

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

ÍNDICE DE EROSIVIDADE E FATOR R

PARA JABOTICABAL, SP

Sergio da Silva Fiuza Furtado

Engenheiro Agrônomo

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ÍNDICE DE EROSIVIDADE E FATOR R
PARA JABOTICABAL, SP

Discente: Sergio da Silva Fiuza Furtado
Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho
Co-orientador: Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia - Ciência do Solo.

2019

F992i Furtado, Sergio da Silva Fiuza
Índice de Erosividade e Fator R para Jaboticabal, SP /
Sergio da Silva Fiuza Furtado. -- Jaboticabal, 2019
79 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Marcílio Vieira Martins Filho
Coorientador: Glauco de Souza Rolim

1. Ciência do Solo. 2. Erosão Hídrica do Solo. 3.
Conservação do Solo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ÍNDICE DE EROSIDADE E FATOR R PARA JABOTICABAL, SP

AUTOR: SERGIO DA SILVA FIUZA FURTADO
ORIENTADOR: MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO
COORIENTADOR: GLAUCO DE SOUZA ROLIM

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. CLAUDIA ALESSANDRA PEIXOTO DE BARROS (VIDEOCONFERÊNCIA)
Departamento de Solos-UFRGS / Porto Alegre/RS

Prof. Dr. RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM / Uberaba/MG

Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. ALEXANDRE BARCELLOS DALRI
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 12 de dezembro de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Sergio da Silva Fiuza Furtado, São Paulo/SP, 13/12/1981, formado no ensino médio no curso de Magistério com habilitação de Professor da Educação Infantil e Ensino Fundamental, 2000. Ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal do Acre - UFAC, 2002. Formado em Engenharia Agrônômica, UFAC, 2007. cursou Mestrado em Produção Vegetal, com ênfase em Biologia do Solo pela UFAC, com estágio na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, 2007-2009. Foi aprovado para cursar doutorado em Agronomia - Ciência do Solo pela UFRRJ, 2008 e aprovado em concurso público para o cargo de Engenheiro Agrônomo na UFAC no mesmo ano. Foi Professor substituto de Solos nos cursos de Engenharia Agrônômica e Engenharia Florestal da UFAC nos períodos de 2007-2009 e de 2011-2013. Foi Professor do ensino superior pelo Programa de Interiorização da UFAC, 2009-2010, atuando nos núcleos da universidade nos municípios do interior do Estado do Acre. Foi aprovado em primeiro lugar da primeira turma do Programa de Doutorado em Agronomia - Produção Vegetal oferecido pela UFAC, tendo cursado de 2014 a 2015, quando optou por fazer a seleção do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Ciência Solo da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - FCAV-UNESP, Campus de Jaboticabal. É consultor do Sebrae - Acre nas áreas de Cooperativismo e Agronegócio desde 2007, e servidor da Universidade Federal do Acre exercendo a função de Engenheiro Agrônomo desde 2010.

Epígrafe

“Mesmo que já tenhas feito uma longa caminhada, há sempre um novo caminho a fazer”

(Santo Agostinho)

Ao meu Professor de Gênese e
Classificação do Solo, Mestre
Manuel Alves Ribeiro Neto.

Dedico

Às minhas filhas Aline Geovana

Marina Dainese e Lavínia Clara

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, orientador e Professor Dr. Glauco de Souza Rolim, coorientador, pelas disciplinas oferecidas, influência, colaboração e compreensão para realização desta tese, com acesso ao banco de dados de séries pluviográficas de 33 anos da Estação de Agrometeorologia da FCAV-UNESP.

Aos Professores Dr. Elemar Antônio Cassol e Dra. Cláudia Alessandra Peixoto de Barros pela orientação e ensinamentos durante estágio e disciplinas cursadas no Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

À minha esposa Denise Temporim Furtado Fiuza por toda força e incentivo para busca e realização deste sonho, por assumir o cuidado das nossas filhas Marina e Lavínia, ainda mais que esta mudança de rota nas nossas vidas se iniciou quando perdemos nosso filho recém-nascido Heitor, em 2015, que mudou minha vida no sentido de lutar pelo que é mais importante, pelos meus sonhos e pela minha família.

Aos meus pais, José Claro Fiuza e Elizabeth da Silva Fiuza, ele pedreiro que me influenciou no desejo de ser um Engenheiro, ela professora que me alfabetizou e influenciou no desejo de ser um Professor.

