UNESP

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

1210001135

EROSIVIDADE DA CHUVA: DISTRIBUIÇÃO, PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA, PERÍODO DE RETORNO E CORRELAÇÃO COM O COEFICIENTE DE CHUVA PARA O MUNICÍPIO DE PIRAJU – SP"

ALUNO: CASSIANO GARCIA ROQUE
ORIENTADOR: MOREL DE PASSOS E CARVALHO

Te.1135

EROSIVIDADE DA CHUVA: DISTRIBUIÇÃO, PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA, PERÍODO DE RETORNO E CORRELAÇÃO COM O COEFICIENTE DE CHUVA PARA O MUNICÍPIO DE PIRAJU (SP)

CASSIANO GARCIA ROQUE

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Sistemas de Produção

ILHA SOLTEIRA
Novembro de 1999

EROSIVIDADE DA CHUVA: DISTRIBUIÇÃO, PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA, PERÍODO DE RETORNO E CORRELAÇÃO COM O COEFICIENTE DE CHUVA PARA O MUNICÍPIO DE PIRAJU (SP)

CASSIANO GARCIA ROQUE

Engenheiro Agrônomo

1210001135

Orientador: Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho

Proc. 17/2000 NBS-011/2000

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA" SERVIÇO TÉC. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA 22/03/2000	DATA DE TOMBO 31/3/2000
REGISTRADO POR Celia	TOMBO 1135
AQUISIÇÃO Doação R$ 10,00	CLASSIFICAÇÃO R 786e

5010100

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Sistemas de Produção

ILHA SOLTEIRA
Novembro de 1999

"Erosividade da Chuva: Distribuição, Probabilidade de Ocorrência, Período de Retorno e Correlação com o Coeficiente de Chuva para o Município de Piraju – SP"

CASSIANO GARCIA ROQUE

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM AGRONOMIA

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho
Orientador

Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira

Profª Drª. Marlene Cristina Alves

Ilha Solteira – SP
Novembro de 1999

À DEUS

Aos meus pais, ***Carlos Roque*** *e* ***Conceição Aparecida Garcia Roque****, aos meus irmãos,* ***Carlos Roque Junior*** *e* ***Cristiano Garcia Roque,*** *e a minha noiva,* ***Renata Mazza Basaglia****, por toda uma história de amor, dedicação e incentivo que me permitiram atingir este patamar.*

DEDICO

À querida tia ***Luzia Garcia do Nascimemto Navas-Toribio*** *- musa da minha inspiração - pelo carinho, amor, afeto, alavancas que sempre sustentaram meus ideais de progresso, retidão e trabalho.*

OFEREÇO

cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr Morel de Passos e Carvalho, pela amizade, confiança, orientação e apoio na realização desse trabalho.

À Faculdade de Engenharia e ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Sistemas de Produção, pela possibilidade proporcionada a mim.

Aos Professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira: Marco Eustáquio de Sá, Edson Lazarini, Marlene Cristina Alves, Orivaldo Arf, Kunico Iwamoto Haga, Vinício Martins do Nascimento, Francisco Maximino Fernandes, Maria Aparecida Anselmo Tarsitano, João Antonio da Costa Andrade, Luiz Malcom Mano de Mello, Salatier Buzetti, Kátia Luciene Maltoni e Enes Furlani Júnior, pelos ensinamentos e convívio durante o curso.

Ao Prof. Walter Veriano Valério Filho, pela ajuda nas análises estatísiticas.

Ao Prof. Dr. Angelo Catâneo, da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Câmpus de Botucatu, pela concessão do programa de cálculo da erosividade.

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado deSão Paulo, pela disponibilidade dos dados e aos seus funcionários pelo ótimo atendimento efetuado.

Ao Ciro Marques Silva pela formatação da mesa digitalizadora e pela concessão do programa computacional de Interpretação Gráfica de Mesa Digitalizadora.

À Angela Maria Marcelino Kato e ao Domingos Pinto Carneiro, da Faculdade de Engenharia/UNESP - Câmpus de Ilha Solteira, pelo bom atendimento.

Ao Arlindo Avanso Urzulin e à Maria de Fátima Sabino, da Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia/UNESP - Câmpus de Ilha Solteira, pelo bom atendimento e amizade.

cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18

Aos funcionários da Biblioteca Central da Faculdade de Engenharia/UNESP - Câmpus de Ilha Solteira, em especial a João José Barbosa, pela orientação e amizade.

Aos amigos Geovani L. Guimarães e Edson C. da Silva, pelo apoio, incentivo e grande amizade.

Aos amigos da pós-graduação, Fernando G. Delavale, Maria Luiza S. Silva, Horacio F. F. Filho, Arnaldo P. Coelho, Ananda V. Aguiar, Zigomar M. Souza, Ary Gertes C. Júnior, Fabiano A. B. Cruz, José Weselli S. Andrade, Ana Cristina M. Oliveira, Adriana J. Fonseca, Vicente P. Almeida, Wilson P. Júnior, Renato M. Prado, Cristiane S. Silva, Maria Marta Justi, Neli C. Belmiro, Daniela A. Zanetta, Rita C. Markert, Marcilio P. Souza e Lúcia F. Braga, pelo convívio e alegria proporcionados durante nosso convívio.

Ao amigo Gilberto Colodro, pela pronta disponibilidade.

E a todos que direta ou indiretamente contribuiram para esse acontecimento.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS xii

LISTA DE QUADROS xiv

RESUMO xvii

SUMARY xix

1. INTRODUÇÃO 1

2. REVISÃO DE LITERATURA 4

2.1. Equação Universal de Perdas de Solo 4

2.2. Índice de erosividade EI_{30} 6

2.2.1. Comparação entre o índice EI_{30} com outros índices estimadores da erosividade da chuva 7

2.2.2. Distribuição espacial do fator R 8

2.2.3. Distribuição temporal do Fator R 12

2.2.4. Período de retorno e probabilidade de ocorrência do fator R 13

2.2.5. Coeficiente de chuva: correlação com o índice de erosividade 16

2.3. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola 20

2.3.1. Chuva máxima diária 21

2.3.2. Intensidade máxima da chuva em 15 minutos 21

3. MATERIAL E MÉTODOS 24

3.1. Material utilizado 24

3.1.1. Caracterização do local de origem dos dados 24

3.1.2. Pluviômetro, pluviógrafo e pluviogramas utilizados 24

3.1.3. Mesa digitalizadora e programas computacionais utilizados 26

3.2. Método Empregado 28

3.2.1. Obtenção das características da chuva 28

3.2.1.1. Determinação do número total de chuvas estudadas 28

3.2.1.2. Cotamento dos pontos de inflexão da intensidade da chuva 29

3.2.1.3. Digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva 29

3.2.1.4. Consistência: correção e redigitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva 30

3.2.1.5. Energia cinética total da chuva (E) 30

3.2.1.6. Intensidade máxima em 15 minutos (I_{15}) 32

3.2.1.7. Intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}) 32

3.2.1.8. Índice de erosividade da chuva (EI_{30}) 33

3.2.1.9. Exemplo de cálculo da erosividade de uma chuva 33

3.2.2. Probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos índices de erosividade 36

3.2.3. Coeficiente de chuva 37

3.2.4. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola 38

3.2.4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias 38

3.2.4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas de chuva em 15 minutos..... 38

4. RESULTADOS..... 39

4.1. Caracterização da erosividade da chuva..... 39

4.1.1. Fator erosividade da chuva..... 39

4.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva..... 41

4.2.1 Distribuição anual, sazonal, mensal e decendial da precipitação e da erosividade da chuva..... 41

4.2.2. Curva de distribuição do índice de erosividade..... 43

4.2.3. Freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano..... 48

4.3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade..... 49

4.3.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade..... 49

4.3.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais..... 52

4.3.3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para os meses de maior freqüência da chuva individual mais erosiva do ano..... 52

4.4. Coeficiente de chuva: Correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal... 64

4.5. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola..... 64

4.5.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias..... 64

4.5.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas de chuva em 15 minutos..... 68

5. DISCUSSÃO..... 73

5.1. Caracterização da erosividade da chuva..... 73

5.1.1. Fator erosividade da chuva..... 73

5.2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva..... 75

5.2.1 Distribuição anual, sazonal, mensal e decendial da precipitação e da erosividade da chuva..... 75

5.2.2. Curva de distribuição do índice de erosividade..... 79

5.2.3. Freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano..... 80

5.3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade..... 81

5.3.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade..... 81

5.3.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais..... 83

5.3.3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para os meses de maior freqüência da chuva individual mais erosiva do ano..... 85

5.4. Coeficiente de chuva: Correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal... 85

5.5. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola..... 87

5.5.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias..... 87

unesp

5.5.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas de chuva em 15 minutos 88

6. CONCLUSÕES 89

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 91

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Página

1. Localização geográfica do município de Piraju no Estado de São Paulo..... 25

2.a Vista geral da mesa digitalizadora e do computador utilizado..... 27

2.b Detalhe do pluviograma anexado à mesa digitalizadora..... 27

3. Registro pluviográfico parcial da chuva ocorrida em 02/02/95 em Piraju (SP)..... 34

4. Distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade EI_{30} e da precipitação pluviométrica do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 46

5. Distribuição decendial do índice de erosividade acumulado do município de Piraju(SP), analisado durante o período de 1975 a1997. Dados em porcentagem.. 47

6. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a1997..... 51

7. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 54

unesp

8. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de janeiro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 59

9. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de fevereiro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 60

10. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de março do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 61

11. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de dezembro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 62

12. Curva de regressão entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 66

13. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das chuvas máximas diárias do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997... 69

14. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das intensidades máximas de chuva em 15 minutos do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 72

unesp

LISTA DE QUADROS

QUADROS Página

1. Registro dos dados da chuva individual erosiva representada graficamente no pluviograma da figura 3, e sua respectiva planilha de cálculo do EI_{30}..... 35

2. Distribuição decendial dos valores do índice de erosividade EI_{30} (MJ.mm/ha.h.ano) da chuva do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 40

3. Quantidade total anual de chuva (mm) e a quantidade usada para o cálculo do índice de erosividade EI_{30}, durante o período de 1975 a 1997 do município de Piraju (SP)..... 42

4. Distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica (mm) do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1996..... 44

5. Distribuição média decendial e mensal do índice de erosividade EI_{30} do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 45

6. Freqüência da chuva individual mais erosiva do ano, dentro de um mês específico. Análise de 23 anos de registro de dados durante o período de 1975 a 1997 do município de Piraju (SP)..... 48

unesp

7. Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotadoscom os índices anuais de erosividade EI_{30} do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 50

8. Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os valores máximos anuais dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 53

9. Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retornoplotados com os valores máximos dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do mês de janeiro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 55

10. Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os valores máximos dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do mês de fevereiro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 56

11. Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os valores máximos dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do mês de março do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997..... 57

unesp

12. Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os valores máximos dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do mês de dezembro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997 58

13. Valores dos máximos índices mensais de erosividade esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para os meses de maior freqüência da chuva individual mais erosiva do município de Piraju (SP), avaliados de 1975 a 1997 63

14. Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e índices de erosividade EI_{30} calculados, obtidos durante os anos de 1975 a 1997 do município de Piraju (SP) 65

15. Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com as chuvas máximas diárias do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997 67

16. Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com as intensidades máximas de chuva em 15 minutos do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997 70

unesp

ROQUE, C. G. Erosividade da chuva: distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva para o município de Piraju (SP). Ilha Solteira, SP, 1999. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Câmpus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

RESUMO

Foi estudada a erosividade da chuva do município de Piraju (SP), utilizando-se a metodologia sugerida por WISCHMEIER & SMITH (1958). Foram selecionadas 874 chuvas individuais consideradas erosivas de uma série contínua de 23 anos de registros de dados pluviográficos, de acordo com WISCHMEIER (1959), WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976), com pequenas modificações sugeridas por CARVALHO (1987). Todas as chuvas selecionadas foram cotadas, digitalizadas, e posteriormente analisadas através do programa de CATANEO et al. (1982). O fator erosividade da chuva, ou o índice de erosividade EI_{30} médio anual calculado, foi de 7074 MJ.mm/ha.h.ano, o qual é esperado que ocorra no local pelo menos uma vez a cada 2,33 anos, com uma probabilidade de 42,92%.

Foi observada uma distribuição de 78,5% do total da erosividade anual durante o semestre de outubro a março, sendo que 46,9% deste total ocorreu no trimestre de dezembro a fevereiro, indicando que é esperada a maior parte das perdas anuais de solo neste período. Portanto, objetivando-se concordar com os corretos

preceitos conservacionistas do solo, nessa época do ano devem ser estabelecidas e mantidas as práticas conservacionistas mais eficientes e que, por conseguinte, evitem ao máximo as perdas de solo por erosão. O período entre maio e agosto apresentou 12,5% do total da erosividade anual.

Os valores dos índices anuais de erosividade de Piraju, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 6696, 8730, 10076, 11367, 13039 e 14292 MJ.mm/ha.h.ano. Também, os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 1194, 1825, 2243, 2644, 3163 e 3551 MJ.mm/ha.h.

Para o local estudado, obser /ou-se uma elevada correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva. Portanto, a equação de regressão determinada permite que seja estimado, com boa margem de segurança, o fator R para outros locais que não possuam dados pluviográficos, mas que, entretanto, tenham dados pluviométricos e condições climáticas semelhantes às de Piraju (SP).

Os valores da chuva máxima diária e da intensidade máxima diária em 15 minutos, calculados para o período de retorno de 10 anos, foram respectivamente de 142,1 mm e 111,1 mm/h. Tais dados poderão ser utilizados nos cálculos do dimensionamento da seção transversal do canal do terraceamento agrícola local.

Palavras-Chave: Período de retorno, probabilidade de ocorrência, coeficiente de chuva, fator R, erosividade da chuva, fator erosividade, dimensionamento do canal do terraço agrícola, chuva máxima diária, intensidade máxima diária em 15 minutos.

unesp

ROQUE, C.G. Rainfall erosivity: its distribution, probability of occurrence, return period and relationship with the rainfall coefficient at Piraju City (Sao Paulo State - Brazil). Ilha Solteira, 1999, 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Câmpus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

SUMMARY

Rainfall erosivity at Piraju City was studied through methodology proposed by WISCHMEIER and SMITH (1958). A set of 874 erosive individual rains was selected, stem from a continuun of twenty-three years of nonrecording rain gauge data, according to WISCHIMEIER (1959), WISCHMEIER and SMITH (1978) and CABEDA (1976) and slighty proposed by CARVALHO (1987). All the selected rains were computed by the computational package of CATANEO et al. (1982). The rainfall erosivity factor computed was 7074 MJ.mm/ha.h.y, which is expected to occur at least once each 2.33 years, with a probability of occurence of 42.92%.

The most annual soil loss is expected to occur between the months of October and March, as shown by the 78.5% where 46.9% occurs between december and february of the total annual erosivity for that period. Therefore, objectiving to agree with the corrects soil conservation principles, is recommended that the better soil conservation pratices be established and maintained throughout that particular period of the year for an effective erosion soil loss control. The period between May and August, shown 12,5% of the annual erosivity.

cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18

The values of the annual erosivity indexes at that site expected for the return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years, were respectively 6696, 8730, 10076, 11367, 13039, and 14292 MJ.mm/ha.h.y. Moreover, the annual maximum values of erosivity indexes at individual storms expected for the return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years were respectively 1194, 1825, 2243, 2644, 3163, and 3551 MJ.mm/ha.h.

A high correlation was found between the montly average erosivity index EI_{30} and the rainfall coefficient at that site. Therefore, the regression equation obtained allows a fair estimative of the R factor to be used for other regions where climatic conditions are similar to Piraju's and where there are no available data.

The values of the maximum daily rainstorm and the maximum daily 15-minutes intensity, computed for the return period of ten years, were respectively 142.1 mm and 111.1 mm/h. These data could be used in the transversal section calculation of the agricultural terracing channel.

Key-words: Return period, probability of occurrence, rainfall coefficient, R factor, rainfall erosivity, factor erosivity, calculation of the agricultural terracing channel, maximum daily rainstorm, maximum daily 15-minute.

unesp

1. INTRODUÇÃO

No momento de se planejar, projetar, construir ou manter medidas de conservação do solo nas bacias hidrográficas, torna-se necessário o envolvimento direto com os aspectos relativos à erosão. Dificuldades têm sido encontradas na avaliação quantitativa do processo erosivo, sendo que a mais séria é devido ao próprio processo erosivo. Para que as taxas de erosão possam ser seguramente previstas, todas as variáveis envolvidas precisam ser conhecidas e levadas em consideração. O estudo das previsões das taxas de erosão e da produção de sedimentos nas bacias hidrográficas, que é indispensável ao planejamento conservacionista do solo e da água, merece toda a atenção quando da elaboração de projetos de engenharia e agronomia (LEMOS & BAHIA, 1992).

A equação universal de perda de solo (EUPS) tem o objetivo de predizer a erosão (t/ha.ano) que poderá ocorrer em determinada área agricultada. Ela relaciona, de forma diretamente proporcional, todos os fatores que influenciam a erosão acelerada do solo, que são: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e grau de declive (L e S), uso e manejo da cobertura do solo com cultura (C), e práticas conservacionistas (P)

cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18

(WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978). Dessa forma esta equação, é de importância fundamental para o estabelecimento do correto uso e manejo do solo e, consequentemente, para a seleção de práticas conservacionistas (CARVALHO, 1987).

O solo, sendo um dos recursos naturais mais intensamente utilizados para a produção de alimentos, pode ter sua capacidade produtiva limitada pela erosão, devido a inadequação do respectivo uso e manejo. Desse modo, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las é de fundamental importância para que o planejamento conservacionista seja estabelecido. Dentre esses fatores, a erosividade da chuva (fator R) da equação universal de perdas de solo constitui-se num dos parâmetros muito importantes, uma vez que representa o potencial ativo da chuva sobre a produção da erosão do solo. A sua determinação definirá a melhor época para o estabelecimento das práticas de manejo e conservação do solo (VAL et al., 1986). Tal fator é dimensional, cujo valor é obtido pelo produto entre a energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em 30 minutos (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A pesquisa na área de conservação do solo tem indicado que quando todos os fatores da equação universal de perda de solo, com exceção da erosividade, são mantidos constantes, as perdas de solo de uma área agricultada, causada por uma chuva qualquer, são diretamente proporcionais ao seu índice de erosividade (CARVALHO, 1987)

O índice de erosividade EI_{30}, desenvolvido nos EUA, tem sido calculado e testado em diversos países, sendo sua adaptabilidade questionada em países tropicais e subtropicais (HUDSON 1973, LAL, 1976). No Brasil, o índice de erosividade EI_{30} tem sido amplamente determinado (LOMBARDI NETO, 1977; CASTRO FILHO et al., 1982; PEREIRA, 1983; MARGOLIS et al., 1985; MEDINA & OLIVEIRA JR., 1987; CARVALHO, 1987; MORAIS et al., 1988; BERTOL, 1993; COLODRO, 1999; ROQUE &

CARVALHO, 1999). No estado de São Paulo, o fator R vem sendo calculado, entre outras, para as seguintes localidades: Campinas, Mococa, Piracicaba , Pindorama, Teodoro Sampaio e Novo Horizonte.

Dentro desse enfoque, os objetivos do presente trabalho, para o município de Piraju (SP), serão os seguintes:

a) Determinar o fator erosividade da chuva, através do EI_{30}, contribuindo assim com o detalhamento e aprimoramento do mapa de linhas isoerosivas do estado de São Paulo;

b) Estudar a distribuição anual, sazonal, mensal e decendial do índice de erosividade;

c) Definir o período de retorno e a probabilidade de ocorrência, tanto para os valores dos índices anuais de erosividade, como para os valores máximos anuais e mensais das chuvas individuais erosivas;

d) Correlacionar o índice de erosividade EI_{30} médio mensal com o coeficiente de chuva local, e

e) Determinar a chuva máxima diária e a intensidade máxima diária em 15 minutos, no período de retorno de 10 anos, para posterior uso nos cálculos da seção transversal do canal do terraceamento agrícola local.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2. 1. Equação Universal de Perdas de Solo

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

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

sendo: **A** a perda média anual de solo em t/ha.ano; **R** o fator erosividade da chuva em MJ.mm/ha.h.ano; **K** o fator erodibilidade do solo em t.ha.h/ha.MJ.mm; **L** o fator comprimento

do declive; **S** o fator grau do declive; **C** o fator uso e manejo, e **P** o fator prática conservacionista. As variáveis L, S, C, P são adimensionais. Do ponto de vista prático e aplicativo, sabe-se da inquestionável importância da utilização da equação universal de perda de solo à uma localidade agrícola qualquer. Elucidando essa importância, é relacionado o seguinte exemplo: supondo-se que no município de Fartura (SP) pretende-se cultivar soja sob um LATOSSOLO VERMELHO, através do plantio direto, com a cultivar estabelecida em nível, e com os terraços implantados de 50 em 50 m, numa área com 0,07 m/m de declividade. Assim as variáveis da equação universal de perda de solo local ficariam as seguintes: 1) Fator R = aproximadamente 5800 MJ.mm/ha.h.ano, obtido diretamente no mapa de linhas isoerosivas do estado de São Paulo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990), 2) Fator K= 0,012 t.ha.h/ha.MJ.mm, 3) Tolerância de perda de solo: 12 t/ha.ano, 4) Fator LS = 1,1496, 5) Fator C = 0,1376, e 6) Fator P = 0,5. Calculando-se a estimativa da perda de solo A_1 com tais variáveis, isto é, A_1 = 5800 x 0,012 x 1,1496 x 0,1376 x 0,5, resulta que A_1 = 5,50 t/ha.ano, ficando tal modalidade de agricultura local de forma correta, uma vez que a tolerância desse solo é de 12 t/ha.ano. Finalmente, as dimensões necessárias à seção transversal triangular do canal do terraço em questão podem ser com uma base de 10m e uma altura de 0,60m.

A correlação entre a energia cinética da chuva e a perda de solo foi estudada por WISCHMEIER & SMITH (1958), onde foi desenvolvida uma equação de regressão com elevada significância estatística:

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

sendo: **E** a energia cinética em tf.pé/acre.pol e **I** a intensidade da chuva em pol/h. Essa equação foi baseada em dados detalhados de distribuição do tamanho de gotas da chuva de LAWS &

PARSONS (1943), como também na velocidade terminal de vários tamanhos de gotas, avaliados por LAWS (1941) e também por GUNN & KINZER (1949). A conversão da equação (2) para o Sistema Internacional de Unidades foi a seguinte, conforme FOSTER *et al.* (1981):

$$E = 0{,}119 + 0{,}0873 . \log I \quad (r^2 = 0{,}98) \quad (3)$$

sendo: **E** a energia cinética em MJ/ha.mm, e **I** a intensidade da chuva em mm/h.

2. 2. Índice de erosividade EI_{30}

A erosividade da chuva é a sua habilidade potencial em causar erosão. Ocorre em função das características físicas das chuvas. Em condições semelhantes de solo pode-se comparar quantitativamente, uma chuva qualquer em relação a outra, possibilitando a criação de uma escala numérica de valores de erosividade (HUDSON, 1973). Portanto, o fator erosividade da chuva é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva em produzir erosão (FAO, 1967).

O cálculo da energia cinética total da chuva, como um componente do índice de erosividade, requer a definição exata de ***chuva individual erosiva***. O tempo mínimo e ótimo, definido como o intervalo entre duas chuvas, é função da variação da taxa de infiltração do solo, após o término do primeiro evento, sendo que esse tempo varia com o tipo de solo. No geral, as melhores correlações do EI_{30} com a perda de solo foram obtidas quando as chuvas separadas por um tempo menor do que 6 horas foram tomadas como únicas (WISCHMEIER,

1959). A conceituação de chuva individual erosiva foi bastante simplificada quando omitiu-se do cálculo do fator R as chuvas menores que 12,7 mm (0,5 polegada), e separadas de outra por mais do que 6 horas, a menos que ocorresse chuvas de 6,4 mm (0,25 polegada) em 15 minutos (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A soma dos EI_{30} das chuvas individuais erosivas, em um determinado período de tempo, constitui-se na erosividade da chuva de tal período. Devido ao padrão cíclico aparente dos eventos pluviais, previamente descrito por NEWMAN (1970), os índices de erosividade médios anuais norte-americanos foram publicados com base em amostras contínuas de 22 anos. O somatório dos índices de erosividade das chuvas individuais erosivas de um determinado mês constitui-se no seu EI_{30} mensal. Da mesma forma, o somatório dos EI_{30} mensais constitui-se no EI_{30} anual. Finalmente, o índice EI_{30} médio anual, quando oriundo de uma série contínua de pelo menos 22 anos de dados, constitui-se no fator erosividade da chuva, ou fator R (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978).

