EROSIVIDADE DA CHUVA: DISTRIBUIÇÃO E CORRELAÇÃO COM AS PERDAS DE SOLO DE MOCOCA - SP

MOREL DE PASSOS E CARVALHO
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. JÚLIO VASQUES FILHO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro de 1987

Carvalho, Morel de Passos e
C331e Erosividade da chuva; distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa - SP. Piracicaba, 1987.
104p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Chuva - Erosividade - Mococa, SP. 2. Solo - Erodibilidade - Mococa, SP. I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CDD 551.577

EROSIVIDADE DA CHUVA: DISTRIBUIÇÃO E CORRELAÇÃO COM AS PERDAS DE SOLO DE MOCOCA - SP

Morel de Passos e Carvalho

Aprovada em: 04/12/1987

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Júlio Vasques Filho	ESALQ/USP
Dr. Francisco Lombardi Neto	CPA/IAC
Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova	ESALQ/USP

Prof. Dr. Júlio Vasques Filho
Orientador

Aos meus pais JOÃO BAPTISTA e
ENIDE,

À minha esposa RITA DE CÁSSIA e

Aos meus filhos
LÍVIA e DIOGO.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Júlio Vasques Filho e ao Dr. Francisco Lombardi Neto, expresso meus profundos agradecimentos pela amizade, incentivo e irrestrita colaboração.

Agradeço, ainda,

- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",
- À Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo,
- À Fundação Faculdade de Agronomia "Luiz Meneghel",
- À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP - Campus de Ilha Solteira,
- Ao Centro de Informática na Agricultura da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP - Campus de Botucatu,
- Ao Engenheiro Agrônomo Orlando Melo de Castro,
- Ao Prof. Dr. Octavio Freire,
- Ao Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos,
- Ao Engenheiro Agrônomo Angelo Cataneo,
- Ao Prof. Gener Tadeu Pereira,
- Ao Prof. Walter Veriano Valério Filho,
- Ao Prof. Dr. José Antonio Frizzone,
- Ao Prof. Antonio Fernando Bergamaschine,
- Ao Prof. Milton Passipieri,
- Ao Prof. Pedro César dos Santos,
- Ao Engenheiro Agrônomo Luiz Chaguri Neto,
- À Maira de Passos e Carvalho Chade e
- Ao Olivier de Passos e Carvalho.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS x
LISTA DE TABELAS xi

RESUMO xiii

SUMMARY xvi

1. INTRODUÇÃO 01

2. REVISÃO DE LITERATURA 03
2.1. A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). 03
2.2. O índice de erosividade EI_{30} 06
2.3. O índice de erosividade KE > 25 15
2.4. Probabilidade de ocorrência e período de retorno do índice de erosividade 16
2.5. Correlação entre características da chuva e perda de solo 22
2.6. Coeficiente de chuva 26

3. MATERIAL E MÉTODOS 29
3.1. Material utilizado 29
3.1.1. Caracterização do local de origem dos dados 29
3.1.2. Pluviógrafo e pluviogramas utilizados. 30
3.1.3. Folha de registro de dados 30
3.1.4. Parcela de campo representativa do solo e sistema coletor de solo e enxurrada 32
3.1.5. Computador e programa para cálculo das características da chuva individual erosiva 32
3.1.6. Dados pluviométricos utilizados 33

Página

3.2. Método empregado 34
3.2.1. Determinação do número total de chuvas individuais erosivas estudadas 34
3.2.2. Cotamento, obtenção e digitação dos dados 35
3.2.3. Determinação das características estudadas da chuva individual erosiva 36
3.2.3.1. Energia cinética total 37
3.2.3.2. Tempo de duração e precipitação total 38
3.2.3.3. Energia cinética para intensidades maiores do que 10,0 e 25,0 mm/h (KE > 10 e KE > 25) 38
3.2.3.4. Intensidades máximas (I_n) de cinco em cinco minutos variando de 5 até 60 39
3.2.3.5. Produtos da energia cinética total pelas intensidades máximas (EI_n) de cinco em cinco minutos variando de 5 até 60. 40
3.2.4. Coleta de solo 41
3.2.5. Estudo de correlações 42
3.2.5.1. Características da chuva *versus* perda de solo 42
3.2.5.2. Estimativa do fator erodibilidade do solo (K) 45
3.2.6. Caracterização da erosividade da chuva 45
3.2.6.1. Índice de erosividade EI_{30} decendial 46
3.2.6.2. Índice de erosividade EI_{30} mensal 46
3.2.6.3. Índice de erosividade EI_{30} anual 47

Página

3.2.6.4. Índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R) 47
3.2.6.5. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais 47
3.2.7. Coeficiente de chuva: cálculo e estudo de correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal 51
3.2.8. Conversão de unidades 52

4. RESULTADOS 53
4.1. Estudo de correlações 53
4.1.1. Características da chuva *versus* perda de solo 53
4.1.2. Estimativa do fator erodibilidade do solo (K) 56
4.2. Caracterização da erosividade da chuva ... 57
4.2.1. Índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R) de Mococa-SP 57
4.2.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva 61
4.2.2.1. Distribuição anual, sazonal e mensal da precipitação e da erosividade da chuva 61
4.2.2.2. Distribuição decendial da erosividade da chuva 65
4.2.2.3. Curva de distribuição do índice de erosividade da chuva .. 65

Página

4.2.3. Freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano 68
4.2.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais .. 71
4.2.4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual 71
4.2.4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais 74
4.3. Coeficiente de chuva: cálculo e estudo de correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal 78

5. DISCUSSÃO 82
5.1. Estudo de correlações 82
5.1.1. Características da chuva *versus* perda de solo 82
5.1.2. Estimativa do fator erodibilidade do solo (K) 84
5.2. Caracterização da erosividade da chuva 85
5.2.1. Índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R) de Mococa-SP 85
5.2.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva 87

Página

5.2.2.1. Distribuição anual, sazonal e mensal da precipitação e da erosividade da chuva 87
5.2.2.2. Distribuição decendial da erosividade da chuva 90
5.2.2.3. Curva de distribuição do índice de erosividade da chuva. 91
5.2.3. Freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano 92
5.2.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais .. 93
5.2.4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual 93
5.2.4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais 95
5.3. Coeficiente de chuva: cálculo e estudo de correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal 96

6. CONCLUSÕES 98

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº		Página
01	Folha de registro de dados da chuva individual erosiva representada graficamente no pluviograma	31
02	Histogramas de distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade (MJ.mm/ha.h) e da precipitação pluviométrica (mm) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985	64
03	Curva de distribuição do índice de erosividade de Mococa-SP, analisado durante o período de 1966 a 1985. Dados em porcentagem	69
04	Curva de distribuição de probabilidade para os valores dos índices de erosividade anual (MJ.mm/ha.h.ano) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985	73
05	Curva de distribuição de probabilidade para os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais (MJ.mm/ha.h) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985	76
06	Curva de regressão entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal (MJ.mm/ha.h) e o coeficiente de chuva (mm), obtido durante os anos de 1966 a 1985 de Mococa-SP ..	80

LISTA DE TABELAS

TABELA Nº		Página
01	Coeficiente linear (a), de regressão (b) e de correlação (r) das equações de regressão linear simples entre as características da chuva e a perda de solo. Análise de 425 chuvas ocorridas entre julho de 1978 e julho de 1985, em condições de solo descoberto de Mococa-SP	54
02	Valores mensais e anuais do índice de erosividade EI_{30} e fator erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985	59
03	Quantidade anual de chuva (mm) e índice de erosividade (MJ.mm/ha.h.ano), durante o período 1966 a 1985 de Mococa-SP	60
04	Distribuição anual e mensal da precipitação pluviométrica (mm) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985	63
05	Distribuição decendial dos valores do índice de erosividade EI_{30} da chuva (MJ.mm/ha.h) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985	66

TABELA Nº		Página
06	Distribuição média decendial e mensal do índice de erosividade de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985 (Valores expressos em porcentagem do EI_{30} total) ...	67
07	Freqüência da chuva individual mais erosiva do ano, dentro de um mês específico. Análise de 19 anos de registro de dados (1966 a 1985) de Mococa-SP	70
08	Probabilidade de ocorrência (%) e período de retorno (ano) dos valores dos índices de erosividade anual (MJ.mm/ha.h.ano) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985	72
09	Probabilidade de ocorrência (%) e período de retorno (ano) dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais (MJ.mm/ha.h) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985 ...	75
10	Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica (mm), coeficiente de chuva (mm) e índices de erosividade observados e estimados (MJ.mm/ha.h), obtidos durante os anos de 1966 a 1985 de Mococa-SP	79

EROSIVIDADE DA CHUVA: DISTRIBUIÇÃO E CORRELAÇÃO COM AS PERDAS DE SOLO DE MOCOCA - SP

Autor: MOREL DE PASSOS E CARVALHO
Orientador: Prof. Dr. JÚLIO VASQUES FILHO

RESUMO

Foi estudada a erosividade da chuva de Mococa através da metodologia de WISCHMEIER & SMITH (1958). Para tanto, foram analisados dados pluviográficos e de perda de solo de 53,2 parcelas.ano da Seção de Conservação do Solo instalada na Estação Experimental local, pertencente ao Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Brasil.

Para a caracterização do fator R da Equação Universal de Perdas de Solo foram separadas 1011 chuvas individuais erosivas de acordo com WISCHMEIER (1959) e WISCHMEIER & SMITH (1978), com pequenas modificações propostas por CABEDA (1976), distribuídas durante os anos de 1966 a 1985. Para o estudo de correlação com as perdas de solo foram separadas 352 chuvas individuais erosivas das 1011 utilizadas para o cálculo do R, assim como 73 chuvas individuais não erosivas segundo os mesmos autores, distribuídas entre julho de 1978 e julho de 1985, mas que entretanto proporcionaram significativas perdas de solo e/ou água. Todas foram cotadas e, posteriormente, analisadas em computador do tipo PC/XT do Centro de Informática na Agricultura, da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP -

Campus de Botucatu, através do programa em linguagem FORTRAN IV de CATANEO **et alii** (1982), com pequenas adaptações. As características obtidas e correlacionadas com a perda de solo foram: precipitação total, energia cinética total, KE > 10, KE > 25, I_5, I_{10}, I_{15}, I_{20}, I_{25}, I_{30}, I_{35}, I_{40}, I_{45}, I_{50}, I_{55}, I_{60}, EI_5, EI_{10}, EI_{15}, EI_{20}, EI_{25}, EI_{30}, EI_{35}, EI_{40}, EI_{45}, EI_{50}, EI_{55} e EI_{60}.

Não foi encontrada diferença estatística significativa para estimar as perdas de solo, entre as seguintes características da chuva: KE > 10, KE > 25 e todos os EI_n estudados. Desta forma, o índice EI_{30}, comumente utilizado por outros autores, constituiu-se num conveniente indicador para avaliar a erosividade da chuva de Mococa.

O fator erosividade da chuva, isto é, o índice de erosividade EI_{30} médio anual de WISCHMEIER & SMITH (1965), obtido através de 19 anos de registro de dados, foi de 7747 MJ.mm/ha.h.ano, o qual é esperado que ocorra no local pelo menos uma vez a cada 2,4 anos. Os valores dos índices de erosividade anual esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos foram, respectivamente de 7355, 9151, 11455 e 14062 MJ.mm/ha.h.ano.

Foi observada a distribuição de 85,4% do total da erosividade anual durante o semestre de outubro a março, indicando que é esperado que ocorra neste período, a maior parte das perdas anuais de solo. Portanto, devem ser estabelecidas e mantidas práticas conservacionistas nesta época do ano, a fim de que tais perdas sejam controladas.

Foi observado existir para o local estudado, uma elevada correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva. Portanto, através da equação de regressão estabelecida, pode-se estimar com boa margem de segurança o fator R para outros locais que não possuam dados pluviográficos, mas que, entretanto, apresentem condições climáticas semelhantes às de Mococa.

O fator erodibilidade que pôde ser estimado pelo presente estudo, para o solo da parcela de campo - Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico, T_b, A chernozêmico, textura argilosa/muito argilosa - foi de 0,0232 t.ha.h/ha.MJ.mm.

RAINFALL EROSIVITY: ITS DISTRIBUTION AND RELATIONSHIP WITH SOIL LOSS AT MOCOCA (SAO PAULO, BRAZIL)

Author: MOREL DE PASSOS E CARVALHO
Adviser: Prof. Dr. JÚLIO VASQUES FILHO

SUMMARY

Rainfall data and soil loss from 53,2 year-plots located at the Mococa Soil Conservation Section of the IAC were treated according to the methodology proposed by WISCHMEYER and SMITH (1958) with the purpose of determining rainfall erosivity at that site.

Data collected from 1966 to 1985 from a total of 1,011 erosive rains selected according to criteria set forth by WISCHMEYER (1959) and WISCHMEYER and SMITH (1978) and slightly modified by CABEDA (1976) were computed to determine the R factor of USLE. A set of 352 erosive rains was singled out of that total to evaluate the correlation between rainfall and soil loss. Another set of 73 individual non-erosive rains fallen between July 1978 and July 1985 was also studied indicating a significant loss of soil and / or runoff. The rainfall data was computer analyzed showing a correlation between soil loss and the following: total rainfall, total kinetic energy, KE > 10, KE > 25, I_5, I_{10}, I_{15}, I_{20}, I_{25}, I_{30}, I_{35}, I_{40}, I_{45}, I_{50}, I_{55}, I_{60}, EI_5, EI_{10}, EI_{15}, EI_{20}, EI_{25}, EI_{30}, EI_{35}, EI_{40}, EI_{45}, EI_{50}, EI_{55} and EI_{60}. No

significant statistical difference between KE > 10, KE > 25 and every EI_n was found as to their capacity to estimate soil loss. Thus the EI_{30} index commonly used as an indicator was also used in this work to estimate Mococa's rainfall erosivity.

The average annual erosivity index EI_{30} calculated from 19 years of rainfall data was 7,747 MJ.mm/ha.h.y. That value is expected to occur at least one every 2.4 years. Annual erosivity indexes expected for the return periods of 2, 5, 20, and 100 years were 7,350, 9,151, 11,455 and 11,062 MJ.mm/ha.h.y, respectively. Most of the annual soil loss is expected to occur between the months of October and March, as shown by the 85.4% of the total annual erosivity for that period. It is recommended therefore that soil conservation practices be established and maintained throughout that particular period of the year for an effective soil loss control.

A high correlation was found between the monthly mean erosivity index EI_{30} and the rainfall coefficient. The regression equation obtained allows for a fair estimate of the R factor for other regions where climatic conditions are similar to Mococa's but where rainfall data are non - existent.

Soil erodibility for the soil in the field experimental plot - a Red Yellow Podzolic, euthropic, T_b, chernozemic A, clayey, - was 0.0232 ton.ha.h/ha.MJ.mm.

1. INTRODUÇÃO

A Equação Universal de Perdas de Solo, desenvolvida por WISCHMEIER & SMITH (1965), relaciona de forma diretamente proporcional todos os fatores que influenciam na erosão acelerada dos solos, que são: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento e grau do declive, cobertura e manejo e práticas conservacionistas. Sua utilização tem o objetivo de predizer as perdas médias de solo que poderão ocorrer num determinado local, através do uso agrícola. Desta forma, constitui-se num objeto de importância fundamental para o estabelecimento, tanto do correto uso da terra, assim como para a seleção de práticas adequadas de conservação dos solos.

A pesquisa na área de Conservação do Solo tem indicado que quando todos os fatores da Equação Universal de Perdas de Solo, com exceção da erosividade, são mantidos constantes, as perdas de solo de uma área agricultada, causadas por uma chuva qualquer, são diretamente proporcionais ao seu índice de erosividade. A correlação da perda de solo com o referido índice é linear, sendo, portanto, de efeito adicional os valores de erosividade de diversas chuvas.

Conhecendo-se, portanto, o papel fundamental que esta variável dimensional da Equação Universal de Perdas de Solo, isto é, a erosividade da chuva, possui dentro do processo erosivo, é que se tentará obter para Mococa-SP, através do presente trabalho, o seguinte:

a. Determinar e estudar as correlações existentes entre as características da chuva e a perda de solo;

b. Determinar o fator erosividade da chuva local, contribuindo, desta forma, com o detalhamento e aprimoramento do mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo;

c. Determinar a distribuição anual, sazonal mensal e decendial do índice de erosividade;

d. Determinar e estudar o período de retorno e a probabilidade de ocorrência, tanto dos valores dos índices de erosividade anual, como dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, e

e. correlacionar o índice de erosividade médio mensal com o coeficiente de chuva local.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO (EUPS)

Através do relato de WISCHMEIER & SMITH (1978), a Equação Universal de Perda de Solo foi desenvolvida pelo **National Runoff and Soil Loss Data Center**, juntamente com a Universidade de Purdue. Uma cooperação entre os projetos de pesquisa estaduais e federal de 49 localidades americanas contribuiu com mais de 10 000 parcelas.ano de dados de enxurrada e perda de solo para este acontecimento. A Equação apresentada prediz as perdas médias de solo de um local qualquer, através do produto de suas seis variáveis, cujos valores podem ser expressos numericamente. Sua representação é a seguinte:

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

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 da cultura e P é o fator prática conservacionista. As variáveis L, S, C e P são adimensionais.

Erosividade da chuva é a sua habilidade potencial em causar erosão. É função das características físicas da chuva. Em idênticas condições de solo, uma chuva qualquer pode ser comparada quantitativamente com outra, possibilitando assim a criação de uma escala numérica de valores de erosividade (HUDSON, 1973). Portanto, o fator erosividade da chuva (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva em produzir erosão, numa localidade qualquer (FAO, 1967).

WISCHMEIER & SMITH (1965) citaram que sulcos e depósitos sedimentares formados após uma intensa chuva poderiam levar à conclusão de que a erosão do solo significante é associada apenas a poucas chuvas. Entretanto, análises de trinta anos de dados nos estados americanos evidenciaram tal fato não ser verdadeiro. Os dados mostraram que o fator erosividade da chuva, usado para estimar as perdas médias anuais do solo, deve incluir tanto os efeitos acumulativos das chuvas de moderada intensidade, bem como os efeitos das chuvas de elevada intensidade.

De acordo com WISCHMEIER (1972), alguns solos são erodidos mais facilmente do que outros, sob as mesmas condições. O fator erodibilidade do solo (K), da Equação Universal de Perdas de Solo, reflete estas diferenças. Simultaneamente com o fator erosividade da chuva, ele fornece uma estimativa das perdas de solo para a referida equação. O autor comenta, ainda, que o fator K combina, dentro de um único número, os efeitos das características do solo sobre sua capacidade de absorver água, assim como a susceptibilidade deste

solo em se desagregar e ser transportado pela enxurrada. Desta forma, ele foi definido como o incremento médio na perda do solo, para cada unidade adicionada do fator R, quando os fatores L, S, C e P, os quais representam respectivamente o comprimento do declive, grau do declive, uso e manejo da cultura e prática conservacionista, forem iguais a um. Em relação ao modelo linear y = a+b.x, onde y representa a perda de solo e x o índice de erosividade, o fator K é representado pelo coeficiente de regressão b quando os dados são obtidos sob condições de "parcela padrão".

"Parcela unitária" ou "parcela padrão" - que serve de referência para avaliação dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo - foi arbitrariamente definida da seguinte forma: parcela com 72,6 pés de comprimento (22,14m), 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 americanas de estudo de erosão, no período de 1930 a 1960, foram assim dimensionadas. A condição de alqueive contínuo foi padronizada por duas razões: a) os sistemas de cultura não são comuns a todas às áreas agrícolas, 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 variam de local para local (WISCHMEIER, 1972).

BERTONI & LOMBARDI NETO (1985) estudaram e representaram recentemente os valores de erodibilidade dos so-

los do Estado de São Paulo. Os solos com horizonte B textural apresentaram um valor variando entre $0,540.10^{-3}$ e $0,180.10^{-3}$ t.ha.h/ha.tf.m.mm, respectivamente, para os Solos Podzolizados com Cascalho e Terra Roxa Estruturada. Tais valores, no Sistema Internacional, correspondem respectivamente a 0,0550 e 0,0183 t.ha.h/ha.MJ.mm. Os solos Podzólico Vermelho Amarelo variação Piracicaba e o Mediterrânico Vermelho Amarelo apresentaram, respectivamente, um valor de erodibilidade de $0,269.10^{-3}$ e $0,225.10^{-3}$ t.ha.h/ha.tf.m.mm. Da mesma forma, estes valores correspondem, respectivamente, a 0,0274 e 0,0229 t.ha.h/ha.MJ.mm.