SUMÁRIO

	Página
I - INTRODUÇÃO.....	1
II - REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Importância e aplicação do índice de erosividade EI_{30}	4
2.2 Índice de Erosividade da Chuva EI_{30} e Fator R.....	7
2.3 Erosão Hídrica do Solo.....	10
2.4 Limitações dos Modelos.....	12
2.5 Estimativas da Erosividade da Chuva no Brasil.....	13
2.6 Índice de Fournier Modificado.....	14
III - MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Local do Estudo.....	16
3.2 Séries Históricas de Dados Pluviográficos.....	17
3.3 Cálculo do Índice de Erosividade EI_{30} e do Fator R.....	18
3.4 Coeficiente de Chuva (R_c).....	20
3.5 Padrão de Chuvas de Jaboticabal.....	21
3.6 Eventos Extremos de Erosividade.....	21
3.7 Período de Retorno das Erosividades Máximas.....	22
IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 Precipitação Pluvial Média Anual de Jaboticabal - SP.....	24
4.2 Coeficiente de Chuva R_c	27
4.3 Erosividade Média Mensal.....	28
4.4 Distribuição da Precipitação e da Erosividade.....	32
4.5 Erosividade Média Anual, Fator R de Jaboticabal - SP.....	34
4.6 Estimativa da Erosividade com Dados Pluviométricos.....	37
4.7 Padrão De Chuvas de Jaboticabal.....	44
4.8 Eventos Extremos de Erosividade.....	45

4.9 Período de Retorno das Erosividades Máximas em Jaboticabal - SP.....	48
V - CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS.....	52
APÊNDICES.....	66
Apêndice A. Dados de precipitação pluvial erosiva, não erosiva e total do período de 1971 a 1986 de Jaboticabal, São Paulo.....	67
Apêndice B. Precipitação pluvial mensal e total anual (mm) em eventos de chuvas erosivas no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo.....	70
Apêndice C. Dados de erosividade EI_{30} média mensal, total anual e média do período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo.....	73
Apêndice D. Dados de erosividade EI_{30} média mensal, total anual e média do período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo.....	74
Apêndice E. Dados de precipitação pluviométrica médios mensais e total anual de 1971 a 2018 de Jaboticabal, São Paulo.....	75
Apêndice F. Dados da classificação das chuvas erosivas nos padrões avançada, intermediária e atrasada no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo.....	78
Apêndice G. Dados da classificação das chuvas erosivas nos padrões avançada, intermediária e atrasada no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo.....	79

ÍNDICE DE EROSIVIDADE E FATOR R PARA JABOTICABAL, SP

RESUMO - A distribuição temporal do potencial erosivo das chuvas numa região é fundamental para a elaboração de projetos de manejo e conservação do solo e da água. O objetivo do presente trabalho foi determinar a erosividade EI_{30} e o fator R de Jaboticabal, São Paulo. Foram determinadas a precipitação pluvial erosiva, não erosiva e total, a erosividade média mensal EI_{30} , a erosividade média anual - fator R da Equação Universal de Perdas do Solo, o coeficiente de chuva R_c , os padrões hidrológicos de chuvas e a frequência de ocorrência de eventos extremos. Com os resultados do R_c e do EI_{30} , foram ajustadas equações de regressão que relacionam estes índices possibilitando a obtenção da erosividade com uso de dados diários e médios mensais de pluviometria. Foram utilizadas duas séries dados históricos de precipitação pluviográficas, compreendendo os períodos de 1971 a 1986 e de 1997 a 2013, e o período total das séries agrupadas de 1971 a 2013, totalizando 33 anos de dados. O índice médio de erosividade EI_{30} da série de 33 anos de dados foi $4836,56 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, portanto, este valor é fator R da Equação Universal de Perdas do Solo para Jaboticabal - SP, classificado como de médio a alto potencial erosivo. A erosividade média mensal aumentou 59,5% no período chuvoso de 1997 a 2013, em relação ao período de 1971 a 1986. O período mais crítico de erosividade na série de 1971 a 1986, de novembro a janeiro, tinha erosividade alta, foi alterado para dezembro a fevereiro, na série de 1997 a 2013, com aumento de 29% para erosividade classificada como muito alta. O padrão de chuvas de Jaboticabal - SP aumentou de 54% para 60% da chuva do tipo avançada e reduziu de 30% para 20% de chuva do tipo atrasada, considerando os períodos de 1971 a 1986 e 1997 a 2013, respectivamente. Houve aumento de 77,27% na ocorrência de eventos individuais extremos de alta precipitação e potencial erosivo, da média de 1,37 por ano, no período de 1971 a 1986, para 2,44 por ano, no período de 1997 a 2013.