2. 2. 1. Comparação entre o índice EI_{30} com outros índices estimadores da erosividade da chuva

MEDINA & OLIVEIRA Jr.(1987) estudaram a aplicabilidade de alguns índices erosivos em um LATOSSOLO AMARELO de Manaus (AM), mediante correlação simples com as perdas de solo, utilizando dados pluviográficos diários de uma série de 3 anos. Observaram que o índice EI_{30} foi o que apresentou a menor correlação com as perdas de solo, dentre todos analisados. Os que melhor se correlacionaram foram o $\mathbf{Ai_m}$ (r=0,73) e o $\mathbf{EI_{7,5}}$ (r=0,70), ambos significativos a 1% de probabilidade. A baixa correlação do índice EI_{30}

ocorreu porque a relação empírica usada para computar o índice erosivo não considerou o efeito do vento, que pode influenciar notadamente tanto a energia cinética como o ângulo de impacto da gota da chuva, conforme preconizado por LAL (1976).

O índice EI_{30} foi considerado bom estimador da erosividade da chuva por DEDECEK (1988), ao estudar os diversos fatores de erosividade nas condições de cerrado do Distrito Federal, utilizando uma série contínua de 8 anos de dados.

MORAIS *et al.* (1988) correlacionaram os índices EI_{25} e EI_{30} com perdas de solo e observaram não haver diferença significativa entre ambos. Sendo assim, concluíram que o índice EI_{30} ainda foi o mais adequado para estimar o potencial erosivo das chuvas nas condições estudadas.

CARVALHO (1992) testou a eficiência do EI_{30} para o estado de São Paulo, obtendo coeficientes de correlação que variaram entre 0,7784 a 0,8224. Concluiu-se que tal índice atendeu de maneira satisfatória às conveniências práticas e aos interesses do desenvolvimento da equação universal de perdas do solo para o local. Por outro lado, para o agreste de Pernambuco, CANTALICE & MARGOLIS (1993) correlacionaram o índice EI_{30} e o KE>25 com as perdas de solo. Concluíram que o índice que melhor se correlacionou com tais perdas foi o EI_{30} ($r = 0,75$).

ALBUQUERQUE *et al.* (1994) recomendaram o índice de erosividade EI_{30} para estimar as perdas de solo, quando estudaram as correlações das características físicas da chuva com as perdas de solo por erosão, em Caruaru (PE).

2. 2. 2. Distribuição espacial do fator R

A erosividade da chuva de Campinas (SP), localizada na latitude 22° 51'S e na

unesp

longitude 47° 04'W, foi estudada por LOMBARDI NETO (1977) através do EI_{30}. Foram utilizados dados de 22 anos de precipitação pluviográfica, obtendo-se um fator R de 6667 MJ.mm/ha.h.ano. Os índices anuais de erosividade apresentaram respectivamente os valores de desvio padrão e erro padrão da média de 2243 e 520 MJ.mm/ha.h.ano, e um coeficiente de variação de 35,8%.

LOMBARDI NETO *et al.* (1980) apresentaram o mapa de linhas isoerosivas do estado de São Paulo através do índice EI_{30}. Observaram que a erosividade aumentou no sentido oeste-leste, assim como no sentido sudoeste-nordeste. Estimaram valores de 6000 a 12000 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, no oeste e leste, sendo tais valores o dobro daqueles observados para os Estados Unidos da América do Norte, por WISCHMEIER & SMITH (1978).

PEREIRA (1983) estudou a erosividade da chuva de Piracicaba (SP), localizada na latitude 22° 44'S e na longitude 47° 33'W, através do índice EI_{30}, estimando um fator R de 5729 MJ.mm/ha.h.ano. Foram obtidos valores de 2158 e 481 MJ.mm/ha.h.ano para o desvio padrão e erro padrão da média respectivamente, e um coeficiente de variação de 37,6%.

Na estimação dos fatores da equação universal de perdas do solo para Caruaru (PE), MARGOLIS *et al.* (1985) utilizaram o índice de erosividade EI_{30} numa série de dados pluviográficos de 4 anos, encontrando um fator R igual a 2100 MJ.mm/ha.h.ano.

VAL et al. (1986) estudou a erosividade das chuvas de Lavras (MG), situada na latitude 21° 14'S e longitude 45° 00'W. Utilizou os índices EI_{30} e o KE>25, com dados pluviográficos de um período de 21 anos. Os valores obtidos pelos dois métodos não diferiram estatisticamente, sendo de 6837 e 6483 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para o EI_{30} e KE>25.

A erosividade da chuva do estado do Paraná foi estudada por RUFINO (1986),

unesp

através do EI_{30}. O autor encontrou valores que variaram na magnitude de 5000 a 12000 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente no nordeste e sudoeste do estado.

SOSA (1987) estudou a erosividade da chuva de Pindorama (SP), situada na latitude 21° 31'S e na longitude 48° 55'W, utilizando a metodologia do EI_{30}. O valor obtido para o fator R local foi de 6143 MJ.mm/ha.h.ano.

CARVALHO *et al.* (1989a) estudaram a erosividade da chuva de Mococa (SP) (latitude 21° 28'S e longitude 47° 01'W) pelo índice EI_{30}. Observaram um fator R de 7747 MJ.mm/ha.h.ano. Os valores do desvio padrão e erro padrão da média foram de 2064 e 474 MJ.mm/ha.h.ano respectivamente, e o coeficiente de variação foi de 26,6%.

MORAIS *et al.* (1991) estimaram o índice de erosividade EI_{30} para o sudoeste do estado de Mato Grosso através de dados pluviográficos de dois postos meteorológicos do município de Cáceres. O tempo de registro de dados foi de 9 e 7 anos, e os fatores R determinados foram de 8493 e 7830 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Barranquinhos e Flechas. As curvas de distribuição relativa acumulada, do índice de erosividade médio mensal desses dois postos, indicaram uma concentração do potencial erosivo nos meses de novembro e março, respectivamente com 76,0 a 81,0% do total.

CAMPOS FILHO *et al.* (1992) estudaram a erosividade da chuva do agreste de Pernambuco, através do índice EI_{30}, com dados de uma série de 10 anos. Os autores encontraram o fator R de 3551 MJ.mm/ha.h.ano. Observaram que esse baixo valor não foi devido a quantidade de água precipitada, mas sim a intensidade das chuvas, conforme preconizado por CHAVES & DINIZ (1981). LOPES & BRITO (1993) também obtiveram um baixo valor do fator R para Caatinga, Bebedouro e Mandacaru, três localidades do Médio São Francisco (PE). Os valores do fator R, encontrados para essas localidades através do EI_{30}, foram respectivamente de 3619, 3657 e 4039 MJ.mm/ha.h.ano.

unesp

O índice EI_{30} tem sido utilizado para estimação do fator R no sul do Brasil. Assim, foram obtidos valores de 5694 e 6329 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Lages e Campos Novos, localidades do estado de Santa Catarina (BERTOL, 1993, 1994).

A erosividade de Bauru (SP) foi estudada por LIMA (1995) através do índice EI_{30}. O fator R estimado foi de 8170 MJ.mm/ha.h.ano, com um coeficiente de variação de 18,8%.

CARVALHO *et al.* (1996) estimaram a erosividade da chuva de Botucatu (SP) através de 21 anos de registro de dados pluviométricos, utilizando a equação obtida através do coeficiente de chuvas do município de Mococa (CARVALHO et al., 1991). O fator R observado foi de 7468 MJ.mm/ha.h.ano. Também para Selvíria (MS), foi estimada a erosividade da chuva por CARVALHO *et al.* (1997), utilizando essa mesma metodologia, para 16 anos de registros de dados pluviométricos locais. O fator R calculado foi de 6728 MJ.mm/ha.h.ano.

COLODRO (1999) estimou a erosividade da chuva de Teodoro Sampaio (SP) (latitude 22° 37'S e longitude 52° 10'W) pelo índice EI_{30}, através de dados pluviográficos com uma série contínua de 20 anos. O valor obtido para o fator R local foi de 7172 MJ.mm/ha.h.ano.

ROQUE & CARVALHO (1999) estimaram a erosividade da chuva de Novo Horizonte (SP) (latitude 21° 28' 02"S e longitude 49° 13' 17" W) através de 16 anos de registro de dados pluviométricos, utilizando a equação obtida através do coeficiente de chuvas do município de Mococa (CARVALHO et al., 1991). O fator R obtido foi de 7044 MJ.mm/ha.h.ano.

unesp

2. 2. 3. Distribuição Temporal do Fator R

LOMBARDI NETO (1977) estimou a distribuição do fator R de Campinas (SP), verificando que 62,0% do seu valor ocorreu no trimestre de dezembro a fevereiro. Para o semestre de outubro a março a quantia observada foi de 90,7%. Concluiu que é esperada uma grande perda de solo por erosão nesta época.

PEREIRA (1983) observou para Piracicaba (SP) que durante a primavera e o verão foram concentrados 86,1% do EI_{30} médio anual. Também, para o trimestre de dezembro a fevereiro ocorreu 58,0% do total do referido índice, permitindo concluir que grande risco de erosão é esperado neste período.

MARGOLIS *et al.* (1985) estimaram os fatores da equação universal de perdas do solo para Caruaru (PE). Para a estimação do fator R e sua distribuição mensal utilizaram pluviogramas de um período de 6 anos (1970 a 1975). A distribuição mensal da erosividade observada concentrou-se entre janeiro a julho, com a quantia de 95,0% do total.

Para Pindorama (SP) a distribuição da erosividade anual foi estudada por SOSA (1987). Foi observada uma distribuição de 83,3% durante o semestre de outubro a março.

CARVALHO *et al.* (1989b) observaram para Mococa que 85,0% do EI_{30} médio anual ocorreu de outubro a março, correspondendo a 80,1% do total anual da chuva. Também, para o trimestre de dezembro a fevereiro ocorreram as quantias de 51,4% e 48,1%, respectivamente do EI_{30} médio anual e do total anual de chuva.

LOPES & BRITO (1993) estimaram a distribuição mensal do EI_{30} para a região do Médio São Francisco (PE). Segundo os autores, 65,0% do EI_{30} médio anual ocorreu durante o trimestre de fevereiro a abril, sendo que somente o mês de março respondeu por 38,0% desse total. Também, o período de outubro a abril representou aproximadamente 93,0% do EI_{30} médio anual.

unesp

Foi estudada a distribuição mensal do fator R de Botucatu (SP) e Selvíria (MS) respectivamente por CARVALHO et al. (1996, 1997). Em relação ao semestre de outubro a março, foram observadas as proporções de 80,4% e 84,3%, respectivamente para esses locais.

Na estimação do fator R para Teodoro Sampaio (SP), COLODRO (1999) verificou que 45,7% do total da erosividade ocorreu no trimestre de dezembro a fevereiro. Também, para o semestre de outubro a março ocorreu 74,0% desse total, concluindo que neste período o risco de ocorrência de erosão atinge o mais alto nível.

ROQUE & CARVALHO (1999) observaram para Novo Horizonte que 85,7% do total de índice de erosividade e 78,9% do total de precipitação pluviométrica anual, ocorreram no período de outubro a março. Para o trimestre de novembro a janeiro ocorreram 53,7% e 46,7%, respectivamente, do índice de erosividade média anual e do total de precipitação pluviométrica anual.

2. 2. 4. Período de retorno e probabilidade de ocorrência do fator R

LOMBARDI NETO (1977) estimou o período de retorno para o fator R do município de Campinas (SP). Obteve o valor de 2,1 anos para o período de retorno, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de aproximadamente 47,0%. Assim, foi concluído que é esperado que ocorra, com uma probabilidade de 47,0%, um valor do índice de erosividade anual igual ou superior a 6677 MJ.mm/ha.h.ano, pelo menos uma vez a cada 2,1 anos. Determinou os valores dos índices anuais de erosividade esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos sendo, respectivamente, 6368, 8511, 9930, 11290, 13052 e 14372 MJ.mm/ha.h.ano. Estimou também os valores máximos anuais dos índices de

erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos sendo, respectivamente, 1033, 1476, 1769, 2051, 2415 e 2688 MJ.mm/ha.h.

SOSA (1987) estudou o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R de Pindorama (SP). O autor observou que é esperado ocorrer neste local um valor de erosividade anual igual ou superior ao do fator R pelo menos uma vez a cada 2,1 anos, com uma probabilidade de ocorrência de 47,0%. Estimou os valores dos índices anuais de erosividade esperados nos períodos de 2, 5, 20 e 100 anos sendo, respectivamente, 5666, 8234, 11565 e 15259 MJ.mm/ha.h.ano. Estimou também os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de 2, 5, 20 e 100 anos sendo, respectivamente, 912, 1462, 2175 e 2966 MJ.mm/ha.h.ano.

Para Mococa (SP), o período de retorno e a probabilidade de ocorrência foram estimados para o fator R local (CARVALHO *et al.* 1989b). Os autores encontraram um período de retorno de 2,4 anos com probabilidade de ocorrência de 42,0%. Portanto, é esperado que ocorra com uma probabilidade de 42,0%, um valor do EI_{30} médio anual igual ou superior a 7747 MJ.mm/ha.h.ano, pelo menos uma vez a cada 2,4 anos. Entretanto, para o dimensionamento do terraceamento agrícola nesse local, podem ser utilizados valores mais convenientes do EI_{30} médio anual, e com período de retorno de 5, 20 e 100 anos, que são respectivamente de 9151, 11455 e 14062 MJ.mm/ha.h.ano. Estimaram também os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de 2, 5, 20 e 100 anos sendo, respectivamente, 862, 1211, 1657 e 2166 MJ.mm/ha.h.ano.

LIMA (1995) estimou para o fator R de Bauru (SP) um período de retorno de 2,3 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 43,0%. Estimou também os valores dos índices de erosividade anual esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos sendo, respectivamente, 7918, 9276, 10174, 11037, 12153 e 12989

unesp

MJ.mm/ha.h.ano.

A probabilidade de ocorrência do fator R de Botucatu, estimada por CARVALHO *et al.* (1996), foi de 43,4%. Dessa forma, concluiu-se que o fator R local (7468 MJ.mm/ha.h.ano) pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,3 anos.

CARVALHO *et al.* (1997) estudaram o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R para Selvíria (MS). Os autores observaram que é esperado que ocorra neste local um valor de erosividade anual igual ou superior ao do fator R (6728 MJ.mm/ha.h.ano) pelo menos uma vez a cada 2,3 anos, e com uma probabilidade de ocorrência de 42,9%.

O período de retorno e a probabilidade de ocorrência, estimados para o fator R de Teodoro Sampaio (SP) (COLODRO, 1999), foram de 2,33 anos e 42,9%, respectivamente. Desta forma é esperado que ocorra para o local estudado com uma probabilidade de 42,9 % um valor anual do índice de erosividade igual ou superior ao fator R calculado (7172 MJ.mm/ha.h.ano), pelo menos uma vez a cada 2,33 anos. Portanto, nos cálculos pertinentes a engenharia da conservação do solo e da água, visando-se a solucionar problemas específicos de ordem econômica e ecológica, podem ser utilizados fatores de erosividade da chuva mais consistentes, com períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente iguais a 8666, 9877, 11046, 12546 e 13675 MJ.mm/ha.h.ano. Estimou também os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais esperados nos períodos de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos sendo, respectivamente de 1223, 1853, 2274, 2675, 3195 e 3585 MJ.mm/ha.h. Para os meses de maior freqüência da chuva individual mais erosiva do ano, observou que o mês de dezembro apresentou os maiores valores dos máximos índices mensais de erosividade para chuvas individuais. Seus valores esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos foram respectivamente de 670, 1417, 1912, 2387, 3001 e 3461

unesp

MJ.mm/ha.h.

ROQUE & CARVALHO (1999) estudaram o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R de Novo Horizonte (SP). Os autores observaram que é esperado ocorrer nesse local um valor de erosividade igual ou superior ao fator R (7044 MJ.mm/ha.h.ano) pelo menos uma vez a cada 2,4 anos, com uma probabilidade de ocorrência de 42%. Estimaram também os valores dos índices anuais de erosividade, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, sendo respectivamente de 6749, 8341, 9394, 9989, 10405 e 11714 MJ.mm/ha.h.ano.

2. 2. 5. Coeficiente de chuva: correlação com o índice de erosividade

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

$$c = p^2 / p_n \quad \text{.....(4)}$$

sendo: **p** a média mensal de chuva dos meses chuvosos do ano e $\mathbf{p_n}$ a média anual de chuva.

Numa tentativa de se obter uma estimativa precisa do EI_{30}, uma vez que para muitos locais do estado de São Paulo não existem pluviógrafos, LOMBARDI NETO (1977) estimou o índice de erosividade EI_{30} médio mensal de Campinas (SP) com um coeficiente de chuva semelhante ao coeficiente da equação (4), dado pela seguinte expressão:

---

[a] FOURNIER, F. Climate et Erosion. **Pres Universitaires de France**, Paris, 1960. 201p.

unesp

$R_c = P_m^2 / P_a$ .....(5)

sendo: $\mathbf{R_c}$ o coeficiente de chuva em mm; $\mathbf{P_m}$ a precipitação média mensal em mm, e $\mathbf{P_a}$ a precipitação média anual. Assim a equação obtida foi a seguinte:

$EI_{30} = 67{,}414 \cdot R_c^{0{,}850}$ .....(r = 0,991).....(6)

sendo: $\mathbf{EI_{30}}$ a estimativa (através da equação de ajuste) do índice de erosividade médio mensal em MJ.mm/ha.h, e **r** o coeficiente de correlação. Para uma localidade que possua uma distribuição de chuva semelhante a de Campinas, assim como uma série pluviométrica contínua de no mínimo 20 anos, foi concluído que tal equação pode estimar precisamente os valores médios do EI_{30}, usando-se apenas dados de quantidade de chuva.

PEREIRA (1983) estudou a relação entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva de Piracicaba (SP) para um período contínuo de análise de dados de 20 anos. A equação estimada foi a seguinte:

$EI_{30} = 71{,}397 \cdot R_c^{0{,}807}$ .....(r = 0,970; p < 0,01).....(7)

sendo: $\mathbf{p < 0{,}01}$ a significância a 1,0%. Concluiu-se que tal equação foi muito semelhante à obtida por LOMBARDI NETO (1977) para Campinas (SP). Dessa forma, ao aplicar os dados de Piracicaba na equação (6) do referido autor, foi encontrado um valor de 6337 MJ.mm/ha.h.ano para o local estudado. O modelo matemático ajustado para os dados de Campinas superestimou o valor da erosividade de Piracicaba em 11,0%.

SOSA (1987) obteve, para um período contínuo de 16 anos de dados de chuva de Pindorama, a seguinte equação:

unesp

$EI_{30} = 122{,}973 \cdot R_c^{0,598}$ .....(r = 0,988) .....(8)

CARVALHO *et al.* (1991) estudaram a relação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva de Mococa (SP), para um período contínuo de análise de dados de 20 anos. A equação estimada foi a seguinte:

$EI_{30} = 111{,}173 \cdot R_c^{0,691}$ .....(r = 0,991; p < 0,01) .....(9)

MORAIS et al. (1991) estudaram a relação entre o índice EI_{30} médio mensal e o coeficiente da chuva de Barranquinho e Flechas, do estado de Mato Grosso. As equações estimadas foram respectivamente as seguintes:

$EI_{30} = 56{,}115 \cdot R_c^{0,9504}$ .....(r = 0,9327; p < 0,01) .....(10)

$EI_{30} = 36{,}849 \cdot R_c^{1,0852}$ .....(r = 0,9165; p < 0,01) .....(11)

Observaram que os coeficientes obtidos para as equações (10) e (11) diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$). Assim, apesar da proximidade geográfica entre tais localidades, não foi proposta uma equação única, que pudesse estimar o EI_{30} para os dois locais. Houve, portanto, a necessidade da aplicação daquela que melhor se ajustou aos dados de distribuição pluviométrica local.

BERTOL (1993) estimou uma equação linear entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuvas para Lages (SC). A equação estimada foi a seguinte:

$EI_{30} = 0{,}01 \cdot R_c + 6{,}93$.....(r = $0{,}61^{ns}$).....(12)

sendo: **ns** não significativo. O coeficiente de correlação foi não significativo, provavelmente

devido a grande dispersão dos dados médios mensais do EI_{30}, quando comparados a menor dispersão da precipitação média mensal. Esse fato é normal para as condições do local em estudo, uma vez que os meses com chuvas de alta intensidade média produzem elevados EI_{30}, não apresentando necessariamente elevadas precipitações médias mensais correspondentes. Concluiu que para Lages (SC), com os dados utilizados no referido trabalho, ainda não foi possível recomendar esse método de obtenção do EI_{30} para outras localidades.

BERTOL (1994) estimou uma equação linear entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuvas para Campos Novos (SC). A equação estimada foi a seguinte:

$$EI_{30} = 22{,}626 \cdot R_c + 238{,}585 \quad (r = 0{,}50^{ns}) \quad (13)$$

O coeficiente de correlação foi não significativo, indicando preliminarmente que esse método não é recomendável para a obtenção do EI_{30} de Campos Novos.

COLODRO (1999) estudou a relação entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva de Teodoro Sampaio (SP), para um período contínuo de análise de dados de 20 anos, estimando a equação linear seguinte:

$$EI_{30} = 106{,}8183 + 46{,}9562 \cdot Rc \quad (r = 0{,}9634;\ p < 0{,}01) \quad (14)$$

Concluiu que as equações obtidas para Campinas (SP), Piracicaba (SP), Pindorama (SP), Mococa (SP), Barranquinho (MT) e Flexas (MT), respectivamente, estimadas por LOMBARDI NETO (1977), PEREIRA (1983), SOSA (1987), CARVALHO et al. (1991b) e MORAIS et al. (1991) não podem ser utilizadas para estimativa do fator R local de Teodoro Sampaio (SP). Por outro lado, a equação do coeficiente de chuva obtida para Teodoro

unesp

Sampaio (SP) também não pode ser utilizada para a estimativa do fator R das localidades de Mococa (SP) e Pindorama (SP).

2.3. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola

Quando a chuva excede a capacidade de infiltração do solo o excesso de água escoa sobre a superfície do terreno formando a enxurrada, que vai em direção aos canais, represas, ribeirões e rios (LOMBARDI NETO, 1989). Ao projetar canais, diques e outras obras do terreno para controlar a enxurrada, é necessário ter informações da provável quantidade de água esperada. Se o objetivo é reter ou armazenar a água, é suficiente, apenas, o conhecimento do volume total de água esperada. Porém, o que é usual nos problemas conservacionistas, é conduzir a água de um lugar para outro. Neste caso, a intensidade da enxurrada é mais importante, particularmente a enxurrada máxima que pode ocorrer. Essa enxurrada, que pode ocorrer num determinado local, depende implicitamente também da respectiva máxima intensidade da chuva. Esta determinação é normalmente efetuada com base em um grande número de observações e nas características da bacia hidrográfica, tais como declividade, solo, cobertura vegetal, que determinam a proporção em que as chuvas penetram no perfil do solo e a velocidade de seu escorrimento. A área da bacia reflete no volume de enxurrada a ser gerado, pois quanto maior a bacia, maior a quantidade de chuva que atinge o solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

unesp

2.3.1. Chuva máxima diária

Conforme SCHWAB et al. (1981) o método de predição da taxa do pico da enxurrada, normalmente calculado através da formula racional da vazão, é dado através da seguinte equação:

$$Ve = C.h.A \quad \ldots\ldots (15)$$

sendo: **Ve** o volume crítico da enxurrada (m^3) causado pela chuva máxima diária, esperada num período de retorno de 10 anos; **C** o coeficiente de enxurrada; **h** a altura pluviométrica (m) da chuva máxima diária, esperada num período de retorno de 10 anos, e **A** a área de drenagem entre dois terraços (m^2)

2.3.2. Intensidade máxima da chuva em 15 minutos

De acordo com SCHWAB et al. (1981) o método de predição da taxa do pico da enxurrada, normalmente calculado através da fórmula racional de Ranser, foi dado para os propósitos norte-americanos através da seguinte equação:

$$q = CiA \quad \ldots\ldots (16)$$

sendo: **q** a taxa do pico da enxurrada (pés cúbicos por segundo); **C** o coeficiente de enxurrada; **i** a intensidade da chuva (polegadas por hora) esperada num determinado período de retorno, e

unesp

com duração equivalente ao tempo de concentração da bacia hidrográfica, e **A** a área da bacia hidrográfica (acres). Entretanto, para a utilização deste método nas condições brasileiras, CRUCIANI (1989) utilizou a seguinte equação:

$$Q = CIA/360 \quad (17)$$

sendo: **Q** a taxa do pico da enxurrada (m^3/s); **C** o coeficiente de enxurrada; **i** a intensidade da chuva (mm/h) esperada num determinado período de retorno, e com duração equivalente ao tempo de concentração da bacia hidrográfica, e **A** a área da bacia hidrográfica (ha).

