the following criterions: 1) to compute the EI_{30} index for all storms equal or greater than 10.0 mm, and 2) to compute the EI_{30} index for storms of less than 10.0 mm only if they to show a precipitation equal or greater than 6.0 mm in 15 minutes.

INDEX TERMS: universal soil loss equation (modified and remodified), USLE, MUSLE, RUSLE, rainfall erosivity, rainfall erosivity factor, soil erosion.



1. INTRODUÇÃO

O estudo da correlação, dos parâmetros da chuva com a erosão nas condições de alqueive contínuo, evidenciou que a melhor variável simples para a predição destas perdas foi dada pelo produto da energia cinética total da chuva (E) pela sua intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}), representada pelo índice EI_{30} (WISCHMEIER & SMITH, 1958). Erosividade, definida como o potencial da chuva causar erosão, é exclusivamente função das características da própria chuva, entre as quais: quantidade, diâmetro e velocidade terminal da gota, intensidade e energia cinética. Assim, a pesquisa tem demonstrado que os parâmetros que proporcionam as correlações mais elevadas com as perdas de solo são a intensidade e a energia cinética (HUDSON, 1973).

WISCHMEIER & SMITH (1965, 1978) relataram que a somatória dos EI_{30} das chuvas individuais erosivas de um determinado mês constitui-se no seu EI_{30} mensal. Da mesma forma, a somatória dos EI_{30} mensais constitui o EI_{30} anual. Assim, o índice EI_{30} médio anual, quando oriundo de uma série pluviográfica contínua de pelo menos 22 anos de idade, constitui-se no fator erosividade da chuva, ou **fator R**, do local pesquisado.



A equação universal de perda de solo relaciona todas as variáveis que influenciam a erosão acelerada do solo que são: fator erosividade da chuva, fator erodibilidade do solo, fator comprimento e grau de inclinação do declive, fator cobertura e manejo do solo e fator prática conservacionista do solo. Sua utilização tem o objetivo de prever a perda média anual de solo, causada pela erosão acelerada, que poderá ocorrer num determinado local agricultado.

O cálculo da energia cinética total da chuva, como um componente do EI_{30} , requer a definição exata de **chuva individual erosiva**. O tempo mínimo e ótimo, definido como intervalo entre duas chuvas, é função da variação da taxa de infiltração do solo, após o término do primeiro evento. Esse tempo, indubitavelmente, varia com o tipo de solo. No geral, as melhores correlações do EI_{30} com a perda de solo foram obtidas quando as chuvas separadas por um tempo menor do que 6 horas foram tomadas como únicas (WISCHMEIER, 1959). Por outro lado, WISCHMEIER & SMITH (1978) omitiram do cálculo do fator R as chuvas menores do que 0,5 polegada (12,7 mm) e separadas de outra por mais do que 6 horas, a menos que ocorresse o caso de 0,25 polegada (6,4 mm) em 15 minutos. Dessa forma, tal procedimento poupou muito trabalho desnecessário, uma vez que um número considerável de chuvas de inexpressiva erosividade não foi utilizado. Portanto, a partir de tais critérios, os autores conceituaram a chuva individual erosiva, para o propósito de utilização na equação universal de perda de solo.

Os critérios de seleção das chuvas individuais erosivas (WISCHMEIER, 1959) para o estudo do fator R foram os seguintes: 1ª) considerar as chuvas maiores do que 0,5 polegada (12,7 mm), e 2ª) considerar a chuva menor do que 0,5 polegada se ela apresentar,



pelo menos, um segmento de intensidade que proporcione 0,25 polegada (6,4 mm) em 15 minutos. Entretanto, detalhando o estudo de correlação entre a perda de solo por erosão e a erosividade da chuva, WISCHMEIER (1956) já havia relatado um terceiro critério para seleção das chuvas individuais erosivas, que considerava a inclusão das chuvas com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha.

CABEDA (1976), trabalhando com erosividade da chuva do Rio Grande do Sul, foi o primeiro pesquisador nacional preocupado em adequar o conceito norte-americano de chuva individual erosiva para as condições brasileiras. Seu critério estabelecido foi o seguinte: 1^º) computar o valor do EI_{30} para chuvas com 10,0 mm ou mais; 2^º) computar o valor do EI_{30} para as chuvas com menos do que 10,0 mm, se a quantidade de chuva em 15 minutos for de 6,0 mm ou mais; 3^º) chuvas separadas por menos do que 6 horas, com qualquer quantidade nesse período, ou chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais, com 1,0 mm ou mais de chuva nesse período, devem ser tratadas como única chuva individual, e 4^º) chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais, com menos do que 1,0 mm nesse período, deverão ser tratadas como diferentes chuvas. Posteriormente, MARIA (1994) adicionou o critério de WISCMEIER (1956), que tratava da inclusão das chuvas com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha, juntamente àqueles de CABEDA (1976), compondo, desta forma, um novo critério.

A grande maioria dos pesquisadores brasileiros de erosividade da chuva, tais como ELTZ et al. (1984), MOURA & MEDEIROS (1987), CARVALHO et al. (1989 a, b; 1991 a, b; 1993; 1997), MORAIS et al. (1991), CANTALICE & MARGOLIS (1993), LOPES & BRITO (1993), CARVALHO & HERNANI (2001) e ROQUE et al. (2001), que trabalhou



com o índice EI_{30} , utilizou os critérios de WISCHMEIER (1959), WISCMEIER & SMITH (1978), que foram modificados por CABEDA (1976), para definir chuva individual erosiva. Uma quantidade muito pequena (BERTOL, 1994; ALBUQUERQUE et al., 1998) trabalhou exclusivamente com os critérios de WISCMEIER (1959), assim como outra pequena quantidade (SILVA et al., 1997; MARQUES et al., 1997), com aqueles de MARIA (1994). Um grupo deles não apresentou um critério único e bem definido, ainda que tal idéia tivesse sido desenvolvida a partir daquela de Wischmeier e Smith, entre eles MEDINA & OLIVEIRA JUNIOR (1987), MORAIS et al., (1988 a,b), e OLIVEIRA JUNIOR & MEDINA (1990). Por outro lado, poucos pesquisadores trabalharam com o critério de HUDSON (1973), o qual preconizou que chuva individual erosiva é aquela que apresenta, pelo menos, um segmento com intensidade maior ou igual a 25,0 mm/h (CHAVES, 1977; PEREIRA, 1983; CHAGURI NETO, 1984, e CARVALHO et al., 1991 a).

As múltiplas formas de conceituação de chuva individual erosiva pelos pesquisadores nacionais são notórias. Portanto, sabendo-se deste problema, o presente trabalho objetivou, para as condições do Estado de São Paulo, estabelecer critérios para a conceituação de chuva individual erosiva, para o propósito do estudo do fator erosividade da chuva R , assim como para o estudo de correlação do EI_{30} com as perdas de solo por erosão.



2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Equação universal de perda de solo

A equação universal de perda de solo foi desenvolvida pelo *National Runoff and Soil Loss Data Center*, juntamente com a Universidade de Purdue (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978). Uma cooperação entre os projetos de pesquisa estaduais e federal de 49 localidades norte-americanas contribuiu com mais de 10000 parcelas anuais de dados de enxurrada e de perda de solo para este acontecimento. A equação apresentada prediz a perda média anual de solo de um local qualquer, através do produto de suas seis variáveis, cujos valores podem ser expressos numericamente. Sua representação no Sistema Internacional de Unidades (FOSTER et al., 1981) foi a seguinte:

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

onde:

A é a perda média anual de solo (t/ha.ano); **R** é o fator erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano); **K** é o fator erodibilidade do solo (t.ha.h/ha.MJ.mm); **L** é o fator comprimento do declive; **S** é o fator grau do declive; **C** é o fator uso e manejo, e **P** é o fator prática conservacionista. As variáveis L, S, C e P são adimensionais.



WISCHMEIER & SMITH (1958) estudaram a correlação entre a energia cinética da chuva e a perda de solo, desenvolvendo a equação de regressão, de elevada significância estatística:

$$E = 916 + 331 \log I \dots\dots\dots (r^2 = 0,98) \dots\dots\dots (2)$$

onde:

E é a energia cinética (tf.pé/acre.pol) e I é a intensidade da chuva (pol/h). A referida equação foi baseada em dados detalhados de distribuição do tamanho de gotas da chuva de LAWS & PARSON (1943), como também em velocidades terminais de vários tamanhos de gota, avaliados tanto por LAWS (1941) como por GUNN & KINZER (1949). Posteriormente, FOSTER et al. (1981) fizeram a conversão da equação (2) para o Sistema Internacional de Unidades, dada por:

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I \dots\dots\dots (r^2 = 0,98) \dots\dots\dots (3)$$

onde:

E é a energia cinética (MJ/ha.mm) e I é a intensidade da chuva (mm/h).



WISCHMEIER & SMITH (1958), quando correlacionaram parâmetros da chuva com as perdas do solo, encontraram como sendo a melhor variável simples para a predição da perda de solo em alqueive aquela que foi dada pelo produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos. Este produto - EI ou EI₃₀, de efeito linear sobre as perdas - refletiu as capacidades erosivas combinadas do impacto da gota da chuva e da enxurrada. Posteriormente, WISCHMEIER (1973) sugeriu que o índice EI₃₀ era um avaliador da capacidade desagregadora da enxurrada, tão bom quanto da chuva. Portanto, uma vez que o E e o I₃₀ foram indicativos respectivamente da quantidade de chuva e da taxa do pico de descarga da enxurrada, o índice em questão era, além disso, um avaliador da capacidade de desagregação e do transporte de sedimentos pela enxurrada.

A soma dos EI₃₀ das chuvas individuais erosivas, procedida para um determinado período de tempo, constitui-se na erosividade da chuva de tal período. Devido ao padrão cíclico aparente dos dados pluviais, previamente descritos por NEWMAN (1970), os índices de erosividade médios anuais norte-americanos foram publicados com base em amostras contínuas de 22 anos. Na prática, a somatória dos EI₃₀ das chuvas individuais erosivas de um determinado mês constitui-se no seu EI₃₀ mensal. Da mesma forma, a somatória dos EI₃₀ mensais constitui o EI₃₀ anual. Finalmente, o índice EI₃₀ médio anual, quando oriundo de uma série contínua de pelo menos 22 anos de dados, constitui-se no fator erosividade da chuva ou fator R (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978).

A função do fator R é a de quantificar a correlação existente entre a força erosiva da chuva e a da enxurrada. O índice utilizado para representá-lo deve ser estatisticamente consolidado, através da análise de um longo período de dados meteorológicos. Dessa forma, o índice EI₃₀ comportou-se como o melhor avaliador da erosividade da chuva por ter proporcionado as mais elevadas correlações com a perda de solo. O seu componente E quantifica a energia cinética da chuva; contudo, não fornece nenhuma informação sobre a distribuição temporal da mesma, ou sobre a sua quantidade de enxurrada



capaz de transportar o solo desagregado. Assim, para diversas situações e regiões do globo terrestre, tais como o degelo e a abundância de enxurrada, o EI_{30} não prediz o potencial erosivo desta última. Portanto, será necessário adicioná-lo a um parâmetro preditor da erosividade da enxurrada (WISCHMEIER, 1972).