2.2. O ÍNDICE DE EROSIVIDADE EI_{30}

WISCHMEIER & SMITH (1958) estudaram a energia cinética da chuva e sua correlação com a perda de solo. Através deste estudo, desenvolveram uma equação de regressão que calcula tal energia com elevada significância estatística. A equação obtida é a seguinte:

$$E = 916 + 331 \log I , \qquad (2)$$

onde:

E é a energia cinética em tf.pe/acre.pol. e I é a intensidade da chuva em pol./h. A referida eq. (2) foi baseada em dados detalhados de distribuição do tamanho de gotas da chuva de Laws e Parsons, como também em velocidades terminais para vários tamanhos de gotas, avaliados tanto por Laws como por

Gunn e Kinzer. FOSTER **et alii** (1981) fizeram a conversão da eq. (2) para o Sistema Internacional de Unidades, que é a seguintes:

$$E = 0{,}119 + 0{,}0873 \log I \ , \qquad (3)$$

onde:

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

WISCHMEIER & SMITH (1958) apresentaram um procedimento relativamente simples para o cálculo da energia cinética da chuva, através das informações fornecidas em pluviogramas. Para tal cálculo, foi montada uma tabela de valores de energia cinética da chuva calculada pela eq. (2). Os autores relataram que o registro das intensidades de uma chuva pode ser obtido de um pluviograma, através do conhecimento do tempo e da quantidade de chuva precipitada em cada um dos segmentos sucessivos de intensidade constante, efetuando-se a divisão da referida quantidade pelo seu respectivo tempo. Assim sendo, deve-se entrar na tabela citada anteriormente com o valor de um incremento específico de intensidade constante. A energia obtida deve ser multiplicada pela quantidade de chuva do incremento, resultando assim o seu valor de energia cinética. Estes produtos parciais devem ser finalmente somados para se obter o valor da energia cinética total da chuva.

WISCHMEIER & SMITH (1958) quando correlacionaram parâmetros da chuva com as perdas de solo, acharam que a

melhor variável simples para a predição das perdas de solo em alqueive é o produto da energia cinética total da chuva e sua intensidade máxima em trinta minutos. Este produto, o qual os autores chamaram de EI ou EI_{30}, é diretamente proporcional às perdas de solo e reflete as capacidades erosivas combinadas do impacto da gota da chuva e da enxurrada.

WISCHMEIER (1959) analisou dados de enxurrada, perda de solo e as precipitações correspondentes, de aproximadamente 8 000 parcelas.ano. O objetivo do autor era o de obter a maior correlação possível entre as características da chuva e a perda de solo, na tentativa de se definir um índice de erosividade da chuva para a Equação Universal de Perdas de Solo. As análises mostraram que a energia cinética da chuva prediz melhor as perdas do que a quantidade de chuva, sendo esta última de baixa correlação. No geral, a intensidade máxima em 30 minutos apresentou altas correlações com a perda, sendo tais correlações muito maiores do que as das intensidades máximas em 5, 15 ou 60 minutos. O autor observou, ainda, que para todas as parcelas em alqueive estudadas, a variável EI_{30} isoladamente explicou a maior parte das perdas de solo, sendo que seus coeficientes de correlação variaram de 0,84 a 0,98, concluindo que a correlação matemática entre as perdas de solo e os valores de EI_{30} está de acordo com os princípios básicos da erosão hídrica pluvial.

Segundo WISCHMEIER (1959) relata em seu trabalho, o cálculo da energia cinética da chuva como um componente do valor do EI_{30} requer definição exata de uma "chuva indi

vidual erosiva". O tempo mínimo e ótimo, definido como intervalo entre duas chuvas, é função da variação da taxa de infiltração após o término da primeira chuva. Este tempo, indubitavelmente, varia com o tipo de solo. No geral, as melhores correlações entre os valores de EI_{30} e as perdas de solo foram obtidas quando chuvas separadas por um tempo menor que 6 horas foram tratadas como uma única chuva. Ainda com respeito ao método de cálculo do índice de erosividade, WISCHMEIER & SMITH (1978) consideraram que as chuvas que apresentavam menos do que 0,5 polegadas (12,7 mm) e separadas de outra por mais do que 6 horas foram omitidas de tal cálculo, a menos que ocorresse o caso de 0,25 polegadas (6,4 mm) em 15 minutos. Grande parte do trabalho foi poupado através da adoção do valor limite de 0,5 polegada para conceituação de chuva erosiva.

A soma dos EI_{30} calculados para um determinado período de tempo constitui-se na avaliação numérica da erosividade da chuva de tal período. O índice de erosividade da chuva para um local é obtido através do EI_{30} total médio anual calculado para um longo período de anos. Os valores dos EI_{30} das chuvas refletem as interações entre as características significantes destas chuvas. Através da soma destes valores, é adicionado ao índice de erosividade o efeito da freqüência das chuvas erosivas dentro do ano (WISCHMEIER & SMITH, 1965). Devido ao padrão cíclico aparente dos dados de chuva, conforme descrito por Newman*,

---

* NEWMAN, J.E. Climate in the 1970's. **American Society of Agronomy, Crops and Soil**, 22(4): 9-12.

os valores dos índices de erosividade publicados foram baseados em dados de 22 anos (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

WISCHMEIER & SMITH (1965) chamaram de isoerodentes as linhas contidas em um mapa geográfico, ligando pontos de mesmo valor de índice de erosividade. Os valores do índice de erosividade de qualquer localidade podem ser tomados diretamente no mapa. Os locais situados entre tais linhas podem ter o seu fator determinado através da interpolação linear.

Em países de clima temperado, concluiu HUDSON (1973), a intensidade da chuva raramente excede 75 mm/h, ocorrendo tal evento apenas em aguaceiros de verão, os quais são esporádicos. Por outro lado, em países tropicais, intensidades de 150 mm/h são observadas regularmente. A máxima intensidade ocorrida por somente poucos minutos foi registrada na África pelo autor, sendo de 340 mm/h.

HUDSON (1973) estudou as curvas de distribuição do tamanho da gota, em função do aumento da intensidade da chuva, em condições de clima tropical. O autor demonstrou que o valor mediano do diâmetro da gota aumenta até quando os valores de intensidade aproximam-se de 80 a 100 mm/h. Para as intensidades acima das mencionadas, tais valores decrescem. Então, concluiu que a correlação do tipo $D_{50} = I^{b_i}$, onde D_{50} é o diâmetro mediano da gota, I é a intensidade da chuva e b_i é uma constante, é válida apenas para baixas intensidades, as quais são típicas do seu local de origem (USA), não podendo,

entretanto, ser extrapolada para as chuvas tropicais de altas intensidades.

LOMBARDI NETO (1977) estudou a erosividade da chuva de Campinas - SP, durante um período de 22 anos de análise de dados, através do índice EI_{30}. Obteve, então, o índice médio anual de erosividade de 690.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (6779 MJ.mm/ha.h.ano), com uma variação dos índices anuais de 351.10^3 a 1410.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (3343 a 13832 MJ.mm/ha.h.ano). Tais índices ainda apresentaram os valores de 247.10^3 e 53.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (2423 e 520 MJ.mm/ha.h.ano), respectivamente para o desvio padrão e erro padrão da média e um coeficiente de variação de 35,8%. O autor observou, ainda, que apenas 74% da precipitação média anual foram consideradas no cálculo daquele índice para aquela localidade.

No estudo de distribuição mensal do potencial erosivo de Campinas - SP, LOMBARDI NETO (1977) determinou que 90,7% do índice de erosividade local ocorreram durante os meses de outubro a março, sendo que para este período a quantidade total anual de chuva correspondente é de 80,1%. Para o curto período de dezembro, janeiro e fevereiro, manifestam-se 62,5% do índice, correspondendo a 50,0% da precipitação anual, o que deixa claro que para este tempo é esperada uma grande quantidade de perda de solo.

LOMBARDI NETO (1977), estudando a erosividade da chuva de Campinas - SP, através da análise de dados de 22 anos, comentou sobre os cálculos e a metodologia necessários para a determinação da curva de distribuição do índice

de erosividade. Segundo o autor, a distribuição mensal dos índices de erosividade é, normalmente, expressada como porcentagem do total anual. A tendência deste cálculo, em estimar aguaceiros esporádicos, é minimizada pela exclusão dos valores extremos mensais. A probabilidade de uma chuva com um período de retorno de 100 anos ocorrer num mês específico é, naturalmente, muito menor do que 1%. E quando este tipo de chuva ocorre dentro de um período de 22 anos de registro de dados, proporciona uma tendência superavaliada das estimativas das porcentagens dos EI_{30} totais daquele mês. Considerando-se cada mês separadamente, foram omitidos, portanto, os valores extremos do índice de erosividade, calculando-se a porcentagem mensal com base nos 20 outros anos restantes. Se existir uma tendência de tais tipos de chuvas estarem concentrados dentro de um mês em particular, estes 20 valores remanescentes incluiriam ainda valores suficientemente altos para refletir este fenômeno. Já, com relação à determinação da curva de distribuição dos índice de erosividade, foi comentado que foram plotadas as porcentagens médias mensais dos valores dos índices. Em seguida, os pontos plotados foram unidos através de uma curva média, graficamente ajustada. Tal processo de ajustamento se faz necessário pelo seguinte: uma grande chuva, que venha a ocorrer tardiamente em um mês, teria talvez a mesma probabilidade de ocorrer precocemente no mês seguinte.

O diâmetro mediano da gota de chuva cessa de aumentar com o aumento da intensidade acima de 3 polegadas/ho

ra (76,2 mm/h), sugerindo a adoção do limite máximo de energia cinética da chuva para este valor de intensidade (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A partir da equação de correlação, entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva, LOMBARDI NETO **et alii** (1981) determinaram para 115 locais do Estado de São Paulo, para um período de 22 anos de análise de dados, os valores locais dos índices de erosividade médios anuais. Obtiveram-se, então, valores, os quais variaram entre 600.10^3 a 1200.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (5866 a 11772 MJ.mm/ha.h.ano), podendo-se, desta forma, traçar o mapa de isoerodentes do Estado. Também foram estabelecidas no Estado 14 áreas relativamente homogêneas em relação à distribuição de erosividade. Foi mencionado ainda que tais distribuições da erosividade fornecem valiosas informações para o cálculo do fator uso e manejo (C) da Equação Universal de Perda de Solo, para as áreas em questão.

PEREIRA (1983) estudou a erosividade da chuva, sua distribuição e relação com a precipitação de Piracicaba-SP, para 20 anos de análise de dados, através do EI_{30} e KE > 25. Os valores médios dos índices de erosividade obtidos foram de 584.10^3 e 533.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (5729 e 5229 MJ.mm/ha.h.ano), respectivamente para o EI_{30} e KE > 25, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Em relação ao EI_{30}, para o período analisado, seus valores anuais variaram de 362.10^3 a 974.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (3551 a 9555 MJ.mm/ha.h.ano) e apresentaram as seguintes medidas de dispersão: desvio padrão de 220.10^3 tf.m.mm/ha.

h.ano (2158 MJ.mm/ha.h.ano); erro padrão da média de 49.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (481 MJ.mm/ha.h.ano), e um coeficiente de variação de 37,6%. Foi observado, ainda, pela autora, que tanto o EI_{30} como o KE > 25 distribuíram-se de forma semelhante no decorrer do ano. Durante a estação de elevada precipitação, isto é, na primavera e verão, foram concentrados 86,1% do EI_{30} total anual. Por outro lado, durante o trimestre de dezembro a fevereiro ocorreram 58,0% do total anual do referido índice. Foi concluído, portanto, que grande risco de erosão é esperado neste período.

PEREIRA (1983), comparando seus dados de erosividade da chuva de Piracicaba com aqueles obtidos para Campinas por LOMBARDI NETO (1977), ressaltou existir uma tendência diretamente proporcional das magnitudes do fator R e da precipitação pluviométrica média anual entre as duas cidades. Desta forma, foi observado para Piracicaba, que tanto o fator R ($584,10^3$ tf.m.mm/ha.h.ano ou 5729 MJ.mm/ha.h.ano) como a precipitação pluviométrica média anual (1259,0 mm) assumiram valores menores do que aqueles obtidos para Campinas, respectivamente 690.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (6769 MJ.mm/ha.h.ano) e 1349,0 mm.

RUFINO (1986) efetuou a avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná, através da análise de dados das 32 estações pertencentes à Rede Meteorológica do Instituto Agronômico do Estado (IAPAR), com uma média de 8,8 anos de observação por estação. Os dados, obtidos originalmente em tf.m.mm/ha.h.ano, foram transformados para a unidade do Sistema Internacional através da multiplicação pela cons-

tante $9,81.10^{-3}$. O autor, desta forma, encontrou para o Estado sete linhas iroerodentes, as quais foram determinadas por interpolação, e com uma amplitude de 1 000 MJ.mm/ha.h.ano. Os valores extremos observados foram de 12 559 e 5 275 MJ.mm/ha.h.ano (respectivamente 1280.10^3 e 537.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano), sendo muito próximos dos encontrados por LOMBARDI NETO **et alii** (1981) para o Estado de São Paulo.

2.3. O Índice de Erosividade KE > 25

HUDSON (1973), estudando a erosividade da chuva na África, determinou que o índice EI_{30} não se apresentava tão eficientemente como nos Estados Unidos. Partindo da observação de que para baixas intensidades a erosão do solo era inexpressiva, o autor desenvolveu, então, um novo método alternativo para calcular o índice de erosividade da chuva. Este valor limite de intensidade, no qual a chuva inicia seu processo erosivo, é de 1 polegada/hora (25,4 mm/h). Foi observada uma excelente correlação entre erosão de impacto e energia cinética da chuva, quando foram omitidas as energias das chuvas ou dos segmentos de chuva que apresentassem intensidades menores do que 25 mm/h. Para a determinação da erosão de impacto, o autor usou as cápsulas de salpico, de Ellison.

O novo índice de erosividade da chuva determinado por HUDSON (1973) é o KE > 1 ou KE > 25, o qual significa o total da energia cinética da chuva, para valores de in-

tensidade maiores do que 1 polegada/hora ou 25 mm/h. Este pode ser usado exatamente do mesmo modo como o EI_{30}, embora pareça ser mais apropriado que o índice americano, para chuvas de clima tropical e subtropical. O autor cita também que o cálculo do KE > 1 é semelhante ao do EI_{30}, sendo o primeiro de maior vantagem porque pode ser usado com menos detalhes de registro de chuva. Dentre os detalhes desnecessários ao KE > 1, foi citado o índice de intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}).

CHAGURI NETO (1984) estudou a erosividade da chuva da Fazenda Ipanema (CENEA) - Iperó - SP, através do KE > 25, para um período de registro de dados de 23 anos. O valor obtido pelo autor foi de 465.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (4562 MJ.mm/ha.h.ano), sendo que 72% do total médio anual deste índice ocorreram entre os meses de dezembro a março.

2.4. Probabilidade de Ocorrência e Período de Retorno do Índice de Erosividade

WISCHMEIER (1959) analisou a distribuição de probabilidade do índice de erosividade anual da chuva, para as cidades americanas de Temple, Clarinda, Blacksburg e Geneva. Para tais análises, o autor usou o tempo de 26, 24, 18 e 17 anos de registro de dados, respectivamente para as referidas cidade. Pôde ser concluído, então, que a distribuição de probabilidade do índice de erosividade anual dos locais estu-

dados seguiu o padrão log-normal, típico de muitos dados hidrológicos. Da mesma forma, foi observado que os valores dos índices sazonais ou mensais e os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais parecem seguir o mesmo tipo de distribuição.

No seu estudo de distribuição de probabilidade do índice de erosividade, WISCHMEIER (1959) relatou que foi muito difícil, demorado e caro obter dados de intensidade para o cálculo do EI_{30} aquém do ano de 1936. Tais limitações levaram-no a impor um limite de 22 anos para análise dos registros de chuva. Chow*, citado pelo autor, concluiu que dados hidrológicos, tomados num período de tempo de 20 anos ou mais, produzem uma satisfatória aproximação para propósitos práticos.

WISCHMEIER & SMITH (1965) calcularam os valores dos índices de erosividade com 50%, 20% e 5% de probabilidade de ocorrência para 181 localidades dos Estados Unidos. Relataram que quando a equação de perdas de solo é usada para estimar a perda média anual de uma localidade, o valor do fator R deve ser igual ao valor médio anual do índice de erosividade do próprio local, da mesma forma como obtido no mapa de isoerodentes. Entretanto, se for desejado algum valor com probabilidade específica, que não o índice médio anual de erosividade, este pode ser obtido através da curva de distribuição de probabilidade.

---

* CHOW, V.T. Frequency analysis of hydrologic data with special application to rainfall intensities. **Illinois Eng. Expt. Sta. Bull.** Illinois, nº 414, 1953.

Segundo SCHWAB **et alii** (1966), existem diversas equações empíricas para plotar a probabilidade de eventos hidrológicos observados, em papel de probabilidade. Dentre elas, a equação de Gumbel, que determina o período de retorno de um determinado evento hidrológico, possui como base estatística a teoria dos valores extremos, isto é, os valores máximos anuais aproximam-se de um padrão definido de distribuição de probabilidade, quando é elevado o número de observações em cada ano. A referida equação tem sido amplamente utilizada pela **American Society of Civil Engineers**, constituindo-se num grande mérito a sua simplicidade de aplicação. Sua expressão é a seguinte:

$$T = \frac{N + 1}{m} \quad , \qquad (4)$$

onde:

T é o período de retorno ou freqüência em anos que um dado evento hidrológico será igualado ou ultrapassado; N é o número de anos de registro de dados, e m é o número de ordem do evento hidrológico, quando colocado em escala decrescente de magnitude. Ainda de acordo com os autores, existe uma relação entre o período de retorno e a probabilidade de ocorrência de eventos hidrológicos que é expressa por:

$$T = \frac{100}{P_r} \quad , \qquad (5)$$

onde:

T é o período de retorno do evento, e P_r é a sua probabilidade de ocorrência.

O valor de um evento hidrológico, correspondente a um determinado período de retorno, pode ser calculado, segundo SCHWAB **et alii** (1966), através da equação teórica da curva de freqüência. Chow*, baseado na lei da probabilidade logarítmica, a qual estabelece que os logaritmos dos valores dos eventos hidrológicos são normalmente distribuídos, apresentou a seguinte equação teórica da curva de freqüência de dados hidrológicos:

$$X_c = \bar{x}\ (1 + C_v k), \qquad (6)$$

onde:

X_c é o valor teórico do evento hidrológico para um determinado período de retorno; $\bar{x}$ é a média aritmética dos eventos; C_v é o coeficiente de variação dos eventos, e k é o fator de freqüência do evento para o período de retorno desejado. Para aplicação na teoria do valor extremo, o fator de freqüência (k) de Chow, é representado pelo período de retorno, utilizando-se o método de análise apresentado por Gumbel, através da expressão:

$$k = \frac{-2{,}45\ \{\gamma + \log_e\ [\log_e T - \log_e (T-1)]\}}{3{,}1416}, \qquad (7)$$

onde:

γ é a constante de Euler (0,577) e T é o período de retorno em anós.

---

* CHOW, V.T. The Log-Probability Law and its Engineering applications. **Am.Soc.Civil Eng.** (separate nº 536), 80, november, 1954.

A determinação do número adequado de anos de registro de dados hidrológicos, para um determinado nível de significância, é obtida pela equação de Mockus, através da seguinte expressão:

$$Y = (4{,}30 . t . \log \theta)^2 + 6, \qquad (8)$$

onde:

Y é o mínimo aceitável de anos de registro de dados; t é o valor estatístico de Student, para o nível de 10% de significância, com (Y - 6) graus de liberdade; e, θ é a relação das magnitudes entre o evento com período de retorno de 100 anos e o evento com período de retorno de 2 anos (SCHWAB **et alii**, 1966).