Os terraços em gradiente apresentam em geral um comprimento de 500 a 600 m, podendo tal gradiente ir, no máximo, até sete por mil, sendo mais comum o uso de três por mil. A velocidade da enxurrada no canal do terraço varia de 0,60 a 0,75 m/s, para evitar que ocorra erosão ou, por outro lado, também para que não ocorra excessiva deposição de sedimentos no fundo do canal. Portanto, levaria de 11 a 19 minutos para a enxurrada percorrer do início ao final do terraço. Assim, deve-se escolher o tempo de 15 minutos como aquele referente ao tempo de concentração, para determinar a intensidade máxima da chuva, que irá resultar na enxurrada máxima diária (LOMBARDI NETO, 1989).

Segundo CRUCIANI (1989) o conceito de tempo de concentração da enxurrada, de uma área de contribuição do escoamento superficial, deve ser necessariamente ligado ao percurso possível da água sobre uma superfície irregular, tanto no declive quanto na rugosidade. BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) conceituaram o tempo de concentração como sendo a duração da chuva que corresponde ao pico máximo da enxurrada. Assim, pode-se definí-lo como sendo o tempo que uma gota de água da enxurrada leva para movimentar-se desde as partes mais longínquas da bacia até o ponto de deságüe. Realmente, neste momento,

unesp

ocorre a máxima concentração da enxurrada, uma vez que estão chegando nesse ponto as gotas de todas as partes da bacia. Desde aquelas de precipitação mais próximas, como também as mais remotas ao referido ponto. A chuva de interesse, para o cálculo da enxurrada máxima, é aquela que pode ser precipitada num tempo igual ao tempo de concentração.

Para SCHWAB et al. (1981) o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é aquele compreendido entre o início do escoamento da enxurrada, presente no local mais longínquo desta bacia, até o seu local de deságüe (aporte). É assumido que, quando a duração da chuva mais intensa é igualada ao tempo de concentração da enxurrada, toda a bacia hidrográfica está simultaneamente contribuindo para o deságüe. Um dos métodos mais amplamente aceitos para se calcular o tempo de concentração da enxurrada foi desenvolvido por Kirpich[a], resumido pela seguinte expressão:

$$Tc = 0{,}0195\ (L_{max})^{0.77}\ (S_h)^{-0.385} \quad \ldots\ldots (18)$$

sendo : **Tc** o tempo de concentração da enxurrada (min); L_{max} o comprimento máximo do lançante, no qual haverá escoamento da enxurrada (m), e S_h o gradiente hidráulico, dado em m/m, e definido pelo quociente entre a distância vertical e a distância horizontal entre o ponto mais longínquo da bacia até o local de deságüe (aporte).

[a] KIRPICH, P.Z. Time of concentration of smal agricultural watersheds. Civil engineering. 1940, 362p.

unesp

3. MATERIAL E MÉTODOS

3. 1. Material utilizado

3. 1. 1. Caracterização do local de origem dos dados

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados pluviográficos e pluviométricos do município de Piraju (SP), obtidos junto ao Departamento Estadual de Águas e Energia Elétrica – DAEE, pertencente à Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. O município de Piraju está localizado na latitude 23° 13'W e na longitude 49° 14'S (Figura 1). Sua altitude média é de 571m. A precipitação média anual é de 1482 mm (SÃO PAULO, 1993). O tipo climático predominante na região é o Cfa, de acordo com critérios de Köeppen, caracterizado por apresentar-se como mesotérmico úmido (BRASIL, 1960).

3. 1. 2. Pluviômetro, pluviógrafo e pluviogramas utilizados

O pluviômetro utilizado foi o Ville de Paris. O pluviógrafo utilizado, tipo sifão IH e modelo Hillman-4, registra incrementos sucessivos de chuva, assim como o total acumulado. Possui autonomia para registrar chuvas ocorridas num intervalo de 24 horas, sendo movido a corda através de um mecanismo de relógio. As chuvas individuais erosivas

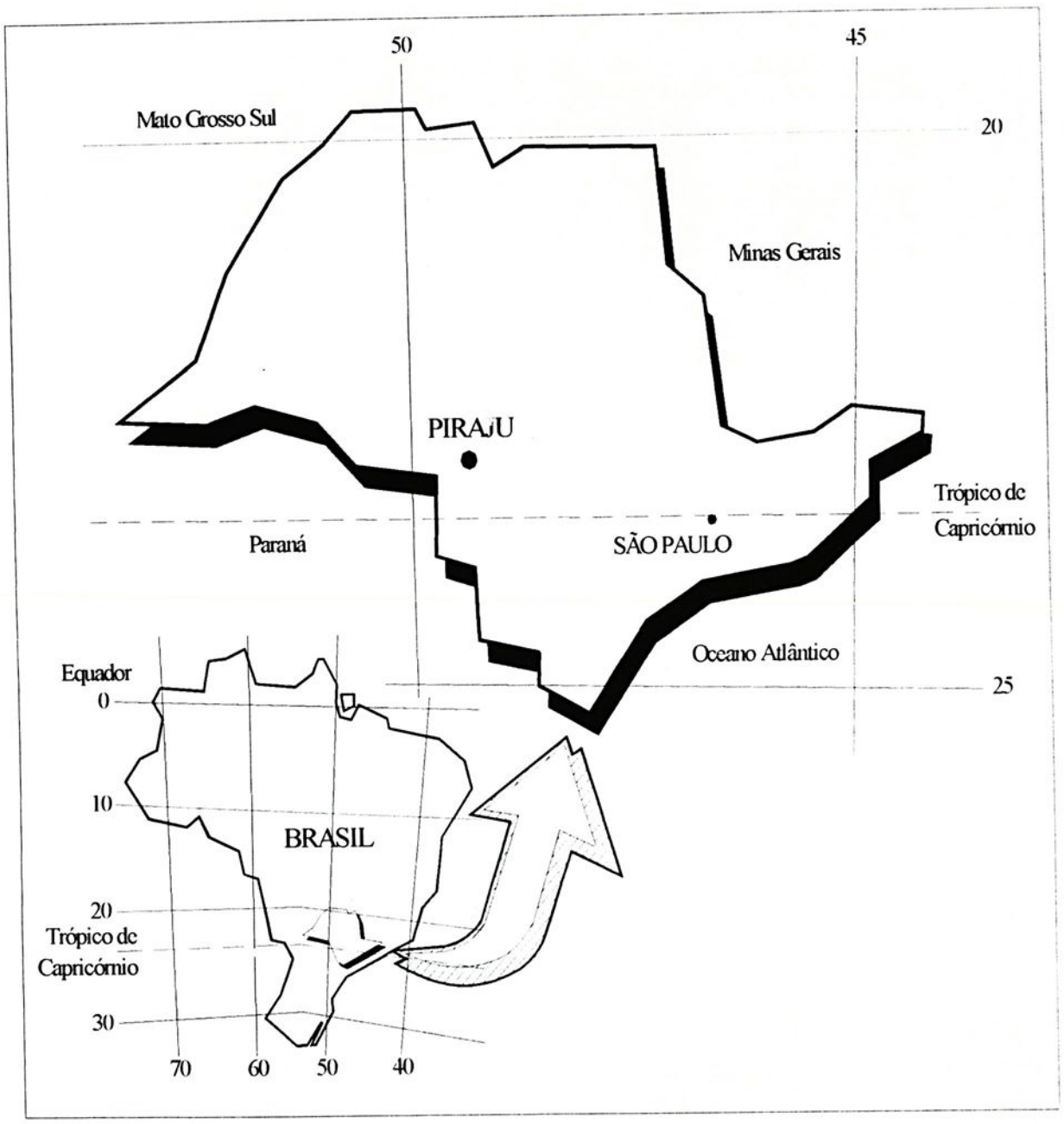

Figura 1 - Localização geográfica do município de Piraju no Estado de São Paulo.

estudadas (WISCHMEIER, 1959; WISCHMEIER & SMITH, 1978; CABEDA, 1976) foram obtidas em pluviograma do modelo CED-RE-843, que possui o registro da quantidade de chuva e o tempo de ocorrência, respectivamente, na ordenada e na abscissa. Sua amplitude de registro varia de zero a 10,2 mm de precipitação, com unidade de 0,1 mm. O registro de tempo é efetuado durante 24 horas, com unidade de 10 em 10 minutos.

3. 1. 3. Mesa digitalizadora e programas computacionais utilizados

A digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva foi efetuada em uma mesa digitalizadora, modelo OP1812, que opera pelo princípio da indução eletromagnética, conectada a um microcomputador do tipo PS/1 486 SX (Figuras 2a e 2b), no Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural da Faculdade de Engenharia do Câmpus de Ilha Solteira (UNESP). Para tanto, a mesa foi configurada para operar o programa computacional de Interpretação Gráfica de Mesa Digitalizadora (IGMD), no Polo Computacional da Faculdade de Ciências Agronômicas do Câmpus de Botucatu (UNESP). O referido programa foi montado em linguagem PASCAL, de forma a fornecer a mesma precisão de leitura que a do olho humano, isto é, com o volume da chuva em décimo de milímetro e o tempo em minuto. A mesa digitalizadora é basicamente constituída de um tampo, ou superfície de digitalização, e um cursor de teclas. A área ativa disponível do tampo é de 139354,56 mm^2 (457,2 mm x 304,8 mm). O cursor, constituído de 6 teclas, é ligado à mesa por um cabo RS-232 com 25 pinos. O modo de operação trabalhado foi o ponto a ponto, que envia um único par de coordenadas a cada vez que a tecla registradora é acionada, com uma precisão de $\pm$ 0,254 mm. Posteriormente, os pares coordenados, representantes de cada um dos pontos de inflexão de intensidade das chuvas, foram passados pela consistência, correção através da

unesp

FIGURA 2a – Vista geral da mesa digitalizadora e do computador utilizado

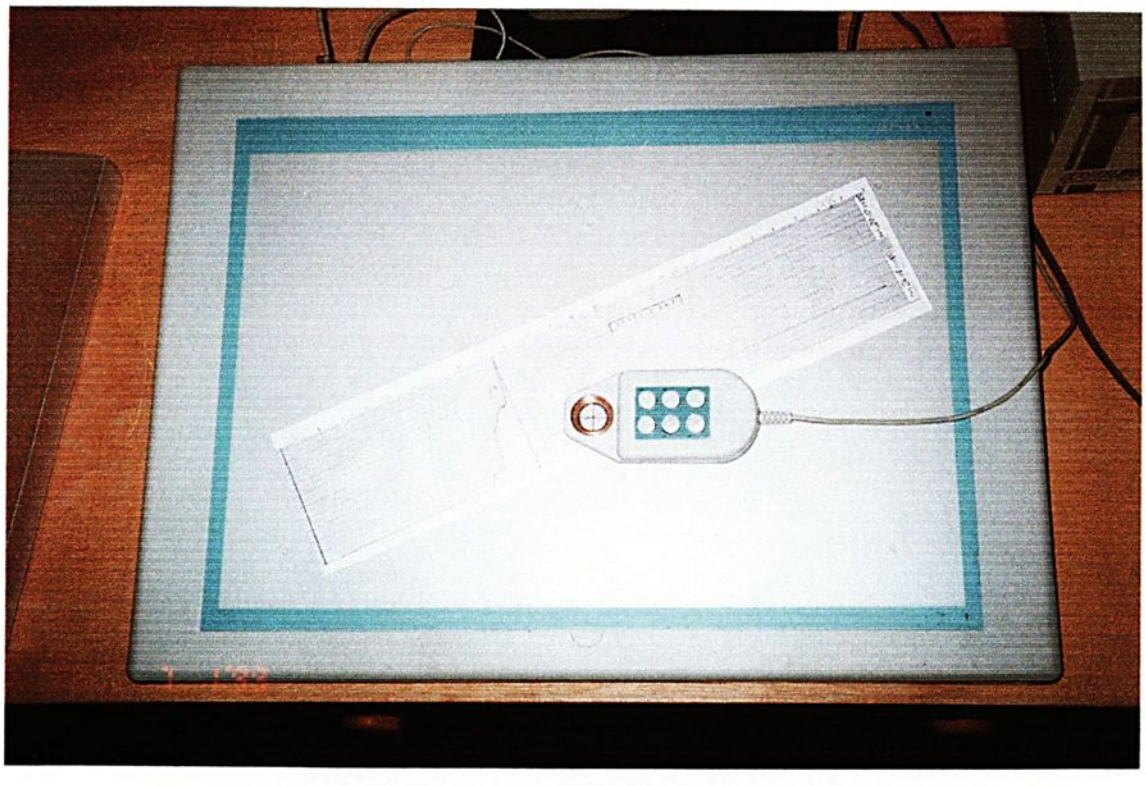

FIGURA 2b – Detalhe do pluviograma anexado à mesa digitalizadora

digitalização e/ou digitação e processamento dos cálculos da erosividade da chuva. Para tanto, foi utilizado o programa computacional desenvolvido por CATANEO et al. (1982). A análise estatística e a regressão dos dados foram efetuadas no programa estatístico SAS (SCHLOTZHAVER & LITTELL, 1997).

3. 2. Método Empregado

3. 2. 1. Obtenção das características da chuva

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

3. 2. 1. 1. Determinação do número total de chuvas estudadas

Foram analisados dados pluviográficos do município de Piraju, acumulados durante o período de 01/01/1975 a 31/12/1997, assim como, dados pluviométricos acumulados durante o período de 01/01/1975 a 31/12/1996, obtidos junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE, pertencente a Secretária de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. Em posse do conjunto de pluviogramas, procedeu-se a escolha das chuvas estudadas, isto é, as chuvas individuais erosivas. Assim, tais chuvas foram tomadas como sendo aquelas registradas individualmente num único pluviograma, que totalizaram 874 delas. Os critérios de seleção utilizados foram os mesmos que os de WISCHMEIER (1959), WISCHMEIER & SMITH (1978) e CABEDA (1976), com pequenas modificações sugeridas

unesp

por CARVALHO (1987), relacionadas a seguir:

a) foram escolhidas as chuvas que apresentaram um volume de 10,0 mm ou mais; e

b) foram também escolhidas as chuvas que apresentaram menos de 10,0 mm, se o seu volume em 15 minutos fosse de 6,0 mm ou mais.

3. 2. 1. 2. Cotamento dos pontos de inflexão da intensidade da chuva

Após selecionar e separar os pluviogramas das 874 chuvas estudadas, efetuou-se o cotamento dos pontos de inflexão da intensidade. Para tanto, foram estabelecidas a lápis, sobre a curva da chuva traçada no pluviograma, cotas em todos os pontos em que o volume de chuva variou em função do tempo, isto é, todos os pontos nos quais houve alteração do ângulo de inclinação da curva. Tal passo visou fixar e homogeneizar o ponto de coleta do par de coordenadas cartesianas pela mesa digitalizadora.

3. 2. 1. 3. Digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva

Após o cotamento de todos os pluviogramas, procedeu-se a digitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva. Para tanto, os pluviogramas foram fixados sobre o tampo da mesa digitalizadora, sob a sua capa plástica. Encontrando-se ligado o conjunto mesa-computador, procedeu-se a digitalização dos pontos de inflexão da intensidade, ponto por ponto, deslocando-se o cursor no sentido da origem para o final da abscissa, no pluviograma. As chuvas foram digitalizadas uma por uma, e registradas em arquivos individuais, conforme a rotina estabelecida pelo programa de digitalização IGMD. Assim, o registro do volume de

unesp

chuva foi efetuado com a unidade de décimo de milímetro e o tempo em minuto.

3. 2. 1. 4. Consitência: correção e redigitalização dos pontos de inflexão da intensidade da chuva

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

3. 2. 1. 5. Energia cinética total da chuva (E)

Os pontos de inflexão da intensidade foram individualmente registrados com a unidade de décimo de milímetro para o volume da chuva (ordenada) e de minuto para o seu tempo total (abscissa). Assim, a energia cinética total da chuva foi obtida através do programa desenvolvido por CATANEO *et al.* (1982), segundo a metodologia de WISCHMEIER & SMITH (1958), da seguinte forma:

unesp

a) foram subtraídas, sucessiva e cronologicamente, as leituras referentes ao tempo e ao volume precipitado, obtendo-se a variação de tempo (minutos) e a variação do volume (mm), para todos os segmentos de intensidade uniforme;

b) foi calculada a intensidade (mm/h), para todos os segmentos de intensidade uniforme, multiplicando-se a variação do volume (mm) do segmento por 60 e dividindo-se tal produto pela respectiva variação de tempo (minuto);

c) foi calculada a energia cinética do segmento de intensidade uniforme (MJ/ha.mm), através da equação (3) (WISCHMEIER & SMITH, 1958), e reajustada ao Sistema Internacional de Unidades por FOSTER et al. (1981), dada por:

$$E = 0{,}119 + 0{,}0873 \cdot \log I$$

sendo: **E** a energia cinética do segmento (MJ/ha.mm), e **I** a intensidade do respectivo segmento (mm/h). Foi estipulado o valor máximo de energia cinética igual a 0,2832 MJ/ha.mm, para todos os segmentos com intensidade igual ou superior a 76,0 mm/h, de acordo com WISCHMEIER & SMITH (1978).

d) foi multiplicada a energia cinética do segmento de intensidade uniforme (MJ/ha.mm) pelo respectivo volume de chuva (mm), obtendo-se a energia cinética total de cada segmento (MJ/ha), e

e) foram somados os valores de energia cinética total (MJ/ha) de todos os segmentos de intensidade uniforme, resultando a energia cinética total da chuva (MJ/ha).

unesp

3. 2. 1. 6. Intensidade máxima em 15 minutos (I_{15})

A intensidade máxima em quinze minutos foi calculada conforme a seguinte expressão, apresentada em CARVALHO (1987):

$$I_{15} = \frac{\sum_{1}^{n} i_n . t_n}{15} \quad \ldots\ldots (19)$$

sendo: I_{15} a intensidade máxima em 15 minutos (mm/h); i_n o valor da intensidade de ordem n (mm/h), ocorrida dentro do tempo de 15 minutos; t_n o tempo de ocorrência da intensidade de ordem n, ocorrida dentro do tempo de 15 minutos, e 15 o espaço de tempo em minutos no qual se deseja obter a intensidade máxima.

3. 2. 1. 7. Intensidade máxima em 30 minutos (I_{30})

A intensidade máxima em trinta minutos foi também calculada conforme a seguinte expressão, apresentada em CARVALHO (1987):

$$I_{30} = \frac{\sum_{1}^{n} i_n . t_n}{30} \quad \ldots\ldots (20)$$

sendo: I_{30} a intensidade máxima em 30 minutos (mm/h); i_n o valor da intensidade de ordem n (mm/h), ocorrida dentro do tempo de 30 minutos; t_n o tempo de ocorrência da intensidade de

ordem n, ocorrida dentro do tempo de 30 minutos, e **30** o espaço de tempo em minutos no qual se deseja obter a intensidade máxima.

3. 2. 1. 8. Índice de erosividade da chuva (EI_{30})

O índice de erosividade da chuva EI_{30} foi obtido (MJ.mm/ha.h), de acordo com WISCHMEIER & SMITH (1958), através do produto entre a energia cinética total da chuva (E em MJ/ha) e a intensidade máxima em 30 minutos (I_{30} em mm/h).

3. 2. 1. 9. Exemplo de cálculo da erosividade de uma chuva

Para melhor compreensão da metodologia utilizada para a extração dos dados brutos da chuva, e seu posterior cálculo de erosividade, são apresentados o seguinte: a) Figura 3, que mostra o registro parcial da chuva ocorrida em 02/02/95 em Piraju (SP),e b) Quadro 1, que mostra o registro dos dados da mencionada chuva e a respectiva planilha de cálculo do EI_{30}.

unesp

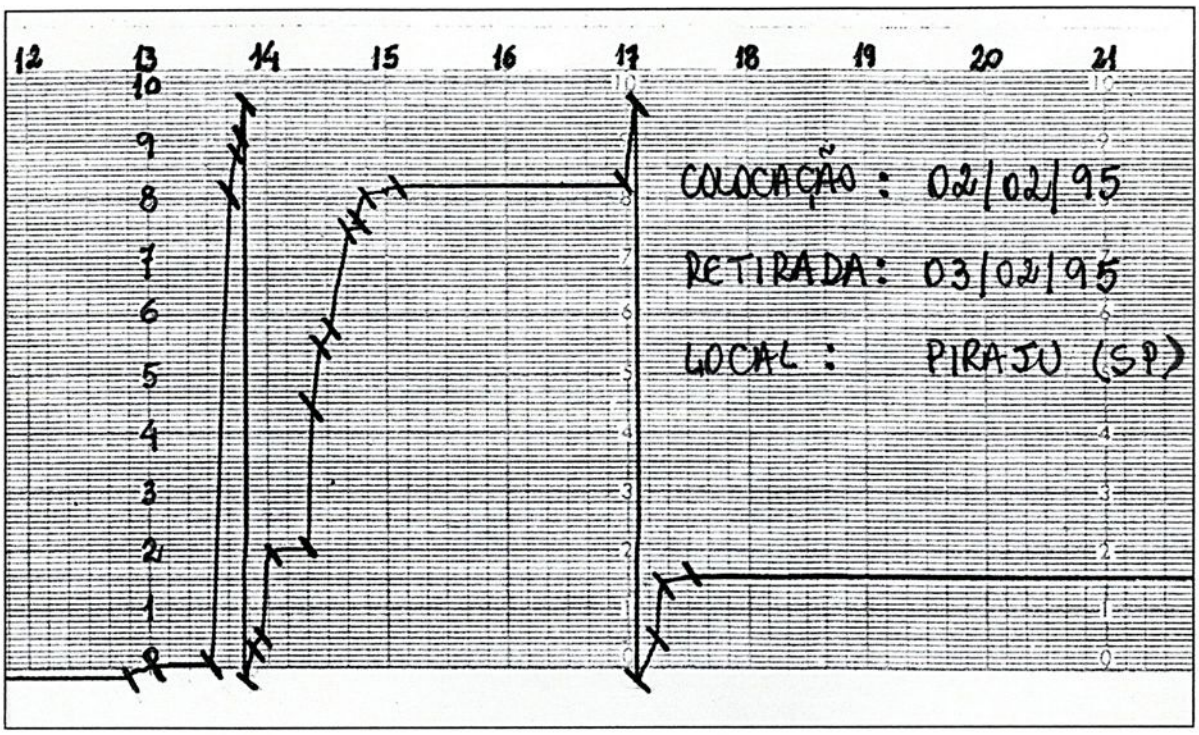

FIGURA 3 – Registro pluviográfico parcial da chuva ocorrida em 02/02/95 em Piraju (SP)

Quadro 1 - Registro dos dados da chuva individual erosiva representada graficamente no pluviograma da figura 3, e sua respectiva planilha de cálculo do EI_{30}.