A **parcela unitária ou parcela padrão** - ponto de referência para avaliação dos fatores da equação universal de perda de solo - foi arbitrariamente definida da seguinte forma: parcela com 72,6 pés de comprimento (22,13m); declive uniforme de 9,0% no sentido do comprimento; mantida continuamente em condições de alqueive, e cultivada *morro-abaixo* de forma a manter a superfície do solo livre de crostas. Foram selecionadas estas dimensões porque a maioria das parcelas norte-americanas de estudo de erosão, no período de 1930 a 1960, foram assim estabelecidas. A condição de alqueive contínuo foi padronizada por duas razões: a) as culturas e os sistemas de cultivo não eram comuns a todas as áreas agricultadas, e b) a perda de solo para qualquer outra condição seria influenciada tanto pelos efeitos residuais como pelo uso e manejo em vigor, os quais variaram de local para local (WISCHMEIER, 1972).

2.2. Análise conceitual de chuva individual erosiva

2.2.1. Critérios e sugestões para conceituação da chuva individual erosiva

WISCHMEIER & SMITH (1958), estudando inicialmente a energia cinética da chuva e sua correlação com a perda de solo, relataram como chuvas individuais erosivas aquelas com meia polegada (12,7 mm) ou mais, como também as menores que esta quantia, mas que resultaram uma apreciável enxurrada. Este estudo foi desenvolvido através de correlação múltipla.



O cálculo da energia cinética da chuva, como um componente do valor do EI_{30} , requer definição exata de uma **chuva individual**. Assim, o menor tempo necessário para caracterizar a ausência de precipitação entre duas chuvas é função da taxa de infiltração após o término da primeira e, sem dúvida, varia com o tipo de solo. No geral, as melhores correlações, da perda de solo com o EI_{30} , foram obtidas quando as chuvas separadas por um tempo menor do que 6 horas foram tratadas como únicas, isto é, como **chuvas individuais** (WISCHMEIER, 1959).

Particularmente para uma chuva, o valor do EI_{30} pode ser calculado através do respectivo pluviograma, com o auxílio de uma tabela de cálculo da energia cinética, publicada em 1958 (WISCHMEIER & SMITH, 1965).

HUDSON (1973) conceituou como chuva individual erosiva aquela com, pelo menos, um segmento de intensidade maior ou igual a 25,0 mm/h. Seu conceito originou o índice $KE > 25$ para determinação do fator R.

CABEDA (1976), trabalhando com a erosividade da chuva do Rio Grande do Sul, foi o primeiro pesquisador brasileiro preocupado em adequar o conceito norte-americano de chuva individual erosiva para nossas condições. Sua proposição foi a seguinte:

- 1ª) computar o valor do EI_{30} para chuvas com 10,0 mm ou mais;
- 2ª) computar o valor do EI_{30} para chuvas com menos do que 10 mm, se a quantidade de chuva em 15 minutos for de 6,0 mm ou mais;
- 3ª) chuvas separadas por menos do que 6 horas, com qualquer quantidade precipitada nesse período, ou, ainda, chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais, com 1,0 mm ou mais precipitado nesse período, devem ser tratadas como única chuva individual, e

4º) chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais, com menos do que 1,0 mm nesse período, deverão ser tratadas como distintas.

LOMBARDI NETO (1977), baseado no conceito inicial de WISCHMEIER (1959), estabeleceu o seguinte critério para a seleção das chuvas individuais erosivas. Todas as chuvas de 10,0 mm ou mais, ou aquelas menores do que isso, mas que proporcionaram significativas enxurradas, foram selecionadas para o cálculo da quantidade total, tempo total, energia cinética total, intensidade máxima em 30 minutos e EI_{30} . Por outro lado, chuvas separadas por menos de 6 horas foram tidas como únicas, para o cálculo do EI_{30} . Assim, se houvesse duas delas durante o mesmo dia, num único pluviograma, separadas por mais de 6 horas, seus valores do EI_{30} teriam sido avaliados separadamente. Contudo, o valor diário do EI_{30} foi estabelecido como sendo a soma dos EI_{30} de ambas.

WISCHMEIER & SMITH (1978) relataram que chuvas que possuíam menos do que 0,5 polegada (12,7 mm), e separadas de outra por um período maior do que 6 horas, foram omitidas do cálculo do fator R, a menos que uma quantia de 0,25 polegada (6,4 mm) fosse precipitada em 15 minutos. As análises exploratórias iniciais deste caso evidenciaram que os valores do EI_{30} destas chuvas eram insignificantes e que, portanto, proporcionaram um mínimo efeito sobre as porcentagens dos EI_{30} mensais, componentes do fator R final. Foi economizado muito, em termos de tempo e dinheiro, nas análises dos dados de intensidade de chuva, necessários ao EI_{30} , através da adoção do *nível de threshold* de 0,5 polegada para conceituação de chuvas não-erosivas.



FOSTER et al. (1981), conceituando as chuvas não-erosivas, afirmaram que as menores do que 13,0 mm (0,5 polegada), e separadas de outra por um tempo superior a 6 horas, não devem ser incluídas no cálculo do fator R, a menos que a quantia 6,0 mm (0,25 polegada) seja precipitada em 15 minutos.

LOMBARDI NETO*, em todos os seus trabalhos de erosividade da chuva, sabia previamente dos dois conceitos clássicos de chuva individual erosiva, originados de WISCHMEIER (1959) e WISCHMEIER & SMITH (1978), que eram: 1) considerar as chuvas maiores do que 0,5 polegada (12,7 mm), e 2) considerar aquelas menores do que 0,5 polegada se elas apresentassem 0,25 polegada (6,4 mm) em 15 minutos. Entretanto, naquela época, o referido autor comentava que WISCHMEIER (1956) defendia a idéia de que também deveriam ser incluídas, como terceiro conceito de tais chuvas, aquelas que tivessem uma energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha.

MARIA (1994) considerou como chuva não-erosiva aquela: a) menor do que 10,0 mm; b) com intensidade máxima em 15 minutos menor do que 24,0 mm/h, e c) com energia cinética total abaixo de 3,6 MJ/ha. Foram consideradas chuvas distintas aquelas separadas por um período superior a 6 horas e com precipitação menor do que 1,0 mm neste período.

2.2.2. Utilização dos critérios de conceituação da chuva individual erosiva pela pesquisa brasileira relatada na Revista Brasileira de Ciência do Solo

CASTRO FILHO et al. (1982) utilizaram a metodologia de WILKINSON (1975) para o cálculo do potencial erosivo das chuvas do Estado do Paraná através do EI_{30} . Contudo, no trabalho em questão não foi citado nenhum critério de selecionamento para as chuvas individuais erosivas.

* LOMBARDI NETO, F. Comunicação pessoal. 1992. (Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, Campinas, São Paulo, Brasil).



CATANEO et al. (1982) foram, talvez, os primeiros pesquisadores a propor um programa computacional para cálculo de índices de erosividade da chuva. No trabalho em questão, foi citado que a metodologia de plotagem dos pluviogramas foi aquela descrita em LOMBARDI NETO (1977).

ELTZ et al. (1984), trabalhando com as perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais no Rio Grande do Sul, relataram que o índice de erosividade EI_{30} das chuvas naturais, ocorridas durante o período experimental, foi calculado segundo os critérios propostos por WISCHMEIER (1959), modificados por CABEDA (1976). Para tanto, utilizaram os dados de chuva registrados em pluviogramas diários, obtidos pela instalação de um pluviógrafo a 300m de distância da área experimental.

RUFINO (1986), na avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná (segunda aproximação), plotou os pluviogramas, das chuvas consideradas erosivas, segundo a metodologia descrita por WILKINSON (1975). Os índices de erosividade EI_{30} das chuvas foram calculados pela equação expressa em CASTRO FILHO et al. (1982), transformando-se tais valores para o Sistema Internacional de Unidades pelo fator de conversão contido em FOSTER et al. (1981).

Foi efetuada a aplicação de alguns índices erosivos em Latossolo Amarelo de Manaus (MEDINA & OLIVEIRA JUNIOR, 1987). Desta forma, “para o cálculo dos EI_{30} foram consideradas as chuvas maiores do que 10 mm, **exceto** quando eram iguais ou superiores a 6 mm, num período de 15 minutos ou menos. As chuvas se separaram por intervalos de 6 horas sem precipitações, ou com precipitações menores de 1 mm”.

MOURA & MEDEIROS (1987) efetuaram a determinação da erosividade da chuva de Mossoró (RN). Desta forma, o cálculo da erosividade foi feito, para as chuvas



consideradas erosivas, conforme CABEDA (1976). Portanto, foram consideradas todas as chuvas individuais que apresentaram 10,0 mm ou mais de precipitação total, e aquelas com menos de 10,0 mm, se a quantidade fosse de 6,0 mm num período de 15 minutos.

MORAIS et al. (1988 a,b) relataram que o índice EI_{30} , a exemplo do que ocorre rotineiramente no Brasil, foi calculado para as chuvas individuais erosivas registradas nos experimentos, conforme os métodos de CABEDA (1976) e FOSTER et al. (1981).

CARVALHO et al. (1989 a,b) estudaram a erosividade da chuva de Mococa (SP) visando determinar o melhor índice de erosividade local, assim como obter o fator R em questão. Para o primeiro caso, foram separadas 352 chuvas individuais erosivas, conceituadas e cotadas conforme WISCHMEIER (1959), WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976), como também 73 chuvas não-erosivas, mas que proporcionaram significativas perdas de solo e/ou enxurrada. O índice $KE > 25$ foi selecionado, dentre todas as 425 chuvas, pelo programa de CATANEO et al. (1982), através do conceito de HUDSON (1973). Por outro lado, para a caracterização do fator R local foram separadas 1011 chuvas individuais erosivas, selecionadas segundo WISCHMEIER (1959), WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976).

Para o reestudo da erosividade de Manaus através do EI_{30} das chuvas individuais erosivas, OLIVEIRA JUNIOR & MEDINA (1990) adotaram o método proposto por WISCHMEIER & SMITH (1958), analisando-se todas as chuvas maiores de 10,0 mm, assim como aquelas iguais ou superiores a 6,0 mm, em 15 minutos ou menos. As chuvas separadas por intervalos de 6 horas sem precipitação, ou com precipitação menor de 1,0 mm nesse período, foram consideradas como distintas.



Foi estudada a correlação do índice EI_{30} com o coeficiente de chuva do sudoeste do Estado do Mato Grosso (MORAIS et al., 1991). Para a separação da chuva individual erosiva foi usado o critério de CABEDA (1976), considerando-se aquelas com 10,0 mm ou mais de precipitação ou aquelas onde ocorria precipitação de 6,0 mm ou mais, num período qualquer de 15 minutos.

CARVALHO et al. (1991a) determinaram o fator erosividade da chuva R de Mococa (SP) através do $KE > 25$. Para a caracterização de tal fator, foi tomada uma série de 1011 chuvas individuais erosivas, previamente processadas e selecionadas segundo critérios de WISCHMEIER (1959), WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976). Seguidamente, foram selecionadas das 1011 iniciais aquelas que apresentavam pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 25,0 mm/h, para a composição do $KE > 25$ de HUDSON (1973). Todo o processamento computacional foi efetuado pelo programa de CATANEO et al. (1982).

CARVALHO et al. (1991b) analisaram a correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva de Mococa (SP), através da metodologia de WISCHMEIER (1959), WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976), para o selecionamento das chuvas individuais erosivas estudadas.

RUFINO et al. (1993) determinaram o potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná (Fator R) pelo índice EI_{30} , calculado pela equação apresentada por CASTRO FILHO et al. (1982). Para a seleção de tais chuvas, foram classificados eventos erosivos e não-erosivos, segundo procedimentos de WISCHMEIER & SMITH (1958) e CABEDA (1976).