LOMBARDI NETO (1977) estudou para Campinas - SP a probabilidade de ocorrência dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, através da lei de probabilidade logarítmica de Chow e da teoria do extremo valor de Gumbel. Foi observado que a curva de probabilidade, calculada para os valores dos índices de erosividade anual, seguiu o mesmo tipo de distribuição log-normal, como relatado por Wischmeier (1959). Com relação à curva de probabilidade calculada para os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, esta pareceu também seguir o mesmo padrão da primeira. Então, o autor pôde concluir que os valores dos índices de erosividade anual esperados nos períodos de retorjo de 2, 5, 20, e 100 anos foram respectivamente de 651.10^3, 866.10^3, 1139.10^3 e 1436.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (6386, 8496,

11174 e 14087 MJ.mm/ha.h.ano). Analogamente, os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, que são esperados nos períodos de retorno de 2, 4, 20 e 100 anos foram respectivamente de 104.10^3, 148.10^3, 207.10^3 e 276.10^3 tf.m.mm/ha.h (1020, 1452, 2031 e 2708 MJ.mm/ha.h). O maior valor anual do índice de erosividade para chuvas individuais foi de 226.10^3 tf.m.mm/ha.h (2217 MJ.mm/ha.h), observado durante o ano de 1964. Com relação ao fator R do local em questão, pôde ser observado que este apresentou uma probabilidade de ocorrência de aproximadamente 47,0%, a qual corresponde a um período de retorno de 2,1 anos.

PEREIRA (1983) observou, para Piracicaba - SP, que o fator R para essa localidade obtido através do índice EI_{30}, durante um período de 20 anos de análise de dados, apresentou uma probabilidade de ocorrência mediana de aproximadamente 41,0%, a qual corresponde a um período de retorno de 2,4 anos.

CHAGURI NETO (1984) estudando a erosividade da chuva do município de Iperó - SP, através do índice KE > 25 e para um período de registro de dados de 23 anos, observou que a erosividade média anual, isto é, o fator R do local, teve uma probabilidade de ocorrência de aproximadamente 38,8%, a qual corresponde a um período de retorno de 2,6 anos.

2.5. Correlação entre Características da Chuva e Perda de Solo

Segundo WISCHMEUER & SMITH (1958), o índice EI_{30} é a variável simples, testada como estimadora da erosividade da chuva, que melhor se correlaciona com as perdas de solo, explicando-as significativamente. Numa tentativa de aperfeiçoar o referido índice a ele incluíram, através de regressões múltiplas, outras variáveis da chuva tais como: quantidade, intensidades máximas em 5, 15 e 30 minutos e precipitação antecedente. Observaram que a inclusão de outras variáveis ao índice acarretava um aumento do grau de complexidade da sua determinação, não compensado pelo pequeno incremento na capacidade de previsão das perdas de solo por erosão.

Em trabalho de correlação entre as variáveis da chuva e perdas de solo, WISCHMEIER (1959) somou os valores do EI_{30} de todas as chuvas individuais maiores ou iguais a meia polegada (12,7 mm). Esta somatória foi procedida para os períodos de tempo que não envolviam variações significativas das seguintes características de campo: efeito da resteva, cobertura e manejo e condições físicas. Foram, então, feitas correlações entre os totais dos EI_{30} dos períodos e suas correspondentes perdas de solo, para dez ou mais anos de análise de dados, sendo que os coeficientes de correlação variaram entre 0,84 e 0,98. Portanto estes coeficientes indicaram que o índice de erosividade sazonal pode ser calculado através da soma dos valores individuais dos EI_{30} de cada estação.

HUDSON (1973) correlacionou o índice KE > 1 com as perdas de solo em três modalidades experimentais, a saber: 1ª - cápsulas de salpico de Ellison; 2ª - através da metodologia de Free, usando solo compactado e enxurrada, e 3ª - através do sistema de tanques coletores, com parcelas de 1,5m x 27,5m, num declive de 5%. Foram utilizadas as três modalidades acima citadas, com o objetivo de testar o comportamento do KE>1, tanto nas condições controladas de laboratório como a nível de campo. Os coeficientes de correlação encontrados foram 0,96, 0,92 e 0,94, respectivamente para as três modalidades experimentais. Após os testes, o autor concluiu que, de fato, o índice KE > 1 é um excelente determinador da erosividade para propósitos práticos, assim como o índice EI_{30}.

LOMBARDI NETO (1977) estudou a correlação entre as perdas de solo de chuvas individuais com algumas características da chuva de Campinas - SP, para 15 anos de registros de dados (aproximadamente 650 chuvas), em duas modalidades de cobertura, a saber: solo descoberto e algodão contínuo. Os coeficientes de correlação observados nos canteiros de solo descoberto foram 0,447; 0,526; 0,643; 0,672; 0,559; 0,645; 0,686,e 0,691, respectivamente para as características: quantidade de chuva (Q), energia cinética (E), intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}), índice de erosividade (EI_{30}), Q + E, Q + I_{30}, E + EI_{30} e Q + E + I_{30} + EI_{30}. A variação dos coeficientes de correlação observados nos canteiros com algodão contínuo foi de 0,446 a 0,686, para as mesmas características da chuva. Portanto, através da análise dos coeficientes, o

autor pôde chegar às seguintes conclusões: a) tanto a quantidade de chuva como a energia cinética apresentaram pobre correlação com a perda de solo; b) quando analisados, separadamente, a intensidade máxima em 30 minutos e o EI_{30} apresentaram melhores correlações; c) as análises de regressão múltipla não melhoraram a correlação, e d) o baixo coeficiente de correlação observado para todas as variáveis analisadas foi devido à variação do estado da parcela descoberta, durante o ano.

BISCAIA **et alii** (1981) estabeleceram, para quatro anos de análise de dados, as correlações lineares entre o EI_{30} e as perdas de solo em condições de chuva natural, para Londrina (Latossolo Roxo distrófico) e Ponta Grossa (Latossolo Vermelho Escuro álico), do Estado do Paraná. Os coeficientes de correlação encontrados foram de 0,72 e 0,77, respectivamente para Londrina e Ponta Grossa.

MORAIS (1986) estudou as regressões lineares entre as características da chuva e as perdas de solo oriundas de parcelas de campo descobertas, em três locais distintos do Rio Grande do Sul, a saber: 1º - Guaíba (analisadas 109 chuvas erosivas num Podzólico Vermelho Amarelo distrófico); 2º- Ijuí (118 chuvas num Latossolo Roxo distrófico), e 3º - Santa Maria (102 chuvas num Podzólico Vermelho Amarelo). As características analisadas foram o EI_m, KE > m e AI_m - consistindo esta última no produto da quantidade precipitada pela intensidade máxima sustentada, de Lal-, onde m variou de 5 até 90 minutos. Os dados obtidos evidenciaram que as carac-

terísticas que melhor se correlacionaram com as perdas de solo variaram de uma localidade para outra. Portanto, as que apresentaram os maiores valores absolutos do coeficiente de correlação (r) para cada local foram: a) Guaíba: KE > 10 (r = 0,789); Ijuí: EI_{10} e AI_{10} (r = 0,761), e Santa Maria: EI_5 (r= 0,783). Especificamente para Guaíba, foi notado pelo autor que os três maiores coeficientes de correlação referiam-se a características do tipo KE > m, as quais foram de 0,789; 0,761, e 0,751, respectivamente para o KE > 10, KE > 5 e KE > 15. Desta forma, foi concluído para esta localidade que os valores de energia cinética calculados para intensidades menores do que 25 mm/h, como foi o caso, apresentaram boa correlação.

Detalhando seus estudos de regressão linear entre as características EI_m, KE > m e AI_m e as respectivas perdas de solo, MORAIS (1986) procedeu uma análise geral para o conjunto de dados, na tentativa de obter um único índice, o qual refletisse as condições médias de erosividade das três localidades pesquisadas. Os coeficientes de regressão linear obtidos para EI_{25} e EI_{30}, para este caso, foram respectivamente de 0,652 e 0,647. A análise dos dados indicou ser o índice EI_{25} o que melhor se correlacionou em termos absolutos com as perdas. Entretanto, foi observado não existir diferença estatística entre os coeficientes de correlação linear dos índices EI_{25} e EI_{30}. Tal fato levou-o à conclusão de que o índice EI_{30} ainda é o mais adequado para estimar o potencial erosido da chuva para os locais estudados, até que novas in-

formações estejam disponíveis. Em relação ao KE > 25, o autor obteve um coeficiente de correlação de 0,641.

2.6. Coeficiente de Chuva

Fournier*, citado por LOMBARDI NETO (1977), obteve uma estreita correlação entre o que ele chamou de degradação específica ou total de erosão anual e um coeficiente de distribuição de chuva c, expresso como:

$$c = \frac{\bar{p}^2}{P_i} , \qquad (9)$$

onde:

$\bar{p}$ é a média mensal de chuva dos meses chuvosos do ano e P_i é a média anual de chuva.

Numa tentativa de possibilitar a metodologia do EI_{30}, uma vez que para muitos locais do Estado de São Paulo não existem pluviógrafos, LOMBARDI NETO (1977) correlacionou o índice de erosividade médio mensal de Campinas-SP com um coeficiente de chuva semelhante ao coeficiente da eq. (9) de Fournier (1960), dado pela seguinte expressão:

$$R_c = \frac{p^2}{P_i} , \qquad (10)$$

---

* FOURNIER, F. Climate et Erosion. **Press Universitaires de France**, Paris, 1960. 201p.

onde:

R_c é o coeficiente de chuva em mm; p é a precipitação média mensal em mm, e P_i é a precipitação média anual em mm. Para 22 anos de dados a equação encontrada para Campinas, a qual apresentou um coeficiente de correlação de 0,991, foi a seguinte:

$$EI_{30} = 6,872\ (p^2/P_i)^{0,850}\ , \qquad (11)$$

onde:

EI_{30} é o índice de erosividade médio mensal em tf.m.mm / ha.h; p é a precipitação média mensal em mm, e P_i é a precipitação média anual em mm. Para um período maior ou igual a 20 anos, concluiu o autor, esta equação pode apurar precisamente os valores médios do EI_{30} local, usando-se apenas dados de quantidade de chuva.

PEREIRA (1983) estudou a correlação entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva (p^2/P_i) de Piracicaba-SP, para um período contínuo de análise de dados de 20 anos. A equação obtida pela autora, a qual apresentou um coeficiente de correlação (r) de 0,970 e significativo ao nível de 1% de probabilidade, foi a seguinte:

$$EI_{30} = 7,278\ (p^2/P_i)^{0,807}\ , \qquad (12)$$

onde:

EI_{30} é o índice EI_{30} médio mensal em tf.m.mm/ha.h; p é a precipitação média mensal em mm, e P_i é a precipitação média anual em mm. Assim sendo, foi concluído que tal equação

é muito semelhante à obtida por Lombardi Neto (1977) para Campinas-SP. Desta forma, ao aplicar os dados de Piracicaba na equação do referido autor, encontrou um valor de erosividade de 646.10^3 tf.m.mm/ha.h.ano (6337 MJ.mm/ha.h.ano) para o local estudado. Deste modo, a autora concluiu que o modelo matemático de Campinas superestimou o valor da erosividade de Piracicaba em 11% a mais que seu valor real.

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 na Seção de Conservação do Solo instalada na Estação Experimental de Mococa, pertencente ao Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Brasil. A referida Estação está **localizada** na longitude 47°01' a oeste de Greenwich e latitude de 21°28' sul. Sua **altitude** é de aproximadamente 665 metros, possuindo uma área total de 474 ha. A **precipitação média anual** é de 1584,0 mm, sendo a **média anual de temperatura** de 21,8ºC. O **tipo climático** é A_W, de acordo com o critério de Koëppen. O **solo**[a/] onde a parcela de campo ficou instalada é um Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico, T_b, A chernozêmico, textura argilosa/muito argilosa.

---

a/ LEPSCH, I.F. (Seção de Pedologia do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo). Comunicação pessoal, 1987.

3.1.2. Pluviógrafo e pluviogramas utilizados

O pluviógrafo utilizado foi do modelo Hillman, o qual registra incrementos sucessivos de chuva, assim como o total acumulado. Tal aparelho possui autonomia para registrar chuvas ocorridas dentro de um intervalo de vinte e quatro horas, sendo movido a corda através de um mecanismo de relógio.

As chuvas individuais erosivas estudadas foram registradas em pluviogramas do modelo 700. Tais pluviogramas possuem, na ordenada, o registro da quantidade de chuva em na abscissa, o seu tempo de ocorrência. A amplitude do registro de chuva varia de zero a dez milímetros de precipitação, com unidade de 0,1 mm. O registro de tempo é efetuado durante vinte e quatro horas, com unidade de dez em dez minutos.

3.1.3. Folha de registro de dados

A folha de registro de dados oriundos dos pluviogramas, utilizada para o cálculo manual das características da chuva com a finalidade de testar o programa computacional, possuía, para que ficasse registrada uma determinada chuva individual erosiva, o seguinte conforme apresentado na Figura 1: a) local para registrar a data da chuva discriminada no pluviograma; b) número de chuvas ocorridas no pluviograma; c) quarenta linhas, sendo que cada uma abrigava um segmento de intensidade uniforme da chuva; d) sete colunas para cal

EROSIVIDADE DA CHUVA

LOCAL: ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE MOCOCA (IAC)

DATA DA CHUVA: ____/____/____ - NÚMERO DE CHUVAS:_____

Morel de Passos e Carvalho

LINHA	LEITURAS DA CARTA (Pluviógrafo)		SEGMENTOS COM DECLIVE UNIFORME			ENERGIA CINÉTICA	
	(1) TEMPO (hora)	(2) CHUVA (mm)	(3) INTERVALO DE TEMPO (Min)	(4) INTERVALO PARCIAL DE CHUVA (mm)	(5) INTENSIDADE DE CHUVA (mm / h) *1	(6) POR INTENSIDADE (MJ/ha.mm) *2	(7) POR INCREMENTO (MJ/ha)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
TOTAL							

* 1 → I > 76 mm/h → EC = 0,2832 * 2 → EC = 0,119 + 0,0873 log I

- DURAÇÃO TOTAL = (minutos)
- PRECIPITAÇÃO TOTAL = (mm)
- E_C TOTAL = (MJ/ha)
- E_C > 10 = (MJ/ha)
- E_C > 25 = (MJ/ha)

(mm/h)	(mm/h)
I_5 =	I_{35} =
I_{10} =	I_{40} =
I_{15} =	I_{45} =
I_{20} =	I_{50} =
I_{25} =	I_{55} =
I_{30} =	I_{60} =

Figura 1. Folha de registro de dados da chuva individual erosiva representada graficamente no pluviograma.

cular a energia cinética total da chuva, e e) locais para registrar o tempo de duração total da chuva, precipitação total, energia cinética total, energia cinética para intensidades maiores do que 10 e 25 mm/h e intensidades máximas (I_n) de cinco em cinco minutos, variando de 5 até 60 minutos.

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 enxurrada de 53,2 parcelas.ano na Estação Experimental de Mococa-SP. Estes dados foram obtidos numa parcela de campo, segundo as especificações de BERTONI (1949) e MARQUES (1951), durante o período de 1966 a 1985. A referida parcela possuía a dimensão de 100 m^2, com 25 m de comprimento no sentido do declive, por 4 m de largura, e declive uniforme de 9,4%.

O sistema coletor de solo e enxurrada, adaptado a jusante da soleira da parcela, foi construído de alvenaria, inclusive a soleira e a parede divisória. Seu coletor possuía dois tanques retangulares ligados por um divisor de janelas do tipo Geib, para fração de 1/7.

3.1.5. Computador e programa para cálculo das características da chuva individual erosiva

Para calcular as características estudadas da

chuva, isto é, as variáveis independentes, foi utilizado um computador do tipo PC/XT do Centro de Informática na Agricultura, da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP - Campus de Botucatu, utilizando-se o programa computacional em linguagem FORTRAN IV de CATANEO **et alii** (1982), o qual sofreu pequenas adaptações para este propósito. Por outro lado, no estudo das correlações entre as características da chuva e a respectiva perda de solo foi utilizado o mesmo computador do referido local, através de programa específico para tal finalidade.

3.1.6. Dados pluviométricos utilizados

Foram utilizados dados pluviométricos da Estação Experimental de Mococa, referentes ao período estudado de 1966 a 1985, para auxiliar no detalhamento da explicação da erosividade da chuva ocorrida no local, como, também, para correlacionar seu coeficiente de chuva com o índice de erosividade médio mensal. Os referidos dados foram cedidos, para tal finalidade, previamente tabulados, através da Seção de Conservação do Solo instalada na Estação Experimental de Campinas, pertencente ao Instituto Agronômico do Estado de São Paulo.

3.2. MÉTODO EMPREGADO

3.2.1. Determinação do número total de chuvas individuais erosivas estudadas

Foram analisados dados pluviográficos acumulados de 1966 a 1985, com exceção do ano de 1970, devido à inexistência dos pluviogramas no período de julho a dezembro deste ano. Desta forma, o fator erosividade da chuva (R) de Mococa foi definido a partir de uma série descontínua de 19 anos de dados, estando, portanto, com 3 anos a menos do que o recomendado por WISCHMEIER & SMITH (1978). Os pluviogramas analisados foram trocados diariamente às 7:00, na época das chuvas, e em períodos relativamente indefinidos de tempo, condicionados ao aparecimento de uma nova chuva, na época de estiagem.

Em posse dos pluviogramas que continham as chuvas erosivas referentes aos 19 anos de análise de dados, procedeu-se à separação das chuvas individuais erosivas. Desta forma, foram separadas 1011 chuvas individuais erosivas, as quais foram conceituadas e cotadas conforme as proposições de WISCHMEIER (1959) e WISCHMEIER & SMITH (1978), com ligeiras modificações, conforme sugestão de CABEDA (1976), a seguir:

a) foram cotadas as chuvas dos pluviogramas que apresentaram 10,0 mm ou mais de chuva;

b) foram cotadas todas as chuvas que apresentaram menos que 10,0 mm, se a quantidade da

mesma em 15 minutos fosse de 6,0 mm ou mais;

c) chuvas separadas por menos do que 6 horas e com qualquer quantidade precipitada neste período, ou chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais e possuindo uma quantia precipitada maior ou igual a 1,0 mm neste período, foram tratadas como uma única chuva individual, e

d) chuvas separadas por 6 horas consecutivas ou mais e com menos do que 1,0 mm precipitado nesse período foram tratadas como diferentes chuvas.

3.2.2. Cotamento, obtenção e digitação dos dados

Após selecionar e separar os pluviogramas com todas as chuvas individuais erosivas, estas foram cotadas uma a uma em folhas apropriadas para tal finalidade, as quais continham 7 colunas, conforme apresentado na Figura 1, seguindo as seguintes etapas: 1ª) foram separadas, através de cotas a lápis, as seções do gráfico da chuva que apresentaram inclinações uniformes, isto é, os segmentos de mesma intensidade de chuva; 2ª) efetuaram-se a leitura e a anotação da respectiva hora com precisão de minuto, e da quantidade de chuva com precisão de 0,1 mm, para cada ponto do gráfico onde variou sua inclinação, isto é, o ponto comum entre a cota a lápis e o gráfico da chuva no pluviograma. Na folha de cotamento, fo-

ram registradas nas colunas 1 e 2, respectivamente, a hora e a quantidade de chuva dos segmentos de mesma intensidade.

Tendo-se em mãos os dados de todas as chuvas individuais erosivas devidamente extraídos, procedeu-se à digitação destes em disquetes de 5"1/4, para serem processados em seguida.

3.2.3. Determinação das características estudadas da chuva individual erosiva

Após a digitação de todas as chuvas individuais erosivas nos referidos disquetes, foi efetuado processamento dos dados, seguindo a mesma disposição das colunas contidas na folha de extração de dados exposta na Figura 1. O referido cálculo foi procedido através do programa computacional de CATANEO **et alii** (1982), que sofreu pequenas adaptações para este propósito. Tal programa foi montado de forma a fornecer para cada chuva as seguintes variáveis independentes ou características: tempo de duração total, precipitação total, energia cinética total, energia cinética para intensidades maiores do que 10,0 mm/h (KE > 10); energia cinética para intensidades maiores do que 25,0 mm/h (KE > 25); intensidades máximas (I_n) de cinco em cinco minutos variando de 5 até 60, isto é, 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}; produtos da energia cinética total pelas intensidades máximas (EI_n) de cinco em cinco minutos variando de 5 até 60, isto é, EI_5, EI_{10}, EI_{15}, EI_{20}, EI_{25}, EI_{30}, EI_{35}, EI_{40}, EI_{45}, EI_{50}, EI_{55} e EI_{60}.