EROSIVIDADE DA CHUVA

Local: Piraju (SP)

Data da chuva : 02/02/95

LINHA	LEITURAS DA CARTA (Pluviógrafo)		SEGMENTOS COM DECLIVE UNIFORME			ENERGIA CINÉTICA	
	TEMPO	CHUVA	INTERVALO DE TEMPO (min)	INTERVALO PARCIAL DE CHUVA (mm)	INTENSIDADE DE CHUVA (mm/h)	POR INTENSIDADE (MJ ha mm)	POR INCREMENTO (MJ ha)
1	12:49	-0.2	-	-	-	-	-
2	13:03	0	14	0.2	0.9	0.1150	0.0230
3	13:30	0.1	27	0.1	0.2	0.0580	0.0058
4	13:41	8.1	11	8.0	43.6	0.2621	2.0968
5	13:44	8.7	3	0.6	12.0	0.2132	0.1279
6	13:47	9.0	3	0.3	6.0	0.1869	0.0561
7	13:49	9.6	2	0.6	18.0	0.2286	0.1372
8	13:48	-0.2	-1	-9.8	-	-	-
9	13:52	0.3	4	0.5	7.5	0.1954	0.0977
10	13:56	0.5	4	0.2	3.0	0.1607	0.0321
11	14:01	2.0	5	1.5	18.0	0.2286	0.3429
12	14:20	2.0	19	0	0	-	-
13	14:22	4.4	2	2.4	72.0	0.2811	0.6746
14	14:27	5.4	5	1.0	12.0	0.2132	0.2132
15	14:32	5.7	5	0.3	3.6	0.1676	0.0503
16	14:40	7.4	8	1.7	12.8	0.2157	0.3667
17	14:45	7.6	5	0.2	2.4	0.1522	0.0304
18	14:50	8.1	5	0.5	6.0	0.1869	0.0935
19	15:05	8.2	15	0.1	0.4	0.0843	0.0084
20	17:00	8.2	115	0	0	-	-
21	17:04	9.6	4	1.4	21.0	0.2344	0.3282
22	17:03	-0.2	-1	-9.8	-	-	-
23	17:13	0.5	10	0.7	4.2	0.1734	0.1214
24	17:15	1.4	2	0.9	27.0	0.2440	0.2196
25	17:32	1.5	17	0.1	0.4	0.0843	0.0084
TOTAL	-	-	287	21.3	-	-	5.0342

Duração total (min.) = 287 min.

Precipitação total (mm) = 21.3 mm

Energia cinética total (MJ/ha) = 5.0342 MJ/ha

I_{15} (mm/h) = (11*43.6+3*12.0+1*6.0)/15 = 34.8 mm/h

I_{30} (mm/h) = (11*43.6+3*12.0+3*6.0+2*18.0+1*0.0+4*7.5+4*3.0+2*18.0)/30 = 21.6 mm/h

EI_{30} (MJ.mm/ha.h) = 108.7387 MJ.mm/ha.h

unesp

3. 2. 2. Probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos índices de erosividade

As análises do período de retorno e da probabilidade de ocorrência – destinadas aos índices de erosividade, chuvas máximas diárias e às máximas intensidades da chuva em 15 minutos - foram efetuadas utilizando-se a lei da probabilidade logaritmica e a teoria dos valores extremos, preconizadas em SCHWAB *et al.* (1981). Para tanto, foram utilizadas as seguintes equações para determinar, respectivamente, o período de retorno, a probabilidade de ocorrência e o valor teórico do índice de erosividade para um dado período de retorno, dadas a seguir:

$$T = (N + 1)/m \quad \ldots\ldots (21)$$

sendo: **T** o período de retorno no qual o índice de erosividade será igualado ou superado; **N** o número de anos de registro de dados (tamanho da série), e **m** o número de ordem do índice de erosividade, quando a série é colocada em ordem decrescente de magnitude;

$$Pr = 100/T \quad \ldots\ldots (22)$$

sendo : **Pr** a probabilidade de ocorrência do evento, em porcentagem, e **T** o seu período de retorno em anos;

$$X_c = X (1 + Cv \cdot k) \quad \ldots\ldots (23)$$

sendo: $\mathbf{X_c}$ o valor teórico do índice de erosividade para um determinado período de retorno; **X** a média aritmética dos índices de erosividade, **Cv** o coeficiente de variação dos índices de

erosividade e **k** o fator de freqüência do índice de erosividade para o período de retorno desejado, dado por:

$$k = \{-2,45.\{\gamma + \ln[\ln T - \ln(T - 1)]\}\}/\pi \quad (24)$$

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

Foi utilizado papel de probabilidade logarítmica para plotar os valores dos índices de erosividade observados. Também, para a determinação do número adequado de anos de registro de chuvas para o cálculo de erosividade foi utilizada a equação de Mokus, relatada em SCHWAB *et al.* (1981), dada por:

$$Y = (4,30 \, . \, t \, . \, \log\theta)^2 + 6 \quad (25)$$

sendo: **Y** o número mínimo de anos de chuvas para o cálculo da erosividade; **t** o valor tabelado (distribuição "t" de Student) para um dado nível de significância, normalmente com $p<0,10$, com (Y-6) graus de liberdade, e θ 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. 3. Coeficiente de chuva

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 1975 a 1997. O coeficiente empregado nos cálculos foi o mesmo que o utilizado por LOMBARDI NETO (1977), cuja expressão foi dada pela equação (5).

Em seqüência, através do programa estatistico SAS (SCHLOTZHAVER & LITTELL, 1997) procedeu-se ao ajuste dos dados dos índices de erosividade médios mensais e do coeficiente de chuva, às funções dos seguintes tipos: linear, potencial, exponencial, quadrática, logarítimica e semi-logarítimica. Desta forma, foram apresentados os coeficientes de ajuste para o modelo matemático que apresentou o maior coeficiente de determinação (R^2). Finalmente foi efetuada a análise da variância com o objetivo de se verificar a significância do ajuste em questão.

3. 2. 4. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola

3. 2. 4.1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias

Utilizando-se o programa de CATANEO et al. (1982) foram obtidas as chuvas máximas diárias de Piraju durante o perído de 1975 a 1997. Seguidamente, foram efetuados as estimativas de sua probabilidade de ocorrência e do período de retorno, da mesma forma como descrito previamente no item 3.2.2. do presente estudo.

3. 2. 4.2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas da chuva em 15 minutos

Utilizando-se o programa de CATANEO et al. (1982) foram calculadas as máximas intensidades da chuva em 15 minutos. Seguidamente, também foram efetuados as estimativas de sua probabilidade de ocorrência e do período de retorno, da mesma forma como descrito previamente no item 3.2.2. do presente estudo.

4. RESULTADOS

4. 1. Caracterização da erosividade da chuva

4. 1. 1. Fator erosividade da chuva

A soma dos índices de erosividade de todas as chuvas do ano de um determinado local representa a sua erosividade anual. A média aritmética dos índices de erosividade, quando oriunda de uma amostra com 20 ou mais anos de dados, representa o fator R ou fator erosividade da chuva (WISCHMEIER, 1959). Apesar de ser preconizada a utilização de uma amostra com pelo menos 22 anos de dados (NEWMAN, 1970), a adequação do número de anos de registros de dados de erosividade revelou ser de 12,1 anos ($p < 0,10$), ou de 19,2 anos ($p < 0,02$) os tempos mínimos aceitáveis de dados para obtenção do fator R de Piraju (SP), de acordo com a equação (25), contida em SCHWAB et al. (1981).

O Quadro 2 apresenta a distribuição decendial, mensal e total anual dos

unesp

Quadro 2 - Distribuição decendial dos valores do índice de erosividade EI_{30} (MJ.mm/ha.h.ano) da chuva do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997

Mês	Decêndio	Anos																						Média decendial	Média mensal
		75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97		
		MJ.mm/ha.h.ano																							
	1	90	114	280	703	178	32	71	120	131	-	1716	331	955	363	1377	1094	40	-	300	81	1225	655	422	447	
Janeiro	2	144	73	48	339	-	-	309	-	2919	743	261	-	563	140	1774	207	908	-	1131	386	628	-	711	491	1368
	3	81	26	202	1218	-	1197	226	999	159	520	47	53	325	223	189	19	485	53	616	1971	180	224	874	430	
	1	870	69	1843	54	938	249	-	1214	246	-	329	58	562	526	160	241	1017	83	735	1786	137	51	85	489	
Fevereiro	2	-	21	-	-	508	96	44	84	694	29	584	472	192	808	41	-	94	23	351	73	260	91	833	230	969
	3	832	-	-	1998	-	205	51	91	271	35	288	-	28	173	491	214	40	50	263	521	26	177	-	250	
	1	222	-	36	202	-	25	425	139	534	-	292	329	31	226	-	362	521	1546	72	254	666	690	130	291	
Março	2	29	151	1384	-	2217	460	-	549	415	-	751	-	-	217	409	48	56	411	529	-	-	950	-	373	986
	3	177	46	1216	146	-	-	-	-	90	231	88	207	22	-	150	27	25	1883	137	36	2263	657	-	322	
	1	82	57	278	-	64	197	-	-	157	229	44	-	16	-	-	-	34	-	274	15	-	-	-	63	
Abril	2	54	110	11	-	-	8	141	-	-	294	252	280	174	524	-	50	1395	444	-	163	500	66	117	199	383
	3	11	-	-	-	21	22	271	-	433	43	509	-	-	160	25	-	56	587	144	433	74	-	-	121	
	1	16	98	-	-	476	-	-	-	172	235	-	-	13	27	-	30	-	322	136	-	204	-	-	75	
Maio	2	-	24	-	304	50	-	-	44	2293	221	134	139	348	74	-	42	53	587	45	35	-	-	-	191	402
	3	-	603	-	-	99	-	-	44	1819	-	86	-	-	128	-	-	-	104	50	50	-	-	136	136	
	1	-	799	22	161	-	-	-	23	701	-	37	201	49	-	15	-	-	130	23	-	-	-	296	107	
junho	2	-	-	-	-	-	-	100	231	-	-	-	-	810	32	58	-	37	-	24	-	152	-	88	67	260
	3	-	-	42	-	-	196	-	1233	56	-	-	-	147	15	12	-	211	-	-	39	-	-	32	86	
	1	-	365	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	25	-	-	-	169	95	-	-	183	-	-	38	
Julho	2	27	-	-	461	-	-	-	153	-	-	-	-	-	-	-	244	-	-	31	346	-	-	38	56	130
	3	-	-	133	84	94	16	-	-	-	-	-	-	-	-	494	-	-	-	-	-	17	-	-	36	
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	57	30	-	-	-	-	-	-	49	-	-	-	-	14	-	7	
Agosto	2	-	394	-	-	270	-	-	-	-	-	-	81	-	-	-	240	-	-	-	-	-	-	-	43	91
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	48	396	-	-	95	38	-	-	16	-	-	-	300	41	
	1	-	56	432	61	498	-	-	-	-	-	91	-	-	-	91	-	-	139	19	-	-	316	-	74	
Setembro	2	-	66	42	147	142	-	-	-	295	473	-	43	154	-	24	177	-	111	15	12	-	-	108	79	263
	3	160	18	-	-	138	-	-	104	15	363	-	260	22	-	30	-	333	113	765	-	105	21	82	110	
	1	212	411	154	85	-	93	5	342	-	-	-	11	346	-	-	-	220	106	29	34	-	153	32	97	
Outubro	2	-	65	54	86	-	39	145	29	79	22	-	29	154	221	27	271	-	732	-	27	1092	152	-	140	417
	3	52	67	-	-	269	45	227	61	527	-	333	40	-	835	360	-	11	66	29	1141	7	21	50	180	
	1	392	191	373	538	-	-	261	452	34	560	-	21	18	-	-	144	11	-	226	352	43	-	-	157	
Novembro	2	25	274	-	498	-	235	142	630	-	126	165	-	850	-	867	101	279	210	-	532	55	96	3696	382	826
	3	591	575	66	-	88	212	30	612	428	-	161	342	343	45	21	601	-	486	470	643	398	-	499	287	
	1	48	241	328	105	968	-	921	96	90	413	-	1840	340	325	29	-	328	807	252	1110	-	378	-	375	
Dezembro	2	345	166	31	44	472	124	-	412	230	703	61	197	70	148	280	118	1101	35	410	76	218	200	-	237	979
	3	105	133	96	482	-	185	255	468	95	250	339	-	27	803	357	-	173	-	48	1578	638	2409	-	367	
Total		4565	5213	7071	7716	7490	3636	3624	8130	12940	5572	6657	5330	6584	6013	7376	4268	7646	9123	7140	11694	9071	7321	8529	7074	7074

- Dados nulos

índices de erosividade EI_{30}, bem como o fator erosividade da chuva de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997. O fator erosividade da chuva observado foi de 7074 MJ.mm/ha.h.ano, com as seguintes medidas de dispersão: 2301 e 480 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para o desvio padrão e erro padrão da média. O coeficiente de variação apresentado foi de 32,5%.

O Quadro 3 apresenta a quantidade total anual de chuva e a quantidade usada para calcular o índice de erosividade anual de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997. Como pode ser observado, utilizou-se uma quantia média de 74,3% da precipitação anual da chuva para determinação do fator erosividade da chuva de Piraju (SP). Os valores extremos da quantidade de chuva utilizada foram de 61,9% para o ano de 1990 e 89,1% para o ano de 1995. Ficou evidente, portanto, que 25,7% da precipitação total anual não foi utilizada para a determinação do fator erosividade da chuva, por se tratar de chuvas não erosivas, de acordo com a recomendação de WISCHIMEIER & SMITH (1978).

4. 2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva

4. 2. 1 Distribuição anual, sazonal, mensal e decendial da precipitação e da erosividade da chuva

O estudo da distribuição do potencial erosivo da chuva, bem como a distribuição da quantidade de chuva, é de grande importância para o manejo e o

unesp

Quadro 3 - Quantidade total anual de chuva (mm) e a quantidade usada para o cálculo do índice de erosividade EI_{30}, durante o período de 1975 a 1997 do município de Piraju (SP).

Ano	Quantidade de chuva			Índice de erosividade
	Total	Usada no cálculo do EI_{30}		
		Absoluta	Relativa	(EI_{30})
	mm		%	MJ.mm/ha.h.ano
1975	1323,2	953,2	72,0	4565
1976	1575,3	1137,0	72,2	5213
1977	1435,2	973,5	67,8	7071
1978	1398,0	1049,7	75,1	7716
1979	1269,4	859,9	67,7	7490
1980	1150,7	732,7	63,7	3636
1981	1060,9	733,1	69,1	3624
1982	2185,5	1494,9	68,4	8130
1983	2087,1	1642,5	78,7	12940
1984	1119,4	775,8	69,3	5572
1985	1223,1	1023,2	83,7	6657
1986	1445,1	1087,6	75,3	5330
1987	1526,7	1179,5	77,3	6584
1988	1410,5	1048,8	74,4	6013
1989	1604,5	1201,1	74,9	7376
1990	1289,2	798,6	61,9	4268
1991	1765,5	1338,4	75,8	7646
1992	1685,8	1222,7	72,5	9123
1993	1572,3	1212,5	77,1	7140
1994	1683,9	1341,9	79,7	11694
1995	1372,2	1222,4	89,1	9071
1996	1441,2	1085,2	75,3	7321
1997	-	1216,9	-	8529
Média	1482,9	1101,4	74,3	7074

- Falta de dados

unesp

desenvolvimento das culturas agronômicas. No período em estudo, os valores extremos dos índices anuais de erosividade variaram de 3624 a 12940 MJ.mm/ha.h.ano. Os valores extremos dos índices de erosividade médios mensais foram de 91 e 1368 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para os meses de agosto e janeiro (Quadro 2).

Os Quadros 4 e 5 e a Figura 4 apresentam respectivamente: a) a distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1996; b) distribuição média decendial e mensal do índice de erosividade EI_{30} de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997, e c) distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade e da precipitação pluviométrica de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997. Pelos dados apresentados, pode-se observar que 78,5 % do índice de erosividade ocorreram nos meses de outubro a março. Em contraposição, no semestre complementar, essa quantia foi de apenas 21,5 %, assim como, no trimestre de junho a agosto, de apenas 6,7 %. Por outro lado, em relação à precipitação, o semestre outubro-março correspondeu a 69,1% da quantidade total anual de chuva. A Figura 4 indica haver uma concordância harmônica entre as distribuições médias mensais do índice de erosividade e da precipitação pluviométrica de Piraju (SP).

4. 2. 2. Curva de distribuição do índice de erosividade

A Figura 5 apresenta a distribuição da erosividade relativa da chuva de Piraju (SP). Evidencia-se que, realmente, no semestre de outubro a março, ocorreu a maior parte da referida erosividade, uma vez que o seu terço médio se apresenta com maior inclinação.

Quadro 4 - Distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica (mm) do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1996

Mês \ Ano	Precipitação pluviométrica (mm)																						
	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	Média
Janeiro	103,5	111,3	203,5	193,5	46,1	172,2	183,3	240,3	309,9	192,1	248,0	104,4	236,3	174,1	403,3	309,4	243,0	84,3	290,2	288,0	-	170,6	195,8
Fevereiro	261,6	101,3	186,6	161,6	197,3	251,5	54,9	308,8	159,0	32,7	154,0	259,6	180,6	229,8	199,8	89,7	284,5	80,5	351,6	218,4	162,6	133,7	184,6
Março	93,3	85,7	309,8	165,2	109,9	90,3	76,8	104,5	193,5	75,3	235,3	139,9	35,0	124,3	146,8	122,3	208,6	422,9	155,8	117,9	260,6	330,6	153,8
Abril	74,4	70,1	86,5	0,3	32,2	71,6	102,2	15,1	153,7	152,1	133,2	88,9	48,9	108,1	30,2	42,6	184,8	185,5	81,1	99,7	87,7	37,2	85,7
Maio	21,0	196,3	1,3	76,9	138,9	17,5	5,3	66,5	435,4	106,5	102,0	9,4	175,5	132,7	16,9	61,2	21,1	165,2	93,9	55,7	75,7	11,4	80,3
Junho	35,5	108,0	42,4	42,2	0,8	73,3	82,8	327,7	276,4	1,0	17,2	-	221,3	47,6	72,2	16,4	107,3	4,0	73,2	36,9	53,4	16,7	75,3
Julho	62,3	144,2	82,6	157,4	48,0	23,9	22,9	55,1	11,2	3,4	27,9	12,6	22,9	-	144,1	130,5	36,8	19,5	32,4	52,8	97,5	9,8	54,4
Agosto	4,0	146,6	12,2	14,1	107,0	43,9	14,2	216,0	0,1	64,7	26,2	170,6	13,9	-	54,8	98,2	21,4	28,6	34,8	-	14,3	16,0	50,1
Setembro	74,9	174,1	83,0	92,8	145,6	59,4	20,9	28,6	189,3	120,6	36,5	120,8	84,4	44,1	72,9	98,3	110,2	215,6	182,6	20,2	107,4	161,8	102,0
Outubro	160,7	141,7	87,2	88,0	124,6	76,3	184,0	208,1	97,2	24,8	48,3	65,2	123,4	242,3	90,9	135,4	118,9	198,3	33,3	195,4	243,3	139,5	128,5
Novembro	258,9	124,2	151,4	236,7	104,9	122,4	106,9	335,7	98,2	91,2	103,1	139,8	246,8	35,7	164,8	115,2	76,1	232,3	98,9	245,3	86,0	69,1	147,4
Dezembro	173,1	171,8	188,7	169,3	214,1	148,4	206,7	279,1	163,2	255,0	91,4	333,9	137,7	271,8	207,8	70,0	352,8	49,1	144,5	353,6	183,7	344,8	205,0
Total Anual	1323,2	1575,3	1435,2	1398,0	1269,4	1150,7	1060,9	2185,5	2087,1	1119,4	1223,1	1445,1	1526,7	1410,5	1604,5	1289,2	1765,5	1685,8	1572,3	1683,9	1372,2	1441,2	1482,9

- Dados nulos

Quadro 5 - Distribuição média decendial e mensal do índice de erosividade EI_{30} do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Mês	Decêndios	Índice de erosividade	
		Decendial	Mensal
		%	
Janeiro	1	6,3	19,3
	2	6,9	
	3	6,1	
Fevereiro	1	6,9	13,7
	2	3,3	
	3	3,5	
Março	1	4,1	14,0
	2	5,3	
	3	4,6	
Abril	1	0,9	5,4
	2	2,8	
	3	1,7	
Maio	1	1,1	5,7
	2	2,7	
	3	1,9	
Junho	1	1,5	3,6
	2	0,9	
	3	1,2	
Julho	1	0,5	1,8
	2	0,8	
	3	0,5	
Agosto	1	0,1	1,3
	2	0,6	
	3	0,6	
Setembro	1	1,0	3,7
	2	1,1	
	3	1,6	
Outubro	1	1,4	5,9
	2	2,0	
	3	2,5	
Novembro	1	2,2	11,7
	2	5,4	
	3	4,1	
Dezembro	1	5,3	13,9
	2	3,4	
	3	5,2	
Total	-	100,0	100,0

unesp

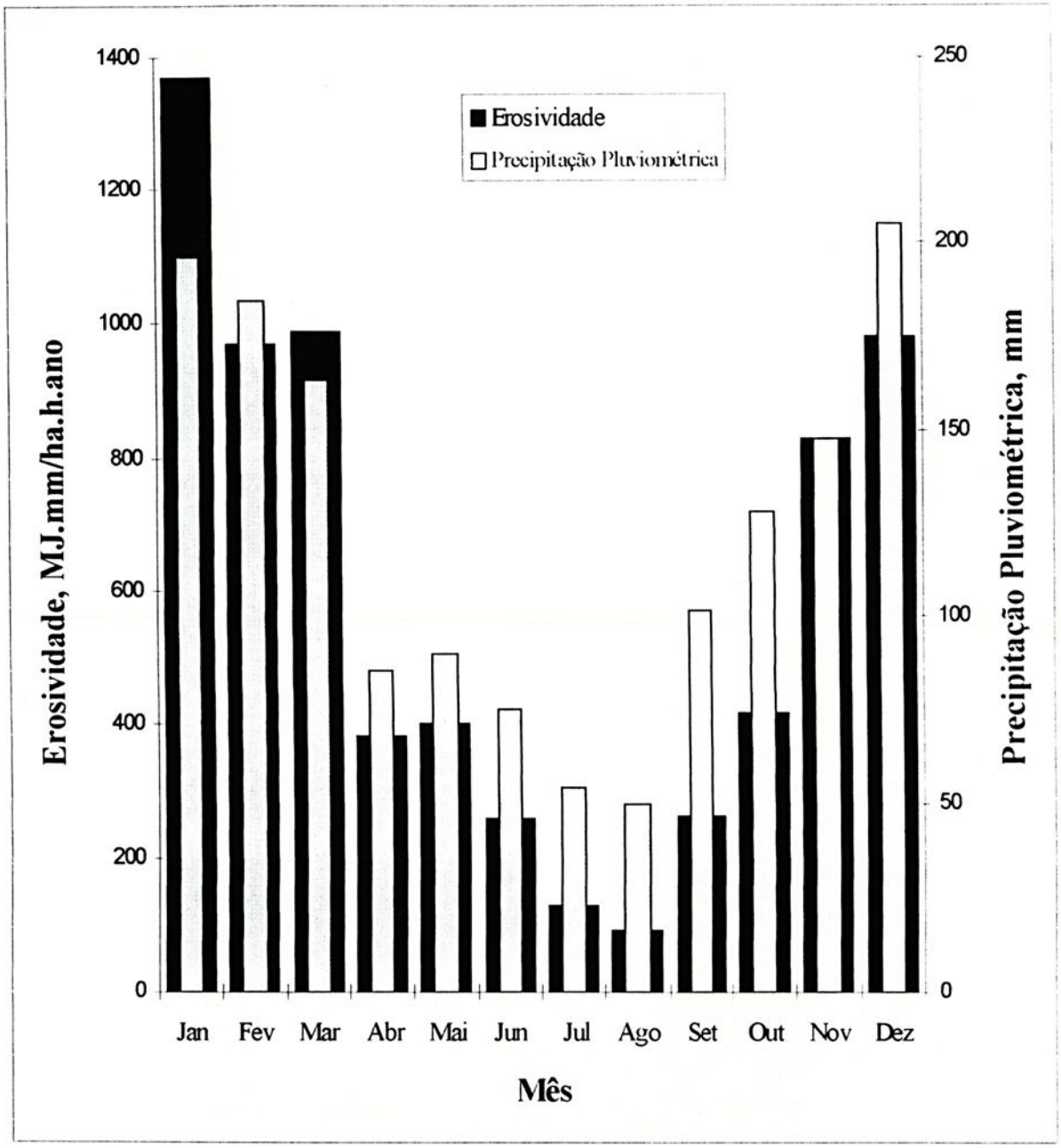

Figura 4. Distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade EI_{30} e da precipitação pluviométrica do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