CARVALHO et al. (1993) estudaram as correlações de índices de erosividade da chuva e da enxurrada com as perdas de solo de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). As



chuvas individuais erosivas estudadas, originadas de um único pluviograma e conceituadas por WISCHMEIER (1959), WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976), foram as que atenderam às seguintes características: (a) apresentaram um volume de 10,0 mm ou mais; (b) apresentaram menos de 10,0 mm se o volume em 15 minutos fosse de 6,0 mm ou mais, e (c) apresentaram perda de solo e/ou enxurrada. Quando houve a ocorrência de duas chuvas num único pluviograma, o EI_{30} delas foi somado, para o estudo de regressão.

Para o estudo de correlação dos índices de erosividade da chuva com as perdas de solo de Pernambuco, CANTALICE & MARGOLIS (1993) selecionaram as chuvas individuais erosivas segundo critérios de WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976).

LOPES & BRITO (1993), no estudo da erosividade do médio São Francisco (Fator R), nada falaram sobre o selecionamento das chuvas individuais erosivas. Apenas foram efetuadas, muito vagamente, as citações de WISCHMEIER & SMITH (1958) e LOMBARDI NETO (1977).

BERTOL (1994) analisou a erodibilidade de um Cambissolo Húmico através de chuva natural. Para isso, foram selecionadas 88 chuvas individuais erosivas, segundo os critérios de WISCHMEIER (1959).

SILVA et al. (1997) estudaram a relação entre parâmetros da chuva e as perdas por erosão de um Latossolo Vermelho-Escuro de Goiânia (GO). Para o cálculo da erosividade foram utilizadas 415 chuvas, sendo 213 erosivas e 202 não-erosivas, conceituadas conforme MARIA (1994). Desta forma, foram tomadas como não-erosivas aquelas menores que 10,0 mm, as com intensidade máxima em 15 minutos abaixo de 24,0 mm/h, e as que tiveram uma energia cinética menor que 3,6 MJ/ha. Foram consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de 6 horas, com precipitação menor que 1,0 mm.



CARVALHO et al. (1997) estudaram a correlação entre os parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada e as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo de Pindorama (SP). As chuvas individuais erosivas analisadas foram obtidas de acordo com os conceitos de WISCHMEIER (1959), WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976), através do mesmo critério de seleção que o de CARVALHO et al. (1993).

MARQUES et al. (1997) analisaram a correlação entre índices de erosividade da chuva e as perdas de dois solos de Sete Lagoas (MG). Nele, os pluviogramas diários foram cotados manualmente em segmentos uniformes, e os índices de erosividade calculados pelo programa computacional proposto por MARIA (1994), adaptado daquele de CATANEO et al. (1982). Uma vez que esse programa faz distinção entre chuvas erosivas e não-erosivas, todas as chuvas do período foram registradas, deixando-se a cargo do programa fazer a distinção entre elas. O programa de MARIA (1994) considerou como não-erosivas as menores que 10,0 mm, com intensidade máxima em 15 minutos menor do que 24,0 mm/ha ou energia cinética abaixo de 3,6 MJ/ha. Foram consideradas chuvas distintas aquelas separadas por um período superior a 6 horas, com precipitação menor que 1,0 mm. Durante o período estudado, houve 95 chuvas classificadas como erosivas (33% do total), que foram responsáveis por 91% das perdas dos solos, sendo os 9% restantes devido às chuvas classificadas como não-erosivas. O critério de MARIA (1994), para separar as chuvas quanto ao caráter erosivo, embora **amplamente** usado, talvez não seja adequado para essa região. A omissão das chuvas não-erosivas é justificável, pois, além de facilitar o processamento dos dados, tal artifício se fundamenta na necessidade de certa quantia de chuva para começar o escoamento superficial. No entanto, a inclusão de tais chuvas não alteraria significativamente o valor final da erosividade e eliminaria o problema de chuvas não-erosivas contribuírem para a erosão. Além do mais, meios digitalizadores atuais tornaram o processamento dos dados mais fácil e rápido.



ALBUQUERQUE et al. (1998) estudaram a correlação de parâmetros da erosividade da chuva e da enxurrada com as perdas de um Bruno Não-Cálcico Vértico de Sumé (PB). Os critérios utilizados para separar as chuvas erosivas basearam-se naqueles propostos por WISCHMEIER & SMITH (1958), tendo-se trabalhado com 75 delas.

CARVALHO & HERNANI (2001) estudaram a correlação entre parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). Para isso, as chuvas individuais erosivas estudadas (WISCHMEIER, 1959; WISCHMEIER & SMITH, 1978; CABEDA, 1976) e selecionadas de acordo com os mesmos critérios que os de CARVALHO et al. (1993, 1997) foram registradas individualmente em pluviogramas CED-RE-843, que possuem a ordenada encurvada. Desta forma, tais dados foram processados, para a obtenção do EI_{30} , através de uma calculadora manual CASIO FX-880P, através de programa próprio em linguagem BASIC.

Foi determinado o fator R de Piraju (SP), sua distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva (ROQUE et al., 2001). Procedeu-se à separação das chuvas individuais erosivas seguindo o critério de WISCHMEIER (1959), WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976), a saber: (a) foram escolhidas as chuvas que apresentaram um volume de 10,0 mm ou mais, e (b) foram também escolhidas as chuvas que apresentaram menos de 10,0 mm se o volume de cada uma fosse de 6,0 mm ou mais em 15 minutos.

2.2.3. Comentários sobre os estudos efetuados

Analisando-se a presente revisão bibliográfica, especificamente o conteúdo que trata da análise conceitual de chuva individual erosiva (item 2.2), foram encontrados alguns aspectos duvidosos. Desta forma, questiona-se o seguinte: 1) Seria permitido, e até certo



ponto possível, MEDINA & OLIVEIRA JUNIOR (1987) terem estudado a correlação entre parâmetros da chuva e as perdas de um Latossolo Amarelo, excetuando-se as chuvas iguais ou superiores a 6,0 mm?, 2) MORAIS et al. (1988 a, b), estudando a correlação entre parâmetros da chuva e a perda de solo, poderiam ter usado apenas os critérios de CABEDA (1976) e FOSTER et al. (1981), deixando, portanto, de incluir em tal análise aquelas chuvas que apresentaram perda de solo e/ou enxurrada?, 3) OLIVEIRA JUNIOR & MEDINA (1990), ao citarem WISCHMEIER & SMITH (1958) para conceituação de chuva individual erosiva, poderiam, ou deveriam, ter trabalhado com aquelas maiores do que 10,0 mm?, assim como com as superiores a 6,0 mm?, em 15 minutos ou menos? 4) No estudo de correlação entre o EI_{30} e o coeficiente de chuva (MORAIS et al., 1991), poderia considerar chuva individual erosiva aquelas com 10,0 mm ou mais de precipitação?, ou aquelas onde ocorreria precipitação de 6,0 mm ou mais, num período de 15 minutos?, 5) RUFINO et al. (1993), na confecção do mapa de linhas isoerosivas do Paraná (Fator R), poderia e/ou deveria ter incluído chuvas não-erosivas naquele estudo?, 6) CANTALICE & MARGOLIS (1993), estudando a correlação de parâmetros da chuva com as perdas de solo, poderiam selecionar as chuvas individuais erosivas segundo critérios de WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976), excluindo-se, por conseguinte, aquelas que apresentaram perda de solo e/ou enxurrada?, e 7) MARQUES et al. (1997) citou que “o programa de MARIA (1994) considerou como não-erosivas as menores do que 10,0 mm, com intensidade máxima em 15 minutos menor do que 24,0 mm/h ou (?) energia cinética abaixo de 3,6 MJ/ha”; ou ainda, “O critério de MARIA (1994), para separar as chuvas quanto ao caráter erosivo, embora amplamente (?) usado, ...”?



Assim, pode-se perceber que as mais diversas e variadas formas de se conceituar **chuva individual erosiva**, ainda que na tentativa de acertar e, conseqüentemente, de progredir, vão estabelecendo um aspecto duvidoso sobre o assunto. Entretanto, um fato parece ser verdadeiro. Estas desavenças suscitam que tais chuvas devem ser classificadas segundo dois objetivos distintos: 1) para fins de estudo de correlação com as perdas de solo e/ou enxurrada, e 2) para fins de determinação do fator erosividade da chuva (R).

Um outro aspecto que suscita dúvidas em relação a este assunto é o seguinte: Por que a preocupação de se separar duas chuvas individuais erosivas num único pluviograma, conforme descrições de WISCHMEIER (1959), CABEDA (1976) e LOMBARDI NETO (1977)? Assim, pôde-se perceber que este fato é desnecessário, tanto para o estudo de correlação com a erosão, quanto para o da determinação do fator R . No primeiro caso, torna-se desnecessário porque a perda de solo erodido, avaliada no tanque coletor de sedimentos, é quantificada diariamente após a ocorrência de um dia chuvoso. Portanto, nunca após a ocorrência de uma chuva que causou erosão. Este fato é tão verdadeiro que, na composição do EI_{30} diário, se houver duas chuvas num único pluviograma, seus valores devem ser somados. Já no segundo, se os valores dos EI_{30} das chuvas individuais erosivas vão ser somados, procedimento normal de cálculo do fator R , por que separá-las?



3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material utilizado

3.1.1. Caracterização do local de origem dos dados

O presente trabalho foi realizado com dados obtidos nas Estações Experimentais de Campinas, Mococa e Pindorama, pertencentes à Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Brasil. Estes dados foram os pluviográficos, de perda de solo e de perda de enxurrada. A seguir, são caracterizados os locais estudados.

3.1.1.1. Estação Experimental de Campinas

A Estação Experimental de Campinas está localizada de acordo com as coordenadas geográficas 22° 51' S e 47° 04' W. Sua altitude varia de 601 a 721 metros, possuindo uma área total de 767 ha. A precipitação média anual é 1350 mm, sendo a média anual de temperatura 20,5°C.



O tipo climático é C_{wa} , de acordo com o critério de Koeppen, definido como mesotérmico úmido com verões quentes. O solo onde a parcela de campo ficou instalada é um Latossolo Roxo distrófico, A moderado, textura muito argilosa/argilosa, Unidade Barão Geraldo (Typic Haplortox)^(a).

3.1.1.2. Estação Experimental de Mococa

A Estação Experimental de Mococa está localizada de acordo com as coordenadas geográficas 21° 28' S e 47° 01' W. Sua altitude é de aproximadamente 665 metros, possuindo uma área total de 474 ha. A precipitação média anual é de 1584 mm, sendo a temperatura média anual de 21,8°C. O tipo climático é A_w , de acordo com o critério de Koeppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo onde a parcela de campo ficou instalada é um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, Tb, A chernozêmico, textura argilosa/muito argilosa (Oxic Argiudoll)^(b).

3.1.1.3. Estação Experimental de Pindorama

A Estação Experimental de Pindorama está localizada de acordo com as coordenadas geográficas 21° 31' S e 48° 55' W. Sua altitude varia de 498 a 594 metros, possuindo uma área total de 533 ha. A precipitação média anual é de 1258 mm, sendo a temperatura média anual de 21,5°C. O tipo climático é o mesmo que o de Mococa (A_w). O solo onde a parcela de campo ficou instalada é um Podzólico Vermelho-Amarelo, A abruptico, textura arenosa/média, Unidade Concreção (Typic Kandiudult), segundo levantamento pedológico de LEPSCH & VALADARES (1976).

^(a) OLIVEIRA, J.B. Comunicação pessoal. 1995 (Seção de Pedologia do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Campinas, São Paulo, Brasil).

^(b) LESCH, I.F. Comunicação pessoal. 1995. (Seção de Pedologia do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Campinas, São Paulo, Brasil).