Palavras chave: EI_{30} , potencial erosivo da chuva

EROSIVITY INDEX AND R FACTOR FOR JABOTICABAL, SP, BRAZIL

ABSTRACT - The temporal distribution of the erosive potential of rainfall in a region is fundamental for the elaboration of soil and water management and conservation projects. The objective of the present work was to determine the monthly and annual average EI_{30} erosivity of Jaboticabal, São Paulo. Erosive, non-erosive and total rainfall were determined, the monthly average erosivity EI_{30} , the annual average erosivity - factor R of the Universal Soil Loss Equation, the rainfall coefficient R_c , the hydrological patterns of rainfall and the frequency of occurrence of events. In addition, the regression equations of the rainfall coefficient R_c with the EI_{30} erosivity index were adjusted based on data from historical series of rainfall from 1971 to 1986, from 1997 to 2013 and from 1971 to 1971. 2013, totaling 33 years. The results of the rainfall coefficient R_c and the average monthly erosivity index of the EI_{30} rainfall were subjected to analysis of variance as independent variables, and when there was significant difference for linear and / or quadratic regressions, the equation of the highest significant degree was defined. The average erosivity index EI_{30} , R factor of the Universal Soil Loss Equation for Jaboticabal, SP is 4946.38 and is classified as medium to high. The average monthly EI_{30} erosivity increased by 59.5% in the rainy season from 1997 to 2013, compared to the same period in the series from 1971 to 1986. The most critical period of erosivity in the series from 1971 to 1986, from November to January, had erosivity. high, was changed to December to February in the series from 1997 to 2013, with a 29% increase for erosivity rated as very high. The rainfall pattern of Jaboticabal, SP increased from 54% to 60% of advanced type rainfall and reduced from 30% to 20% of late type rainfall, considering the periods from 1971 to 1986 and 1997 to 2013, respectively. There was an increase of 77.27% in the occurrence of extreme individual events of high precipitation and erosive potential, from an average of 1.37 per year, from 1971 to 1986, to 2.44 per year, from 1997 to 2013.

Keywords: EI_{30} , erosive potential of rain

I - INTRODUÇÃO

A erosão hídrica altera a qualidade física, química e biológica do solo, reduzindo as taxas de infiltração, capacidade de retenção de água, nutrientes, matéria orgânica, biota e profundidade do solo, reduzindo, dessa forma, a produtividade e constituindo-se em grave problema ambiental e de saúde pública (Pimentel et al., 2006). A erosão também tem impacto nos serviços ecossistêmicos, como qualidade e quantidade de água, biodiversidade, produtividade agrícola e atividades recreativas (Dominati et al., 2010).

A erosividade das chuvas é um parâmetro chave para estimar a perda e o risco de erosão do solo, mas o uso deste conjunto de dados pode ser amplamente estendido para outras aplicações, inclusive identificar as tendências e ameaças da mudança climática (Panagos et al., 2015).

A exposição da superfície da Terra à ação energética da chuva é um dos fatores da erosão hídrica. A precipitação é um dos principais fatores da erosão do solo, sendo sua força erosiva expressa como erosividade, que considera a quantidade e a intensidade da chuva, e é mais comumente expressa como fator R na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).

A EUPS é o modelo de erosão mais utilizado no mundo e fornece informações úteis para o planejamento adequado da conservação do solo e da água. Por meio dela a perda de solo pode ser estimada pela multiplicação do fator de erosividade da chuva (fator R) por cinco outros fatores: erodibilidade do solo (Fator K), comprimento da encosta (fator L), declividade da encosta (fator S), tipo de cultura e manejo (fator C) e apoio às práticas de conservação (fator P).

Embora a erosão hídrica seja identificada como a causa mais grave de degradação do solo globalmente, os padrões globais de erosividade das chuvas permanecem pouco quantificados e as estimativas têm grandes incertezas. Isso dificulta a implementação de estratégias efetivas de mitigação e restauração da degradação do solo (Panagos et al., 2017). A quantificação da erosividade das chuvas é um desafio, pois requer alta resolução temporal (< 30 min) e alta fidelidade dos registros de precipitação.

O conhecimento das características da chuva permite o planejamento mais seguro de estruturas de conservação de solo e de práticas agrícolas que visem sua conservação por meio de manutenção de cobertura, assim como obras de terraços, barragens, estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais, o que justifica sua determinação. O índice de erosividade EI_{30} tem importância tanto do ponto de vista de aplicação prática quanto científico, pois permite identificar os períodos do ano com maior risco ou potencial de erosão hídrica, e planejar mais eficientemente as medidas de controle (Schick et al. 2014).