Tais características foram obtidas da seguinte forma, como relatado a seguir:

3.2.3.1. Energia cinética total

A partir da hora (coluna 1) e quantidade precipitada (coluna 2) de todos os segmentos de intensidade constante previamente digitados, a energia cinética total de uma chuva foi calculada através do programa, segundo a metodologia de WISCHMEIER & SMITH (1958), da seguinte forma:

a) foram subtraídas sucessivamente as leituras iniciais e finais referentes à hora (coluna 1) e à quantidade precipitada (coluna 2), obtendo-se assim o tempo em minutos (coluna 3) e a quantidade em mm (coluna 4), de cada segmento de intensidade constante de chuva;

b) foi calculada a intensidade em mm/h (coluna 5) de cada segmento de intensidade constante, multiplicando-se a sua quantidade de chuva (coluna 4) por 60 e dividindo-se tal produto pelo respectivo tempo de ocorrência (coluna 3);

c) foi calculada a energia cinética em MJ/ha.mm (coluna 6), para cada segmento de intensidade constante, através da eq.(3), a qual foi relatada no Sistema Internacional de Unidades, por FOSTER **et alii** (1981). Sua expressão é a seguinte:

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I, \quad \text{onde:}$$

E é a energia cinética por intensidade, referente ao segmento de intensidade constante, em MJ/ha.mm e I é a intensida

de do respectivo segmento, em mm/h. Foi imposto um valor máximo de energia cinética por intensidade igual a 0,2832 MJ/ha. mm para as intensidades iguais ou superiores a 76,0 mm/h, de acordo com WISCHMEIER & SMITH (1978).

d) foi multiplicada a energia cinética em MJ/ha.mm (coluna 6) de cada segmento de intensidade constante pela respectiva quantidade de chuva (coluna 4), obtendo-se a energia cinética total de cada segmento em MJ/ha (coluna 7), e

e) foram somados os valores de energia cinética total em MJ/ha (coluna 7) de todos os segmentos de chuva de intensidade constante, obtendo-se desta forma a energia cinética total da chuva em MJ/ha.

3.2.3.2. Tempo de duração e precipitação total

O tempo de duração total em minutos e a precipitação total em mm de chuva foram obtidos através da somatória das colunas 3 e 4, respectivamente contidas na folha de cotamento, para cada chuva.

3.2.3.3. Energia cinética para intensidades maiores do que 10,0 e 25,0 mm/h (KE > 10 e KE > 25)

Foram selecionados, na coluna 5, todos os segmentos de chuva que apresentaram valores de intensidade superiores ou iguais a 25,0 mm/h. O KE > 25 da chuva foi calcu-

lado, de acordo com HUDSON (1973), através da somatória dos valores de energia cinética - em MJ/ha e oriundos da coluna 7 - de todos os segmentos da chuva que apresentaram intensidade maior ou igual a 25,0 mm/h, previamente separados. Para o cálculo do KE > 10 foi utilizado procedimento semelhante.

3.2.3.4. Intensidades máximas (I_n) de cinco em cinco minutos variando de 5 até 60.

As intensidades máximas I_n de uma 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 segundo a seguinte expressão de intensidade máxima, adaptada ao programa de CATANEO **et alii** (1982):

$$I_n = \frac{\sum_{i=1}^{\mu} i_\mu \cdot t_\mu}{n} , \qquad (13)$$

onde:

I_n é o maior valor de intensidade média ponderado pelo tempo n de ocorrência, dado em 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 espaço de tempo no qual se deseja obter a intensidade máxima, dado em minutos e assumindo os valores iguais a 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 minutos. Assim, por exemplo, para o cálculo da intensidade máxima em 30 minutos em mm/h de uma chuva que durou x

minutos, o computador foi programado para obter todos os valores de I_{30}, de minuto em minuto, até seu último conjunto de 30 minutos finais, selecionando, por fim, o maior valor obtido. Portanto, para a referida chuva de x minutos, foram calculados através de varredura e registrados em memória: primeiro I_{30} (do tempo zero ao trigésimo minuto), segundo I_{30} (do primeiro ao trigésimo primeiro minuto), terceiro I_{30} (do segundo ao trigésimo segundo minuto), assim por diante, até o último I_{30} (do minuto X-30 ao minuto x final), sendo finalmente selecionado e registrado o maior valor calculado, como sendo o da máxima intensidade da chuva em 30 minutos (I_{30}). Para o cálculo das outras intensidades máximas (I_n) restantes, foi efetuado o mesmo método como descrito anteriormente, com as devidas especificações exigidas pelos respectivos tempos n. De acordo com CABEDA (1976), para toda chuva que durou menos do que 30 minutos, o valor da intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}) foi calculado como se a mesma tivesse durado no mínimo 30 minutos. O mesmo princípio foi utilizado para todas as outras intensidades máximas I_n calculadas. Desta forma, para o cálculo da intensidade máxima I_n de determinada chuva, se esta não durou os n minutos requeridos pelo tempo em questão, tal intensidade foi calculada como se ela tivesse durado os n minutos.

3.2.3.5. Produtos da energia cinética total pelas intensidades máximas (EI_n) de cinco em cinco minutos variando de 5 até 60

Os EI_n de uma chuva foram obtidos em MJ.mm/ha.h,

de acordo com WISCHMEIER & SMITH (1958), através do produto entre a energia cinética total em MJ/ha e a intensidade máxima em n minutos em mm/ha, com n variando de cinco em cinco minutos de 5 até 60.

3.2.4. Coleta de solo

Foram coletados e armazenados dados de perda de solo e enxurrada de uma parcela descoberta da Estação Experimental de Mococa-SP, durante o período de julho de 1978 a julho de 1985. Sua instalação foi efetuada segundo as dimensões recomendadas por BERTONI (1949) e MARQUES (1951), sendo, entretanto, manejada e conduzida segundo as mesmas recomendações feitas à "parcela padrão" de WISCHMEIER (1972). Deste modo, o terreno da referida parcela foi preparado e cultivado com enxadão e enxada. Por outro lado, as determinaçõdes 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, efetuando-se o esvaziamento e a limpeza dos tanques coletores e, posteriormente, avaliando-se as quantidades dos sedimentos.

As determinações de perda de solo e enxurrada da parcela efetuada puderam ser corrigidas para o declive de 9% da "parcela padrão", utilizando-se a equação desenvolvida por BERTONI (1959) para tal propósito, que é a seguinte:

$$A = 0{,}018 \cdot S^{1{,}18} \cdot L^{1{,}63}, \qquad (14)$$

onde:

A é a perda de solo em quilogramas por unidade de largura; S é o grau de declive em porcentagem, e L é o comprimento de rampa em metros. A equação final que proporcionou a correlação foi a seguinte:

$$A_1 = 0,99 \cdot A_2 , \qquad (15)$$

onde:

A_1 representa a perda de solo em t/ha, para o declive de 9,0% referente a "parcela padrão", e A_2 é a perda de solo em t/ha, para o declive de 9,4% da parcela estudada.

As determinações de perda de solo e enxurrada da parcela estudada não foram corrigidas para o comprimento do declive de 72,6 pés (22,14 m) referente a "parcela padrão", para que tivesse, agora neste caso, as mesmas condições de 25 m preconizadas para o Estado, através dos trabalhos de BERTONI (1949) e MARQUES (1951).

3.2.5. Estudo de correlações

3.2.5.1. Características da chuva *versus* perda de solo

Em seguida, foram estudadas as correlações entre as características cas chuvas individuais erosivas e as respectivas perdas de solo, com o objetivo de se definir o melhor estimador da erosividade da chuva local, a exemplo de WISCHMEIER & SMITH (1958) e WISCHMEIER (1959). Para tanto,

foram tomadas 425 chuvas compreendidas entre julho de 1978 a julho de 1985, assim classificadas: a) 352 chuvas individuais erosivas - WISCHMEIER (1959) e WISCHMEIER & SMITH (1978), com ligeiras modificações, conforme sugestão de CABEDA (1976) - previamente processadas, e b) 73 chuvas não erosivas conforme os mesmos autores mencionados, mas que proporcionaram significativas perdas de solo e/ou água. Dentre as 352 chuvas individuais erosivas, 9 delas eram duplas, isto é, com ocorrência de 2 chuvas individuais erosivas no mesmo dia. Então, procedeu-se o reprocessamento destas chuvas duplas, obtendo-se agora suas características como se elas fossem um único evento. Portanto, a respeito das chuvas duplas, para o estudo de correlação entre suas características e a perda de solo, foi levado em consideração, para cada uma delas, apenas um único valor de EI_n, assim como para todas as demais características analisadas, conforme sugestão de CABEDA (1976).

As características ou variáveis independentes correlacionadas foram: precipitação total (mm); energia cinética total (MJ/ha); KE > 10 (MJ/ha); KE > 25 (MJ/ha); Intensidades máximas I_n em mm/h: 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} e os EI_n em MJ.mm/ha.h: EI_5, EI_{10}, EI_{15}, EI_{20}, EI_{25}, EI_{30}, EI_{35}, EI_{40}, EI_{45}, EI_{50}, EI_{55} e EI_{60}. A variável dependente analisada, representada pela perda de solo, foi estabelecida em toneladas por hectare, tendo sido de 28 o total de correlações entre as características da chuva e a perda de solo.

As correlações estabelecidas entre as caracte-

rísticas das chuvas e as respectivas perdas de solo foram feitas através de regressões lineares simples, às quais foram processadas em computador do tipo PC/XT do Centro de Informática na Agricultura, da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, SP.

Foram apresentados os coeficientes de regressão linear (a e b), assim como suas respectivas correlações simples (r) entre as características da chuva e perda de solo. Procedeu-se, assim, a aplicação do teste t de Student para se verificar a significância estatística dos resultados, segundo indicação preconizada por HOFFMANN & VIEIRA (1977).

Finalmente, também foi aplicado um teste para verificação da homogeneidade entre os coeficientes de correlação (r_i), de acordo com o exposto em GRAYBILL (1976). Foram testadas as correlações duas a duas, sendo que neste caso a estatística (ξ) do teste, a qual se apresenta como uma distribuição de qui-quadrado, com um grau de liberdade, foi dada pela seguinte expressão:

$$\xi = \sum_{i=1}^{2} (n_i-3).Z_i^2 - (\bar{Z})^2 \cdot \sum_{i=1}^{2} (n_i-3) \qquad (16)$$

com,

$$Z_i = \frac{1}{2} \log_e \left(\frac{1 + r_i}{1 - r_i}\right) \text{ , e}$$

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{2} (n_i-3) \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^{2} (n_i-3)} \text{ ,}$$

onde:

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

3.2.5.2. Estimativa do fator erodibilidade do solo (K)

De acordo com WISCHMEIER (1972), pôde ser obtida a estimativa do fator erodibilidade (K), para o solo da parcela de campo do presente estudo, através da correlação entre as características da chuva e a perda de solo. Isto porque, segundo o mesmo autor, no modelo linear $y = a+b.x$, onde y representa a perda de solo e x o índice de erosividade, o fator K é representado pelo coeficiente de regressão b, quando os dados são obtidos sob condições de "parcela padrão".

3.2.6. Caracterização da erosividade da chuva

Após os resultados dos estudos de correlação entre as características da chuva e a perda de solo, decidiu-se determinar como fator erosividade da chuva (R) de Mococa - SP, o índice de erosividade da chuva EI_{30}, de WISCHMEIER & SMITH (1958) e WISCHMEIER (1959). Para se obter o referido fator foram obtidos intermediariamente, os seguintes índices de erosividade EI_{30}, a saber, segundo WISCHMEIER & SMITH (1965):

3.2.6.1. Índice de erosividade EI_{30} decendial

Os meses dos anos, referentes ao período estudado, foram divididos em três decêndios distintos seguintes: 1º) compreendido entre os dias 1 e 10; 2º) entre 11 e 20; e 3º) entre 21 e 31. Desta forma, os índices de erosividade EI_{30} decendiais foram obtidos em MJ.mm/ha.h, ano a ano, através da somatória dos índices de erosividade de todas as chuvas individuais erosivas ocorridas durante os decêndios.

O índice de erosividade EI_{30} médio decendial, de um decênio qualquer, foi obtido através da média aritmética de todos os valores ocorridos naquele decêndio durante o período de estudo. Portando, pôde-se obter todos os índices de erosividade EI_{30} médios decendiais, para melhor detalhar a curva de distribuição do índice de erosividade EI_{30}, em termos de porcentagem acumulada, para o local estudado.

3.2.6.2. Índice de erosividade EI_{30} mensal

O índice de erosividade EI_{30} mensal foi obtido em MJ.mm/ha.h pelo programa computacional através da somatória dos índices de erosividade de todas as chuvas individuais erosivas ocorridas durante o mês. Por outro lado, o índice de erosividade EI_{30} médio mensal, para um mês qualquer, foi obtido através da média aritmética de todos os valores ocorridos naquele mês, durante o período de estudo.

3.2.6.3. Índice de erosividade EI_{30} anual

O índice de erosividade EI_{30} anual, de um ano qualquer, foi obtido em MJ.mm/ha.h.ano, através da somatória dos índices de erosividade EI_{30} mensais, ocorridos durante o ano.

3.2.6.4. Índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R)

Finalmente, foi obtido o índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R) para Mococa-SP, em MJ.mm/ha.h.ano, através da média aritmética entre os 19 índices de erosividade EI_{30} anuais ocorridos durante os anos de 1966 a 1985, de acordo com WISCHMEYER & SMITH (1965).

3.2.6.5. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

Foram estudadas a probabilidade de ocorrência e o período de retorno, tanto dos valores dos índices de erosividade anual, como dos valores máximos anuais dos índices de erosivi

dade para chuvas individuais, para os 20 anos de análise de dados de Mococa-SP. A inclusão dos dados referentes ao ano de 1970[a/] foi feita, neste caso, através da média ponderada entre os anos adjacentes cronologicamente, uma vez que para este estudo a amostra deve ser contínua. Portanto, neste caso, o tamanho de 20 anos da amostra ficou dentro do recomendado por Chow (1953), citado por WISCHMEIER (1959). Foram utilizados, para tal estudo, a teoria do valor extremo e a lei da probabilidade logarítmica, citadas em SCHWAB **et alii** (1966).

Para o cálculo do período de retorno de um determinado valor qualquer do índice de erosividade observado - valor anual ou valor máximo anual para chuvas individuais - , tais índices foram colocados em ordem decrescente de valores, sendo determinado para cada um, o respectivo período de retorno através da eq. (4) de Gumbel, citada em SCHWAB **et alii** (1966):

$$T = \frac{N + 1}{m} ,$$

onde:

T é o período de retorno ou freqüência em anos que um determinado evento hidrológico será igualado ou ultrapassado; N é o número de anos de registro de dados, e m é o número de ordem do evento hidrológico, quando colocado em escala decrescente de magnitude.

[a/] ARRUDA, H.V. (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba, SP). Comunicação pessoal, 1986.

As probabilidades de ocorrência dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais foram obtidas através do cálculo do valor inverso porcentual dos períodos de retorno de cada índice, através da eq. (5), que é a seguinte:

$$P_r = \frac{100}{T},$$

onde:

P_r é a probabilidade de ocorrência de evento, em porcentagem, e T é o seu período de retorno em anos.

Para o cálculo dos períodos de retorno de um valor teórico qualquer do índice de erosividade- valor anual ou valor máximo anual para chuvas individuais -, foi utilizada, com base em SCHWAB **et alii** (1966), a eq. (6) que possui a seguinte expressão:

$$X_c = \bar{x}\,(1 + C_v k),$$

onde:

X_c é o valor teórico do evento hidrológico para um determinado período de retorno; $\bar{x}$ é a média aritmética dos eventos; C_v é o coeficiente de variação dos eventos, e k é o fator de freqüência do evento para o período de retorno desejado. Para a obtenção dos valores de k, foi utilizada a eq. (7) que é dada por:

$$k = \frac{-2{,}45\,\{\gamma + \log_e\,[\log_e T - \log_e (T-1)]\}}{3{,}1416},$$

onde:

γ é a constante de Euler (0,577) e T é o período de retorno em anos.

Utilizou-se papel de probabilidade logarítmica para plotar os valores dos eventos observados, assim como para traçar as curvas de probabilidade logarítmica, tanto dos valores dos índices de erosividade anual como dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais. A probabilidade de ocorrência de um determinado índice, assim como seu período de retorno correspondente, foram relacionados, respectivamente nas abscissas inferior e superior do gráfico. Na ordenada, foram relacionados os índices de erosividade da chuva.

A determinação do número adequado de anos de registro de dados hidrológicos do caso em questão foi feita através da eq. (8), mencionada por SCHWAB **et alii** (1966), dada pela seguinte expressão:

$$Y = (4,30.t.\log \theta)^2 + 6 \quad ,$$

onde:

Y é o número aceitável de anos de registro de dados; t é o valor estatístico de Student, para o nível de 10% de significância, com (Y-6) graus de liberdade, e θ é a relação das magnitudes entre o evento com período de retorno de 100 anos e o evento com período de retorno de 2 anos.

3.2.7. Coeficiente de chuva: cálculo e estudo de correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal

Foi calculado, para cada mês do ano, o coeficiente de chuva, usando-se os valores pluviométricos médios mensais referentes ao mesmo período utilizado para a obtenção do índice de erosividade, isto é, valores referentes ao período de 1966 a 1985. O coeficiente empregado nos cálculos foi o mesmo que o utilizado por LOMBARDI NETO (1977), cuja expressão relatada pela eq. (10) é a seguinte:

$$R_c = \frac{p^2}{P_i} \quad ,$$

onde:

R_c é o coeficiente da chuva em mm; p é a precipitação média mensal em mm, e P_i é a precipitação média anual em mm.

Ainda, de acordo com LOMBARDI NETO (1977), procedeu-se o ajuste dos dados de índice de erosividade medio - mensal e de coeficiente de chuva, à função potência do tipo:

$$EI_{30} = \alpha . R_c^{\beta} \quad , \text{ onde} \qquad (17)$$

onde:

EI_{30} é o índice de erosividade médio-mensal em MJ.mm/ha. h; α e β são os parâmetros da equação, e R_c é o coeficiente de chuva (p^2/P_i) em mm, como mencionado anteriormente. Através da aplicação de uma anamorfose, foi efetuada a linearização da eq. (17), resultando as estimativas dos parâmetros α e β.

Efetuou-se a análise de variância com o objetivo de se verificar a significância estatística do ajuste em questão. Finalmente, foram plotados os dados em papel di-log, relacionando-se na abscissa o coeficiente de chuva e na ordenada o índice de erosividade médio-mensal.

3.2.8. Conversão de unidades

A maioria dos dados de erosividade da chuva e de erodibilidade do solo, disponíveis na bibliografia consultada foi relatada respectivamente nas seguintes unidades: **tf.m.mm/ha.h.ano** e **t.ha.h./ha.tf.m.mm**. Portanto, foram efetuadas as conversões das unidades dos referidos dados para as unidades correspondentes do Sistema Internacional, objetivando, destea forma, facilitar a comparação dos resultados. Os dados de erosividade da chuva relatados em **tf.m.mm/ha.h.ano** foram multiplicados pela constante $9,81.10^{-3}$ para se obter seus correspondentes em **MJ.mm/ha.h.ano**. Por outro lado, os dados de erodibilidade do solo relatados em **t.ha.h/ha.tf.m.mm** foram multiplicados pela constante $0,1019.10^{3}$ para se obter seus correspondentes em **t.ha.h/ha.MJ.mm**.

4. RESULTADOS

4.1. ESTUDO DE CORRELAÇÕES

4.1.1. Características da chuva *versus* perda de solo

A Tabela 1 apresenta os coeficientes linear (a), de regressão (b) e de correlação (r) das equações de regressão linear simples entre as características da chuva e a perda de solo de Mococa. Foram analisados os pluviogramas e a quantidade de solo arrastado de 425 chuvas individuais ocorridas entre julho de 1978 a julho de 1985, em parcelas experimentais com solo descoberto, de acordo com as proposições de BERTONI (1949) e MARQUES (1951).

Analisando-se os coeficientes de correlação (r), os quais estão dispostos em ordem decrescente de valores, observa-se que todos foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, através do teste t de Student, segundo indicação de HOFFMANN & VIEIRA (1977). No geral, tais coeficientes foram altos e variaram entre 0,8008 a 0,6441, respectivamente para o EI_{25} e I_5. Detalhando melhor a análise global dos referidos coeficientes, são percebidos dois grupos dis

Tabela 1. Coeficiente linear (a), de regressão (b) e de correlação (r) das equações de regressão linear simples entre as características da chuva e a perda de solo. Análise de 425 chuvas ocorridas entre julho de 1978 e julho de 1985, em condições de solo descoberto de Mococa-SP.