3.1.2. Pluviógrafo e pluviogramas utilizados

Em todas as localidades, o pluviógrafo utilizado foi do tipo "sifão" - modelo Hillman, que registra incrementos sucessivos da chuva, assim como o total acumulado. O referido aparelho possui autonomia para registrar chuvas ocorridas dentro de um intervalo de 24 horas, sendo movido a corda através de um mecanismo de relógio.

As chuvas utilizadas na pesquisa foram obtidas em pluviogramas do modelo 700, que possuem o registro do volume (altura pluviográfica) e o tempo de ocorrência, respectivamente, na ordenada e na abscissa. Sua amplitude de registro da chuva varia de zero a 10,2 mm de precipitação, com unidade de 0,1 mm. O registro de tempo é efetuado durante 24 horas, com unidade de 10 em 10 minutos.

3.1.3. Mesa digitalizadora, computador e programas computacionais utilizados

Os pontos de inflexão da intensidade da chuva no pluviograma foram extraídos no Centro de Informática na Agricultura da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP - Campus de Botucatu. Para tanto, foram efetuadas cronologicamente as seguintes fases: digitalização dos pontos de inflexão, passagem pelo programa de consistência, processamento e análise de regressão, relacionadas a seguir:



3.1.3.1. Digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva

A digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva foi efetuada na mesa digitalizadora Versa PAD II, que opera pelo princípio da indução eletromagnética, conectada a um computador PC/AT 486. Para tanto, foi montado um programa computacional em linguagem PASCAL, de forma a fornecer a mesma precisão de leitura que o olho humano, isto é, com o volume de chuva em décimo de milímetro e o tempo em minuto. A referida mesa é basicamente constituída de um tampo ou superfície de digitalização e um cursor de teclas. A área ativa disponível do tampo é de 140800,00 mm² (320,0 mm x 440,0 mm). O cursor, constituído de 4 teclas, é ligado à mesa por um conector tipo D com 9 pinos. O modo de operação trabalhado foi o ponto a ponto, que envia um único par de coordenadas a cada vez que a tecla registradora é acionada, com uma precisão de $\pm 0,05$ mm.

3.1.3.2. Passagem dos pontos de inflexão da intensidade da chuva pela consistência, processamento e análise de regressão das variáveis

As fases de consistência, processamento e análise de regressão dos dados foram efetuadas num computador PC/AT 486. Para a consistência dos pontos de inflexão e processamento das características da chuva, foi utilizado o programa computacional de CATANEO et al. (1982), que sofreu pequenas modificações. Por outro lado, a análise de regressão dos dados foi efetuada através do programa computacional SAS (1988 a,b).



3.1.4. Parcela de campo representativa do solo e sistema coletor de solo e enxurrada.

Foram coletados e acumulados dados pluviográficos, de perda de solo e de enxurrada de 83, 71 e 53 parcelas anuais, respectivamente, das Estações Experimentais de Campinas, Mococa e Pindorama. Estes dados foram obtidos em parcelas de campo, segundo as especificações de BERTONI (1949) e MARQUES (1951), durante o período compreendido entre 01/07/1979 e 30/06/1985. Como exemplo, o valor de 83 parcelas anuais da Estação Experimental de Campinas originou-se do quociente entre um total de 499 chuvas, ocorridas no local entre 01/07/79 a 30/06/85, e o número de anos de observação (6 anos). Tais parcelas possuíam uma área de 100 m^2 , com 25 m de comprimento no sentido do declive, por 4 m de largura. Suas declividades foram de 9,9%; 9,4% e 12,0%, respectivamente para Campinas, Mococa e Pindorama.

O sistema coletor de solo e enxurrada, adaptado a jusante da soleira das parcelas, foi construído de alvenaria, inclusive a soleira e a parede divisória. Seu coletor possuía dois tanques ligados por um divisor de janelas do tipo Geib, para fração de 1/7. O primeiro, acoplado à soleira, destinava-se à coleta do solo, enquanto que o segundo, acoplado ao primeiro, captava 1/7 da enxurrada.

3.2. Método empregado

3.2.1. Obtenção das características da chuva e da perda de solo

A obtenção das características da chuva foi efetuada segundo a metodologia seguinte:



3.2.1.1. Determinação do número total de chuvas estudadas

Foram analisados pluviogramas acumulados durante o período de 01/07/1979 a 30/06/1985 das Estações Experimentais de Campinas, Mococa e Pindorama. Assumiu-se que cada pluviograma representava apenas uma única chuva. Dessa forma, foram selecionadas 1239 chuvas das três localidades, assim distribuídas: a) Campinas com 499; b) Mococa com 423, e c) Pindorama com 317, conforme WISCHMEIER & SMITH (1958, 1978), com as sugestões apresentadas por CABEDA (1976).

Especificamente, as 1239 chuvas foram relacionadas da seguinte forma, para cada Estação Experimental trabalhada: I) primeiramente, foram consideradas aquelas maiores ou iguais a 10,0 mm; II) posteriormente, foi feito um repasse na sobra, de forma a considerar aquelas menores do que 10,0 mm, caso houvesse uma quantidade de 6,0 mm ou mais em 15 minutos, e III) por último, foram consideradas aquelas que apresentaram perda de solo e/ou enxurrada. Foram chamadas de **chuvas erosivas** aquelas selecionadas pelos itens I e II, assim como **não erosivas** aquelas selecionadas pelo item III. Assim, para as três localidades, tais chuvas ficaram quantitativamente distribuídas da seguinte forma: a) Campinas: 332 erosivas e 167 não-erosivas; b) Mococa: 325 erosivas e 98 não-erosivas, e c) Pindorama: 304 erosivas e 13 não-erosivas. Desta forma, no geral houve 961 erosivas e 278 não-erosivas, segundo o critério de seleção sugerido por CABEDA (1976). Finalmente, deve ser salientado que, no universo das 961 erosivas, houve uma quantia considerável delas que não apresentou nem perda de solo e nem de enxurrada. Portanto, ficou evidente que estas chuvas com perdas nulas foram computadas, exclusivamente, em função dos critérios I e II, sugeridos por CABEDA (1976), originados daqueles de WISCHMEIER & SMITH (1958, 1978).



3.2.1.2. Cotamento dos pontos de inflexão da intensidade da chuva

Após selecionar e separar os pluviogramas das 1239 chuvas estudadas, efetuou-se o cotamento dos pontos de inflexão da intensidade. Para tanto, foram estabelecidas a lápis, sobre a curva traçada no pluviograma, cotas em todos os pontos em que a quantidade de chuva variou em função do tempo, isto é, todos os pontos nos quais houve alteração do ângulo de inclinação da curva. Tal passo visou fixar e homogeneizar o ponto de coleta do par de coordenadas cartesianas pela mesa digitalizadora.

3.2.1.3. Digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva

Estando todos os pluviogramas devidamente cotados, procedeu-se, nesta fase, a digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva. Para tanto, os pluviogramas foram fixados sobre o tampo da mesa digitalizadora com fita adesiva, de forma que a sua abscissa formasse um ângulo de aproximadamente 45° com os eixos coordenados da referida mesa. Desta forma, havia maior eficiência e precisão para a extração dos dados. Encontrando-se ligado o conjunto mesa-computador, procedeu-se a digitalização dos pontos de inflexão da intensidade, ponto por ponto, deslocando-se o cursor no sentido da origem para o final da abscissa, no pluviograma. As chuvas foram digitalizadas, uma por uma, e registradas no disco rígido do computador, através de arquivos individuais, conforme a rotina estabelecida pelo programa de digitalização. Assim, o registro da quantidade de chuva foi efetuado com a unidade de décimo de milímetro e o tempo em minuto.



3.2.1.4. Passagem dos pontos de inflexão da intensidade da chuva pela consistência, correção e redigitalização

Seguidamente, as chuvas foram passadas por um programa de consistência, que acusava erros de lógica contidos nos registros dos pontos de inflexão da intensidade. Estes erros foram originados, provavelmente, pela digitação errada das coordenadas do pluviograma, digitalização dupla de um único ponto, e falhas do sistema eletrônico do conjunto mesa-computador. Entre eles, o programa acusava: a) tempo negativo; b) quantidade negativa de chuva; c) precipitação fora do intervalo estabelecido; d) tempo igual ao ponto anterior; e) tempo decrescente, e f) precipitação decrescente. Desta forma, foram efetuadas as correções das chuvas que apresentavam erros através da deleção, redigitação dos pontos e redigitalização da chuva, quando necessário.

3.2.1.5. Determinação das características estudadas da chuva

Após a correção de todas as chuvas que apresentaram erros, foi efetuado o processamento das 1239 chuvas das três Estações Experimentais, para o cálculo das características estudadas. Para isso, foi utilizado o programa computacional de CATANEO et al. (1982), que sofreu modificações para tal propósito. O programa foi montado de forma a fornecer para cada chuva as seguintes características, ou índices de erosividade, a seguir:

- 1ª) intensidades máximas da chuva com os seguintes tempos de ordem n variável: I_5 , I_{10} , I_{15} , I_{20} , I_{25} , I_{30} , I_{35} , I_{40} , I_{45} , I_{50} , I_{55} e I_{60} , todas em mm/h, e



2º) índice de erosividade EI_{30} da chuva em MJ.mm/ha.h (WISCHMEIER & SMITH, 1958). A única característica não procedente do mencionado programa foi a perda de solo por erosão, avaliada em t/ha, e obtida diretamente no tanque coletor próprio da parcela de campo.

As intensidades máximas da chuva $I_5, I_{10}, I_{15}, I_{20}, I_{25}, I_{30}, I_{35}, I_{40}, I_{45}, I_{50}, I_{55}$, e I_{60} foram calculadas através da seguinte expressão, apresentada por CARVALHO et al. (1989 a):

$$I_n = \left(\sum_{i=1}^{\mu} i_{\mu} \times t_{\mu} \right) / n \dots\dots\dots (04)$$

onde:

I_n é o maior valor da intensidade média ponderada pelo tempo n de ocorrência (mm/h); i_{μ} é o valor da intensidade de ordem μ (mm/h) ocorrida dentro do tempo n (min); t_{μ} é o tempo de ocorrência da intensidade de ordem μ ocorrida dentro do tempo n (min), e n é o intervalo de tempo no qual se deseja obter a intensidade máxima, dado em minutos e admitindo-se valores iguais a 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 minutos.

A energia cinética total da chuva foi calculada através da equação (3) de WISCHMEIER & SMITH (1958), reformulada por FOSTER et al. (1981), que foi dada por:

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I$$

onde:

E é a energia cinética do segmento de intensidade de chuva (MJ/ha.mm), e I é a intensidade do respectivo segmento (mm/h).

3.2.1.6. Determinação da perda de solo

Foram coletados e armazenados dados de perda de solo (A_r em t/ha) e de enxurrada (V_u em mm) das parcelas de campo mantidas em condições descobertas (alqueive contínuo), das Estações Experimentais de Campinas, Mococa e Pindorama, durante o período de 01/07/1979 a 30/06/1985. A instalação de tais parcelas foi efetuada segundo as dimensões recomendadas por BERTONI (1949) e MARQUES (1951). Entretanto, foram manejadas e conduzidas segundo as mesmas recomendações feitas à "parcela padrão" de WISCHMEIER (1972). Portanto, os solos das parcelas em questão foram preparados e cultivados com enxadão e enxada.