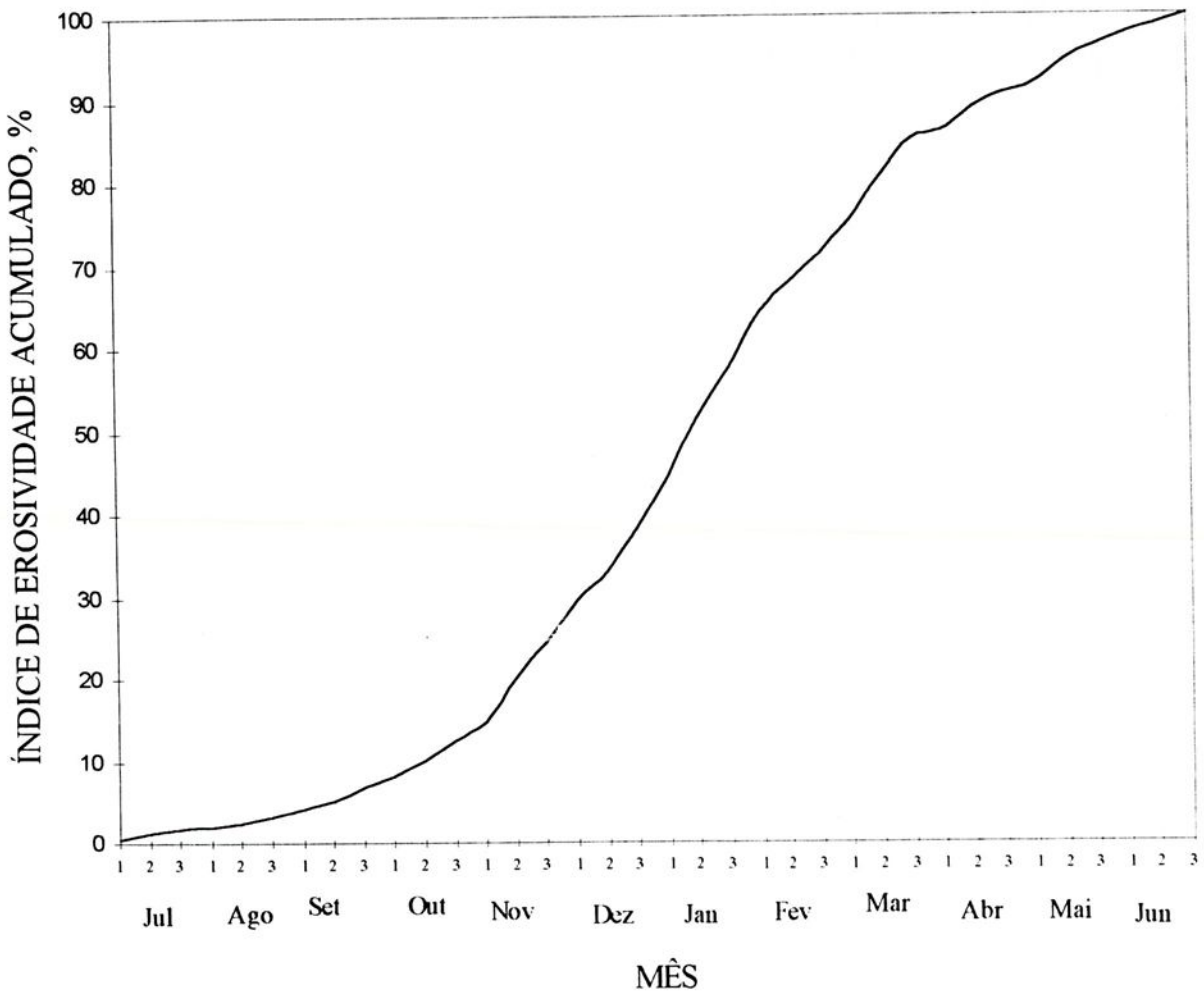

Figura 5. Distribuição decendial do índice de erosividade acumulado do município de Piraju (SP), analisado durante o período de 1975 a1997. Dados em porcentagem.

4. 2. 3. Freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano

O Quadro 6 apresenta a freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano, durante o período de 1975 a 1997. Conforme se observa, o mês de janeiro foi o de maior freqüência de ocorrência da chuva individual mais erosiva do ano, sendo de 8 vezes por mês. Os meses de fevereiro e dezembro apresentaram uma freqüência de 4 vezes para cada um deles. O mês de março apresentou uma freqüência de 3 vezes, sendo os meses de junho e novembro os de menor freqüência, com apenas 2 vezes para cada um.

Quadro 6 - Freqüência da chuva individual mais erosiva do ano, dentro de um mês específico. Análise de 23 anos de registro de dados durante o período de 1975 a 1997 do município de Piraju (SP).

Mês	Freqüência mensal
Janeiro	8
Fevereiro	4
Março	3
Abril	-
Maio	-
Junho	2
Julho	-
Agosto	-
Setembro	-
Outubro	-
Novembro	2
Dezembro	4
Total	23

unesp

4. 3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade

4. 3. 1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade

No Quadro 7 é apresentada a probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinados para o maior índice de erosividade anual observado (12940 MJ.mm/ha.h.ano) foram respectivamente 24,0 anos e 4,17%. Da mesma forma, os valores para o menor índice anual de erosividade observado (3624 MJ.mm/ha.h.ano) foram de 1,04 anos e de 96,15%.

Determinou-se a distribuição de probabilidade de ocorrência, apresentada na Figura 6, a qual foi ajustada através da equação (23) de acordo com indicação de SCHWAB et al. (1981). Os valores dos índices anuais de erosividade, 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 6, ou calculados através da aplicação da equação (23). Assim, por exemplo, observou-se que o período de retorno do fator erosividade da chuva (R) de Piraju foi 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%. Os valores dos índices de erosividade anual, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 6696, 8730, 10076, 11367, 13039 e 14292 MJ.mm/ha.h.ano.

unesp

Quadro 7 - Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os índices anuais de erosividade EI_{30} do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Ano	Índice de erosividade	Número de ordem (m)	Período de[1] retorno (T)	Probabilidade[2] de ocorrência (Pr)
	MJ.mm/ha.h.ano		Anos	%
1983	12940	1	24,00	4,17
1994	11694	2	12,00	8,33
1992	9123	3	8,00	12,50
1995	9071	4	6,00	16,67
1997	8529	5	4,80	20,83
1982	8130	6	4,00	25,00
1978	7716	7	3,43	29,15
1991	7646	8	3,00	33,33
1979	7490	9	2,67	37,45
1989	7376	10	2,40	41,67
1996	7321	11	2,18	45,87
1993	7140	12	2,00	50,00
1977	7071	13	1,85	54,05
1985	6657	14	1,71	58,48
1987	6584	15	1,60	62,50
1988	6013	16	1,50	66,67
1984	5572	17	1,41	70,92
1986	5330	18	1,33	75,19
1976	5213	19	1,26	79,37
1975	4565	20	1,20	83,33
1990	4268	21	1,14	87,72
1980	3636	22	1,09	91,74
1981	3624	23	1,04	96,15
Média	7074	-	-	-
Cv[3]	0,3252	-	-	-

[1] $T = (N+1)/m$.....eq. (21)

[2] $Pr = 100/T$.....eq. (22)

[3] Cv = Coeficiente de variação (valor absoluto)

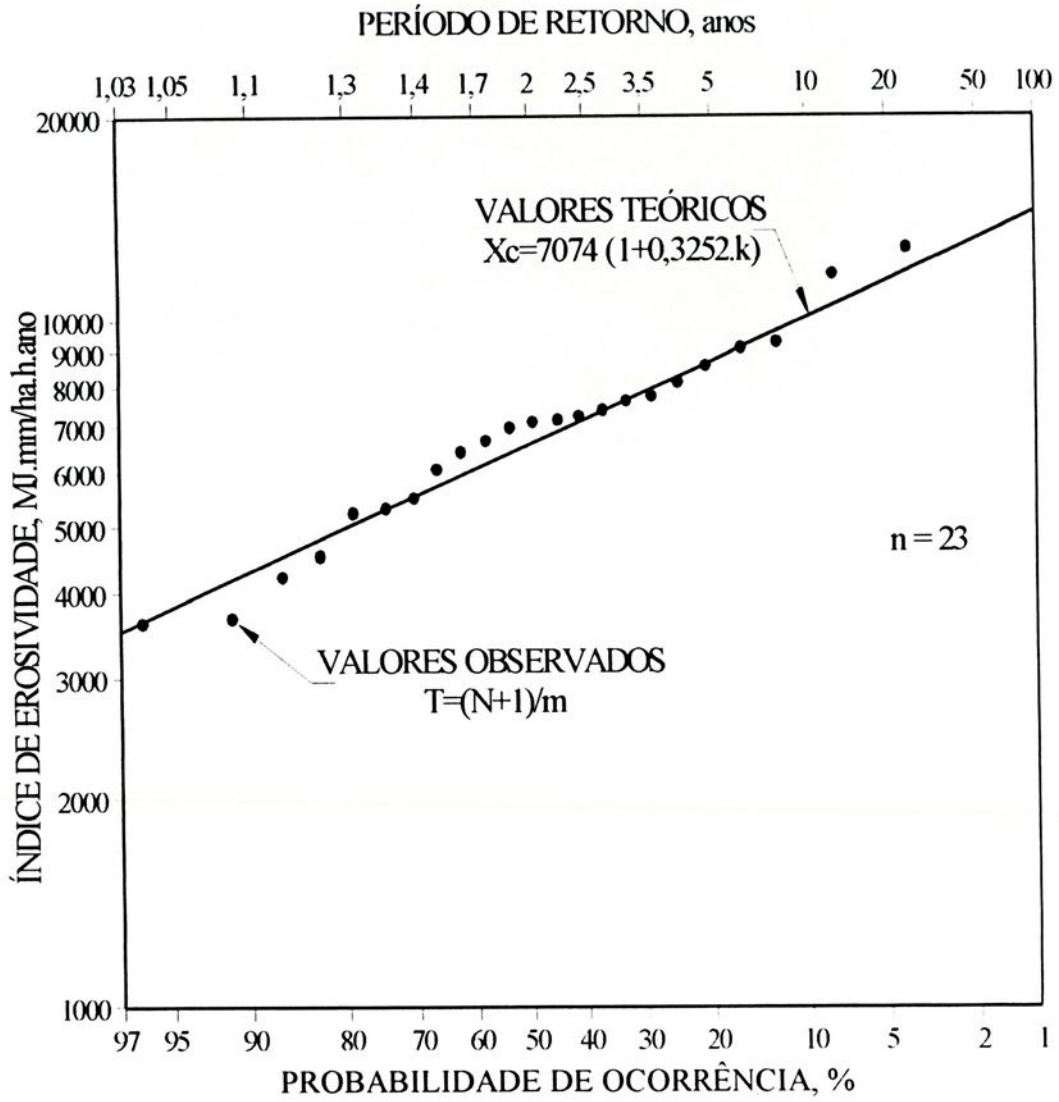

Figura 6 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

4. 3. 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais

No Quadro 8 e na Figura 7 estão, respectivamente, a probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais, e a distribuição de probabilidade dos valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais de Piraju (SP), no período de 1975 a 1997. Dessa forma, em relação ao valor médio (1311 MJ.mm/ha.h.ano) do Quadro 8, foi observado um período de retorno de 2,33 anos, sendo equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92% na Figura 7. Por outro lado, os valores máximos anuais do índice de erosividade estimados para chuvas individuais nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 1194, 1825, 2243, 2644, 3163 e 3551 MJ.mm/ha.h. Tais valores foram determinados através da equação (23).

4. 3. 3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para os meses de maior freqüência da chuva individual mais erosiva do ano

Os Quadros de 9 a 12 apresentam os valores da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos dos índices de erosividade para chuvas individuais, respectivamente dos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro, analisados para Piraju durante o período de 1975 a 1997. As Figuras de 8 a 11 apresentam a curva de distribuição da probabilidade de ocorrência dos valores máximos dos índices de erosividade para chuvas

unesp

Quadro 8 - Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os valores máximos anuais dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Data	Índice de erosividade	Número de ordem (m)	Período de[1] retorno (T)	Probabilidade[2] de ocorrência (Pr)
	MJ.mm/ha.h		Anos	%
17/11/97	3256	1	24,00	4,17
16/01/83	2647	2	12,00	8,33
12/03/79	2217	3	8,00	12,50
31/03/95	2085	4	6,00	16,67
21/02/78	1998	5	4,80	20,83
11/01/89	1680	6	4,00	25,00
06/01/85	1570	7	3,43	29,15
30/03/92	1555	8	3,00	33,33
07/02/77	1373	9	2,67	37,45
27/01/94	1232	10	2,40	41,67
08/12/86	1033	11	2,18	45,87
25/06/82	1025	12	2,00	50,00
21/01/80	973	13	1,85	54,05
19/01/93	936	14	1,71	58,48
26/12/96	832	15	1,60	62,50
05/06/76	799	16	1,50	66,67
02/01/87	794	17	1,41	70,92
04/02/75	771	18	1,33	75,19
19/12/91	766	19	1,26	79,37
20/01/84	743	20	1,20	83,33
07/12/81	650	21	1,14	87,72
19/02/88	627	22	1,09	91,74
21/11/90	601	23	1,04	96,15
Média	1311	-	-	-
Cv[3]	0,5447	-	-	-

[1] $T = (N+1)/m$.....eq. (21)

[2] $Pr = 100/T$.....eq. (22)

[3] Cv = Coeficiente de variação (valor absoluto)

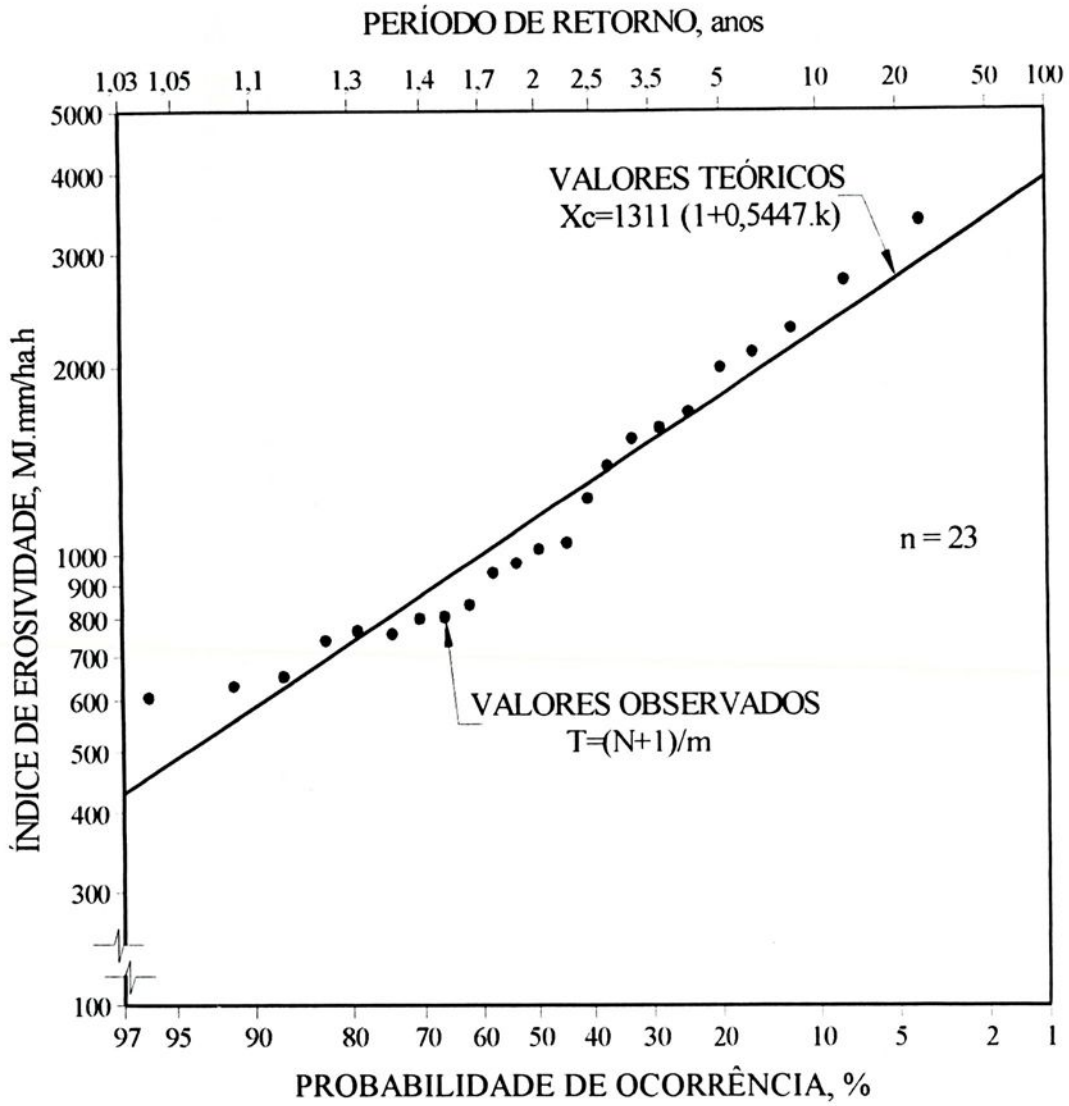

Figura 7 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Quadro 9 - Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os valores máximos dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do mês de janeiro do município de Paraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Data da Chuva	Índice de erosividade	Número de ordem (m)	Período de retorno (T) [1]	Probabilidade de ocorrência (Pr) [2]
	MJ.mm/ha.h		Anos	%
16/01/83	2647	1	24,00	4,17
11/01/89	1680	2	12,00	8,33
16/01/85	1570	3	8,00	12,50
27/01/94	1232	4	6,00	16,67
21/01/78	1218	5	4,80	20,83
21/01/80	973	6	4,00	25,00
19/01/93	936	7	3,43	29,15
22/01/82	934	8	3,00	33,33
02/01/87	794	9	2,67	37,45
20/01/84	743	10	2,40	41,67
04/01/95	739	11	2,18	45,87
24/01/97	607	12	2,00	50,00
14/01/91	475	13	1,85	54,05
05/01/90	464	14	1,71	58,48
07/01/96	359	15	1,60	62,50
10/01/86	331	16	1,50	66,67
04/01/88	296	17	1,41	70,92
18/01/81	244	18	1,33	75,19
06/01/79	162	19	1,26	79,37
04/01/77	157	20	1,20	83,33
15/01/75	96	21	1,14	87,72
02/01/76	82	22	1,09	91,74
31/01/92	53	23	1,04	96,15
Média	730	-	-	-
Cv[3]	0,8625	-	-	-

[1] $T = (N+1)/m$.....eq. (21)

[2] $Pr = 100/T$.....eq. (22)

[3] Cv = Coeficiente de variação (valor absoluto)

Quadro 10 - Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os valores máximos dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do mês de fevereiro município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Data da Chuva	Índice de erosividade	Número de ordem (m)	Período de retorno (T) [1]	Probabilidade de ocorrência (Pr) [2]
	MJ.mm/ha.h		Anos	%
21/02/78	1998	1	24,00	4,17
07/02/77	1373	2	12,00	8,33
03/02/94	965	3	8,00	12,50
10/02/79	938	4	6,00	16,67
04/02/75	771	5	4,80	20,83
05/02/82	647	6	4,00	25,00
18/02/83	642	7	3,43	29,15
19/02/88	627	8	3,00	33,33
11/02/97	530	9	2,67	37,45
09/02/87	375	10	2,40	41,67
10/02/93	370	11	2,18	45,87
25/02/89	362	12	2,00	50,00
07/02/91	279	13	1,85	54,05
03/02/85	277	14	1,71	58,48
06/02/90	241	15	1,60	62,50
25/02/86	190	16	1,50	66,67
14/02/95	175	17	1,41	70,92
01/02/80	137	18	1,33	75,19
28/02/96	101	19	1,26	79,37
21/02/81	51	20	1,20	83,33
22/02/92	50	21	1,14	87,72
07/02/76	36	22	1,09	91,74
22/02/84	35	23	1,04	96,15
Média	486	-	-	-
Cv[3]	0,9902	-	-	-

[1] $T = (N+1)/m$.....eq. (21)

[2] $Pr = 100/T$.....eq. (22)

[3] Cv= Coeficiente de variação (valor absoluto)

Quadro 11 - Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os valores máximos dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do mês de março do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Data da Chuva	Índice de erosividade	Número de ordem (m)	Período de retorno [1] (T)	Probabilidade de ocorrência [2] (Pr)
	MJ.mm/ha.h		Anos	%
02/03/79	2217	1	24,00	4,17
31/03/95	2085	2	12,00	8,33
30/03/92	1555	3	8,00	12,50
20/03/77	1258	4	6,00	16,67
19/03/96	552	5	4,80	20,83
17/03/85	527	6	4,00	25,00
11/03/82	511	7	3,43	29,15
15/03/80	416	8	3,00	33,33
19/03/89	394	9	2,67	37,45
09/03/91	300	10	2,40	41,67
03/03/81	296	11	2,18	45,87
22/03/93	281	12	2,00	50,00
01/03/90	253	13	1,85	54,05
12/03/83	242	14	1,71	58,48
28/03/84	231	15	1,60	62,50
02/03/75	222	16	1,50	66,67
17/03/88	212	17	1,41	70,92
02/03/86	208	18	1,33	75,19
28/03/78	146	19	1,26	79,37
19/03/76	130	20	1,20	83,33
01/03/94	107	21	1,14	87,72
06/03/97	59	22	1,09	91,74
08/03/87	31	23	1,04	96,15
Média	532	-	-	-
Cv[3]	1,1723	-	-	-

[1] $T = (N+1)/m$.....eq. (21)

[2] $Pr = 100/T$.....eq. (22)

[3] Cv = Coeficiente de variação (valor absoluto)

unesp

Quadro 12 - Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com os valores máximos dos índices de erosividade EI_{30} para chuvas individuais do mês de dezembro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Data da Chuva	Índice de erosividade	Número de ordem (m)	Período de [1] retorno (T)	Probabilidade de [2] ocorrência (Pr)
	MJ.mm/ha.h		Anos	%
08/12/86	1033	1	24,00	4,17
26/12/96	832	2	12,00	8,33
01/12/92	807	3	8,00	12,50
19/12/91	766	4	6,00	16,67
04/12/94	751	5	4,80	20,83
09/12/79	651	6	4,00	25,00
16/12/81	650	7	3,43	29,15
21/12/95	568	8	3,00	33,33
24/12/88	480	9	2,67	37,45
25/12/93	384	10	2,40	41,67
12/12/84	378	11	2,18	45,87
25/12/85	315	12	2,00	50,00
08/12/87	298	13	1,85	54,05
31/12/78	292	14	1,71	58,48
12/12/89	258	15	1,60	62,50
21/12/82	252	16	1,50	66,67
01/12/77	163	17	1,41	70,92
13/12/75	147	18	1,33	75,19
01/12/76	144	19	1,26	79,37
12/12/90	118	20	1,20	83,33
30/12/80	114	21	1,14	87,72
18/12/83	103	22	1,09	91,74
-	-	23	1,04	96,15
Média	432	-	-	-
Cv[3]	0,6499	-	-	-

[1] $T = (N+1)/m$.....eq. (21)

[2] $Pr = 100/T$.....eq. (22)

[3] Cv = Coeficiente de variação (valor absoluto)