Dada a crescente preocupação com as mudanças climáticas, os dados climáticos são particularmente importantes para a comunidade científica e a sociedade em geral, pois as decisões de indivíduos, empresas e governos dependem dos dados meteorológicos disponíveis. Atualmente, grande número de conjuntos de dados de precipitação em larga escala estão disponíveis ao público, embora os formatos e a abrangência dos registros variem amplamente (Panagos et al., 2017).

As práticas agrícolas sustentáveis devem considerar os recursos do solo e da água e as condições específicas locais ou regionais, como o clima. A erosividade da chuva tem alto impacto na avaliação da vulnerabilidade de diferentes cenários de rotação de culturas (Renschler et al., 1999). Eventos extremos de chuvas e alta erosividade podem reduzir ou destruir completamente a produção de resíduos das culturas permanentes (Maracchi et al., 2005). O conjunto de dados do fator R deve, portanto, ser levado em conta na aplicação de cenários de proteção, gestão agrícola e políticas de conservação.

Chuvas intensas e eventos extremos são de grande importância para as mudanças climáticas, economia e sociedade (Alexander et al., 2006). Entretanto, eventos extremos são tipicamente eventos raros de curta duração e em muitas regiões do mundo apenas dados observacionais limitados de resolução temporal insuficiente estão disponíveis para capturá-los (Nearing et al., 2017). Medições de precipitação de alta resolução temporal são importantes neste contexto, mas também foram reconhecidas como sendo muito úteis para modelos de drenagem urbana (Olsson et al., 2009), padrões de cultivo e produção agrícola (Olesen et al., 2011), e modelagem de mudanças climáticas (Willems et al., 2012).

O risco de inundações é de importância crucial para a proteção civil, devido ao grande número de pessoas afetadas e aos custos econômicos relacionados. De acordo com Barredo (2007), 40% das vítimas relacionadas com inundações na Europa durante o período 1950-2006 foram devidas a inundações repentinas. As inundações repentinas estão associadas a eventos pluviométricos curtos e de alta intensidade, e sua probabilidade de ocorrência aumenta exponencialmente quando tais eventos de precipitação ocorrem em solos secos e hidrofóbicos.

Uma série histórica de dados de erosividade pode ser utilizada por especialistas em deslizamentos de terras como um preditor, para melhorar a avaliação da suscetibilidade a deslizamentos. Portanto, os deslizamentos são passíveis de previsão, com base em condições topográficas e climáticas, uma vez que é possível mapear a distribuição da probabilidade da suscetibilidade de deslizamentos de terras.

Portanto, considerando a importância da erosividade das chuvas para o uso, manejo e conservação do solo e da água, e tendo por hipótese que ocorre período crítico de alto índice de erosividade das chuvas EI_{30} , em função da distribuição da precipitação pluvial ser concentrada nos meses de outubro a março, o objetivo do presente trabalho foi determinar a erosividade EI_{30} média mensal e anual de Jaboticabal, São Paulo. Além disso, os objetivos específicos foram obter a precipitação pluvial média mensal, o coeficiente de chuvas (índice R_c), equações de regressão da erosividade com o coeficiente de chuvas, os padrões de distribuição das chuvas erosivas, a ocorrência de eventos extremos de precipitação e erosividade, e o período de retorno das erosividades máximas para Jaboticabal - SP.

II - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA E USO DO ÍNDICE DE EROSIVIDADE EI₃₀

A estimativa das perdas de solo por erosão hídrica é importante para o planejamento ambiental e adoção de práticas que favoreçam a conservação do solo e da água. Quantificações de perdas de solo por erosão em nível de campo requerem medições de longo tempo para obtenção de valores representativos, sendo, portanto trabalhosas e de custos elevados (Panagos et al., 2015).

Nas últimas décadas, ocorreu a variabilidade da precipitação em todo o mundo. Os resultados indicaram diminuição significativa no número de dias chuvosos e aumento significativo da intensidade da precipitação (Lukic et al., 2019).

Eventos extremos de precipitação, secas e inundações são considerados altamente variáveis e podem causar danos econômicos e ecológicos, mas nos piores casos induzem até aumento na mortalidade (Zhang et al., 2013). As mudanças climáticas influenciam a erosividade das chuvas devido à alteração dos padrões de precipitação (Almagro et al., 2017).

As mudanças na precipitação e a ocorrência de eventos extremos intensificam a erosão do solo e, diferentemente de outros fatores, como relevo ou características do solo, não respondem à modificação humana. A erosão do solo pela água é um fenômeno muito complexo e é uma das principais ameaças à degradação ambiental (Dash et al., 2019).