As determinações de perda de solo e enxurrada foram feitas diariamente toda vez que ocorreu uma chuva que proporcionou perda de solo e/ou perda d'água de enxurrada, efetuando-se o esvaziamento e a limpeza dos tanques coletores e, posteriormente, avaliando-se as quantidades dos sedimentos. Por outro lado, as determinações de perda de solo das parcelas de campo puderam ser corrigidas para o declive de 9,0% da "parcela padrão", utilizando-se a equação desenvolvida por BERTONI (1959) para tal propósito, que foi a seguinte:

$$A_r = 0,018 \cdot S_{PC}^{1,18} \cdot L_{PC}^{1,63} \dots\dots\dots (05)$$

onde:

A_r é a perda de solo de uma chuva (quilograma/unidade de largura); S_{PC} é a declividade da parcela de campo (%), e L_{PC} é o comprimento da parcela de campo (m). Dessa forma, as equações finais que proporcionaram a correção para as parcelas de campo foram respectivamente as seguintes:



$$\text{Campinas} \quad \rightarrow A_{r9,0} = 0,894 \cdot A_{r9,9} \dots\dots\dots(06)$$

$$\text{Mococa} \quad \rightarrow A_{r9,0} = 0,950 \cdot A_{r9,4} \dots\dots\dots(07)$$

$$\text{Pindorama} \quad \rightarrow A_{r9,0} = 0,712 \cdot A_{r12,0} \dots\dots\dots(08)$$

onde:

$A_{r9,0}$ é a perda de solo de uma chuva (quilograma/largura) para o declive de 9,0% referente à "parcela padrão"; $A_{r9,9}$ é a perda de solo de uma chuva (quilograma/largura) para o declive de 9,9% da parcela de campo de Campinas; $A_{r9,4}$ é a perda de solo de uma chuva (quilograma/largura) para o declive de 9,4% da parcela de campo de Mococa, e $A_{r12,0}$ é a perda de solo de uma chuva (quilograma/largura) para o declive de 12,0% da parcela de campo de Pindorama.

Como exemplo, a equação (06), que corrigiu a perda de solo da parcela de campo de Campinas, para a perda de solo referente à parcela de campo com declive de 9,0% referente à "parcela padrão", foi determinada da seguinte forma: a) avaliou-se a perda de solo da parcela de campo, através da equação (05), para o declive de 9,9% e o comprimento do declive de 25 metros, o que resultou um $A_{r9,9}$ igual a 51,14 (quilograma/largura); b) avaliou-se a perda de solo da parcela de campo, com declive de 9,0% referente à "parcela padrão", pela equação (05), o que resultou um $A_{r9,0}$ igual a 45,70 (quilograma/largura), e c) o quociente entre $A_{r9,0}$ e $A_{r9,9}$ ($45,70/51,14$) resultou o seguinte fator de correção igual a 0,894, referido na equação (06).



As determinações de perda de solo das parcelas de campo não foram corrigidas para o comprimento do declive de 22,13 metros, referentes à "parcela padrão", para que se tivessem as mesmas condições de 25,00 metros preconizadas para o Estado de São Paulo, através dos trabalhos de BERTONI (1949) e MARQUES (1951). Por outro lado, as determinações de enxurrada não sofreram nenhuma correção.

3.2.2. Metodologia do estudo da análise conceitual da chuva individual erosiva

A análise da bibliografia revelou haver basicamente cinco critérios de selecionamento da chuva individual erosiva:

a) Primeiro critério

- ✓ $P \geq 12,7$ chuvas com precipitação maior ou igual a 12,7 mm (WISCHMEIER & SMITH, 1958, 1978),
- ✓ $P \geq 10,0$ chuvas com precipitação maior ou igual a 10,0 mm (CABEDA, 1976),

b) Segundo critério

- ✓ $I \geq 25,4$ chuvas com precipitação menor do que 12,7 mm se sua quantidade em 15 minutos for de 6,4 mm ou mais (WISCHMEIER & SMITH, 1978),



- ✓ **$I \geq 24,0$** chuvas com precipitação menor do que 10,0 mm se sua quantidade em 15 minutos for de 6,0 mm ou mais (CABEDA, 1976),

c) Terceiro critério

- ✓ **$E \geq 3,6$** chuvas com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha (WISCHMEIER, 1956; MARIA, 1994).

d) Quarto critério

- ✓ **$KE \geq 25$** chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 25,4 mm/h (HUDSON, 1973), e,

e) Quinto critério

- ✓ **TOT** todas as chuvas estudadas, isto é, todas as envolvidas nos estudos do fator R, assim como todas aquelas envolvidas nos estudos de regressão entre suas variáveis e a perda de solo e/ou enxurrada (WISCHMEIER & SMITH, 1958, 1978; CABEDA, 1976; LOMBARDI NETO, 1977; CARVALHO et al., 1989a, 1993, 1997; CARVALHO & HERNANI, 2001),

Desta forma, o estudo da análise conceitual de chuva individual erosiva foi efetuado, através de análises de regressão linear simples, entre os EI_{30} , e parte pelos I_n , de



todas as 1239 chuvas e as respectivas perdas de solo. Estas regressões representaram **situações (S)** nas quais foram tomadas as características das chuvas, de forma a atender ao embasamento teórico contido nos cinco critérios de selecionamento analisados. Para tanto, analisaram-se conjuntamente, ou não conforme o caso, todas as 1239 chuvas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama entre 01/07/79 a 30/06/85. As referidas **situações (S)** foram estabelecidas da seguinte forma:

3.2.2.1. Análise preliminar

A análise preliminar destinou-se ao estudo, basicamente, do primeiro critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas. Sabendo-se tratar de um critério exclusivamente quantitativo, procurou-se aliar, às suas idéias básicas ($P \geq 12,7$ e $P \geq 10,0$), outros critérios de maior facilidade de trabalho, conforme relacionados seguidamente.

3.2.2.1.1. Situações estatísticas referentes ao primeiro critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas ($1S_n$)

No estabelecimento das situações estatísticas referentes ao primeiro critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas, ainda que se tivesse que permanecer apenas no âmbito do primeiro critério ($P \geq 12,7$ e $P \geq 10,0$), procurou-se, na oportunidade, estabelecer algumas combinações entre os cinco critérios, excetuando-se o segundo deles. Assim, puderam ser propostas 13 situações estatísticas, relacionadas a seguir no Quadro 01:



Quadro 01. Situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas ($1S_n$)

Situação referente ao primeiro critério ($1S_n$)	
Situação ($1S_n$)	Descrição (EI_{30} x perda de solo para ...
$1S_1$	todas as chuvas estudadas (TOT)
$1S_2$	Chuvas com precipitação maior ou igual a 12,7 mm ($P \geq 12,7$)
$1S_3$	Chuvas com precipitação maior ou igual a 10,0 mm ($P \geq 10,0$)
$1S_4$	$P \geq 12,7$ mm e que tenham pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 25,4 mm/h ($P \geq 12,7$ e $KE \geq 25,4$)
$1S_5$	$P \geq 10,0$ mm e que tenham pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 25,4 mm/h ($P \geq 10,0$ e $KE \geq 25,4$)
$1S_6$	$P \geq 12,7$ mm e $KE \geq 25,4$ e com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha ($P \geq 12,7$ e $KE \geq 25,4$ e $E \geq 3,6$)
$1S_7$	$P \geq 10,0$ mm e $KE \geq 25,4$ e com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha ($P \geq 10,0$ e $KE \geq 25,4$ e $E \geq 3,6$)
$1S_8$	chuvas que tenham pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 25,4 mm/h ($KE \geq 25,4$)
$1S_9$	chuvas que tenham todos os segmentos de intensidade menores do que 25,4 mm/h ($KE < 25,4$)
$1S_{10}$	chuvas com precipitação maior ou igual a 12,7 mm ou que tenham pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 25,4 mm/h ($P \geq 12,7$ ou $KE \geq 25,4$)
$1S_{11}$	chuvas com precipitação maior ou igual a 10,00 mm ou que tenham pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 25,4 mm/h ($P \geq 10,0$ ou $KE \geq 25,4$)
$1S_{12}$	$P \geq 12,7$ mm ou $KE \geq 25,4$ ou com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha ($P \geq 12,7$ ou $KE \geq 25,4$ ou $E \geq 3,6$)
$1S_{13}$	$P \geq 10,0$ mm ou $KE \geq 25,4$ ou com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha ($P \geq 10,0$ ou $KE \geq 25,4$ ou $E \geq 3,6$)

3.2.2.2. Análise final

A análise final destinou-se basicamente ao estudo do segundo e do terceiro critérios de selecionamento da chuva individual erosiva. Uma vez que tais critérios são mais qualitativos que o primeiro, procurou-se detalhar o estudo de cada um da seguinte forma.

3.2.2.2.1. Situações estatísticas referentes ao segundo critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas ($2S_n$)

Para o estabelecimento das situações estatísticas, referentes ao segundo critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas, foi necessário conhecer o resultado das análises de regressão linear oriundas do primeiro critério, dadas pelo $1S_2$ ($P \geq 12,7$) e pelo $1S_3$ ($P \geq 10,0$) do Quadro 01. Desta forma, a quantidade de chuva que foi estabelecida (12,7 mm ou 10,0 mm) para o segundo critério dependeu exclusivamente da melhor correlação entre tais situações ($1S_2$ e $1S_3$) e as respectivas perdas de solo. Sabendo-se que o número total de chuvas analisadas foi de 1239, as diferenças: a) $1239 - (\text{total de chuvas da situação } 1S_2)$, e b) $1239 - (\text{total de chuvas da situação } 1S_3)$, revelaram, respectivamente, o total de chuvas remanescentes menores do que 12,7 mm ($1S_2$) e 10,0 mm ($1S_3$), chamado, nesta ocasião, singularmente de **total remanescente do primeiro critério (TRPC)**.

Para as três estações experimentais, conjuntamente, foi tomado o TRPC selecionado, que ocorreu também no período entre 01/07/79 e 30/06/85. Agora, neste caso,



foram realizadas duas análises de situações estatísticas: 1) a primeira referiu-se à análise da situação estatística para o estabelecimento do melhor **valor da intensidade máxima (IS)** do segundo critério de seleção de chuvas, no universo do TRPC ($21S_n$), e b) a segunda, à análise da situação estatística para o estabelecimento da melhor **quantidade de chuva** ocorrida dentro do tempo em que a intensidade, selecionada anteriormente (IS), ocorreu também dentro do universo do TRPC ($22S_n$). As duas situações estatísticas estudadas foram sumarizadas respectivamente nos Quadros 02 e 03.

3.2.2.2.2. Situações estatísticas referentes ao terceiro critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas ($3S_n$)

O estabelecimento das situações estatísticas referentes ao terceiro critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas foi efetuado exclusivamente em função dos resultados apurados no primeiro ($1S_n$) e segundo ($2S_n$) critérios anteriores. Desta forma, neste caso, foram analisadas todas as chuvas do presente estudo, sendo todas aquelas que proporcionaram perda de solo e/ou enxurrada, num total de 1239. Portanto, tais situações estatísticas foram estabelecidas, para o estudo da correlação do EI_{30} com as perdas de solo, em função de classes de energia cinética total das chuvas, conforme o Quadro 04.