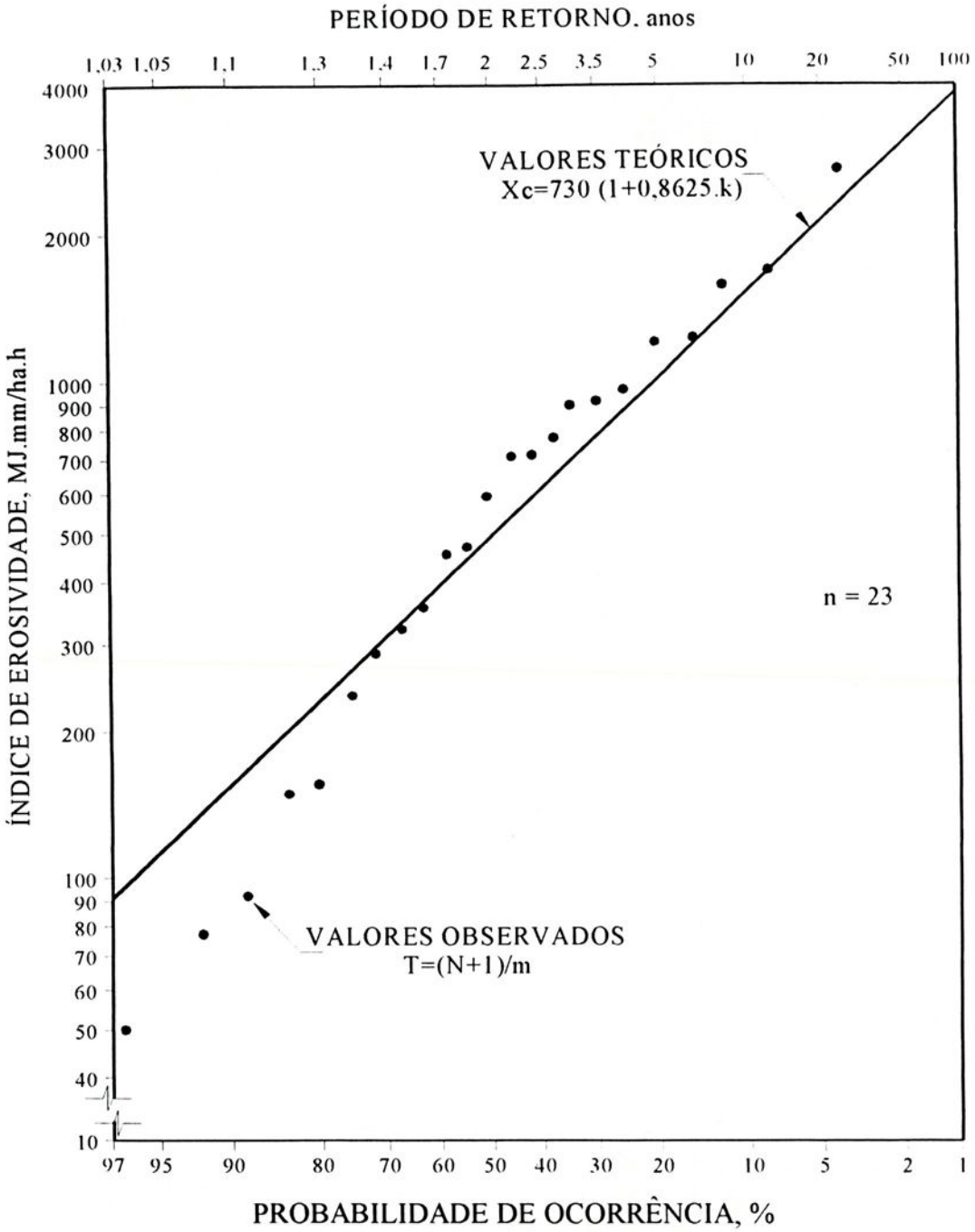

Figura 8 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de janeiro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

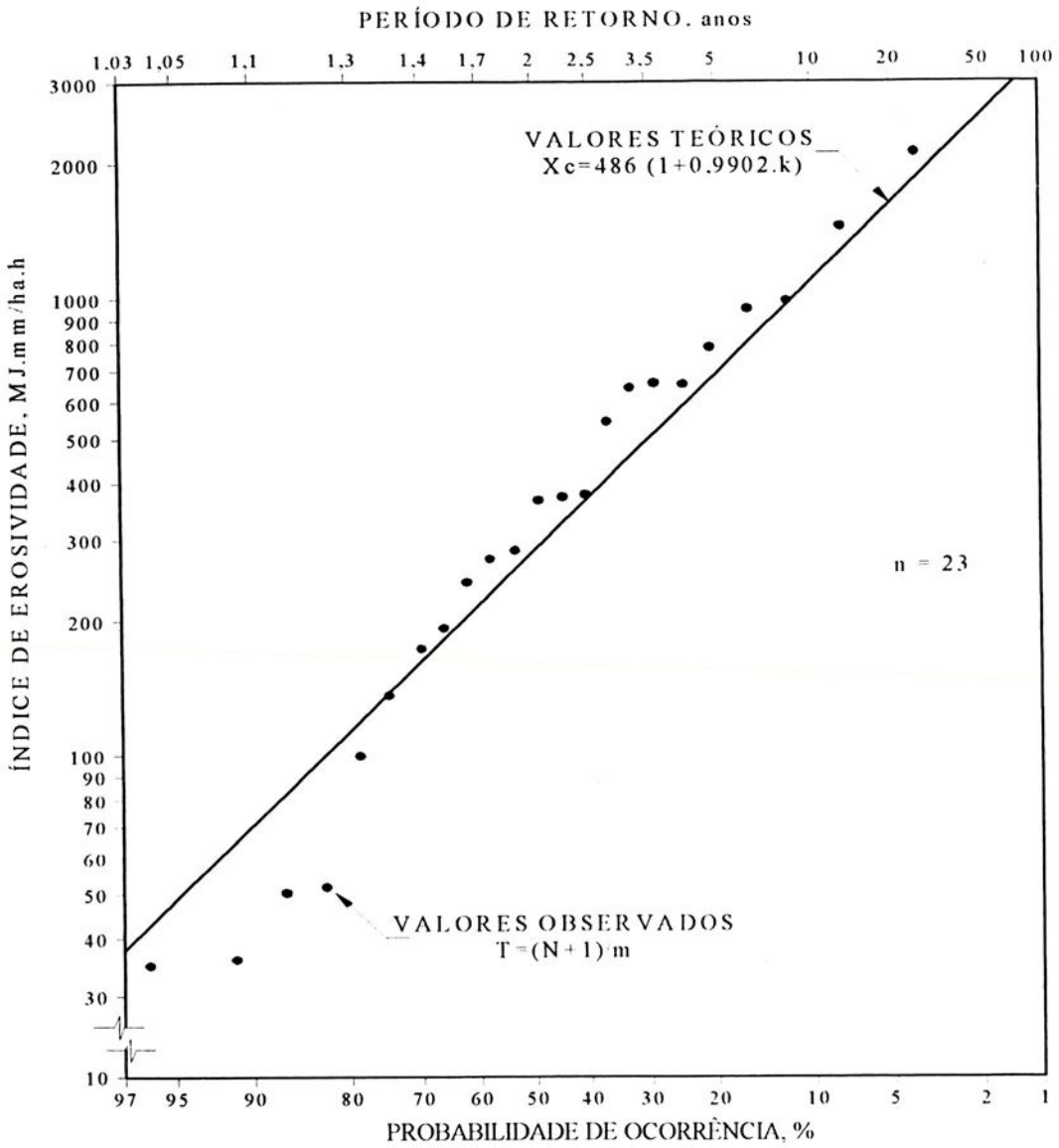

Figura 9 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de fevereiro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

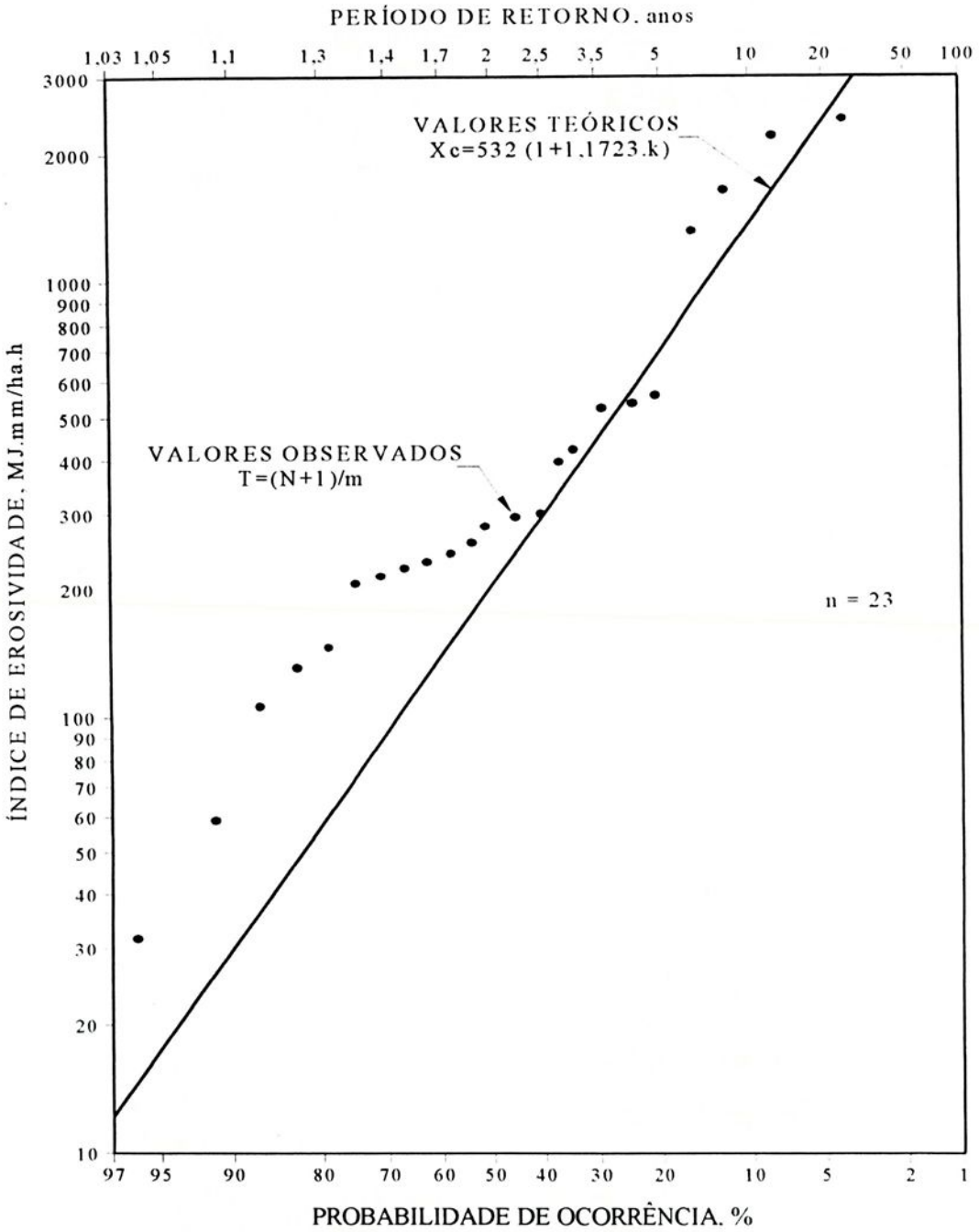

Figura 10 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de março do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

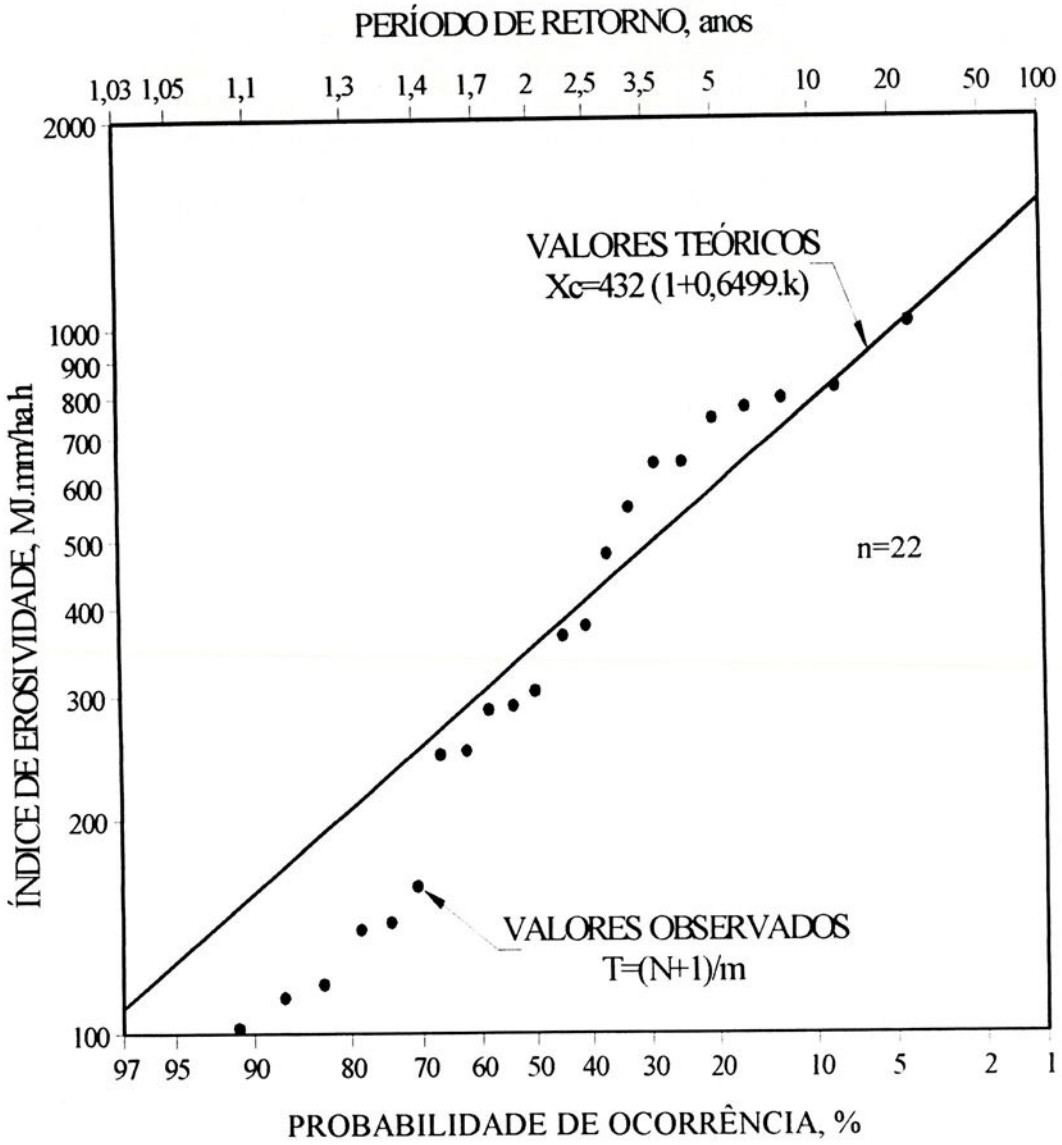

Figura 11 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para chuvas individuais do mês de dezembro do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

individuais, respectivamente para os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro. O Quadro 13 apresenta os máximos índices mensais de erosividade, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para os meses de maior freqüência da chuva individual mais erosiva de Piraju. Tais valores foram determinados através da equação (23).

Quadro 13 - Valores dos máximos índices mensais de erosividade esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, para os meses de maior freqüência da chuva individual mais erosiva do município de Piraju (SP), avaliados de 1975 a 1997.

Período de retorno	Máximos índices de erosividade[1] esperados para os meses de maior freqüência da chuva individual mais erosiva			
(T)	Janeiro	Fevereiro	Março	Dezembro
anos	..... MJ.mm/ha.h			
2	627	407	430	386
5	1183	832	981	634
10	1552	1114	1346	798
20	1905	1383	1696	956
50	2363	1734	2149	1160
100	2705	1996	2489	1313

[1] Calculados através da equação (23)

4. 4. Coeficiente de chuva: correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal.

A correlação entre os valores do índice de erosividade e a precipitação pluviométrica, representada através do coeficiente de chuva, permite simplificar o método de obtenção da erosividade da chuva, uma vez que dispensa os dados de registros pluviográficos. Para uma localidade que apresente a sua distribuição de chuva semelhante ao local onde se determinou essa correlação, pode-se estimar o seu fator R, desde que se disponha de dados pluviométricos locais.

O Quadro 14 apresenta os valores médios mensais e a média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e o índice de erosividade calculado para o período de 1975 a 1997 de Piraju (SP). A Figura 12 apresenta a curva de regressão entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva para Piraju, durante os anos de 1975 a 1997, a qual é estimada por:

$$\mathbf{EI_{30} = 72{,}5488.Rc^{0{,}8488}} \quad r = 0{,}9629 \; (p < 0{,}01) \quad (26)$$

4. 5. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola

4. 5. 1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias

No Quadro 15 é apresentada a probabilidade de ocorrência e o período de retorno das chuvas máximas diárias de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determina-

Quadro 14 – Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e índices de erosividade EI_{30} calculados, obtidos durante os anos de 1975 a 1997 do município de Piraju (SP).

Mês	Precipitação média mensal	Coeficiente de chuva[1] (Rc)	EI_{30} médio mensal calculado
	.....mm.....		MJ.mm/ha.h.ano
Janeiro	195,8	25,85	1368
Fevereiro	184,6	22,98	969
Março	163,8	18,09	986
Abril	85,7	4,95	383
Maio	90,3	5,50	402
Junho	75,3	3,82	260
Julho	54,4	2,00	130
Agosto	50,1	1,69	91
Setembro	102,0	7,02	263
Outubro	128,5	11,14	417
Novembro	147,4	14,65	826
Dezembro	205,0	28,34	979
Total ou média anual	1482,9	-	7074

[1] $Rc = P_m^2/P_a$ .....eq. (5)

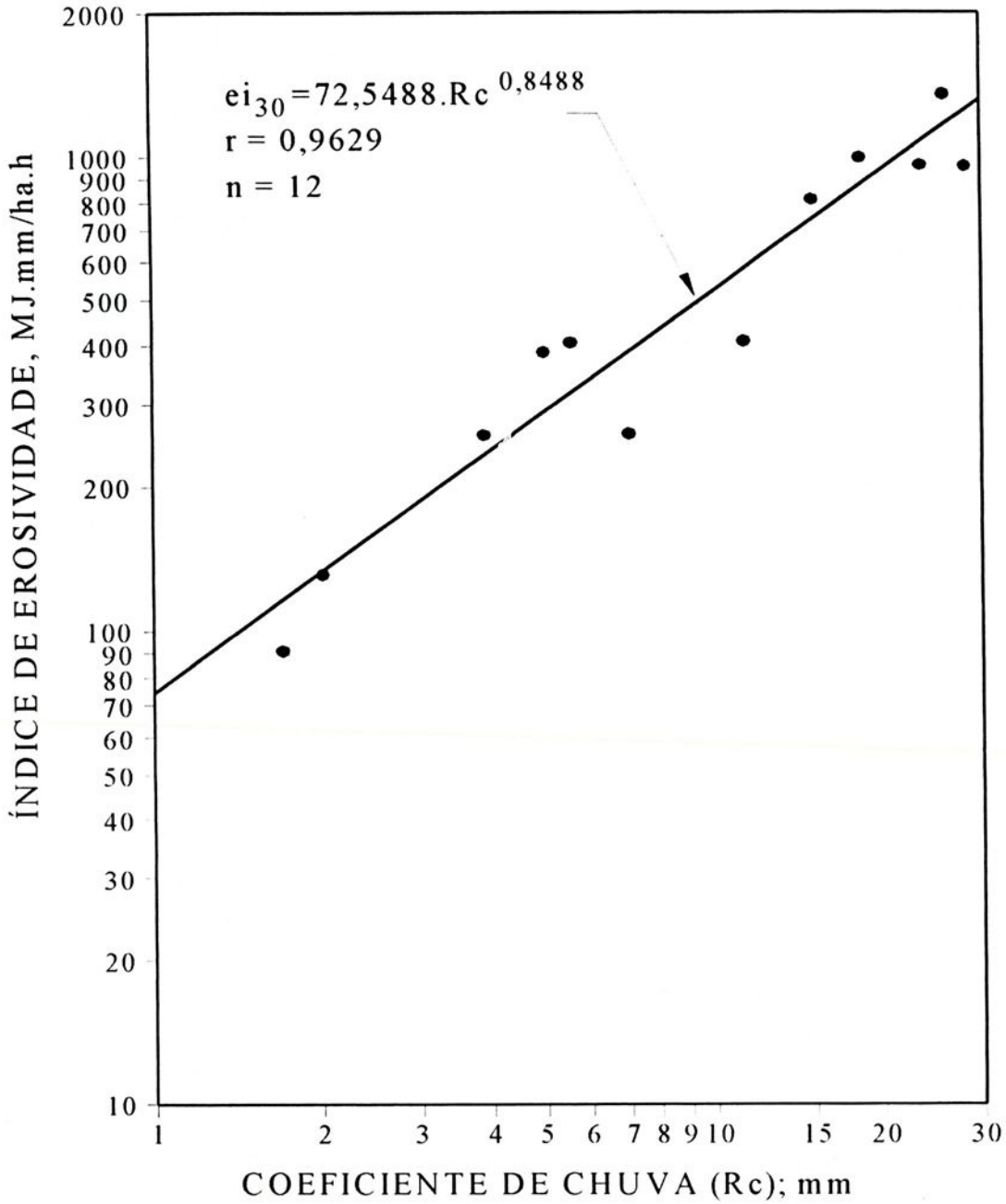

Figura 12 - Curva de regressão entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Quadro 15 - Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e periodo de retorno plotados com as chuvas máximas diárias do município de Piraju (SP), durante o periodo de 1975 a 1997.

Ano	Chuvas Máximas diárias	Número de ordem (m)	Período de retorno [1] (T)	Probabilidade de [2] ocorrência (Pr)
	(mm)		Anos	%
1986	201,1	1	24,00	4,17
1997	168,0	2	12,00	8,33
1985	129,1	3	8,00	12,50
1994	124,3	4	6,00	16,67
1978	121,2	5	4,80	20,83
1983	107,5	6	4,00	25,00
1977	105,8	7	3,43	29,15
1982	102,2	8	3,00	33,33
1995	97,0	9	2,67	37,45
1976	93,6	10	2,40	41,67
1987	91,3	11	2,18	45,87
1975	86,0	12	2,00	50,00
1979	85,1	13	1,85	54,05
1992	75,7	14	1,71	58,48
1991	74,9	15	1,60	62,50
1989	74,9	16	1,50	66,67
1990	70,4	17	1,41	70,92
1988	69,2	18	1,33	75,19
1981	60,8	19	1,26	79,37
1980	59,3	20	1,20	83,33
1993	56,4	21	1,14	87,72
1996	53,6	22	1,09	91,74
1984	44,6	23	1,04	96,15
Média	93,57	-	-	-
Cv[3]	0,3974	-	-	-

[1] $T = (N+1)/m$.....eq. (21)

[2] $Pr = 100/T$.....eq. (22)

[3] Cv = Coeficiente de variação (valor absoluto)

dos para a maior chuva máxima diária observada (201,1 mm), foram respectivamente 24,0 anos e 4,17%. Da mesma forma, os valores para a menor chuva máxima diária observada (56,0 min), foram de 1,04 anos e de 96,15%.

Determinou-se a distribuição de probabilidade de ocorrência, apresentada na Figura 13, a qual foi ajustada através da equação (23) de acordo com indicação de SCHWAB et al. (1981). Os valores das chuvas máximas diárias, 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 13, ou calculadas através da aplicação da equação (23). Assim, por exemplo, observou-se que o período de retorno para o valor médio da chuva máxima diária de Piraju foi de 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%. Também, os valores das chuvas máximas diárias, esperados no período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 87,5, 120,3, 142,1, 163,0, 190,0, e 210,2 mm.