NÚMERO DE ORDEM	CARACTERÍSTICA DA CHUVA	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO 1/ y = a + b.x		COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r)
		a	b	n= 425 2/
1	EI_{25}	0,528483	$2,101038.10^{-2}$	0,8008**
2	EI_{35}	0,559556	$2,519406.10^{-2}$	0,7994**
3	EI_{40}	0,584066	$2,707909.10^{-2}$	0,7993**
4	EI_{30}	0,543609	$2,316053.10^{-2}$	0,7992**
5	EI_{45}	0,599987	$2,898410.10^{-2}$	0,7981**
6	EI_{50}	0,619622	$3,080263.10^{-2}$	0,7961**
7	EI_{20}	0,543362	$1,855659.10^{-2}$	0,7960**
8	KE>10	-0,590436	1,202315	0,7956**
9	EI_{55}	0,631733	$3,259179.10^{-2}$	0,7946**
10	EI_{60}	0,635947	$3,449393.10^{-2}$	0,7936**
11	KE>25	0,400384	1,386908	0,7884**
12	EI_{15}	0,571075	$1,613339.10^{-2}$	0,7879**
13	EI_{10}	0,572855	$1,394046.10^{-2}$	0,7854**
14	EI_{5}	0,713628	$1,137353.10^{-2}$	0,7706**
15	I_{50}	-1,866367	0,391768	0,7332**
16	I_{55}	-1,853114	0,416371	0,7331**
17	ENERGIA CINÉTICA TOTAL	-1,114950	0,941960	0,7306**
18	I_{45}	-1,842414	0,363043	0,7301**
19	I_{40}	-1,837468	0,336086	0,7299**
20	I_{35}	-1,825369	0,307814	0,7257**
21	I_{60}	-1,796894	0,435247	0,7242**
22	I_{30}	-1,797862	0,278573	0,7210**
23	I_{25}	-1,769280	0,248607	0,7174**
24	I_{20}	-1,674280	0,214998	0,7058**
25	I_{15}	-1,529962	0,181646	0,6879**
26	I_{10}	-1,374015	0,150759	0,6704**
27	PRECIPITAÇÃO TOTAL	-0,914428	0,193453	0,6617**
28	I_{5}	-0,930630	0,117086	0,6441**

** Estatisticamente significativo ao nível de 1% de probabilidade.

1/ Onde, na abscissa (eixo x) foram apresentadas as seguintes características da chuva e suas respectivas unidades: EI_n em MJ.mm/ha.h; I_n em mm; KE > 10, KE > 25 e energia cinética total em MJ/ha, e precipitação total em mm. Na ordenada (eixo y) foi representada a perda de solo em t/ha.

2/ n = número de observações.

tintos de valores: 1º) com valores maiores, variando entre 0,8008 (EI_{25}) a 0,7706 (EI_5), o qual engloba todos os índices EI_n e mais os KE > 10 e KE > 25, e 2º) com valores menores variando entre 0,7332 (I_{50}) a 0,6441 (I_5), o qual engloba todas as intensidades máximas I_n e mais a energia cinética total e a precipitação total (Tabela 1).

As seguintes características da chuva: EI_{25}, EI_{35}, EI_{40}, EI_{30}, KE > 10, KE > 25, energia cinética total, I_{30}, precipitação total e I_5, as quais estão contidas na Tabela 1, apresentaram respectivamente os seguintes coeficientes de correlação (r) com a perda de solo: 0,8008; 0,7994; 0,7993; 0,7992; 0,7956; 0,7884; 0,7306; 0,7210; 0,6617, e 0,6441.

Segundo indicações de GRAYBILL (1976), o teste realizado para verificação da homogeneidade entre os coeficientes de correlação (r), das correlações estabelecidas entre as características da chuva e a perda de solo contidas na Tabela 1, revelou, entre outros, os seguintes resultados:

1º) existe diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre os coeficientes de correlação do EI_{25} e I_5;

2º) não existe diferença significativa entre os coeficientes de correlação do EI_{25} e EI_5, assim sendo, também não existe diferença entre os coeficientes de correlação dos seguintes índices entre si: EI_{30} e KE > 25; EI_{25} e EI_{30}, e EI_{25} e KE > 25;

3º) não existe diferença significativa entre os coeficientes de correlação do I_{50} e I_{10};

4º) existe diferença significativa ao nível de 5% de probabi-

lidade entre os coeficientes de correlação do I_{50} e precipitação total, assim como os do I_{50} e I_5;

5º) existe diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre o coeficiente de correlação da energia cinética total e os coeficientes de correlação dos índices EI_{30}, KE > 10 e KE > 25;

6º) existe diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre o coeficiente de correlação da precipitação total e os coeficientes da correlação dos índices EI_{30}, KE > 10 e KE > 25, e

7º) não existe diferença significativa entre os coeficientes de correlação da energia cinética total e precipitação total.

4.1.2. Estimativa do fator erodibilidade do solo (K)

De acordo com WISCHMEIER (1972), em relação ao modelo linear $y = a+b.x$, onde y representa a perda de solo e x o EI_{30}, o fator erodibilidade do solo (K) é representado pelo coeficiente de regressão b quando os dados são obtidos nas condições de "parcela padrão". Desta forma, o modelo linear que melhor explicou as perdas de solo de Mococa, em função do EI_{30}, foi dado pela seguinte expressão, conforme a Tabela 1:

$$y = 0{,}543609 + 2{,}316053.10^{-2}.EI_{30} \ldots r=0{,}7992^{**} \quad (18)$$

onde:

y representa a perda de solo em t/ha; 0,543609 e $2,316053.10^{-2}$ são respectivamente o coeficiente linear (a) e de regressão (b), e o EI_{30} representa o índice de erosividade da chuva em MJ.mm./ha.h. Portanto, o fator erodibilidade (K) do solo da parcela de campo - Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico, T_b, A chernozêmico, textura argilosa/muito argilosa - que o presente estudo permitiu estimar foi de 0,0232 t.ha.h/ha.MJ.mm ($0,2277.10^{-3}$ t.ha.h/ha.tf.m.mm), conforme está relatado através da form. (18).

4.2. Caracterização da Erosividade da Chuva

4.2.1. Indice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R) de Mococa-SP

A erosividade anual (EI_{30}) é representada pela adição dos índices de erosividade de todas as chuvas erosivas ocorridas durante o ano. Por outro lado, o fator erosividade da chuva (R) é obtido através da média aritmética dos índices de erosividade quando são tomados, pelo menos, 20 anos de análise de dados (WISCHMEIER, 1959). Entretanto, a adequação do número de anos de registro de dados de erosividade, com um nível de significância de 10%, revelou ser de 10,5 anos o tempo mínimo aceitável de dados, para a obtenção do fator R de Mococa, de acordo com a indicação de SCHWAB **et alii** (1966).

A Tabela 2 apresenta a distribuição média mensal e total anual dos valores do índice de erosividade (EI_{30}), assim como o fator erosividade da chuva de Mococa, durante o período de 1966 a 1985. Neste caso, ficou excluído o ano de 1970 devido a falta de dados, efetuando-se, então, a média aritmética através de 19 anos de análise.

Portanto, o valor médio anual da erosividade da chuva, isto é, o fator erosividade da chuva observado para Mococa (Tabela 2) foi de 7747 MJ.mm/ha.h.ano, o qual apresentou as seguintes medidas de dispersão: desvio padrão de 2064 MJ.mm/ha.h.ano; erro padrão da média de 474 MJ.mm/ha.h . ano, e o coeficiente de variação de 26,6%. Durante o mencionado período de análise, os valores anuais de erosividade variaram de 3322 MJ.mm/ha.h.ano a 10 942 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente nos anos de 1968 e 1976. Os valores extremos dos índices de erosividade médios mensais foram de 51 e 1691 MJ. mm/ha.h, respectivamente nos meses de julho e dezembro.

A Tabela 3 apresenta a quantidade total anual de chuva e a quantidade anual de chuva usada para calcular o índice de erosividade anual de Mococa, durante o período de 1966 a 1985. Como pode ser observado, foi considerado para calcular o fator erosividade da chuva (R) a quantia de 79% da precipitação total anual de chuva. Assim, fica evidenciado que aproximadamente 21% da precipitação total anual não foram incluídos no cálculo da erosividade por se tratar de chuvas não erosivas, de acordo com as recomendações de WISCHMEIER & SMITH (1978).

Tabela 2. Valores mensais e anuais do índice de erosividade EI_{30} e fator erosividade da chuva (MJ.mm/ha. ano) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985.

MÊS	ANO a/																			MÉDIA
	66	67	68	69	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	
JANEIRO	2517	804	1310	1412	86	1118	937	2161	372	1957	1536	1409	1165	2526	1069	623	1046	244	1596	1257
FEVEREIRO	771	1414	617	983	910	1170	1104	3664	2120	1717	282	388	1443	860	95	424	983	406	313	1035
MARÇO	1359	562	24	400	381	1827	1329	833	85	808	1117	590	441	397	527	770	1032	146	1142	725
ABRIL	25	29	192	750	442	-	163	967	684	443	1967	75	168	634	106	69	636	631	62	423
MAIO	154	67	167	736	64	194	118	-	91	416	-	143	642	-	-	166	768	-	26	197
JUNHO	-	175	-	57	143	-	-	400	-	270	113	216	-	522	140	33	217	-	-	120
JULHO	-	-	-	-	128	358	23	-	15	356	-	38	21	-	-	28	9	-	-	51
AGOSTO	-	-	82	-	-	58	-	57	-	258	282	-	9	-	-	86	-	356	-	63
SETEMBRO	43	45	25	43	601	164	118	32	62	1114	297	261	618	27	78	127	766	840	39	279
OUTUBRO	481	210	557	317	399	1402	306	344	223	500	878	404	266	135	2394	1351	341	-	218	565
NOVEMBRO	1057	2074	209	1251	559	3147	473	479	3282	1547	601	2050	1711	1511	1437	1278	787	967	1062	1341
DEZEMBRO	3017	965	139	715	2732	849	3395	1428	1052	1556	770	981	2360	2946	1212	1611	3731	1734	930	1691
TOTAL	9424	6345	3322	6664	6445	10287	7966	10365	7986	10942	7843	6555	8844	9558	7058	6566	10316	5324	5388	7747

a/ Para os dados pluviográficos n=19, ficando excluído o ano de 1970.

Tabela 3. Quantidade anual de chuva (mm) e índice de erosividade (MJ.mm / ha.h.ano) durante o período de 1966 a 1985 de Mococa-SP.

Ano	Quantidade de chuva (mm)		Índice de erosividade (MJ.mm/ha.h.ano)
	Total	Usada no EI_{30}	
1966	1883,0	1543,5	9424
67	1493,0	1158,0	6345
68	918,6	634,6	3322
69	1383,0	894,7	6664
70[a]	1594,6	-	-
71	1465,6	1054,8	6445
72	1958,8	1498,9	10287
73	1485,2	1140,0	7966
74	1502,7	1189,7	10365
75	1242,8	1096,7	7986
76	2191,0	1876,6	10942
77	1534,2	1224,5	7843
78	1550,4	1254,9	6555
79	1511,3	1335,3	8844
80	1713,7	1384,5	9558
81	1481,8	1181,7	7058
82	1778,9	1391,6	6566
83	2526,5	2002,5	10316
84	1239,8	953,3	5324
85	1225,0	951,7	5388
Média	1584,0	1250,9	7747

[a] Para quantidade total de chuva, n=20 (dados de pluviômetro). Em relação à quantidade de chuva usada no EI_{30}, assim como o índice de erosividade, n=19 (dados de pluviógrafo).

4.2.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva

4.2.2.1. Distribuição anual, sazonal e mensal da precipitação e da erosividade da chuva

Em condições de parcela em alqueive contínuo para um mesmo solo, declive e tratos culturais, as perdas médias anuais esperadas por erosão, sob vários padrões de chuva, seriam diretamente proporcionais aos valores do índice de erosividade, segundo Wischmeier*, citado por LOMBARDI NETO (1977). Entretanto, isto não é verdadeiro para áreas cultivadas, onde a distribuição do potencial erosivo da chuva no tempo - em relação a aração, semeadura e colheita - varia significativamente de local para local para todas as culturas Assim, o fator erosividade da chuva, da forma como é representado através do valor do índice de erosividade médio anual, não é suficiente para avaliar os efeitos de chuvas distintas em causar perdas localizadas de solo.

Portanto, é necessário detalhar a forma como está distribuído, no ano, o potencial erosivo da chuva em questão. Por outro lado, a distribuição da quantidade de chuva é

---

* WISCHMEIER, W.H. Cropping-management factor evaluations for a Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, Wisconsin, **24**: 322-326, 1960.

fator da maior importância para o manejo e o desenvolvimento das culturas. A Tabela 4 e a Figura 2 apresentam, respectivamente: a) Distribuição anual e mensal da precipitação pluviométrica de Mococa, durante o período de 1966 a 1985, e b) Histogramas de distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade e da precipitação pluviométrica de Mococa, durante o período de 1966 a 1985.

Os dados evidenciaram que 85,4% do índice de erosividade anual ocorrem durante os meses de outubro a março. Em relação à precipitação, isto corresponde a 80,1% da quantidade total anual de chuva. Quando é adicionado apenas o mês de abril ao referido período resulta na ocorrência de 90,9% e 85,2% do total anual, respectivamente para o índice de erosividade e precipitação (Figura 2).

Para o trimestre de dezembro a fevereiro, ocorrem 51,4% e 48,1% do total anual, respectivamente para o índice de erosividade e precipitação (Figura 2). Entretanto, estes valores são aumentados, quando é considerado o trimestre de novembro a janeiro. Neste caso, as porcentagens de ocorrência do total anual, para o índice de erosividade e precipitação, são respectivamente de 55,3% e 49,6%.

A Figura 2 indica também, através de uma análise ao longo do ano, a concordância entre as distribuições médias mensais do índice de erosividade e da precipitação pluviométrica de Mococa. Assim, é observado que existe uma harmonia entre ambos, isto é, no semestre de elevado índice de erosivida

Tabela 4. Distribuição anual e mensal da precipitação pluviométrica (mm) de Mococa - SP, durante o período de 1966 a 1985.

MÊS	ANO a/																				MÉDIA
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	
JANEIRO	414,2	271,3	246,1	190,8	246,0	66,5	240,4	227,8	358,4	161,0	214,7	370,0	293,5	208,0	341,1	249,7	250,2	363,5	180,3	359,9	259,1
FEVEREIRO	171,1	235,4	131,1	180,3	397,0	140,5	295,2	156,4	184,5	315,3	374,6	29,5	75,4	258,1	230,6	56,0	102,0	319,8	66,7	118,0	191,9
MARÇO	312,0	140,0	44,5	116,6	119,0	149,6	168,8	168,0	194,6	32,1	220,1	172,2	147,2	77,2	68,4	113,7	356,7	250,4	72,9	199,7	156,2
ABRIL	32,3	16,3	62,6	85,9	55,3	124,3	27,2	99,6	79,3	93,6	113,0	182,3	37,2	50,8	152,9	65,9	41,5	147,9	100,2	47,8	80,8
MAIO	57,3	29,7	34,1	83,4	74,3	31,3	76,5	55,9	9,2	18,1	101,8	7,3	106,6	117,4	13,6	7,2	71,6	158,3	25,8	17,2	54,8
JUNHO	-	62,9	1,2	31,3	65,8	100,3	-	12,5	90,4	4,5	63,6	47,7	33,1	-	99,8	56,5	62,7	58,7	-	0,6	39,6
JULHO	-	1,5	3,5	4,0	8,6	46,9	130,7	23,0	-	23,3	87,9	5,5	53,7	23,9	0,3	-	24,6	53,6	5,8	0,8	24,8
AGOSTO	15,2	-	42,2	18,5	96,4	0,2	54,5	5,2	13,6	-	112,8	52,2	1,2	24,8	2,4	3,6	39,1	-	108,0	3,4	29,7
SETEMBRO	42,5	49,9	38,2	18,8	112,8	63,0	78,8	48,8	19,3	46,8	221,2	125,0	69,0	179,7	68,0	35,6	44,4	242,8	152,9	31,6	84,5
OUTUBRO	155,4	107,8	119,4	134,8	139,0	178,8	224,5	108,2	113,4	86,6	87,5	129,7	125,1	91,5	66,4	324,6	231,0	178,6	29,4	49,6	134,1
NOVEMBRO	233,6	284,7	103,7	263,4	134,8	127,0	405,0	164,0	111,3	281,1	261,0	166,9	346,9	175,3	239,7	195,9	178,3	209,1	213,5	220,1	215,8
DEZEMBRO	449,4	294,3	92,0	255,2	145,6	437,2	257,2	415,8	328,7	180,4	332,8	245,3	261,5	304,6	430,5	373,1	376,8	543,8	356,3	176,3	312,7
TOTAL ANUAL	1883,0	1493,8	918,6	1383,0	1594,6	1465,6	1958,8	1485,2	1502,7	1242,8	2191,0	1534,2	1550,4	1511,3	1713,7	1481,8	1778,9	2526,5	1239,8	1225,0	1584,0

a/ Para os dados pluviométricos n=20, estando portanto incluído o ano de 1970.

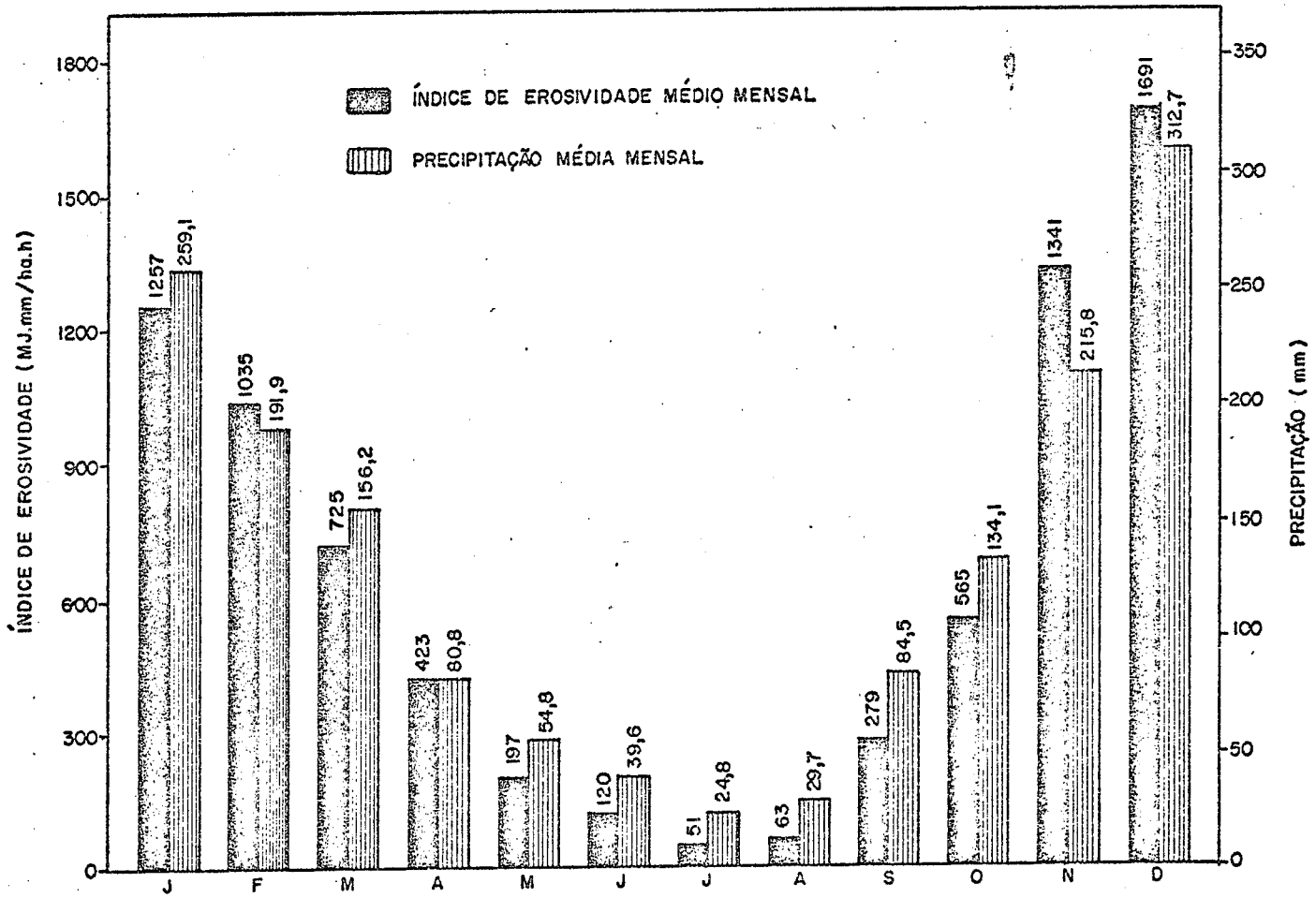

Figura 2. Histogramas de distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade (MJ.mm/ha.h) e da precipitação pluviométrica (mm) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985.

de - outubro a março -, a precipitação também o é. Por outro lado, a recíproca é verdadeira.