Quadro 02. Situações estatísticas referentes ao primeiro estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas ($21S_n$) com $n = \text{TRPC}$

Situação ($21S_n$)	Descrição (I_n x perda de solo para chuvas com ...)
$21S_1$	I_5 = intensidade máxima em 5 minutos
$21S_2$	I_{10} = intensidade máxima em 10 minutos
$21S_3$	I_{15} = intensidade máxima em 15 minutos
$21S_4$	I_{20} = intensidade máxima em 20 minutos
$21S_5$	I_{25} = intensidade máxima em 25 minutos
$21S_6$	I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos
$21S_7$	I_{35} = intensidade máxima em 35 minutos
$21S_8$	I_{40} = intensidade máxima em 40 minutos
$21S_9$	I_{45} = intensidade máxima em 45 minutos
$21S_{10}$	I_{50} = intensidade máxima em 50 minutos
$21S_{11}$	I_{55} = intensidade máxima em 55 minutos
$21S_{12}$	I_{60} = intensidade máxima em 60 minutos

Quadro 03. Situações estatísticas referentes ao **segundo estudo** do **segundo critério** de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas ($22S_n$) com n extraído dentro do universo do TRPC.

Situação ($22S_n$)		Descrição ($EI_{30} \times$ perda de solo para ...)
$22S_1$	$I \geq 0,1$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 0,1 mm/IS ⁽¹⁾
$22S_2$	$I \geq 1,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 1,0 mm/IS
$22S_3$	$I \geq 2,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 2,0 mm/IS
$22S_4$	$I \geq 3,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 3,0 mm/IS
$22S_5$	$I \geq 4,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 4,0 mm/IS
$22S_6$	$I \geq 5,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 5,0 mm/IS
$22S_7$	$I \geq 6,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 6,0 mm/IS
$22S_8$	$I \geq 7,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 7,0 mm/IS
$22S_9$	$I \geq 8,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 8,0 mm/IS
$22S_{10}$	$I \geq 9,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 9,0 mm/IS
$22S_{11}$	$I \geq 10,0$	chuvas com pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 10,0 mm/IS

⁽¹⁾ IS = tempo de ocorrência da intensidade máxima selecionada pela situação estatística $21S_n$

Quadro 04. Situações estatísticas referentes ao **terceiro critério** de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas (**32S_n**), com n extraído dentro do universo de todas 1239 chuvas.

Situação (32S _n)		Descrição (EI ₃₀ x perda de solo para ...)
3S ₁	EC > zero	todas as chuvas do estudo
3S ₂	EC ≤ 7,2	todas as chuvas com ECT ⁽¹⁾ ≤ 7,2 MJ/ha
3S ₃	EC ≤ 6,6	todas as chuvas com ECT ≤ 6,6 MJ/ha
3S ₄	EC ≤ 6,0	todas as chuvas com ECT ≤ 6,0 MJ/ha
3S ₅	EC ≤ 5,4	todas as chuvas com ECT ≤ 5,4 MJ/ha
3S ₆	EC ≤ 4,8	todas as chuvas com ECT ≤ 4,8 MJ/ha
3S ₇	EC ≤ 4,2	todas as chuvas com ECT ≤ 4,2 MJ/ha
3S ₈	EC ≤ 3,6	todas as chuvas com ECT ≤ 3,6 MJ/ha
3S ₉	EC ≤ 3,0	todas as chuvas com ECT ≤ 3,0 MJ/ha
3S ₁₀	EC ≤ 2,4	todas as chuvas com ECT ≤ 2,4 MJ/ha
3S ₁₁	EC ≤ 1,8	todas as chuvas com ECT ≤ 1,8 MJ/ha
3S ₁₂	EC ≤ 1,2	todas as chuvas com ECT ≤ 1,2 MJ/ha
3S ₁₃	EC ≤ 0,6	todas as chuvas com ECT ≤ 0,6 MJ/ha

⁽¹⁾ ECT = energia cinética total da chuva.



3.2.2.3. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas no Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural da Faculdade de Engenharia - FE/UNESP do Campus de Ilha Solteira, através de um microcomputador PC 486 DX e do programa computacional SAS (1988 a,b). Foram feitas análises de regressão linear simples entre as variáveis independentes, relatadas nas situações estatísticas, e as respectivas perdas de solo. As variáveis independentes foram referentes ao primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto critérios de selecionamento das chuvas individuais erosivas, contidas nos Quadros 01, 02, 03 e 04. Procedeu-se a aplicação do teste t de Student para se verificar a significância estatística dos coeficientes ajustados, segundo HOFFMANN & VIEIRA (1977).

Aplicou-se também um teste para verificação da significância entre os coeficientes de correlação (r_i), de acordo com GRAYBILL (1976). Foram testadas as correlações duas a duas, sendo a estatística do teste (ξ), que se apresenta como uma distribuição de "qui-quadrado" com um grau de liberdade, dada pela expressão:

$$\xi = \sum_{i=1}^2 (n_i - 3) \cdot (Z_i)^2 - (\bar{Z})^2 \cdot \sum_{i=1}^2 (n_i - 3) \dots\dots\dots (09)$$

com $Z_i = 1/2 [\ln(1 + r_i / 1 - r_i)]$,

$$\text{e } \bar{Z} = \left[\sum_{i=1}^2 (n_i - 3) \cdot Z_i \right] / \left[\sum_{i=1}^2 (n_i - 3) \right]$$

onde:

n_i é o tamanho da amostra que originou o coeficiente de correlação r_i .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise das situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas ($1S_n$)

Conjuntamente ao primeiro critério, uma vez que seu embasamento é puramente quantitativo, foram adicionadas idéias do terceiro, quarto e quinto critérios, os quais também são exclusivamente quantitativos. O Quadro 05 apresenta os coeficientes de correlação das regressões lineares simples entre o EI_{30} e as perdas de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas ($1S_n$) ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama durante o período de 01/07/79 e 30/06/85. Foram analisados os pluviogramas e as quantidades de solo e de enxurrada arrastados pela erosão, das 1239 chuvas individuais erosivas, que ocorreram na parcela experimental, conforme BERTONI (1949) e MARQUES (1951).

Desta forma, como existiu a necessidade de se analisar o primeiro critério sob o ponto de vista do estudo de correlação da chuva com a erosão, assim como para determinação do fator R , tal divisão é apresentada a seguir.



Quadro 05. Correlação entre o EI_{30} e a perda de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao **primeiro critério** ($1S_n$) de seleção das chuvas individuais erosivas, ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama no período de 01/07/79 a 30/06/85.

Situação estatística ($1S_n$)			n ⁽¹⁾	Correlação ⁽²⁾ r	Regressão	
Nº	Situação	Descrição			a	b
#1	$1S_1$	(TOT)	1239	0,5759a	0,9748	0,0100
#2	$1S_{11} - 1S_{13}$	$P \geq 10,0$ ou $KE \geq 25,4$ $P \geq 10,0$ ou $KE \geq 25,4$ ou $E \geq 3,6$	1027	0,5518b	1,0953	0,0098
#3	$1S_{10} - 1S_{12}$	$P \geq 12,7$ ou $KE \geq 25,4$ $P \geq 12,7$ ou $KE \geq 25,4$ ou $E \geq 3,6$	959	0,5413bc	1,2315	0,0095
#4	$1S_3$	($P \geq 10,0$)	921	0,5396bc	1,3669	0,0088
#5	$1S_8$	($KE \geq 25,4$)	859	0,5340bcd	1,4347	0,0087
#6	$1S_2$	($P \geq 12,7$)	768	0,5271cde	1,5981	0,0084
#7	$1S_5$	($P \geq 10,0$ e $KE \geq 25,4$)	748	0,5127de	1,6370	0,0079
#8	$1S_4$	($P \geq 12,7$ e $KE \geq 25,4$)	660	0,5079ef	1,8273	0,0071
#9	$1S_6 - 1S_7$	$P \geq 12,7$ e $KE \geq 25,4$ e $E \geq 3,6$ $P \geq 10,0$ e $KE \geq 25,4$ e $E \geq 3,6$	549	0,4813f	1,9530	0,0068
#10	$1S_9$	($KE < 25,4$)	383	0,4200g	2,0513	0,0050

(1) Número de eventos ou de chuvas (n); (2) Todos os coeficientes de correlação (r) foram significativos ao nível de 1% pelo teste t; coeficientes de correlação seguidos pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Graybill.

4.1.1. Análise das situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas, para fins de correlação com a erosão.

No Quadro 05, analisando-se os coeficientes de correlação, dispostos em ordem decrescente, observou-se que todos eles foram significativos ao nível de 1% e positivos. Em geral, tais coeficientes foram moderados, variando entre 0,5759 (#1) e 0,4200 (#10), devido à ocorrência, dentro das 961 chuvas erosivas, daquelas que não apresentaram nem perda de solo e nem de enxurrada.

O teste para verificação da homogeneidade entre os coeficientes de correlação, de GRAYBILL (1976), revelou (Quadro 05) que a situação estatística que abrigou todas as chuvas estudadas (#1, 1S₁) apresentou, além da maior correlação ($r = 0,5759$), uma diferença significativa ao nível de 5% de todas as demais (#2 ao #10). Desta forma, a melhor situação estatística, referente ao primeiro critério de seleção de chuvas individuais erosivas do Estado de São Paulo, para fins de correlação com a erosão, foi aquela na qual são incluídas todas elas, isto é, todas as que formalmente passaram pelos seguintes critérios de selecionamento: 1) todas maiores ou iguais a 10,0 mm; 2) todas as que apresentaram menos de 10,0 mm se a precipitação em 15 minutos foi de 6,0 mm ou mais, e 3) todas as que apresentaram perda de solo e/ou enxurrada. Este fato ficou plenamente de acordo com WISCHMEIER & SMITH (1958), WISCHMEIER (1959), CABEDA (1976), LOMBARDI NETO (1977), CARVALHO et al. (1989a, 1993, 1997) e CARVALHO & HERNANI (2001).



4.1.2. Análise das situações estatísticas referentes ao primeiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas para fins de determinação do fator R.

Excluindo-se a situação 1S₁, (#1; todas as 1239 chuvas), o teste de GRAYBILL (1976) revelou que nas situações estatísticas 1S₁₁ e 1S₁₃ (#2), 1S₁₀ e 1S₁₂ (#3), 1S₃ (#4) e 1S₈ (#5), não existiu diferença significativa entre seus coeficientes de correlação. Este fato sugeriu não haver, provavelmente, diferença entre o primeiro critério (apenas para $P \geq 10,0$; #2 e #4), terceiro critério ($E \geq 3,6$; #2 e #3) e quarto critério ($KE \geq 25,4$; #2; #3 e #5). O referido teste revelou também não haver diferença significativa entre as situações estatísticas 1S₃ (#4; $P \geq 10,0$) e 1S₂ (#6; $P \geq 12,7$; Quadro 05). Portanto, a situação estatística de melhor conveniência para o estabelecimento do primeiro critério, o de seleção de chuvas individuais erosivas para fins de determinação do fator R, foi aquela na qual foram selecionadas as chuvas com precipitação total maior ou igual a 10,0 mm, concordando este fato com CABEDA (1976), LOMBARDI NETO (1977), FOSTER et al. (1981) e MARIA (1994).

Nas situações estatísticas que envolveram análise conjunta, ou separada, entre o primeiro e/ou quarto critérios, dadas pelo 1S₃, 1S₈, 1S₁₀, 1S₁₁, 1S₁₂ e 1S₁₃ (respectivamente linhas #2 a #5; Quadro 05), seus coeficientes de correlação tiveram desempenho estatisticamente iguais. Este fato veio reforçar o parâmetro $P \geq 10$ como o racional para o primeiro critério, em detrimento do $KE \geq 25,4$, uma vez que é substancialmente mais fácil analisar, no pluviograma, a quantidade de 10,0 mm de precipitação do que um segmento de intensidade maior ou igual a 25,4 mm/h.