4. 5. 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas da chuva em 15 minutos

No Quadro 16 é apresentada a probabilidade de ocorrência e o período de retorno das máximas intensidades de chuva em 15 minutos de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinados para a maior intensidade de chuva, em 15 minutos observada (120,4 mm/h), foram respectivamente 24,0 anos e 4,17%. Da mesma forma, os valores para a menor

unesp

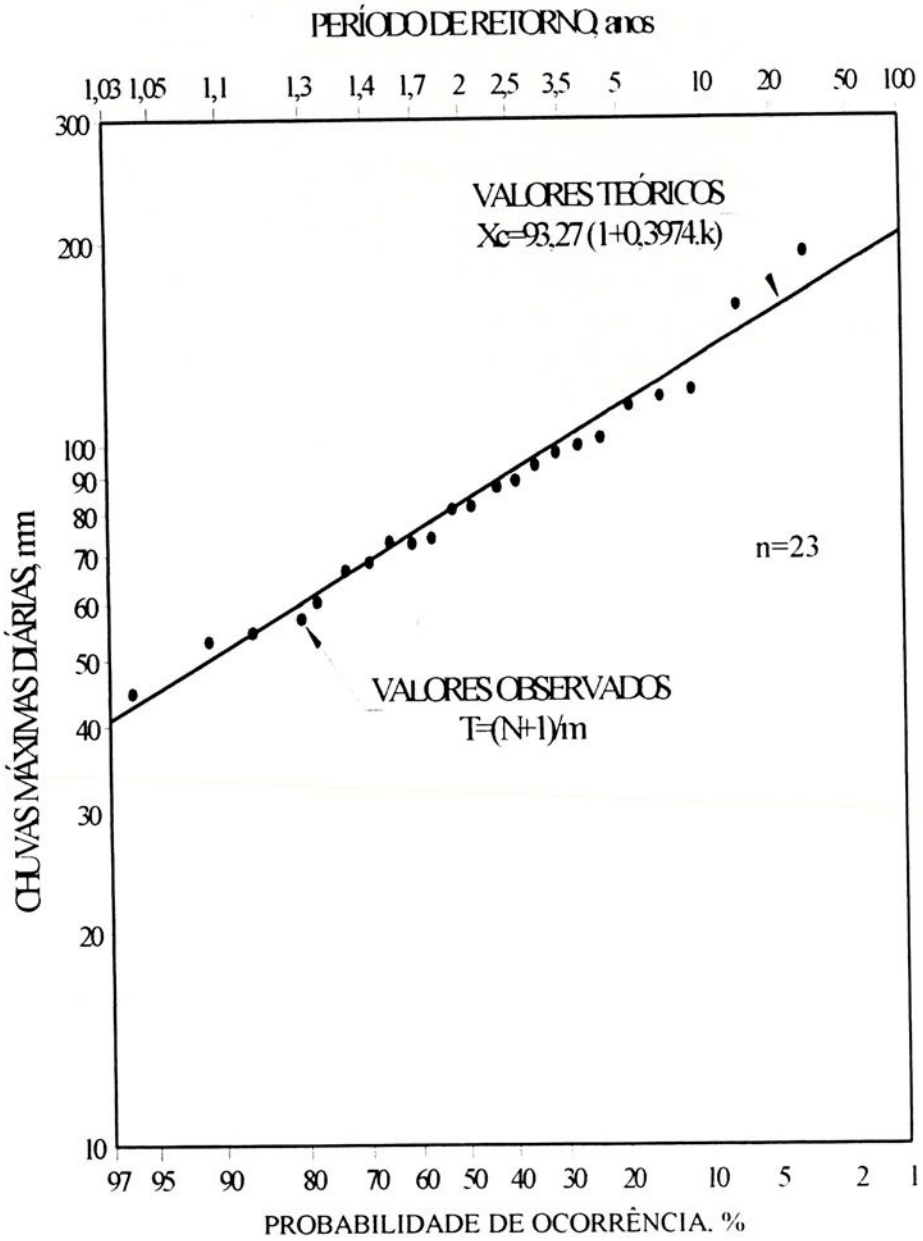

Figura 13 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das chuvas máximas diárias do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Quadro 16 - Cálculo dos valores da probabilidade de ocorrência e período de retorno plotados com as intensidades máximas de chuva em 15 minutos do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Ano	Intensidade de chuva em 15 minutos (I_{15})	Número de ordem	Período de retorno [1]	Probabilidade [2] de ocorrência
	(m)		(T)	(Pr)
	mm/h		Anos	%
1995	120,4	1	24,00	4,17
1979	113,7	2	12,00	8,33
1994	110,7	3	8,00	12,50
1983	109,8	4	6,00	16,67
1996	109,0	5	4,80	20,83
1992	100,8	6	4,00	25,00
1986	100,0	7	3,43	29,15
1989	90,8	8	3,00	33,33
1987	88,6	9	2,67	37,45
1993	88,5	10	2,40	41,67
1978	86,4	11	2,18	45,87
1997	85,6	12	2,00	50,00
1984	85,2	13	1,85	54,05
1990	84,9	14	1,71	58,48
1976	83,6	15	1,60	62,50
1988	82,9	16	1,50	66,67
1980	81,4	17	1,41	70,92
1982	77,4	18	1,33	75,19
1977	72,6	19	1,26	79,37
1991	63,8	20	1,20	83,33
1985	59,0	21	1,14	87,72
1975	56,4	22	1,09	91,74
1981	56,0	23	1,04	96,15
Média	87,28	-	-	-
Cv[3]	0,2096	-	-	-

[1] $T = (N+1)/m$.....eq. (21)

[2] $Pr = 100/T$.....eq. (22)

[3] Cv = Coeficiente de variação (valor absoluto)

intensidade de chuva, em 15 minutos (56,0 mm/h), foram de 1,04 anos e de 96,15%.

Determinou-se a distribuição da probabilidade de ocorrência, apresentada na Figura 14, a qual foi ajustada através da equação (23) de acordo com indicação de SCHWAB et al. (1981). Os valores das intensidades de chuva em 15 minutos, 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 14, ou calculados através da aplicação da equação (23). Assim, por exemplo, observou-se que o período de retorno para o valor médio da intensidade máxima da chuva em 15 minutos de Piraju foi 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%. Também, os valores das intensidades de chuva, em 15 minutos, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 84,3, 100,4, 111,1, 121,4, 134,7 e 144,7 mm/h.

unesp

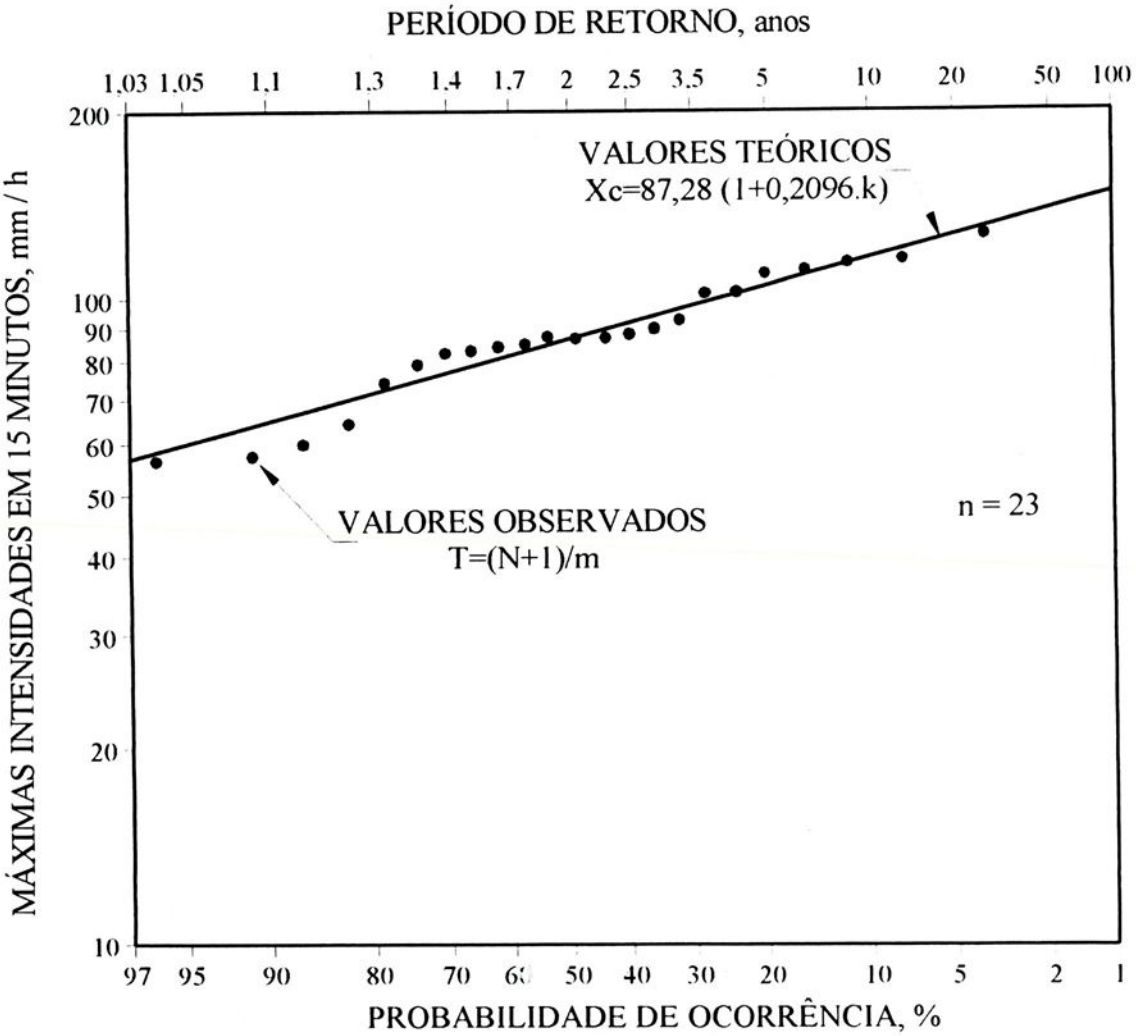

Figura 14 - Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das intensidades máximas de chuva em 15 minutos do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

5. DISCUSSÃO

5. 1. Caracterização da erosividade da chuva

5. 1. 1. Fator erosividade da chuva

O tamanho da amostra de dados pluviográficos de 23 anos utilizado para calcular o fator R de Piraju foi super-estimada, de acordo com a equação (25), relatada em SCHWAB et al. (1981). Isto porque, os tempos mínimos aceitáveis para tal finalidade, com os níveis de significância de 10,0% e de 2,0%, foram respectivamente de 12,1 e 19,2 anos. Desta forma, este fato diferiu do relato de NEWMAN (1970), que preconizou a utilização de uma série parcial de dados climatológicos com pelo menos 22 anos. Diferiu também dos relatos de WISCHMEIER (1959) e WICHMEIER & SMITH (1978), que indicaram o tempo mínimo de 20 anos de dados para a série contínua destinada ao cálculo do fator R. No entanto, ficou de acordo com LOMBARDI NETO (1977), CARVALHO (1987), SOSA (1987), LIMA (1995), CARVALHO et al. (1996, 1997) e COLODRO (1999), os quais relataram tempos menores do que 20 e/ou 22 anos para a série pluviográfica contínua destinada ao cálculo do fator R.

unesp

O fator erosividade da chuva de Piraju, apresentado no Quadro 2 e sendo de 7074 MJ.mm/ha.h.ano, foi superior àqueles de Campinas, Piracicaba e Pindorama, respectivamente calculados por LOMBARDI NETO (1977), PEREIRA (1983) e SOSA (1987). Entretanto, foi inferior aos de Mococa, Bauru e Teodoro Sampaio, respectivamente calculados por CARVALHO (1987), LIMA (1995) e COLODRO (1999). Em relação ao mapa de linhas isoerosivas do Estado de São Paulo, elaborado por LOMBARDI NETO et al.(1980), o valor do fator R de Piraju localizou-se geograficamente próximo a linha de 6377 MJ.mm/ha.h.ano. Portanto, o valor estimado pelo referido mapa para o fator R de Piraju foi 9,9% inferior ao valor estimado por LOMBARDI NETO et al.(1980). No entanto, em relação ao mapa de linhas isoerosivas do Estado do Paraná, o valor do fator R calculado pelo presente estudo localizou-se próximo à linha de 7000 MJ.mm/ha.h.ano, sendo, portanto, apenas 1% superior a este. Portanto, conclui-se, em relação aos referidos mapas de linhas isoerosivas, que a erosividade estimada para o Paraná seria, provavelmente, mais próxima do real que a de São Paulo, atestando os mesmos fatos e conclusões que haviam sido efetuados por COLODRO (1999), para Teodoro Sampaio (SP).

O coeficiente de variação calculado para o fator R de Piraju, extraído do Quadro 7 e tendo a magnitude de 32,5%, foi 3,3% e 5,1% respectivamente menor do que os de Campinas (LOMBARDI NETO, 1977) e Piracicaba (PEREIRA, 1983). No entanto, foi 3,6%, 5,9% e 13,7% respectivamente maior do que os de Teodoro Sampaio (COLODRO, 1999), Mococa (CARVALHO, 1987) e Bauru (LIMA, 1995). O desvio padrão do fator R de Piraju (2301 MJ.mm/ha.h.ano), foi 2,5%, 6,2%, 9,8% e 10,3% respectivamente maior do que os de Campinas (LOMBARDI NETO, 1977), Piracicaba (PEREIRA, 1983), Teodoro Sampaio (COLODRO, 1999) e Mococa (CARVALHO, 1987). O erro padrão da média do fator R de Piraju (481 MJ.mm/ha.h.ano) foi 7,5% menor do que o de Campinas (LOMBARDI NETO,

unesp

1977), idêntico ao de Piracicaba (PEREIRA, 1983), e 1,0% e 1,5% respectivamente, maior do que os de Teodoro Sampaio (COLODRO, 1999) e Mococa (CARVALHO, 1987).

A quantidade de chuva incluída no cálculo do fator R de Piraju (Quadro 3) representou 74,3% da precipitação pluviométrica média anual, sendo esse valor inferior aos encontrados para Teodoro Sampaio e Mococa, que foram respectivamente de 82,4% e 79,0%. No entanto, foi superior ao de Campinas, que foi de 74,0%. Portanto, concluiu-se que o volume médio de chuva não utilizado no cálculo do presente fator R, isto é, o volume de chuvas não erosivas, segundo a aplicação dos critérios de ***chuva individual erosiva*** de WISCHMEIER (1959) e WISCHMEIER & SMITH(1978), que representou a quantia de 25,7%, foi bastante próximo das referidas localidades paulistas. Desse modo, para as condições do Estado de São Paulo, assim como, provavelmente, para as condições brasileiras, a aplicação de tais critérios de erosividade pouparia, em termos médios, 22,6% do trabalho total necessário.

5. 2. Distribuição da precipitação e da erosividade da chuva

5. 2. 1. Distribuição anual, sazonal, mensal e decendial da precipitação e da erosividade da chuva

A distribuição da precipitação pluviométrica anual de Piraju seguiu um padrão semelhante ao unimodal, conforme descrição apresentada por HUDSON (1973). Esse fato se assemelhou com as distribuições de Mococa e de Campinas, respectivamente determinadas por LOMBARDI NETO (1977) e CARVALHO (1987), que apresentaram um padrão com tendência ao tipo unimodal. No entanto, apresentou ligeiro contraste com a distribuição de

Teodoro Sampaio, determinada por COLODRO (1999), a qual apresentou um padrão com tendência ao tipo bimodal. Dessa forma, o valor de 69,1% do total anual de chuva (Quadro 4, Figura 4) que ocorreu no período entre outubro e março foi consideravelmente menor do que as observadas para Mococa e Campinas, que foram respectivamente de 80,1% e 90,7%, e maior do que a observada para Teodoro Sampaio, que foi de 64,8%. Portanto, pôde-se concluir que, para o local estudado, podem-se esperar sérios problemas de erosão do solo no período em que se concentra a maior quantidade das chuvas de elevada intensidade, fato esse que já havia sido constatado para essas mesmas localidades.

Confirmou-se para a localidade de Piraju, a concordância entre as distribuições da erosividade média mensal e da precipitação pluviométrica média mensal (Figura 4), conforme previamente relatado para Campinas, Piracicaba, Mococa e Teodoro Sampaio respectivamente por LOMBARDI NETO (1977), PEREIRA (1983), CARVALHO (1987) e COLODRO (1999). Assim, no semestre de elevado índice de erosividade (outubro-março), a precipitação acompanhou esse fato. Por outro lado, ocorreu também o mesmo no semestre de baixa erosividade (abril-setembro). O fator R de Piraju, quando comparado em ordem decrescente de magnitude em relação aos de Mococa, Teodoro Sampaio, Campinas, Pindorama e Piracicaba, ocupou a posição entre a segunda e a terceira localidades. Assim, tais valores foram de 7747, 7172, 7074, 6667, 6143 e 5729 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Mococa, Teodoro Sampaio, Piraju, Campinas, Pindorama e Piracicaba. Por outro lado, em relação à precipitação pluviométrica, Piraju ocupou a segunda posição no seguinte rol decrescente: Mococa, Piraju, Pindorama, Campinas, Teodoro Sampaio e Piracicaba. As respectivas precipitações médias locais foram de 1584, 1483, 1426, 1349, 1282 e 1259 mm.

A distribuição de 78,5% do total do índice de erosividade (Quadro 2), ocorrida durante o semestre de outubro a março, indicou que nesse período é esperada a maior parte

unesp

das perdas anuais de solo por erosão em Piraju. Em termos absolutos, esse valor ocupou a terceira posição em relação àquelas de Mococa, Teodoro Sampaio, Campinas, Pindorama e Piracicaba, respectivamente determinadas por CARVALHO (1987), LOMBARDI NETO (1977), COLODRO (1999), SOSA (1987) e PEREIRA (1983). Dessa forma, tais valores foram de 6616, 6047, 5545, 5307, 5117 e 4933 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Mococa, Campinas, Piraju, Teodoro Sampaio, Pindorama e Piracicaba. Por outro lado, em termos relativos, esse valor ocupou a penúltima posição no referido rol de localidades. Tais valores foram de 90,7%, 86,1%, 85,4%, 83,3%, 78,5% e 74,0%, respectivamente para Campinas, Piracicaba, Mococa, Pindorama, Piraju e Teodoro Sampaio. Portanto, pôde-se concluir que, tanto em termos absolutos como relativos, são esperadas as maiores perdas de solo por erosão em Campinas e Mococa, quando comparadas àquelas de Piraju e Teodoro Sampaio.

Em relação à maior distribuição da erosividade trimestral (Quadro 2), Piraju apresentou o valor de 46,9% no trimestre dezembro-fevereiro. Assim, tais meses apresentaram os valores decrescentes de erosividade iguais a 13,9%, 19,3% e 13,7%, respectivamente, em dezembro, janeiro e fevereiro. Essa distribuição trimestral de Piraju, quando comparada à de outras localidades do Estado de São Paulo, apresentou-se como a segunda menor. Dessa forma, o rol crescente das maiores distribuições trimestrais foi de 45,7%, 46,9%, 50,6%, 52,5%, 53,9%, 58,0%, 59,0% e 62,5%, respectivamente, para as seguintes localidades: Teodoro Sampaio (COLODRO, 1999), Piraju, Botucatu (CARVALHO et al., 1996), Pindorama (SOSA, 1987), Selvíria (CARVALHO et al., 1997), Piracicaba (PEREIRA, 1983), Mococa (CARVALHO et al., 1989) e Campinas (LOMBARDI NETO, 1977). Em relação ao mês de maior erosividade, Piraju apresentou o valor de 19,3% para janeiro. Este valor ocupou a penúltima colocação, entre as seguintes localidades que também apresentaram o respectivo

unesp

mês como o mais erosivo: Campinas (24,7%), Piracicaba (21,4%), Selvíria (20,1%) e Botucatu (19,0%). Ainda, com relação ao mês de maior erosividade de Piraju (janeiro, 19,3%), este valor, quando comparado àqueles de outras localidades nos quais o mês de maior erosividade foi o de dezembro, situou-se também em penúltimo lugar entre os seguintes locais: Mococa (23,0%), Teodoro Sampaio (22,0%), e Pindorama (18,0%). Por outro lado, em relação ao mês de menor distribuição da erosividade, Piraju apresentou o mês de agosto com 1,3% do total anual, sendo tal valor o segundo maior entre outras localidades paulistas, que foram de 0,2%, 0,4%, 0,5%, 0,6%, 1,1%, 1,2% e 1,7%, respectivamente, para Mococa, Selvíria, Piracicaba, Campinas, Pindorama, Botucatu e Teodoro Sampaio. Em relação aos extremos de distribuição quantitativa decendial, os valores de Piraju foram de 6,9% e 0,1%, enquanto que os extremos de Teodoro Sampaio foram de 9,8% e 0,3%, e os de Campinas de 10,3% e zero.

Em relação ao quadrimestre maio-agosto, período em que de forma geral, para todo o estado, a erosividade da chuva é baixa, Piraju apresentou o valor absoluto de 883 MJ.mm/ha.h.ano, equivalente a 12,5% do fator R local (Quadro 2). Tal valor foi, entre outras localidades paulistas, o segundo maior tanto em termos absolutos como relativos. Assim, a erosividade da chuva desse período em ordem decrescente, comportou-se da seguinte forma: 958, 883, 800, 490, 431, 372, 321 e 294 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Teodoro Sampaio (COLODRO, 1999), Piraju, Botucatu (CARVALHO et al., 1996), Pindorama (SOSA, 1987), Mococa (CARVALHO et al., 1989), Selvíria (CARVALHO et al., 1997), Piracicaba (PEREIRA, 1983) e Campinas (LOMBARDI NETO, 1977). No entanto, no quadrimestre de junho-setembro, a erosividade da chuva de Piraju foi menor ainda, sendo da ordem de 744 MJ.mm/ha.h.ano, equivalente a 10,5% do fator R local. Relativamente às seis últimas localidades, que apresentaram no mencionado quadrimestre as erosividades variando entre 294 e 800 MJ.mm/ha.h.ano, Piraju apresentou uma erosividade superior, da ordem de

unesp

300% e 110%, em relação àquela de Campinas e Botucatu. Em relação a de Teodoro Sampaio, que apresentou no quadrimestre mencionado a erosividade de 958 MJ.mm/ha.h.ano, Piraju apresentou uma erosividade inferior da ordem de 92%. Portanto, considerando-se que os solos do oeste do estado de São Paulo são de elevada erodibilidade, e que, sobretudo em relação à localidade estudada, exista uma elevada erosividade no período de maio a agosto, pode-se concluir que neste local apareçam os maiores problemas de erosão, no período considerado, quando comparados com as localidades de Botucatu, Pindorama, Mococa, Selvíria, Piracicaba e Campinas. No entanto, quando comparada com Teodoro Sampaio, esperam-se menores problemas de erosão.

5. 2. 2. Curva de distribuição do índice de erosividade

A curva de distribuição da erosividade da chuva, apresentada na Figura 5, assim como os dados que a originaram (Quadro 5), fornecem informações de extrema validade para a determinação do fator uso e manejo da cultura (fator C), da equação universal de perda de solo para Piraju (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978; LOMBARDI NETO, 1977; CARVALHO, 1987). Isto porque, para a determinação do referido fator, deve-se obter um termo que seja originado dos somatórios dos produtos entre os seguintes fatores, período por período de desenvolvimento da cultura: 1) razão de perda do solo, considerada no período de desenvolvimento da cultura, e 2) índice de erosividade da chuva desse período (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978). A distribuição da erosividade da chuva de Piraju, quando comparada com as distribuições de Botucatu (CARVALHO et al., 1996), Pindorama (SOSA, 1987), Selvíria (CARVALHO et al., 1997), Mococa (CARVALHO, 1987), Piracicaba (PEREIRA, 1983) e Campinas (LOMBARDI NETO, 1977) manifestou-se de forma mais

regular, resultando no fato de que a curva de distribuição do índice de erosividade do local estudado (Figura 5) comportou-se de forma menos inclinada, ao longo do ano, do que todas as referidas localidades. Entretanto, quando comparada com a distribuição de Teodoro Sampaio (COLODRO, 1999), manifestou-se de forma mais inclinada. Essas observações também puderam ser constatadas através da distribuição relativa da erosividade da chuva (Quadro 5) durante o período entre outubro a março. Como já discutido previamente, nesse período, ocorreu em Piraju a quantia de 78,5% do fator R, enquanto que para Teodoro Sampaio, Botucatu, Pindorama, Selvíria, Mococa, Piracicaba e Campinas foram observadas as respectivas quantias de 74,0%, 80,4%, 83,3%, 84,2%, 85,4%, 86,1% e 90,7%. Portanto, num período em que, em termos de proteção, o solo se encontra extremamente vulnerável à erosão, pode-se concluir que em Piraju poderá ocorrer a menor perda de solo entre as seguintes localidades analisadas: Botucatu, Pindorama, Selvíria, Mococa, Piracicaba e Campinas. Contudo, em relação a Teodoro Sampaio, a referida perda será maior.