4.2.2.2. Distribuição decendial da erosividade da chuva

Quanto mais detalhada a distribuição do potencial erosivo da chuva ao longo do ano, tanto melhor ficará delineada sua curva de distribuição, dada em termos de porcentagem acumulada, a qual é fundamental para a obtenção do fator uso e manejo da cultura (C) da Equação Universal de Perdas de Solo.

A Tabela 5 apresenta a distribuição decendial do índice de erosividade de Mococa, durante o período de 1966 a 1985. O índice de erosividade médio-mensal foi subdividido em três decêndios distintos, dentro dos meses do ano. Desta forma, pode-se observar que a somatória dos índices de erosividade médios decendiais de um mês qualquer, corresponde ao seu índice de erosividade médio-mensal. Os valores extremos dos índices de erosividade médios decendiais foram de 3 (3º decêndio de julho) e 711 (3º decêndio de dezembro) MJ.mm/ha.h.

4.2.2.3. Curva de distribuição do índice de erosividade da chuva

São apresentadas, na Tabela 6, as distribuições médias decendial e mensal do índice de erosividade de Mococa,

Tabela 5. Distribuição decendial dos valores do índice erosividade EI_{30} da chuva (MJ.mm/ha.h) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985.

Mês	Decêndio	Anos [a]																			Média decendial	Média mensal
		66	67	68	69	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85		
Janeiro	1º	1066	375	629	130	-	585	229	1167	105	889	514	664	107	851	349	158	330	84	592	464	
	2º	970	283	617	37	35	-	410	665	143	33	430	745	44	576	696	97	636	-	738	377	1257
	3º	481	146	64	1245	51	533	298	329	124	1035	592	-	1014	1099	24	368	80	160	266	416	
Fevereiro	1º	483	783	-	596	81	426	274	1646	1676	407	-	78	444	132	95	122	577	149	39	422	
	2º	-	631	522	264	125	281	488	-	95	225	-	310	843	111	-	-	406	-	184	236	1035
	3º	288	-	95	123	704	463	342	2018	349	1085	282	-	156	617	-	302	-	257	90	377	
Março	1º	778	321	-	130	72	1017	117	299	-	116	115	310	-	-	63	482	910	123	723	294	
	2º	-	110	24	-	46	171	-	269	-	120	209	-	441	356	290	34	66	-	383	148	725
	3º	581	131	-	270	263	639	1212	265	85	272	793	280	-	41	174	254	56	23	36	283	
Abril	1º	-	-	-	453	305	-	75	-	596	79	1825	-	86	120	-	-	158	-	-	195	
	2º	-	-	192	297	61	-	88	967	88	248	142	41	-	514	16	69	-	-	62	146	423
	3º	25	29	-	-	76	-	-	-	-	116	-	34	82	-	90	-	478	631	-	82	
Maio	1º	106	67	-	-	64	-	118	-	91	-	-	-	350	-	-	-	-	-	-	41	
	2º	-	-	167	-	-	-	-	-	-	100	-	98	-	-	-	-	108	-	-	25	197
	3º	48	-	-	736	-	194	-	-	-	316	-	45	292	-	-	166	660	-	26	131	
Junho	1º	-	68	-	16	-	-	-	-	-	270	51	216	-	21	115	-	217	-	-	51	
	2º	-	107	-	-	143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	33	-	-	-	16	120
	3º	-	-	-	41	-	-	-	400	-	-	62	-	-	501	-	-	-	-	-	53	
Julho	1º	-	-	-	-	71	25	-	-	15	356	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	
	2º	-	-	-	-	-	333	23	-	-	-	-	38	21	-	-	28	9	-	-	23	51
	3º	-	-	-	-	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
Agosto	1º	-	-	82	-	-	58	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	30	-	10	
	2º	-	-	-	-	-	-	-	57	-	243	-	-	9	-	-	-	-	-	-	16	63
	3º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	282	-	-	-	-	86	-	326	-	37	
Setembro	1º	-	24	25	-	26	139	118	32	-	-	145	-	108	-	-	47	76	64	39	44	
	2º	-	21	-	-	99	-	-	-	-	591	-	261	269	27	-	-	622	458	-	124	279
	3º	43	-	-	43	476	25	-	-	62	523	152	-	241	-	78	80	68	318	-	111	
Outubro	1º	89	-	-	139	328	594	64	52	165	33	580	-	62	-	428	115	-	-	-	140	
	2º	22	106	557	97	71	533	242	9	58	15	-	217	204	135	1471	473	184	-	-	231	565
	3º	370	104	-	81	-	275	-	283	-	452	298	187	-	-	495	763	157	-	218	194	
Novembro	1º	581	1461	182	84	193	1278	40	-	1828	336	82	1029	1507	292	645	681	202	94	255	566	
	2º	428	251	5	715	-	1437	433	45	788	1113	247	482	185	81	93	147	585	675	531	434	1341
	3º	48	362	22	452	366	432	-	434	666	98	272	539	19	1138	699	450	-	198	276	341	
Dezembro	1º	70	629	139	125	1770	402	1089	764	37	554	198	384	569	1523	848	389	288	677	70	554	
	2º	1385	215	-	590	269	144	944	220	152	417	32	183	316	71	245	179	2138	355	233	426	1691
	3º	1562	121	-	-	693	303	1362	444	863	585	540	414	1475	1352	119	1043	1305	702	627	711	
TOTAL		9424	6345	3322	6664	6445	10287	7966	10365	7986	10942	7843	6555	8844	9558	7058	6566	10316	5324	5388	7747	7747

[a] Para os dados pluviográficos n=19, ficando excluído o ano de 1970.

Tabela 6. Distribuição média decendial e mensal do índice de erosividade de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985 (valores expressos em porcentagem de EI_{30} total).

Mês	Decêndio mensal	Índice de erosividade (%)	
		Decendial	Mensal
Janeiro	1º	6,62	
	2º	5,35	17,73
	3º	5,76	
Fevereiro	1º	5,48	
	2º	3,15	13,08
	3º	4,45	
Março	1º	3,94	
	2º	2,06	9,60
	3º	3,60	
Abril	1º	1,62	
	2º	1,57	4,00
	3º	0,81	
Maio	1º	0,38	
	2º	0,27	2,16
	3º	1,51	
Junho	1º	0,60	
	2º	0,15	1,19
	3º	0,44	
Julho	1º	0,10	
	2º	0,10	0,20
	3º	zero	
Agosto	1º	0,09	
	2º	0,06	0,47
	3º	0,32	
Setembro	1º	0,60	
	2º	1,50	3,47
	3º	1,37	
Outubro	1º	1,78	
	2º	2,53	6,84
	3º	2,53	
Novembro	1º	7,73	
	2º	5,88	18,23
	3º	4,62	
Dezembro	1º	7,54	
	2º	5,15	23,03
	3º	10,34	
TOTAL	-	100,00	100,00

expressas em termos de porcentagem do índice de erosividade total, para o período de 1966 a 1985. A montagem da referida Tabela foi procedida de acordo com a metodologia adotada por LOMBARDI NETO (1977). Portanto, considerando-se cada decêndio separadamente, foram excluídos os valores extremos do índice de erosividade nele ocorrido, calculando-se sua porcentagem média decendial com base nos 17 outros anos restantes. A porcentagem média mensal do índice de erosividade foi obtida através da somatória dos índices médios decendiais ocorridos dentros dos meses.

Na Tabela 6, observa-se que os valores extremos dos índices de erosividade médios decendiais foram de zero e 10,34%, respectivamente para os terceiros decêndios de julho e dezembro. A partir dos valores porcentuais de distribuição decendial do índice de erosividade foi montada a curva de distribuição anual do índice de erosividade, a qual é apresentada a seguir.

Na Figura 3, está apresentada a curva de distribuição anual do índice de erosividade de Mococa, durante o período de 1966 a 1985.

4.2.3. Freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano

A Tabela 7 apresenta a freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano, isto é, a freqüência mensal do maior valor do índice de erosividade do ano, para Mococa, durante o período de 1966 a 1985. Como pode ser observa-

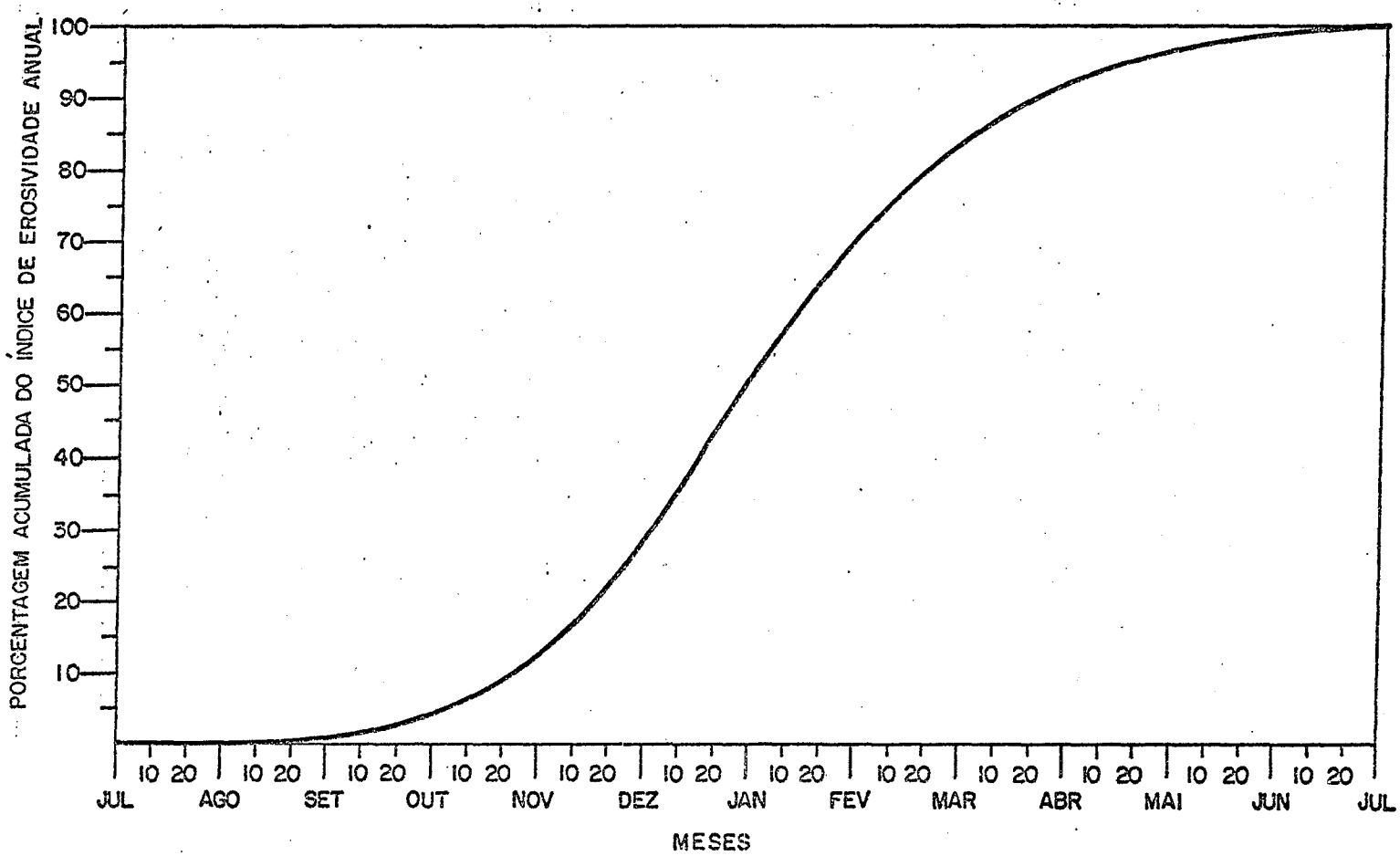

Figura 3. Curva de distribuição do índice de erosividade de Mococa-SP, analisado durante o período de 1966 a 1985. Dados em porcentagem.

do, os meses de dezembro e novembro são os de maior freqüência de ocorrência da chuva individual mais erosiva do ano. Tais freqüências são de 6 e 4 vezes por mês, respectivamente para os referidos meses. Já, os meses de janeiro, março, abril e outubro apresentam freqüência de 2 vezes, ficando apenas o mês de fevereiro com 1 vez. Os meses nos quais não houve ocorrência da chuva individual mais erosiva do ano foram maio, junho, julho, agosto e setembro. Este período representa praticamente o terço final do outono e todo o inverno.

Tabela 7. Freqüência da chuva individual mais erosiva do ano, dentro de um mês específico. Análise de 19 anos de registro de dados (1966 a 1985) de Mococa-SP.

Mês	Freqüência mensal
Janeiro	2
Fevereiro	1
Março	2
Abril	2
Maio	-
Junho	-
Julho	-
Agosto	-
Setembro	-
Outubro	2
Novembro	4
Dezembro	6
TOTAL	19

4.2.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

4.2.4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual

É apresentada na Tabela 8 a probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual de Mococa, durante o período de 1966 a 1985. A análise geral da referida tabela indica que em relação à variação dos valores do índice de erosividade, são direta e inversamente proporcionais, respectivamente, o intervalo de recorrência ou período de retorno (T) e a probabilidade de ocorrência (P_r). Assim, pode-se observar que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência, determinados para o maior valor do índice de erosividade anual observado (10 942 MJ.mm/ha.h.ano), foram respectivamente de 21,00 anos e 4,8%. Analogamente, tais valores foram de 1,05 anos e 95,2% para o menor valor do índice de erosividade anual observado (3322 MJ.mm/ha.h.ano).

Os valores dos índices de erosividade anual da Tabela 8 serviram de base para a determinação da curva de distribuição de probabilidade, apresentada na Figura 4, a qual

Tabela 8. Probabilidade de ocorrência (%) e período de retorno (ano) dos valores dos índices de erosividade anual (MJ.mm/ha.h.ano) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985.

Ano	Índice de erosividade (MJ.mm/ha.h.ano)	Seqüência em ordem crescente (m)	Período de retorno em anos (T) a/	Probabilidade % (P_r) b/
1976	10942	1	21,00	4,8
74	10365	2	10,50	9,5
83	10316	3	7,00	14,3
72	10278	4	5,25	19,1
80	9558	5	4,20	23,8
66	9424	6	3,50	28,6
79	8844	7	3,00	33,3
75	7986	8	2,63	38,0
73	7966	9	2,33	42,9
77	7843	10	2,10	47,6
81	7058	11	1,91	52,4
69	6664	12	1,75	57,1
82	6566	13	1,62	61,7
70	6556 c/	14	1,50	66,7
78	6555	15	1,40	71,4
71	6445	16	1,31	76,3
67	6345	17	1,24	80,7
85	5388	18	1,17	85,5
84	5324	19	1,11	90,1
68	3322	20	1,05	95,2
Média	7688 d/	-	-	-

a/ $T = \frac{N + 1}{m}$

b/ $P_r = \frac{1}{T} \cdot 100$

c/ Calculado através da média ponderada entre os anos adjacentes cronologicamente.
ARRUDA, H.V. (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba, SP). Comunicação Pessoal, 1986.

d/ Incluído o ano de 1970.

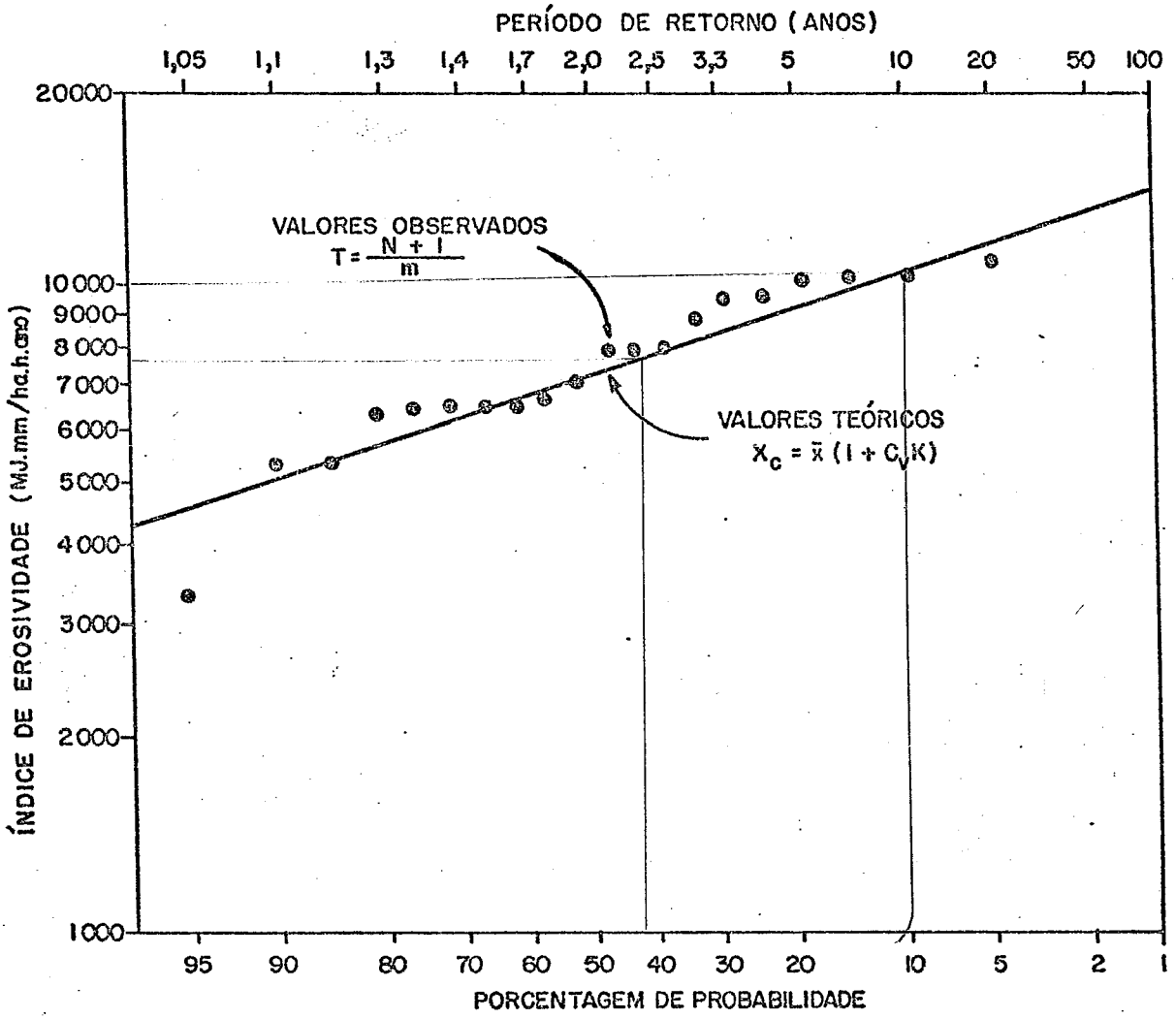

Figura 4. Curva de distribuição de probabilidade para os valores dos índices de erosividade anual (MJ.mm/ha.h.ano) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985.

foi ajustada àqueles valores através da form. (6) de Chow (1954), de acordo com a indicação de SCHWAB **et alii** (1966).

Para Mococa, os valores dos índices de erosividade anual, os quais variaram entre 3322 e 10942 MJ.mm/ha . h.ano, tiveram um valor médio de 7688 MJ.mm/ha.h.ano (Tabela 8). Os valores dos índices de erosividade anual esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos, determinados através da form. (6), foram respectivamente de 7355, 9151, 11 455 e 14 062 MJ.mm/ha.h.ano.

Os valores dos índices de erosividade anual, para qualquer outro período de retorno desejado, ou vice-versa, podem ser facilmente obtidos através da leitura direta na curva de distribuição de probabilidade apresentada na Figura 4, ou calculados através da aplicação da form. (6). Assim, por exemplo, observa-se que o período de retorno do fator erosividade da chuva (R) de Mococa é de aproximadamente 2,4 anos ou, por outro lado, que a sua probabilidade de ocorrência é de aproximadamente 42,0%.