4.2. Análise das situações estatísticas referentes ao segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas ($2S_n$)

Para a análise das situações estatísticas referentes ao segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas foi necessário, além de conhecer o parâmetro selecionado pelo primeiro critério ($P \geq 10,0$ mm, cujo **total remanescente do primeiro critério**, TRPC, foi com o $n = 318$, isto é, $1239 - 921$), também, foi necessário dividir sua análise em dois casos. O primeiro referiu-se à análise da melhor intensidade máxima de 5 em 5 minutos até 60 (I_n), ao passo que o segundo, à análise das classes de intensidade ocorridas dentro do tempo da intensidade (I_n) selecionada anteriormente. Estes casos são apresentados seguidamente.

4.2.1. Análise das situações estatísticas referentes ao primeiro estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas ($21S_n$)

O Quadro 06 apresenta os coeficientes de correlação das regressões lineares simples entre as intensidades máximas I_n (de 5 em 5 minutos até 60) e as perdas de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao primeiro estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas ($21S_n$) ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama entre 01/07/79 e 30/06/85. Foram analisados os pluviogramas e as quantidades de solo e de enxurrada arrastados pela erosão, das 318 chuvas individuais erosivas (TRPC) que ocorreram na parcela experimental, conforme BERTONI (1949) e MARQUES (1951).



Quadro 06. Correlação entre as intensidades máximas, de 5 em 5 minutos até 60 (I_n), e as perdas de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao **primeiro estudo do segundo critério; ($21S_n$ – intensidades máximas de 5 em 5 minutos- I_n)** de seleção das chuvas individuais erosivas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama entre 01/07/79 a 30/06/85. Número de eventos (n) igual a $318 = (1239 - 921) = \text{TRPC}$.

Situação estatística $21S_n$			Correlação ⁽¹⁾	Regressão	
Nº	Descrição		r	a	B
@01	$21S_7$	I_{35}	0,6057a	-0,6961	0,1288
@02	$21S_6$	I_{30}	0,6039a	-0,6770	0,1147
@03	$21S_8$	I_{40}	0,6035a	-0,6991	0,1420
@04	$21S_{11}$	I_{55}	0,6014a	-0,7228	0,1822
@05	$21S_{10}$	I_{50}	0,6014a	-0,7133	0,1686
@06	$21S_9$	I_{45}	0,6010a	-0,6978	0,1545
@07	$21S_{12}$	I_{60}	0,5990a	-0,7313	0,1955
@08	$21S_5$	I_{25}	0,5980a	-0,6515	0,0999
@09	$21S_4$	I_{20}	0,5763a	-0,5806	0,0834
@10	$21S_3$	I_{15}	0,5421ab	-0,4414	0,0650
@11	$21S_2$	I_{10}	0,5460ab	-0,2744	0,0470
@12	$21S_1$	I_5	0,4308b	0,1064	0,0262

⁽¹⁾ Todos os coeficientes de correlação (r) foram significativos ao nível de 1% pelo teste t; coeficientes de correlação seguidos pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Graybill.

No Quadro 06, analisando-se os coeficientes de correlação dispostos em ordem decrescente, observa-se que todos foram significativos ao nível de 1% e positivos. Em geral, eles tiveram uma magnitude moderada, variando entre 0,6057 (@01) a 0,4308 (@12).

O teste para verificação da homogeneidade entre os coeficientes de correlação (GRAYBILL, 1976; Quadro 06) revelou que os tratamentos estatísticos destinados à análise da melhor intensidade máxima, de 5 em 5 minutos até 60, entre o 21S₀₇ (@1) e o 21S₀₂ (@11) foram estatisticamente iguais. Desta forma, sabe-se que WISCHMEIER & SMITH (1978) haviam omitido do cálculo do fator R as chuvas menores do que 0,5 polegada (12,7 mm) e separadas de outra por mais do que 6 horas, a menos que ocorresse o caso de 0,25 polegada (6,4 mm) em 15 minutos. De forma semelhante, CABEDA (1976) sugeriu, para o Brasil, computar o valor do EI₃₀ para chuvas menores do que 10,0 mm se suas quantidades em 15 minutos fossem de 6,0 mm ou mais. Assim, a melhor e mais conveniente situação estatística, referente ao primeiro estudo do segundo critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas para o Estado de São Paulo, pôde ser relacionada pela intensidade máxima em 15 minutos (I₁₅; @10). Este fato ficou de acordo com o preceito de WISCHMEIER & SMITH (1978) para os Estados Unidos da América do Norte, assim como com a sugestão de CABEDA (1976) para as condições do sul do Brasil.

4.2.2. Análise das situações estatísticas referentes ao segundo estudo do segundo critério de seleção das chuvas individuais erosivas estudadas (22S_n)

O Quadro 07 apresenta os coeficientes de correlação das regressões lineares simples entre o EI₃₀ e as perdas de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao segundo estudo do segundo critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas (22S_n) ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama durante o período de 01/07/79 e 30/06/85. Foram analisados os pluviogramas e as quantidades de solo e de enxurrada arrastados pela erosão, das 318 chuvas individuais erosivas (TRPC) que ocorreram na parcela experimental, conforme BERTONI (1949) e MARQUES (1951).



Quadro 07. Correlação entre o EI_{30} e a perda de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao **segundo estudo do segundo critério**; ($22S_n$ – **classes de quantidades de chuva ocorridas em 15 minutos**) de seleção das chuvas individuais erosivas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama entre 01/07/79 a 30/06/85.

Situação estatística 22S _n			n ⁽¹⁾	Correlação ⁽²⁾	Regressão	
Nº	Descrição			r	a	B
£ 01	22S ₁	I ≥ 0,1	318	0,3691a	-0,0226	0,0253
£ 02	22S ₂	I ≥ 1,0	298	0,3598a	-0,0200	0,0253
£ 03	22S ₃	I ≥ 2,0	256	0,3738a	-0,0425	0,0259
£ 04	22S ₄	I ≥ 3,0	213	0,3530a	-0,0236	0,0254
£ 05	22S ₅	I ≥ 4,0	171	0,3815a	-0,0697	0,0271
£ 06	22S ₆	I ≥ 5,0	137	0,3676a	-0,0891	0,0271
£ 07	22S ₇	I ≥ 6,0	115	0,3450a	-0,0809	0,0272
£ 08	22S ₈	I ≥ 7,0	96	0,3377a	-0,0991	0,0285
£ 09	22S ₉	I ≥ 8,0	83	0,2944a	-0,0440	0,0257
£ 10	22S ₁₀	I ≥ 9,0	71	0,3428a	-0,1540	0,0294
£ 11	22S ₁₁	I ≥ 10,0	60	0,3846a	-0,2969	0,0344

(1) Número de eventos ou de chuvas (n); (2) Todos os coeficientes de correlação (r) foram significativos ao nível de 1% pelo teste t; coeficientes de correlação seguidos pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Graybill.

No Quadro 07, analisando-se seus coeficientes de correlação, observou-se que todos eles foram significativos ao nível de 1% e positivos. Todos os coeficientes foram baixos, variando entre 0,3846 ($I \geq 10,0$; £11) e 0,2944 ($I \geq 8,0$; £09).

O teste para verificação da homogeneidade entre os coeficientes de correlação (GRAYBILL, 1976; Quadro 07) revelou que todas as situações estatísticas destinadas à análise da melhor quantidade de chuva ocorrida dentro de 15 minutos, isto é, dentro da intensidade selecionada **IS**, ($I \geq 0,1$ ao $I \geq 10,0$, respectivamente £01 e £11), foram iguais entre si. Portanto, a situação estatística que, neste caso, se apresentou como a de maior conveniência, para o segundo estudo do segundo critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas para o Estado de São Paulo, pôde ser dada por aquelas que apresentaram pelo menos um segmento de intensidade maior ou igual a 6,0 mm em 15 minutos ($I \geq 6,0$; £07). Também, neste caso, este fato concordou com o preceito de WISCHMEIER & SMITH (1978) e com a sugestão de CABEDA (1976), em relação à recomendação do critério de selecionamento em questão.

4.3. Análise das situações estatísticas referentes ao terceiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas ($3S_n$)

O Quadro 08 apresenta os coeficientes de correlação das regressões lineares simples e as perdas de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao terceiro critério de selecionamento das chuvas individuais erosivas ($3S_n$) ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama entre 01/07/79 e 30/06/85. Foram analisados os pluviogramas e as quantidades de solo e de enxurrada arrastados pela erosão, das 1239 chuvas individuais erosivas que ocorreram na parcela experimental, conforme proposições de BERTONI (1949) e MARQUES (1951).



Quadro 08. Correlação entre o El_{30} e a perda de solo em condições de alqueive contínuo, para as situações estatísticas referentes ao **terceiro critério**; ($3S_n$ – **classes de energia cinética**) de seleção das chuvas individuais erosivas ocorridas em Campinas, Mococa e Pindorama entre 01/07/79 a 30/06/85.

Situação estatística 3S _n			n ⁽¹⁾	Correlação ⁽²⁾	Regressão	
Nº	Descrição			r	a	b
μ ₀₁	3S ₁	EC > zero ⁽³⁾	1239	0,5759**a	-0,8349	0,6375
μ ₀₂	3S ₂	EC ≤ 7,2	1001	0,4984**b	-0,8750	0,6857
μ ₀₃	3S ₃	EC ≤ 6,6	963	0,4223**c	-0,8299	0,7142
μ ₀₄	3S ₄	EC ≤ 6,0	925	0,4091**c	-0,8628	0,7594
μ ₀₅	3S ₅	EC ≤ 5,4	874	0,3792**cd	-0,7342	0,7316
μ ₀₆	3S ₇	EC ≤ 4,2	738	0,3627**d	-0,7581	0,7717
μ ₀₇	3S ₆	EC ≤ 4,8	805	0,3392**de	0,8002	0,7825
μ ₀₈	3S ₁₀	EC ≤ 2,4	429	0,3202**e	-0,7347	0,8012
μ ₀₉	3S ₈	EC ≤ 3,6	650	0,2972**e	-0,6285	0,8059
μ ₁₀	3S ₉	EC ≤ 3,0	548	0,2954**e	-0,6768	0,8537
μ ₁₁	3S ₁₁	EC ≤ 1,8	296	0,1933**f	-0,6510	0,8439
μ ₁₂	3S ₁₂	EC ≤ 1,2	148	0,1264 ^{NS} f	-0,6300	0,8996
μ ₁₃	3S ₁₃	EC ≤ 0,6	46	-0,7060 ^{NS} g	-0,6418	0,9009

(1) Número de eventos ou de chuvas (n); (2) **= significativo ao nível de 1% pelo teste t; ^{NS} = não significativo; a, b, ...f= coeficientes de correlação (n) seguidos pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Graybill;

(3) Todas as chuvas estudadas.

No Quadro 08, analisando-se seus coeficientes de correlação, observou-se que aqueles compreendidos entre o $3S_1$ (μ_{01} ; $EC > \text{zero}$) e o $3S_{11}$ (μ_{11} ; $EC \leq 1,8$) foram significativos ao nível de 1% e positivos. Nesta relação, seus valores variaram de moderado (μ_{01} ; $EC \leq \text{zero}$) a nulo (μ_{11} ; $E \leq 1,8$), sendo todos de correlação positiva. Os tratamentos estatísticos $3S_{12}$ (μ_{12} ; $EC \leq 1,2$) e $3S_{13}$ (μ_{13} ; $EC \leq 0,6$) foram não significativos, de acordo com o teste t de Student, sendo, respectivamente, de correlação positiva e negativa.