5. 2. 3. Freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano

A análise do Quadro 6 reforçou a conclusão de que no período de outubro-março a erosividade da chuva é extremamente crítica para Piraju. Isto porque, além da referida época ser aquela em que a probabilidade de ocorrência de erosão atinge seus mais altos níveis, também é aquela de maior freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano. Pôde-se observar que ocorreram 21 chuvas individuais mais erosivas do ano, representando assim 91% do total. Comportamentos semelhantes foram observados para Mococa e Campinas, onde houve as quantias respectivas de 89,5% e 95,5% de chuvas neste período, conforme relatado respectivamente por CARVALHO (1987) e LOMBARDI NETO (1977). Por outro lado, o

unesp

presente trabalho concordou parcialmente com os dados de Pindorama e Teodoro Sampaio, onde ocorreram todas essas chuvas neste período, conforme obtido respectivamente por SOSA (1988) e COLODRO (1999).

O mês de janeiro apresentou a maior freqüência mensal da chuva individual mais erosiva do ano para Piraju, sendo observadas 8 delas neste mês. Assim, este fato ficou de acordo com os dados coletados por LOMBARDI NETO (1977) para Campinas, onde o mês de janeiro apresentou-se como de maior freqüência (7 vezes). Já para Mococa, CARVALHO (1987) observou que o mês de maior freqüência foi o de dezembro, com 6 vezes, enquanto que SOSA (1987) e COLODRO (1999) observaram respectivamente para Pindorama e Teodoro Sampaio, que os meses de dezembro e março foram os de maior freqüência, com 6 eventos.

5.3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices de erosividade.

5. 3. 1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade.

A curva de distribuição de probabilidade dos valores dos índices anuais de erosividade de Piraju (Figura 6) seguiu o padrão log-normal típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de WISCHMEIER (1959), corroborado por LOMBARDI NETO (1977), CARVALHO (1987), SOSA (1987), LIMA (1995), CARVALHO et al. (1996, 1997) e COLODRO (1999). Os valores dos índices anuais de erosividade de Piraju, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, no geral variaram entre aqueles de outras localidades do Estado de São Paulo, para as quais houve também o mesmo estudo. Em relação a tais localidades, foi observado o seguinte: a) para o período de retorno de 2 anos os valores foram de 5668, 6368, 6563, 6696, 6831, 7247 e 7355 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para

Pindorama (SOSA, 1987), Campinas (LOMBARDI NETO, 1977), Selvíria (CARVALHO et al., 1997), Piraju, Teodoro Sampaio (COLODRO, 1999), Botucatu (CARVALHO et al., 1996) e Mococa (CARVALHO, 1987); b) para o período de retorno de 5 anos, os valores foram de 7451, 8238, 8438, 8511, 8666, 8730 e 9145 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Pindorama, Campinas, Botucatu, Teodoro Sampaio, Piraju e Mococa; c) para o período de retorno de 10 anos, os valores foram de 8039, 9226, 9930, 9877, 9941, 10076 e 10331 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Botucatu, Campinas, Teodoro Sampaio, Pindorama, Piraju e Mococa; d) para o período de retorno de 20 anos, os valores foram de 8603, 9982, 11046, 11290, 11367, 11468 e 11573 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Botucatu, Teodoro Sampaio, Campinas, Piraju, Mococa e Pindorama; e) para o período de retorno de 50 anos, os valores foram de 9334, 10961, 12546, 12940, 13039, 13052 e 13687 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Botucatu, Teodoro Sampaio, Mococa, Piraju, Campinas e Pindorama, e f) para o período de retorno de 100 anos, os valores foram de 9881, 11695, 13675, 14043, 14292, 14372 e 15270 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente, para Selvíria, Botucatu, Teodoro Sampaio, Mococa, Piraju, Campinas e Pindorama.

De acordo com o Quadro 7, o maior valor do índice anual de erosividade observado para Piraju (12940 MJ.mm/ha.h.ano) apresentou um período de retorno de 24,0 anos, equivalente a uma probabilidade de retorno de 4,17%. Portanto, é esperado ocorrer neste local, com uma probabilidade de 4,17% , um valor do índice anual de erosividade igual ou superior a 12940 MJ.mm/ha.h.ano pelo menos uma vez a cada 24,00 anos. Da mesma forma, para o menor índice anual de erosividade, que apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de 96,15%, espera-se que ocorra, com uma probabilidade de 96,15% , um valor do índice anual de erosividade igual ou superior a 3624

unesp

MJ.mm/ha.h.ano pelo menos uma vez a cada 1,04 anos.

O fator R de Piraju (Quadros 2 e 7) apresentou um período de retorno de 2,33 anos. Esse valor foi muito próximo daqueles obtidos para os fatores R de Campinas (2,1 anos), Piracicaba (2,1 anos), Pindorama (2,1 anos), Mococa (2,4 anos), Bauru (2,3 anos), Botucatu (2,3 anos), Selvíria (2,3 anos) e Teodoro Sampaio (2,3 anos), respectivamente, determinados por LOMBARDI NETO (1977), PEREIRA (1983), SOSA (1987), CARVALHO (1987), LIMA (1995), CARVALHO et al. (1996, 1997) e COLODRO (1999). Portanto, pôde-se concluir que é possível ocorrer para o local estudado, com uma probabilidade de 42,92%, um valor anual do índice de erosividade igual ou superior ao fator R calculado (7074 MJ.mm/ha.h.ano), pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.

5. 3. 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 de Piraju (Figura 7) também seguiu o padrão log-normal, típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de WISCHMEIER (1959), confirmado por LOMBARDI NETO (1977), CARVALHO (1987), SOSA (1987), CARVALHO et al. (1996, 1997) e COLODRO (1999). Os valores máximos anuais dos índices de erosividade para chuvas individuais de Piraju, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram, entre outras localidades paulistas, os maiores do que os de Mococa, Pindorama e Campinas. No entanto, tais valores foram menores do que aqueles de Teodoro Sampaio. Em relação a tais localidades, foi observado o seguinte: a) para o período de retorno de 2 anos, os valores foram de 862, 912, 1033, 1194 e 1223 MJ.mm/ha.h.,

cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18

respectivamente, para Mococa (CARVALHO, 1987); Pindorama (SOSA, 1987), Campinas (LOMBARDI NETO, 1977), Piraju, e Teodoro Sampaio (COLODRO, 1999); b) para o período de retorno de 5 anos, os valores foram de 1210, 1462, 1476, 1825 e 1853 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Pindorama, Campinas, Piraju e Teodoro Sampaio; c) para o período de retorno de 10 anos, os valores foram de 1441, 1769, 1826, 2243 e 2274 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Campinas, Pindorama, Piraju e Teodoro Sampaio; d) para o período de retorno de 20 anos, os valores foram de 1663, 2051, 2175, 2644 e 2675 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Campinas, Pindorama, Piraju e Teodoro Sampaio; e) para o período de retorno de 50 anos, os valores foram de 1949, 2415, 2627, 3163 e 3195 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Campinas, Pindorama, Piraju e Teodoro Sampaio, e f) para o período de retorno de 100 anos, os valores foram de 2164, 2688, 2966, 3551 e 3585 MJ.mm/ha.h, respectivamente, para Mococa, Campinas, Pindorama, Piraju e Teodoro Sampaio. Portanto, pode-se concluir que, entre todas as localidades comparadas, são esperados os maiores problemas de perda de solo por erosão em Teodoro Sampaio e Piraju, em todos os períodos de retorno considerados, uma vez que os índices de erosividade estimados foram os maiores.

De acordo com o Quadro 8, o maior dos valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais observado para Piraju (3256 MJ.mm/ha.h) apresentou um período de retorno de 24,00 anos, equivalente a uma probabilidade de 4,17%. Portanto, é esperado ocorrer neste local, com uma probabilidade de 4,17% , um valor do índice anual de erosividade dos valores máximos anuais para chuvas individuais, igual ou superior a 3256 MJ.mm/ha.h pelo menos uma vez a cada 24,00 anos. Da mesma forma, para o menor dos valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais, que apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 96,15%,

unesp

espera-se que ocorra, com uma probabilidade de 96,15%, um valor do índice anual de erosividade dos valores máximos anuais para chuvas individuais igual ou superior a 585 MJ.mm/ha.h pelo menos uma vez a cada 1,04 anos. Para o valor médio dos valores máximos anuais de erosividade para chuvas individuais, que apresentou um período de retorno de 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de 42,92% espera-se que ocorra, com uma probabilidade de 42,92%, um valor do índice anual de erosividade dos valores máximos anuais para chuvas individuais igual ou superior a 1311 MJ.mm/ha.h pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.

5. 3. 3. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade para os meses de maior freqüência da chuva individual mais erosiva do ano

A análise do Quadro 13 revelou que o mês de janeiro apresentou os maiores valores dos máximos índices mensais de erosividade para chuvas individuais, em todos os períodos de retorno analisados. Em contrapartida, o mês de dezembro apresentou os menores. Portanto, pode-se concluir que o mês de janeiro, período no qual são esperados os máximos índices de erosividade para chuvas individuais nos meses de maior freqüência, esperam-se em Piraju chuvas individuais de 627, 1183, 1552, 1905, 2363 e 2705 MJ.mm/ha.h, respectivamente, pelo menos uma vez a cada 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

5. 4. Coeficiente de chuva: correlação com o índice de erosividade EI_{30} médio mensal

Para Piraju foi observado existir uma elevada correlação entre o índice de

erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva. O modelo matemático que apresentou a melhor correlação foi o potencial (r = 0,9629), de acordo com a equação (26), corroborando com os dados de Campinas, Piracicaba, Pindorama, Mococa, Barranquinho e Flechas, respectivamente observados por LOMBARDI NETO (1977), PEREIRA (1983), SOSA (1987), CARVALHO et al. (1991b) e MORAIS et al. (1991). Por outro lado, contrastou com os dados de Lages (SC), Campos Novos (SC) e Teodoro Sampaio (SP), respectivamente observados por BERTOL (1993, 1994) e COLODRO (1999), cujo modelo de maior correlação foi o do tipo linear. Portanto, concluiu-se que, para um local desprovido de dados pluviográficos, mas que apresente distribuição pluviométrica média mensal semelhante à de Piraju, pode-se estimar o seu fator R, com elevada segurança, através da referida equação (26) do presente estudo.

Aplicando-se as equações (6), (7), (8), (9), (10), (11) e (14), respectivamente obtidas para as localidades de Campinas, Piracicaba, Pindorama, Mococa, Barranquinho, Flechas e Teodoro Sampaio aos dados de coeficiente de chuva de Piraju (Quadro 14), observaram-se estimativas para o fator R local de 6509, 6135, 6079, 7009, 7140, 6837 e 8136 MJ.mm/ha.h.ano. Uma vez que o fator R de Piraju e o seu erro padrão da média foram respectivamente de 7074 e 480 MJ.mm/ha.h.ano, concluiu-se que, das referidas equações, somente aquelas de Mococa, Barranquinho e Flechas podem ser utilizadas para estimativa do fator R local. Isto porque, as diferenças entre os fatores R de Piraju, estimados através das referidas equações, e o fator R calculado pelo presente estudo, evidenciaram valores menores do que o erro padrão da média de Piraju. Por outro lado, aplicando-se a equação (26), obtida pelo presente estudo, aos dados de coeficiente de chuva de Mococa, Pindorama e Teodoro Sampaio foram estimados, respectivamente para cada localidade, os fatores R de, 8558, 6969 e 6142 MJ.mm/ha.h.ano. Uma vez que o fator R calculado e o respectivo erro padrão da média

unesp

foram de 7747 e 474 MJ.mm/ha.h.ano, 6143 e 727 MJ.mm/ha.h.ano e 7172 e 476 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente para Mococa, Pindorama e Teodoro Sampaio, pòde-se concluir que a equação do coeficiente de chuva de Piraju não pode ser utilizada para a estimativa dos fatores R das referidas localidades.

5. 5. Eventos máximos utilizados no dimensionamento do canal do terraço agrícola

5. 5. 1. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das chuvas máximas diárias

A curva de distribuição da probabilidade de ocorrênicia das chuvas máximas diárias de Piraju (Figura 13) também seguiu o padrão log-normal típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de WISCHMEIER (1959). Os valores das chuvas máximas diárias, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 87,5, 120,3, 142,1, 163,0, 190,0, e 210,2 mm.

De acordo com o Quadro 15, o maior valor das chuvas máximas diárias observado para Piraju (201,1 mm) apresentou um período de retorno de 24,00 anos, equivalente a uma probabilidade de 4,17%. Portanto, é esperado ocorrer neste local, com uma probabilidade de 4,17%, uma chuva máxima diária igual ou superior a 201,1 mm pelo menos uma vez a cada 24,00 anos. Da mesma forma, o menor valor das chuvas máximas diárias apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de retorno de 96,15%. Portanto, espera-se que ocorra, com uma probabilidade de 96,15%, uma chuva máxima diária igual ou superior a 44,6 mm pelo menos uma vez a cada 1,04 anos. Para o valor médio das chuvas máximas diárias, que apresentou um período de retorno de 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de 42,92% espera-se que ocorra, com uma probabilidade de

unesp

42,92%, um valor da chuva máxima diária igual ou superior a 93,6 mm pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.

5. 5. 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas da chuva em 15 minutos

A curva de distribuição da probabilidade de ocorrência das intensidades máximas de chuva em 15 minutos de Piraju (Figura 14) também seguiu o padrão log-normal típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de WISCHMEIER (1959). Os valores das intensidades máximas de chuva em 15 minutos, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente 84,3, 100,4, 111,4, 121,4, 134,7, e 144,7 mm/h.

De acordo com o Quadro 16, o maior valor das intensidades máximas da chuva em 15 minutos observado para Piraju (120,4 mm/h) apresentou um período de retorno de 24,00 anos, equivalente a uma probabilidade de 4,17%. Portanto, é esperado ocorrer neste local, com uma probabilidade de 4,17% , uma intensidade máxima da chuva em 15 minutos igual ou superior a 120,4 mm/h pelo menos uma vez a cada 24,00 anos. Da mesma forma, o menor valor das intensidades máximas da chuva em 15 minutos apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de retorno de 96,15%. Portanto, é esperado que ocorra com uma probabilidade de 96,15%, uma intensidade máxima da chuva em 15 minutos igual ou superior a 56,0 mm/h pelo menos uma vez a cada 1,04 anos. Para o valor médio das intensidades máximas da chuva em 15 minutos, que apresentou um período de retorno de 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de 42,92%, pode-se esperar que ocorra, com uma probabilidade de 42,92%, um valor da intensidade máxima da chuva em 15 minutos igual ou superior a 87,3 mm/h pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.

unesp

42,92%, um valor da chuva máxima diária igual ou superior a 93,6 mm pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.

5. 5. 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno das intensidades máximas da chuva em 15 minutos

A curva de distribuição da probabilidade de ocorrência das intensidades máximas de chuva em 15 minutos de Piraju (Figura 14) também seguiu o padrão log-normal típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de WISCHMEIER (1959). Os valores das intensidades máximas de chuva em 15 minutos, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente 84,3, 100,4, 111,4, 121,4, 134,7, e 144,7 mm/h.

De acordo com o Quadro 16, o maior valor das intensidades máximas da chuva em 15 minutos observado para Piraju (120,4 mm/h) apresentou um período de retorno de 24,00 anos, equivalente a uma probabilidade de 4,17%. Portanto, é esperado ocorrer neste local, com uma probabilidade de 4,17% , uma intensidade máxima da chuva em 15 minutos igual ou superior a 120,4 mm/h pelo menos uma vez a cada 24,00 anos. Da mesma forma, o menor valor das intensidades máximas da chuva em 15 minutos apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de retorno de 96,15%. Portanto, é esperado que ocorra com uma probabilidade de 96,15%, uma intensidade máxima da chuva em 15 minutos igual ou superior a 56,0 mm/h pelo menos uma vez a cada 1,04 anos. Para o valor médio das intensidades máximas da chuva em 15 minutos, que apresentou um período de retorno de 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de 42,92%, pode-se esperar que ocorra, com uma probabilidade de 42,92%, um valor da intensidade máxima da chuva em 15 minutos igual ou superior a 87,3 mm/h pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.

unesp

6. CONCLUSÕES

Dentro das condições propostas no presente trabalho e em função dos resultados analisados e interpretados para o município de Piraju (SP), estabelecem-se as seguintes conclusões:

1. O fator erosividade da chuva, calculado através do índice EI_{30}, foi de 7074 MJ.mm/ha.h.ano. Este fator, que possui uma probabilidade de ocorrência de 42,92%, pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,33 anos. Portanto, nos cálculos pertinentes a engenharia da conservação do solo e da água, visando-se solucionar problemas específicos de ordem econômica e ecológica, podem ser utilizados fatores de erosividade da chuva mais consistentes, com períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente iguais a 8730, 10076, 11367, 13039 e 14292 MJ.mm/ha.h.ano;

unesp

2. O risco de ocorrência de erosão atinge o mais alto nível, no semestre de outubro a março. Impõe-se, portanto, a necessidade de cuidados extremos, na referida época, com o intuito de se estabelecer as mais eficientes práticas conservacionistas para que sejam evitadas elevadas perdas de solo local;

3. Pode-se estimar com certa margem de segurança o fator R para locais desprovidos de registros pluviográficos, mas que, entretanto, apresentem um regime de distribuição temporal de chuva semelhante ao de Piraju, através de equação específica para tal finalidade; e

4. A chuva máxima diária e a intensidade máxima diária em 15 minutos, no período de retorno de 10 anos, determinados para posterior uso em cálculos da seção transversal do canal do terraceamento agrícola foram, respectivamente de 142,1mm e 111,1mm/h. Entretanto, desejando-se trabalhar com maior segurança de tal prática conservacionista, podem ser utilizados valores com períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos.

unesp

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W., CHAVES, I.B., VASQUES FILHO, J. Características físicas das chuvas correlacionadas com perdas de solo num Regossolo eutrófico de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.18, n.2, p. 279-83, 1994.

BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lajes (SC). 1ª aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v.28, n.4, p.515-21, 1993.

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC), no período de 1981 a 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.29, p.1453 - 8, 1994.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2 ed. 1990. 355p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Descrição Geral do Estado de São Paulo. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de São Paulo**: Contribuição à carta de solos do Brasil. Rio de Janeiro, 1960. p. 3-53. (Boletim técnico, 12),

unesp

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

CAMPOS FILHO, O.R., SILVA, I.R., SILVA, I.F., ANDRADE, A.P., LEPRUN, J.C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.27, n.9, p.1363-70, 1992.

CANTALICE, J.R.B. , MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.2, p.275-81, 1993.

CARVALHO, M.P. **Erosividade da chuva**: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa - SP. Piracicaba, 1987. 104p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J., CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade dos solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.237-42, 1989a.

CARVALHO, M.P., LOMBARDI NETO, F., VASQUES FILHO, J., CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI_{30}. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.243-9, 1989b.

cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18

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

CARVALHO, M.P. **Fator erosividade da chuva-enxurrada para chuvas individuais do Estado de São Paulo**. Botucatu, 1992. 96p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista.

CARVALHO, M.P., PISSARRA, T.C.T., PAULINO, H.B. Erosividade da chuva de Botucatu (SP): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindoia. **Anais...** Piracicaba: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 1996. (CD-ROM).

CARVALHO, M.P., PISSARRA, T.C.T., PAULINO, H.B. ET AL. Erosividade da chuva de Selvíria (MS): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Campinas: SBCS, 1997. (CD-ROM).

CASTRO FILHO C., CATANEO A., BISCAIA R. C. M. Utilização da metodologia de Wilkinson, para cálculo do potencial erosivo das chuvas em 5 localidades do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.6, n.13, p.240-41, 1982.

CATANEO, A., CASTRO FILHO, C., ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, n.3, p.236-9, 1982.

CHAVES, I. B., DINIZ, E.J. Erosividade da chuva no Estado da Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO. 3,1980, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 1981. p.136-47.

COLODRO, G. **Erosividade da chuva**: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP), Ilha Solteira, 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

CRUCIANI, D.E. Dimensionamento de sistemas de drenagem superficial e terraços com base nas características hidrológicas locais. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas. **Simpósio...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p 26-59.

DEDECEK. R.A.. Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.23, n.12, p.1431-8, 1988.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **La erosion del suelo por el agua:** algunas medidas para combatirla em las tierras de cultivo. Itália: FAO, 1967. 207p. (Cuadernos de Fomento Agropecuário, 81).

FOSTER, G.R., McCOOL, D.K., RENARD, K.G., MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil Water Conservation.** v.36, n.6, p.355-9, 1981.

GUNN, R. , KINZER, G.D. The terminal velocity of fall for water droplets. **Journal Metereology.** v.6, n.1, p.243-8, 1949.

unesp

HUDSON, R. **Soil conservation.** 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1973. 320p.

LAL, R. Soil erosion on alfisols in Western Nigeria. III Effects of rainfall characteristics. **Geoderma**, v.16, n.1, p.339-401, 1976.

LAWS, J.O. Measurement of fall velocity of water drops and rain drops. **Transactions American Geophysical Union**, v.22, n.1, p.709-21, 1941.

LAWS, J.O. , PARSON, D.A. The relation of raindrop size to intensity. **Transactions American Geophysical Union**, v.24, n.1, p.452-9, 1943.

LEMOS, M.S.S., BAHIA, V.G. Erosividade da chuva. **Informe Agropecuário**, v.16, n.176, p.25-31, 1992.

LIMA, M. A. Avaliação do período de retorno e da probabilidade de ocorrência da erosividade da chuva de Bauru (SP). Unesp, Ilha Solteira, 1995. p. (Trabalho de graduação apresentado a Faculdade de Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo).

LOMBARDI NETO, F. Dimensionamento de terraço. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas. **Simpósio...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p 26-59.

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

cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18

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

LOPES, P.R.C. , BRITO, L.T.L. Erosividade da chuva no médio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.1, p.129-33, 1993.

MARGOLIS, E., SILVA, A.B., JACQUES F.O. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.9, n.2, p.165-9, 1985.

MEDINA, B. F., OLIVEIRA, J.R., R.C. A aplicabilidade de alguns índices erosivos em Latossolo Amarelo de Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.1, p.67-70, 1987.

MORAIS, L.F.B., MUTTI, L.S.M., ELTZ, F.L.F. Relações entre características da chuva e perdas do solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, n.3, p.285-8, 1988.

MORAIS, L.F.B., SILVA, V., NASCHENVENG, T. M., HARDOIN, P.C., ALMEIDA, J.E.L., WEBER, O.L., BOEL, E., DURIGON, V. Índice EI_{30} e sua correlação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mto Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.3, p.339-44, 1991.

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

unesp

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

ROQUE, C.G., CARVALHO, M.P. Distribuição da erosividade da chuva de Novo Horizonte (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999, Brasília. **Anais**... Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (CD-ROM).

RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.3, p.279-81, 1986.

SÃO PAULO. (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. **Totais mensais de chuva do Estado de São Paulo:** 1976-1991. São Paulo, 1993. 337 p.

SCHLOTZHAVER, S.D., LITTELL, R.C. **SAS system for elementary statistical analysis.** 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441 p.

SCHWAB, G.O., FREVERT, R.K., EDMINSTER, T.W., BARNES, K.K. Soil and water conservation engineering. 3.ed., New York: J. Wiley, 1981. 683p. (The Fergunson Foundation Agricultural Engineering Series).

cm 1 2 3 4 5 6 7 8 unesp 12 13 14 15 16 17 18

SOSA, D.A. **Erosividade a chuva:** distribuição e correlação com a perda de solo de Pindorama, São Paulo, Brasil. Piracicaba, 1987. 105p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) -Escola Superior de Agricuçtura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

VAL, L.A., BAHIA, V.G., FREIRE, J.C., DIAS JÚNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras. **Ciência e Prática**, v.10, n.2, p.187-98, 1986.

WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Proceedings Soil Science of American**, v.20, n.3, p 246-9, 1959.

WISCHMEIER, W.H , SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions American Geophysical Union**, v.39, n.2, p.285-91, 1958.

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

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

unesp

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AV. BRASIL, 56 - CAIXA POSTAL 31
15385-000 - ILHA SOLTEIRA - SP