4.2.4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para para chuvas individuais

Na Tabela 9 e Figura 5 estão respectivamente apresentados para Mococa, durante o período de 1966 a 1985, o seguinte: a) Probabilidade de ocorrência e período de re-

Tabela 9. Probabilidade de ocorrência (%) e período de retorno (ano) dos valores máximos anuais dos índides de erosividade para chuvas individuais (MJ.mm/ha.h) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985.

Ano	Maior valor anual do índice de erosividade para chuvas individuais (MJ.mm/ha.h)	Seqüência em ordem crescente (m)	Período de retorno a/ em anos (T)	Probabilidade b/ % (P_r)
1974	2018	1	21,00	4,8
77	1669	2	10,50	9,5
67	1441	3	7,00	14,3
75	1187	4	5,25	19,1
73	1032	5	4,20	23,8
72	1017	6	3,50	28,6
71	923	7	3,00	33,3
80	894	8	2,63	38,0
66	887	9	2,33	42,9
76	866	10	2,10	47,6
70	849 c/	11	1,91	52,4
69	759	12	1,75	57,1
83	739	13	1,62	61,7
81	736	14	1,50	66,7
85	716	15	1,40	71,4
79	667	16	1,31	76,3
84	631	17	1,24	80,7
68	533	18	1,17	85,5
82	503	19	1,11	90,1
78	459	20	1,05	95,2
Média	926 d/	-	-	-

a/ $T = \frac{N + 1}{m}$

b/ $P_r = \frac{1}{T} \cdot 100$

c/ Calculado através da média ponderada entre os anos adjacentes cronologicamente.
ARRUDA, H.V. (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba, SP). Comunicação Pessoal, 1986.

d/ Incluído o ano de 1970.

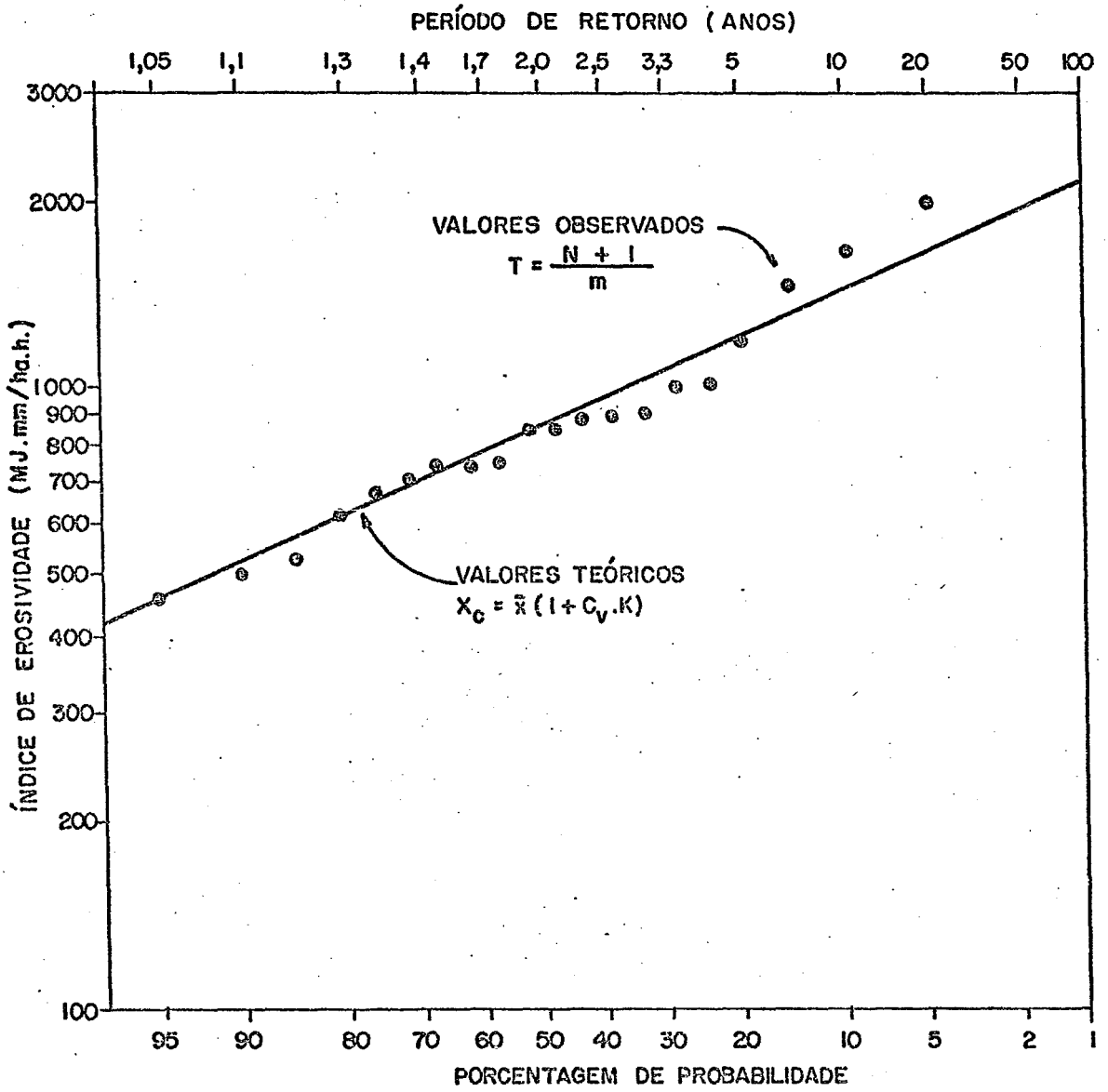

Figura 5. Curva de distribuição de probabilidade para os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais (MJ. mm/ha.h) de Mococa-SP, durante o período de 1966 a 1985.

torno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, e b) Curva de distribuição de probabilidade dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais.

Para Mococa, os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, os quais variaram entre 459 e 2018 MJ.mm/ha.h, tiveram um valor médio de 926 MJ.mm/ha.h (Tabela 9). Os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais - avaliados através da form. (6) -, os quais são esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos, foram respectivamentre de 862, 1211, 1657 e 2166 MJ.mm/ha.h.

Também para este caso, os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais para qualquer outro período de retorno desejado, ou vicer-versa, podem ser facilmente obtidos através da leitura direta na curva de distribuição de probabilidade apresentada na Figura 5, ou calculados através da aplicação da form. (6). Assim, por exemplo, observa-se que a probabilidade de ocorrência do evento médio dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais (926 MJ.mm/ha.h) é de aproximadamente 42,0% ou, por outro lado, que o seu período de retorno é de aproximadamente 2,4 anos.

4.3. Coeficiente de Chuva: Cálculo e Estudo de Correlação com o Índice de Erosividade EI_{30} Médio Mensal

Devido tanto à eventual escassez ou à inexistência de pluviógrafos, como à morosidade na análise dos pluviogramas, é que inúmeros pesquisadores têm tentado correlacionar índices de erosividade como os fatores climáticos, tais como dados pluviométricos, os quais são de fácil obtenção e, também, não requerem registros de intensidade de chuva. Portanto, numa tentativa de simplificar o método de obtenção da erosividade da chuva para Mococa, estimou-se uma regressão linear entre o índice de erosividade EI_{30} médio-mensal e o coeficiente de chuva em questão.

A Tabela 10 apresenta os valores médios mensais e a média anual de precipitação pluviométrica, coeficiente de chuva e índices de erosividade observados e estimados, obtidos para Mococa durante os anos de 1966 a 1985.

A Figura 6 apresenta a curva de regressão entre o índice de erosividade EI_{30} médio-mensal e o coeficiente de chuva para Mococa, durante os anos de 1966 a 1985.

Para Mococa, a curva de regressão linear entre o índice de erosividade EI_{30} médio-mensal e o coeficiente de chuva, a qual está representada na Figura 6, foi dada pela seguinte função potencial:

$$EI_{30} = 111,173(p^2/P_i)^{0,691} \quad \ldots \; r=0,991^{**} \;, \qquad (19)$$

onde:

Tabela 10. Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica (mm), coeficiente de chuva (mm) e índices de erosividade calculados e estimados (MJ.mm/ha.h), obtidos durante os anos de 1966 a 1985 de Mococa - SP.

Mês	Precipitação média mensal (mm)	Coeficiente de chuva p^2/P_i (mm)	EI_{30} médio mensal (MJ.mm/ha.h)	
			Calculado	Estimado a/
Janeiro	259,1	42,38	1257	1480
Fevereiro	191,9	23,25	1035	978
Março	156,2	15,40	725	736
Abril	80,8	4,12	423	296
Maio	54,8	1,90	197	173
Junho	39,6	0,99	120	110
Julho	24,8	0,39	51	58
Agosto	29,7	0,56	63	75
Setembro	84,5	4,51	279	315
Outubro	134,1	11,35	565	596
Novembro	215,8	29,40	1341	1150
Dezembro	312,7	61,73	1691	1920
TOTAL OU MÉDIA ANUAL	1584,0	195,98	7747	7887

a/ $EI_{30} = 111,173\ (p^2/P_i)^{0,691}$

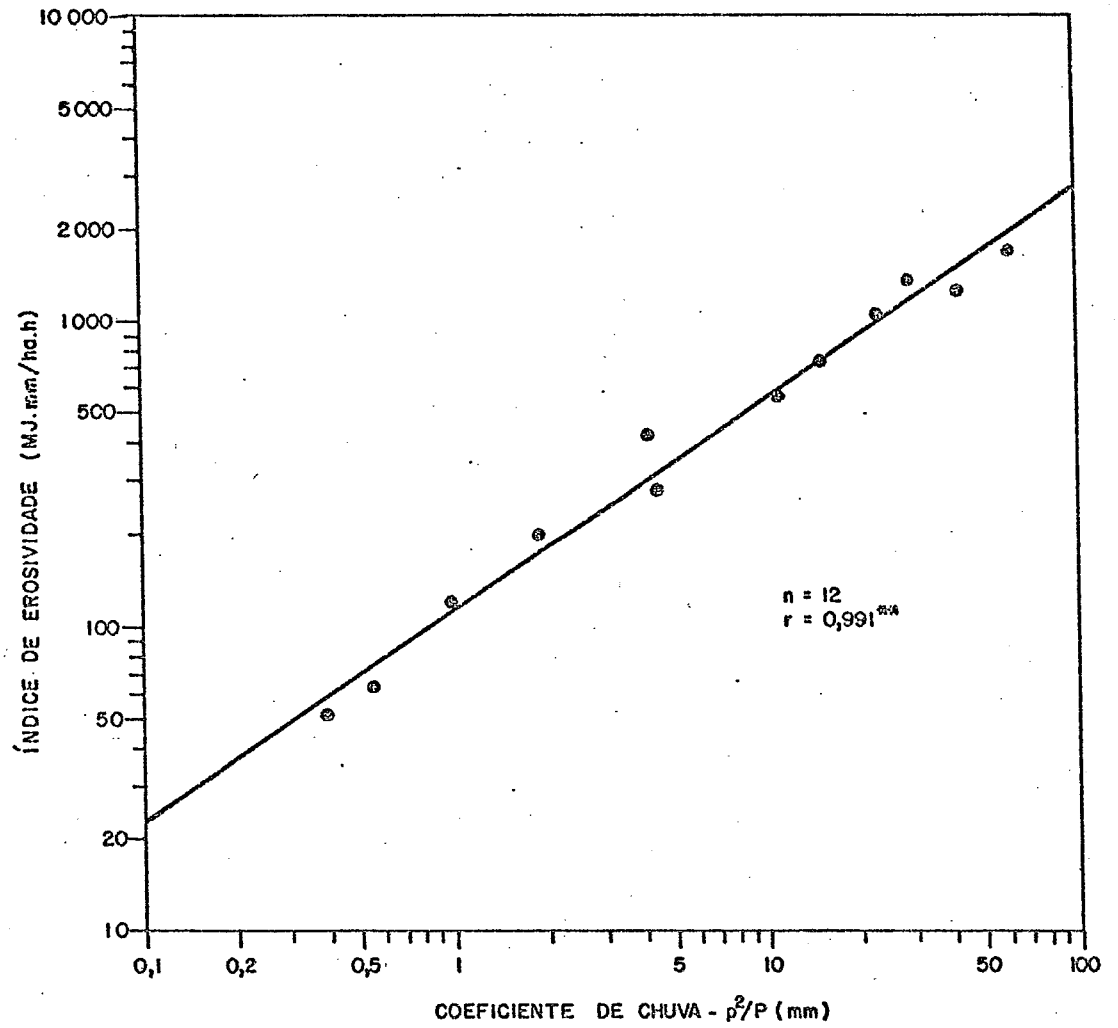

Figura 6. Curva de regressão entre o índice de erosividade EI_{30} médio -mensal (MJ.mm/ha.h) e o coeficiente de chuva (mm), obtido durante os anos de 1966 a 1985 de Mococa-SP.

EI_{30} é o índice de erosividade EI_{30} médio-mensal em MJ.mm/ha.h; p é a precipitação média mensal em mm, e P_i e a precipitação média anual em mm.

Na Tabela 10, pode-se observar que o fator erosividade da chuva estimado para Mococa (7887 MJ.mm/ha.h.ano), através da eq. (19), é aproximadamente 1,81% superior ao observado (7747 MJ.mm/ha.h.ano).

5. DISCUSSÃO

5.1. ESTUDO DE CORRELAÇÕES

5.1.1. Características da chuva *versus* perda de solo

Como pode ser observado na Tabela 1, em termos absolutos, a melhor característica da chuva para estimar as perdas de solo é o índice EI_{25}, o qual apresenta o maior coeficiente de correlação. Entretanto, foi observado não existir diferença estatística significativa para todas as combinações possíveis entre os coeficientes de correlação tomados dois a dois, que estão compreendidos entre os índices EI_{25} e EI_5 da referida tabela. Desta forma, a diferença existente entre os coeficientes de correlação dos mencionados índices é meramente casual. Portanto, pode-se concluir que o índice EI_{30}, a exemplo do que ocorreu em diversos outros locais, é um parâmetro conveniente para estimar as perdas de solo que são causadas pela erosão hídrica pluvial em Mococa. Assim sendo, este fato está de acordo com o que foi preconizado por WISCHMEIER & SMITH (1958), WISCHMEIER (1959), assim como tam-

bém com o recente relato feito por MORAIS (1986) para o Estado do Rio Grande do Sul.

O coeficiente de correlação de 0,7992, obtido para a regressão entre o EI_{30} e a perda de solo de Mococa (Tabela 1), é menor do que os obtidos por WISCHMEIER (1959) para os EEUU (0,84 a 0,98), semelhante aos obtidos por BISCAIA **et alii** (1981) para o Estado do Paraná (0,72 a 0,77) e por MORAIS (1986) para o Estado do Rio Grande do Sul (0,749) e superior ao obtido por LOMBARDI NETO (1977) para Campinas - SP (0,672). Especificamente em relação ao valor obtido para Campinas, o valor observado para Mococa, através do presente estudo, foi maior devido, provavelmente, à maior eficiência na manutenção das condições constantes de solo descoberto da "parcela padrão".

Foi observado, através do teste indicado por GRAYBILL (1976), existir diferença estatística significativa ao nível de 5% de probabilidade entre o coeficiente de correlação da energia cinética total e os coeficientes de correlação dos índices KE > 10 e KE > 25, que estão apresentados na Tabela 1. Da mesma forma, também foi observado existir diferença estatística significativa ao nível de 5% de probabilidade entre o coeficiente de correlação da precipitação total e os coeficientes de correlação dos índices KE > 10 e KE > 25. Entretanto, foi ainda observado não existir diferença estatística significativa entre os coeficientes de correlação da energia cinética total e da precipitação total, estando tal fato contrário ao relatado por WISCHMEIER (1959), e, no entanto,

de acordo com o obtido por LOMBARDI NETO (1977). Portanto, pode-se estatisticamente concluir que os índices KE>10 e KE >25 estimam melhor as perdas de solo de Mococa do que a energia cinética e a precipitação, e que, em relação às duas últimas, estas estimam de forma igual às referidas perdas.

O coeficiente de correlação 0,7884, observado para a regressão entre o KE > 25 e a perda de solo de Mococa (Tabela 1), é menor do que o obtido em condições semelhantes por HUDSON (1973) na África (r = 0,94). Entretanto, é maior do que o obtido por MORAIS (1986) para o Estado do Rio Grande do Sul (r = 0,641).

5.1.2. Estimativa do fator erodibilidade do solo (K)

O fator erodibilidade (K) relatado pela eq. (18), que pôde ser estimado através do presente estudo para o solo da parcela de campo - Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico, T_b, A chernozêmico, textura argilosa/muito argilosa -, apresentou-se dentro da amplitude de variação dos valores encontrados para os solos do Estado de São Paulo, obtidos por BERTONI & LOMBARDI NETO (1985). Sua magnitude (0,0232 t.ha.h/ha.MJ.mm) ficou entre os valores dos fatores K dos solos Podzólico Vermelho Amarelo variação Piracicaba e Mediterrânico Vermelho Amarelo, que são, respectivamente, de 0,0274 e 0,0229 t.ha.h/ha.MJ.mm.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DA EROSIVIDADE DA CHUVA

5.2.1. Índice de erosividade EI_{30} médio anual ou fator erosividade da chuva (R) de Mococa-SP

O tamanho da amostra dos dados pluviográficos, utilizado para calcular o fator R de Mococa (19 anos), foi super dimensionado, segundo o preconizado em SCHWAB **et alii** (1966). Isto porque, o tempo mínimo aceitável, com um nível de significância estatística de 10%, é de 10,5 anos, estimado através da eq. (8). Desta forma, tal fato ficou em discordância com os relatos de WISCHMEIER (1959) e WISCHMEIER & SMITH (1978), os quais indicam que o referido fator deve ser obtido de uma série contínua de dados, de pelo menos 20 anos.

O fator erosividade da chuva (R) determinado para Mococa (7747 MJ.mm/ha.h.ano), o qual é apresentado na Tabela 2, é maior que os obtidos para Campinas por LOMBARDI NETO (1977) e para Piracicaba por PEREIRA (1983), os quais são respectivamente de 6769 e 5729 MJ.mm/ha.h.ano. Portanto, isto vem a confirmar a tendência decrescente dos valores médios anuais do índice de erosividade da chuva, tanto no sentido norte-sul como no sentido nordeste-sudoeste, conforme apresentado no mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo por LOMBARDI NETO **et alii** (1981).

Em relação ao mapa de isoerodentes do Estado, elaborado por LOMBARDI NETO **et alii** (1981), o valor do fator R de Mococa (Tabela 2) localizou-se, geograficamente falando,

entre as linhas de 7357 e 7848 MJ.mm/ha.h.ano, as quais originalmente possuem os valores de 750.10^3 e 800.10^3 tf.mm/ha.h.ano. Esta observação vem evidenciar o seguinte aspecto: tanto a metodologia, utilizada para a obtenção do fator em questão, como a equação obtida por LOMBARDI NETO (1977), a qual serviu de base para a elaboração do mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo, estão bem determinadas e coerentes, isto é, uma reforça a validade da outra. Já, com relação aos valores observados por RUFINO (1986) no mapa de isoerodentes do Estado do Paraná, o fator R de Mococa permaneceu dentro da amplitude de variação do referido Estado, a qual é de 12 559 a 5275 MJ.mm/ha.h.ano.

O coeficiente de variação, de 26,6%, encontrado para o fator R de Mococa (Tabela 2), foi 9,2% menor que o de Campinas (35,8%), como também 11,0% menor que o de Piracicaba (37,6%), respectivamente encontrados por LOMBARDI NETO (1977) e PEREIRA (1983). Da mesma forma, no presente estudo, comportaram-se o desvio padrão e o erro padrão da média do fator R obtido. Desta forma, o desvio padrão de Mococa (2064 MJ.mm/ha.h.ano) foi 17,4% e 4,6% menor que o de Campinas e Piracicaba, respectivamente. Com relação ao erro padrão da média de Mococa (474 MJ.mm/ha.h.ano), este foi 9,7% e 1,5% menor que os obtidos para as referidas cidades, respectivamente.

Uma vez que o coeficiente de variação dos valores anuais do EI_{30} de Mococa é bem menor que os obtidos para Campinas e Piracicaba, estatisticamente falando pode-se con-

cluir que os dados utilizados para a obtenção do fator R do presente trabalho são mais uniformes. Portanto, a média verdadeira dos dados de Mococa é a mais próxima possível do seu fator R, uma vez que, também, o erro padrão da média do local estudado é o menor entre as três cidades.