O teste para verificação da homogeneidade entre os coeficientes de correlação (GRAYBILL, 1976; Quadro 08) revelou que a primeira situação estatística ($EC > \text{zero}$, μ_1 , $3S_1$), destinada à análise da melhor classe de energia cinética total das chuvas, além de ser a melhor correlação ($r = 0,5759$), também foi estatisticamente diferente, ao nível de 5%, de todas as demais compreendidas entre a $EC \leq 7,2$ (μ_{02}) e a $EC \leq 0,6$ (μ_{13}). Desta forma, pode-se perceber que a situação estatística $EC > \text{zero MJ/ha}$ (μ_{01}) contém todas as chuvas dos demais tratamentos, os quais estão entre os números μ_{02} a μ_{13} , com especial destaque para aquele estabelecido por WISCHMEIER (1956), isto é, aquele na qual são consideradas apenas as chuvas com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha. Conseqüentemente, este fato discordou do referido autor, assim como do preconizado por MARIA (1994), quanto à recomendação do terceiro critério de seleção das chuvas individuais erosivas. Assim, em vez de se considerar apenas aquelas com $EC \geq 3,6 \text{ MJ/ha}$, devem ser consideradas todas aquelas com $EC > \text{zero MJ/ha}$. Portanto, todas as chuvas destinadas ao estudo de correlação do EI_{30} com as perdas de solo e/ou enxurrada por erosão.



4.4. Considerações finais

Os resultados apresentados e discutidos evidenciaram duas situações distintas de selecionamento de chuvas individuais erosivas, relatadas em função do objetivo a que se destina o estudo da erosividade da chuva. Na primeira, quando o intento for o de se determinar o fator erosividade da chuva (R), os critérios a serem seguidos deverão ser: 1º) computar os valores dos EI_{30} para as chuvas maiores ou iguais a 10,0 mm, e 2º) computar os valores dos EI_{30} daquelas menores do que 10,0 mm se possuírem uma quantidade de 6,0 mm ou mais em 15 minutos. Por outro lado, na segunda situação, quando o objetivo for o de se estudar a correlação do EI_{30} com a perda do solo por erosão, os critérios a serem seguidos deverão ser na seguinte ordem: 1º) computar os valores dos EI_{30} para as chuvas maiores ou iguais a 10,0 mm, e 2º) computar os valores dos EI_{30} daquelas menores do que 10,0 mm se possuírem uma quantidade de 6,0 mm ou mais em 15 minutos, e 3º) computar os valores dos EI_{30} daquelas que apresentarem perda de solo e/ou enxurrada. Portanto, como na maioria dos casos de determinação do fator R não existe a condição da parcela de campo, ou parcela padrão, conclui-se que o número de chuvas consideradas para o cálculo, neste caso, é substancialmente menor do que naquele destinado ao estudo da correlação do EI_{30} com a erosão.



5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado para o Estado de São Paulo, com os materiais e métodos empregados e em decorrência dos resultados obtidos, analisados e interpretados, estabelecem-se as conclusões a seguir apresentadas:

- 1ª) Os critérios de selecionamento, das chuvas individuais erosivas destinadas ao cálculo do fator R, deverão estar na seguinte ordem: I) computar os valores dos EI_{30} para as chuvas maiores ou iguais a 10,0 mm, e II) computar os valores dos EI_{30} daquelas menores do que 10,0 mm, se possuírem uma quantidade de 6,0 mm ou mais em 15 minutos. Tais critérios podem poupar, em média, 47% do total do trabalho que seria necessário, quando são consideradas todas as chuvas ocorridas; e
- 2ª) Os critérios de selecionamento das chuvas individuais erosivas, destinadas ao estudo de correlação do EI_{30} com a erosão, deverão ordenar-se da seguinte forma: I) computar os valores dos EI_{30} para as chuvas maiores ou iguais a 10,0 mm; II) computar os valores dos EI_{30} daquelas menores do que 10,0 mm se possuírem uma quantidade de 6,0 mm ou mais em 15 minutos, e III) computar os valores dos EI_{30} daquelas que apresentarem perda de solo por erosão e/ou enxurrada. Neste caso, tais critérios podem poupar, em média, 31% do total do trabalho que seria necessário, quando são consideradas todas as chuvas ocorridas.



6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALBURQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; CATANEO, A. e SRINIVASAN, V.S.

Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um solo Bruno – Não Cálcico Vértico em Sumé (PB). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. Viçosa, v.22, n.4, p.743-749, 1998.

BERTOL, I. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico Distrófico determinada sob chuva natural: primeira aproximação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.18, n.2, p.335-338, 1994.

BERTONI, J. Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. *Bragantia*, Campinas, v.9, p.147-155, 1949.

BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. *Bragantia*, Campinas, v.18, n.10, p.113-140, 1959.



CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI Values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (unpublished).

CANTALICE, J.R.B. e MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do agreste de Pernambuco. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.17, n.2, p.275-281, 1993.

CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. e CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.13, n.2, p.237-242, 1989a.

X CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. e CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI_{30} . *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.13, n.2, p.243-249, 1989b.

CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F. e CATANEO, A. Índice $KE > 25$ para análise da erosividade da chuva de Mococa (SP). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.15, n.3, p.375-381, 1991a.

CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J. e CATANEO, A. Correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e coeficiente de chuva do município de Mococa-SP. *Científica*, São Paulo, v.19, n.1, p.1-7, 1991b.



CARVALHO, M.P., CATANEO, A. e LOMBARDI NETO, F. Índices de erosividade da chuva e enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Roxo Distrófico de Campinas (SP). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.319-340, 1993.

CARVALHO, M.P., CATANEO, A.; e LOMBARDI NETO, F. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo de Pindorama. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.21, n.2, p.279-286, 1997.

CARVALHO, M.P., e HERNANI, L.C. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com perdas de solo e erodibilidade de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. Viçosa, v.25, n.1, p.137-146, 2001.

CASTRO FILHO, C.; CATANEO, A. e BISCAIA, R.C.M. Utilização da metodologia de Wilkinson para cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.6, n.3, p.240-241, 1982.

CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C. e ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.6, n.3, p.236-239, 1982.

CHAGURI NETO, L. *Avaliação das perdas de solo numa pequena bacia hidrográfica (Fazenda Ipanema - Iperó/SP)*. Piracicaba: USP, 1984. 108p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1984.



CHAVES, I.B. *Erosividade das chuvas na microrregião homogênea brasileira n.98* (Estado da Paraíba). Piracicaba: USP, 1977, 99p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1977.

ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; SCOPEL, I. e GUERRA, M. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo laterítico bruno-avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.8, n.1, p.117-125, 1984.

FOSTER, G.R.; Mc COOL, D.K.; RENARD, K.G. e MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *J. Soil Water Conserv.*, Ankeny, v.36, n.6, p.355-359, 1981.

GRAYBILL, F.A. *Theory and application of the linear model*. Massachusetts: Duxbury Press, 1976. 704p.

GUNN, R. e KINZER, G.D. The terminal velocity of fall for water droplets. *J. Met.*, Lancaster, v.6, n.1, p.243-248, 1949.

HOFFMANN, R. e VIEIRA, S. *Análise de regressão: uma introdução à econometria*. 1.ed. São Paulo: HUCITEC-EDUSP, 1977. 339p.

HUDSON, N.W. *Soil Conservation*. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1973. 320p.



- LAWS, J.O. Measurement of fall velocity of water drops and rain drops. *Trans. Am. Geophys. Union*, Washington, v.22, n.1, p.709-721, 1941.
- LAWS, J.O. e PARSON, D.A. The relation of rain drop size to intensity. *Trans. Am. Geophys. Union*, Washington, v.24, p.452-459, 1943.
- LEPSCH, I.F. e VALADARES, J.R.A.S. Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Pindorama. *Bragantia*, Campinas, v.35, p.13-40, 1976.
- LOMBARDI NETO, F. *Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil*. West Lafayette: Purdue University, 1977. 53p. Dissertação (Master of Science) - Purdue University, 1977.
- LOPES, P.R.C. e BRITO, L.T.L. Erosividade da chuva no médio São Francisco. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.17, n.1, p.129-133, 1993.
- MARIA, I.C. Cálculo de erosividade da chuva. In: LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M.; DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R.; MARIA, IC. Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo. Campinas, IAC-SCS, 1994 (não publicado).
- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P. e SILVA, M.L.N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados-primeira aproximação. *Rev. Bras.Ciênc. Solo*, Viçosa, v.21, n.3, p.427-434, 1997.



MARQUES, J.Q.A. Determinação de perdas por erosão. *Arch. Fit. Uruguai*, Montevideo, v.4, n.3, p.505-556, 1951.

MEDINA, B.F. e OLIVEIRA JUNIOR, R.C. A aplicabilidade de alguns índices erosivos em latossolo amarelo de Manaus (AM). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.11, n.1, p.67-70, 1987.

MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. e ELTZ, F.L.F. Índices de erosividade correlacionados com as perdas de solo no Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.12, n.3, p.281-284, 1988a.

MORAIS, L.F.B. ; MUTTI, L.S.M. e ELTZ, F.L.F. Relações entre características da chuva e perdas do solo no Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.12, n.3, p.285-288, 1988b.

MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T.M.C.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.; BOEL, E. e DURIGON, V. Índice EI₃₀ e sua correlação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.15, n.3, p.339-344, 1991.

MOURA, A.R.B. e MEDEIROS, J.F. Determinação inicial da erosividade da chuva (fator R) em 1985, em Mossoró (RN). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.11, n.2, p.229-231, 1987.



NEWMAN, J.E. Climate in the 1970's. *Crops and soils magazine*, Madison, v.22, n.4, p.9-12, 1970.

✕ OLIVEIRA JUNIOR, R.C. e MEDINA, B.F. A erosividade da chuva em Manaus (AM). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.14, n.2, p.235-239, 1990.

PEREIRA, H.H.G. *Índices de erosividade da chuva: distribuição e relações com a precipitação em Piracicaba-SP*. Piracicaba: USP, 1983, 70p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1983.

ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.P. e PRADO, R.M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v.25, n.1, 2001.

SAS INSTITUTE, SAS/STAT. *Guide for personal computers, Version 6 Edition*. Cary, 1988a. 378p.

SAS INSTITUTE. *SAS Language guide, Release 6.03 edition*. Cary, 1988b. 530p.

RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o estado do Paraná: segunda aproximação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.10, n.3, p.279-281, 1986.



RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M. e MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva para o estado do Paraná através de pluviometria: terceira aproximação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.439-444, 1993.

SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. e LIMA, J.M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). *R. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.21, n.1, p.131-137, 1997.

WILKINSON, G.E. Rainfall characteristics and soil erosion in the rainforest area of Western Nigeria. *Exp. Agr.*, Great Britain, v.2, p.247-255, 1975.

WISCHMEIER, W.H. Soil water losses through runoff as affected by soil type, length and percent of slope, cropping systems, soil management practices and weather conditions. Annual research report. *National Summary of Runoff and Soil Loss Data*. USDA, ARS, SWCRD. West Lafayette, 34p., 1956 (unpublished).

WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.23, n.3, p.246-249, 1959.

WISCHMEIER, W.H. Upslope erosion analysis. In: SHEN, H.W. *Environmental impact on rivers*. Fort Collins: USDA, 1972. cap.15, p.1-26.



WISCHMEIER, W.H. Conservation tillage water erosion. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, 1, 1973, Ankey. *Proceedings...* Ankey: United States Department of Agriculture, 1973. p.133-141.

WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am.. Geophys. Un.*, Washington, v.39, n.2, p.285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H. e 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: United States Department of Agriculture, 1965. 47p. (Agriculture handbook, 282).

WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning.* Washington, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture handbook, 537).