A quantidade de chuva que foi incluída no cálculo do fator R de Mococa, a qual pode ser obtida na Tabela 3, representa 79% da precipitação pluviométrica média anual do local, sendo este valor bem próximo ao encontrado para Campinas (74%) por LOMBARDI NETO (1977). Portanto, o volume de chuvas que não foi computado para o cálculo do fator R, isto é, volume de chuvas não erosivas segundo as recomendações de WISCHMEIER & SMITH (1978), foi de 21% e 26%, respectivamente para Mococa e Campinas. Desta forma, para as duas cidades, em média, foram poupados aproximadamente 23,5% do volume total de trabalho, através do limite de 10,0 mm de precipitação, estabelecido para conceituação de chuva individual erosiva.

5.2.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva

5.2.2.1. Distribuição anual, sazonal e mensal da precipitação e da erosividade da chuva

A distribuição da precipitação pluviométrica

anual de Mococa seguiu o padrão unimodal típico dos países de clima tropical, como relatado por HUDSON (1973). Desta forma, por intermédio da Tabela 4 e Figura 2, observa-se que nos meses de outubro a março, onde se concentra a grande maioria das chuvas convectivas, são precipitados 80,1% do total de chuva anual. Portanto, devido a este padrão desuniforme de distribuição, assim como ao aumento da freqüência de chuvas de elevada intensidade, é que podem ser esperados problemas sérios de erosão do solo no referido período.

Foi confirmado existir, para Mococa, a mesma concordância na distribuição da erosividade média mensal e precipitação pluviométrica média mensal (Figura 2), conforme havia sido observado para as cidades de Campinas e Piracicaba, respectivamente por LOMBARDI NETO (1977) e PEREIRA (1983). Isto é, no semestre de elevado índice de erosividade - outubro a março - a precipitação também o é. Por outro lado, vale o inverso para o semestre de baixo índice de erosividade (abril a setembro).

Foi observado para Mococa que tanto o fator R como a precipitação pluviométrica média anual assumiram valores maiores do que aqueles observados para Campinas e Piracicaba, corroborando o que foi enfatizado por PEREIRA (1983). Desta forma, Mococa que possui o maior fator R (7747 MJ.mm/ha.h.ano), possui também a maior precipitação média anual (1584,0 mm). Intermediariamente, vem Campinas com um R de 6769 MJ.mm/ha.h.ano e uma precipitação média anual de 1349 mm; finalmente, Piracicaba com os respectivos valores de 5729 MJ.mm/ha.h.ano e 1259,0 mm.

A distribuição de 85,4% do total do índice de erosividade (Tabela 4 e Figura 2), ocorrida durante o semestre de outubro a março, indica que no referido período é esperada grande parte das perdas anuais de solo para Mococa. Tal quantia, apesar de ser a menor em termos relativos, quando comparada àquelas de 90,7% obtida para Campinas por LOMBARDI NETO (1977) e de 86,1% obtida para Piracicaba por PEREIRA (1983), em termos absolutos torna-se a maior, pois, nestas condições os valores são de 6616, 6140 e 4933 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Mococa, Campinas e Piracicaba. Portanto, no semestre de outubro a março, entre os três locais, Mococa apresenta a menor concentração do EI_{30} anual em termos relativos, sendo que, no entanto, tal concentração representa a maior força erosiva da chuva em termos absolutos.

Como pode ser observado através da Tabela 2 e Figura 2, dezembro representou, no presente estudo, o mês mais crítico em termos de distribuição do EI_{30}, possuindo a quantia de 21,8% do total anual. Por outro lado, no mês de julho o EI_{30} representa apenas 0,7% do total anual. Portanto, em condições semelhantes de solo, relevo e manejo, a maior e a menor expectativa de ocorrência de erosão do solo em Mococa corresponde, respectivamente, aos meses de dezembro e julho.

Em termos relativos, no trimestre de dezembro a fevereiro, a quantia observada de 51,4% do total do EI_{30} anual de Mococa (Tabela 2 e Figura 2) é menor que as quantias de 62,5% para Campinas (LOMBARDI NETO, 1977) e as de 58,0% para Piracicaba (PEREIRA, 1983). Entretanto, em termos absolutos,

Mococa situa-se, durante o referido período, na posição intermediária uma vez que tais valores, agora, são de 4231, 3982 e 3323 MJ.mm/ha.h.ano respectivamente para Campinas, Mococa e Piracicaba.

Por outro lado, quando se considera o trimestre de novembro a janeiro, Mococa apresentou, entre os três locais, a maior quantia observada do EI_{30} anual, tanto em termos relativos como absolutos (Tabela 2 e Figura 2). No referido período, Mococa possui 55,3% do total do EI_{30} anual (4284 MJ.mm/ha.h.ano) contra 51,0% de Piracicaba (2292 MJ.mm/ha.h.ano) e 49,1% de Campinas (3324 MJ.mm/ha.h.ano), sendo estes últimos obtidos respectivamente por PEREIRA (1983) e LOMBARDI NETO (1977). Portanto, pode-se concluir que Mococa deve apresentar os maiores problemas de erosão entre os locais retromencionados, no período de novembro a janeiro.

5.2.2.2. **Distribuição decendial da erosividade da chuva**

Como pode ser observado, através da Tabela 5, os terceiros decêndios de dezembro e julho são os que respectivamente apresentaram a maior e a menor média decendial do EI_{30}. Portanto, quando são analisados os valores decendiais médios individualmente, pode-se concluir que nos terceiros decêndios de dezembro e julho são esperadas, respectivamente, as maiores e as menores perdas de solo.

Em relação ao EI_{30} mensal, o terceiro decêndio

de dezembro representa aproximadamente 42,1% do total. Por outro lado, em relação ao EI_{30} anual, os terceiros decêndios de dezembro e julho representam respectivamente 9,2 e 0,04% do total.

5.2.2.3. Curva de distribuição do índice de erosividade da chuva

A curva de distribuição do EI_{30} apresentada na Figura 3, assim como os dados que a originaram (Tabela 6), constituem informações imprescindíveis para a determinação do fator uso e manejo da cultura (C), da Equação Universal de Perdas de Solo para Mococa. Analisando-se a Figura 3 pode-se confirmar, como já relatado pelo presente trabalho, que a maior parte da erosividade da chuva ocorre entre os meses de outubro a março, uma vez que é no referido período que tal curva torna-se visivelmente ascendente.

A distribuição da erosividade da chuva de Mococa, quando comparada com a de Campinas (LOMBARDI NETO, 1977), manifesta-se de forma mais regular, resultando no fato de que a curva de distribuição do EI_{30} do local estudado (Figura 3) seja menos íngreme que a de Campinas. Tal observação também pode ser constatada, através das porcentagens de ocorrência do EI_{30} (Tabela 6), durante o período de 1º de janeiro a 31 de março. Neste período, ocorrem em Mococa 40,4% do EI_{30} anual, enquanto que para Campinas tal valor é de 56,8%. Portanto, num período em que em termos de proteção, o solo se encontra ex-

tremamente vulnerável - 1º de janeiro a 31 de março -, ocorre em Campinas uma quantia de 16,4% a mais do EI_{30} anual do que em Mococa.

5.2.3. Freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano

A análise da Tabela 7 reforça a conclusão de que, realmente, o mês de dezembro constitui-se num período do ano em que a erosividade da chuva é crítica para Mococa. Isto porque, além do mencionado mês ser aquele em que a probabilidade de ocorrência de erosão atinge seus mais altos níveis, também é aquele de maior freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano. Nota-se que ocorreram 6 vezes, no referido mês, a chuva individual mais erosiva do ano, durante os 19 anos de análise de dados do local estudado.

O conhecimento da distribuição sazonal da erosividade da chuva de Mococa, no período de outubro a março, constitui-se num importante fato para o manejo correto de suas áreas agricultáveis. Neste período, além de ter ocorrido a quantia de 85,4% do total do EI_{30} anual (Tabela 2), assim como 80,1% da precipitação anual (Tabela 2), ocorreu também a quantia de 89,5% das chuvas individuais mais erosivas do ano (Tabela 7), isto é, por 17 vezes num total de 19 anos de estudo. Portanto, pode-se concluir que realmente existe a necessidade de um cuidado intenso no referido semestre, para que sejam evitadas elevadas perdas de solo do local em questão.

5.2.4. Estudo da probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual e dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

5.2.4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade anual

A curva de distribuição de probabilidade dos valores dos índices de erosividade anual de Mococa, apresentada na Figura 4, seguiu o padrão log-normal, típico dos eventos hidrológicos, de acordo com os relatos de WISCHMEIER (1959) e LOMBARDI NETO (1977). Os valores dos índices de erosividade anual local, esperados nos períodos de retorno de 2, 5 e 20 anos, foram respectivamente 15,5%; 7,7%, e 2,5% maiores que os obtidos para Campinas por LOMBARDI NETO (1977). Entretanto, para o período de retorno de 100 anos, tal índice foi, apenas, 0,2% menor que o de Campinas. Desta forma, pode-se observar que a medida que foi aumentado o período de retorno de 2 para 100 anos, os valores dos índices de erosividade anual esperados para Mococa diminuíram em relação aos de Campinas. Portanto, no aspecto geral, pode-se concluir que, num pequeno período de retorno, são esperados valores de índices de erosividade anual maiores para Mococa e, portanto, mais erosivos em relação aos de Campinas. Entretanto, elevando-se o perío-

do de retorno (100 anos), o valor do índice de erosividade anual esperado entre as duas localidades torna-se muito semelhante.

De acordo com a Tabela 8, o maior valor do índice de erosividade anual observado para Mococa (10 942 MJ. mm/ha.h.ano) possui um período de retorno de 21,00 anos, equivalente a uma probabilidade de 4,8%. Portanto, pode-se concluir que, para Mococa, é esperado que ocorra, com uma probabilidade de 4,8%, um valor do índice de erosividade anual igual ou superior a 10 942 MJ.mm/ha.h.ano, pelo menos uma vez a cada 21,00 anos. Da mesma forma, para o menor valor do índice de erosividade anual, o qual apresenta um período de retorno de 1,05 anos, equivalente à probabilidade de 95,2%, pode-se concluir que é esperado que ocorra, com uma probabilidade de 95,2%, um valor do índice de erosividade anual igual ou superior a 3322 MJ.mm/ha.h.ano, pelo menos uma vez a cada 1,05 anos.

O fator R de Mococa (Tabela 2) apresentou um período de retorno (T) de aproximadamente 2,4 anos, o qual foi obtido da leitura direta na Figura 4. Este valor é muito próximo aos valores dos T obtidos para os fatores R de Campinas (2,1 anos), Piracicaba (2,1 anos) e Iperó (2,6 anos), respectivamente pesquisados por LOMBARDI NETO (1977), PEREIRA (1983) e CHAGURI NETO (1984). Portanto, pode-se concluir que é esperado que ocorra para o local estudado, com uma probabilidade de 42,0%, um valor do índice de erosividade anual igual ou superior ao fator R (7747 MJ.mm/ha.h.ano), pelo menos uma vez a cada 2,4 anos.

Mesmo que o tamanho da amostra dos dados de erosividade, utilizado para o cálculo do fator R de Mococa (19 anos), tenha sido maior do que o mínimo aceitável de 10,5 anos, segundo indicação de SCHWAB **et alii** (1966), o valor do índice de erosividade anual estimado através da eq. (8), o qual é esperado no período de retorno de 100 anos (14062 MJ. mm/ha.h.ano), pode ser aceito com certas reservas. Isto porque, segundo os mesmos autores, deve-se tomar extremo cuidado com a veracidade da estimativa feita através da referida equação, quando o período de retorno desejado for maior que o tamanho da amostra.

5.2.4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

A curva de distribuição de probabilidade dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, apresentada na Figura 5, pareceu também seguir o padrão log-normal típico dos eventos hidrológicos, de acordo com os relatos de WISCHMEIER (1959) e LOMBARDI NETO (1977). Os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados para Mococa nos períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos foram, respectivamente, 15,5%; 16,6%; 18,4% e 20,0% menores que os obtidos para Campinas por LOMBARDI NETO (1977). Desta forma, pode-se observar que, a

medida que foi aumentado o período de retorno de 2 para 100 anos, os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados para Mococa tiveram uma pequena diminuição em relação aos de Campinas. Portanto, conclui-se que, para um mesmo período de retorno o risco de erosão correspondente às chuvas individuais é menor em Mococa do que em Campinas.

O evento médio, obtido entre os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais de Mococa (926 MJ.mm/ha.h. - Tabela 9), apresentou um período de retorno (T) de 2,4 anos, quando lido diretamente na Figura 5. O referido período de retorno é muito semelhante ao obtido para Campinas (2,1 anos) para o mesmo propósito (LOMBARDI NETO, 1977). Portanto, pode-se concluir que é esperado que ocorra em Mococa, com uma probabilidade de 42,0%, um valor máximo anual do índice de erosividade para chuva individual igual ou superior a 926 MJ.mm/ha.h, pelo menos uma vez a cada 2,4 anos.

5.3. Coeficiente de Chuva: Cálculo e Estudo de Correlação com o Índice de Erosividade EI_{30} Médio Mensal

Para Mococa, foi observado existir uma elevada correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva, a qual está relatada na eq. (19), a exemplo do que foi observado para Campinas por LOMBARDI NETO

(1977), assim como para Piracicaba por PEREIRA (1983). Portanto, é concluído que para um local desprovido de dados pluviográficos e que, no entanto, apresente condições climáticas semelhantes às de Mococa, pode ser estimado com certa margem de segurança o seu índice de erosividade EI_{30}, através da referida equação.

Aplicando-se os dados de precipitação média mensal de Mococa (Tabela 10) na eq. (11), a qual foi obtida para Campinas por LOMBARDI NETO (1977) e possui o mesmo propósito que a eq. (19), foi observado, para o local do presente estudo, um valor do fator R de 7995 MJ.mm/ha.h.ano. Portanto, pode-se observar que a equação de Campinas superestimou em aproximadamente 3,2% o fator R de Mococa, estando este fato de acordo com o que foi observado para Piracicaba, por PEREIRA (1983). Entretanto, foi observado o oposto, quando foram aplicados os dados supracitados na eq. (12), a qual foi obtida para Piracicaba por PEREIRA (1983). Agora, neste caso, foi observado um fator R de 7348 MJ.mm/ha.h.ano, valor este subestimado em aproximadamente 5,2% em relação ao fator R local. Uma vez que as magnitudes de 3,2% e 5,2%, respectivamente superestimada e subestimada, acarretam valores menores do que o erro padrão da média do fator R de Mococa, pode-se concluir que as equações, obtidas para Campinas e Piracicaba, serviriam para estimar o fator R do local estudado com boa precisão.

6. CONCLUSÕES

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

1. As características da chuva EI_{25}, EI_{30}, KE>10, e KE>25 constituem-se índices satisfatórios para avaliar a erosividade da chuva do município de Mococa-SP.

2. Em face dos resultados obtidos por outros autores e com os objetivos de permitir o desenvolvimento de estudos comparativos entre a erosividade da chuva do município de Mococa-SP e a de outras localidades, assim como contribuir para o aperfeiçoamento do mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo, o índice de erosividade EI_{30}, por ser o que melhor atende às conveniências de ordem prática e aos interesses do desenvolvimento da Conservação do Solo, deve ser empregado como avaliador da erosividade da chuva para o local do presente estudo.

3. O valor calculado do fator R para o município de Mococa, através do índice de erosividade EI_{30} médio anual,

é de 7747 MJ.mm/ha.h.ano. O mencionado índice, que possui uma probabilidade de ocorrência de 42,0%, pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,4 anos, razão porque no dimencionamento de técnicas de controle da erosão, visando a solucionar problemas específicos, em função de considerações de ordem econômica e ecológica e dos possíveis danos admitidos, podem ser utilizados valores mais convenientes com períodos de retorno de 2, 5, 20 e 100 anos, os quais possuem respectivamente os valores de 7355, 9151, 11455 e 14062 MJ.mm/ha.h.ano.

4. A probabilidade de ocorrência de erosão atinge seus mais altos níveis, no município de Mococa, no semestre de outubro a março. Isto porque, em termos de erosividade da chuva, foi observado ocorrer durante o mencionado período o seguinte fato: 85,4% do total do EI_{30} anual; 80,1% do total da precipitação pluviométrica, e 89,5% do total das chuvas individuais mais erosivas do ano, durante os 19 anos estudados. Impõe-se, portanto, a necessidade de um cuidado intenso, na referida época, no sentido de que sejam estabelecidas eficientes práticas conservacionistas para se evitar elevadas perdas de solo do local em questão.

5. Pode-se estimar com certa margem de segurança o índice de erosividade EI_{30} médio anual para locais desprovidos de registros pluviográficos, mas que, entretanto, apresentem condições climáticas semelhantes às de Mococa, através da seguinte equação:

$$EI_{30} = 111,173\ (p^2/P_i)^{0,691} \ldots\ r = 0,991^{**},$$

onde:

EI_{30} representa o índice de erosividade EI_{30} médio mensal em MJ.mm/ha.h; p é a precipitação pluviométrica média mensal em mm, e P_i é a precipitação pluviométrica média anual em mm.

6. Em função do método desenvolvido para a obtenção do fator erosividade da chuva (R) de Mococa, pôde-se estimar o valor do fator erodibilidade (K) para o solo da parcela de campo em questão, o qual é de 0,0232 t.ha.h./ha.MJ.mm. Portanto, conhecendo-se os fatores R e K da Equação Universal de Perdas de Solo do local estudado, a expectativa de perda média anual de solo por erosão, em solos classificados como Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico, T_b, A chermozêmico, textura argilosa/muito argilosa, e nas seguintes condições: encosta com 25 m de comprimento e 9,0% de declive; mantida sem cobertura, vegetal ou morta; submetida às operações de preparo e cultivo do solo no sentido "morro-abaixo", e na ausência de técnicas de controle da erosão, é de 179,73 t/ha.ano, a qual pode ser igualada ou superada pelo menos uma vez a cada 2,4 anos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTONI, J. Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. **Bragantia**. Campinas, São Paulo, Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, **9**: 147-155, 1949.

BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, São Paulo, Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, **18**(10): 113-140, 1959.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba, São Paulo, Livroceres, 1985. 368p.

BISCAIA, R.C.M.; RUFINO, R.L.; HENKLAIN, J.C. Cálculo da erodibilidade (fator K) de dois solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, São Paulo, **5**(3): 183-186, 1981.

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

CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C.; ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, São Paulo, **6**(3) : 236-239, 1982.

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

FAO, Roma. **La erosion del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla em las tierras de cultivo**. Itália. Organizacion de las Naciones Unidas, 1967. 207p. (Cuadernos de Fomento Agropecuario, 81).

FOSTER, G.R.; Mc COOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**. Baltimore, **36**(6): 355-359, 1981.

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

HOFFMANN, R. & VIEIRA, S. Análise de regressão - uma introdução à Econometria. São Paulo, SP, HUCITED - EDUSP, 1977. 339p.

HUDSON, N.W. **Soil Conservation**. 2nd printing, Ithaca, New York, Cornell University Press, 1973. 320p.

LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss as Campinas, Brasil. West Lafayette, 1977. 53p. (Master of Science - Purdue University).

LOMBARDI NETO, F.; SILVA, I.R.; CASTRO, O.M. Potencial de erosão das chuvas no Estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., Recife, Pernambuco, 1980. **Anais**. Recife, Pernambuco, SBCS, 1981. p.159.

MARQUES, J.Q.A. Determinação de perdas por erosão. **Arch. Fit. del Uruguai**, Montevideo, Uruguai, **4**(3): 505-556, 1951.

MORAIS, L.F.B. Índices de erosividade de chuvas naturais correlacionadas com perdas de solo em três locais do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 1986. 108p. (Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria/CCR).

PEREIRA, H.H.G. Índices de erosividade da chuva: distribuição e relações com a participação em Piracicaba-SP. Piracicaba, São Paulo, 1983. 70p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas, São Paulo, **10**(3): 279-281, 1986.

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W.; BARNES, K. K. **Soil and Water Conservation Engineering.** 2 ed., New York, N.Y., John Wiley & Sons, 1966. 683p. (The Ferguson Foundation Agricultural Engineering Series).

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

WISCHMEIER, W.H. Upslope erosion analysis. In: SHEN, H.W. **Environmental Impact on Rivers.** Fort Collins, Colorado, U.S. Department of Agriculture, 1972. Chap. 15, p.1-26.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Trans. Amer. Geophys. Un.**, Washington, D.C., **39**: 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation.** Washington, D.C., USDA, 1965. 47p. (Agriculture Handbook, 282).

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning.** Washington, D.C., USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).