Como resultado a erosão pode causar uma diminuição dos conteúdos de matéria orgânica e nutrientes, mudanças na estrutura do solo e diminuição na capacidade de armazenamento de água. A perda da produtividade agrícola pode ser significativa para a sobrevivência das pessoas em uma área; tal perda decorre, do fato da camada superficial do solo, que é a camada mais fértil, ser também a mais exposta aos processos erosivos pluviais.

A erosão do solo aumenta o risco de inundações devido ao assoreamento dos rios, além de causar degradação da qualidade da água por causa dos pesticidas,

fertilizantes e nutrientes transportado com o sedimento erodido. A erosão por precipitação pluvial denota a capacidade potencial da chuva em causar a erosão do solo.

Inúmeros índices de erosividade foram desenvolvidos para uso em estimativas da erosão do solo. Entre os mais utilizados estão aqueles que relacionam erosão do solo com a energia cinética das chuvas, como o EI30. No entanto, para o cálculo deste índice, séries de dados de chuva contínuas, com resolução de tempo de pelo menos 15 minutos (dados pluviométricos) são necessários. Conjuntos de dados de alta qualidade e em escala regional são muito raros (Beguería et al., 2018).

O modelo mais conhecido na avaliação da quantidade de perda de solo por erosão é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Este modelo expressa matematicamente todos os fatores que influenciam a erosão do solo, tais como erosividade das chuvas, erodibilidade do solo, topografia e cobertura e manejo do solo (Zuliziana et al., 2018).

O fator de erosividade da chuva (R) é um dos principais fatores do modelo EUPS e ganha importância crescente à medida que os efeitos ambientais das mudanças climáticas se tornaram mais severos (Lee e Lin, 2015).

A Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS) é um modelo empírico para estimativa das perdas de solo por erosão laminar e indicado para pequenas áreas. A EUPS não considera de forma individualizada os processos físicos envolvidos na erosão, como o desprendimento e o transporte de partículas. Também não considera os processos de deposição de sedimentos e de erosão em voçorocas, que podem levar a subestimativas de perdas de solos (Chaves, 2010).

Na EUPS a perda de solo é estimada pelo produto de cinco fatores que influenciam a erosão, que são: a erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K), relevo (fator LS), cobertura e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P). A erosividade da chuva tem importância destacada, pois é o parâmetro que representa a energia cinética que atua para desagregar o solo e para o transporte das partículas pelo escoamento superficial.

Vários estudos realizados no Brasil constataram que o índice EI30 apresenta boa correlação com as perdas de solo observadas em estações experimentais, sendo superior aos demais índices testados (Lombardi Neto e Modenhauer, 1992; Cantalice

e Margolis, 1993; Albuquerque et al., 1994; Silva et al., 2009). Comparando as perdas de solos em parcela padrão da EUPS, com vários índices de erosividade de Lages (SC), Schick et al. (2014) observaram maior correlação das perdas de solos com o índice EI30 e assim recomendaram este índice como o fator de erosividade para a região de Lages.

A obtenção do índice de erosividade demanda longas séries de dados pluviográficos, que nem sempre estão disponíveis (Beskow et al., 2009; Mello et al., 2007). Wischmeier e Smith (1978) recomendaram usar o valor médio do índice EI30, calculado a partir de série de no mínimo 20 anos. Oliveira et al. (2012) constataram que de 73 estudos com dados pluviográficos realizados no Brasil, somente 15% foram realizados com séries com mais de 20 anos. A limitação da determinação direta do índice de erosividade se deve, principalmente, ao pequeno número de estações pluviográficas e pelo processo de cálculo ser relativamente trabalhoso.

Na ausência de dados pluviográficos, o índice EI30 pode ser estimado com base nas médias mensais de precipitação, que Waltrick et al. (2015) denominaram de método pluviométrico. Séries relativamente longas de dados pluviométricos diários existem na maioria dos locais com boa distribuição espacial, facilitando a estimativa do índice de erosividade (Cassol et al., 2008; Mazurana et al., 2009). No entanto, para a aplicação desta metodologia há necessidade de equações relacionando o índice de erosividade com as precipitações médias mensais. Mello et al. (2012) ressaltaram que estas equações podem ser usadas em áreas que não tenham dados pluviográficos, mas que tenham condições climáticas similares, e que estas equações não podem ser extrapoladas de forma generalizada, pois podem levar a subestimativas ou superestimativas da erosividade.

A distribuição espacial do EI30 num mapeamento de linhas isoerodentes de dados de erosividade têm sido apresentados no Brasil (Silva, 2004; Oliveira et al., 2012). Silva (2004) elaborou o mapa de erosividade para o Brasil usando dados de 1600 estações pluviométricas com série histórica de no mínimo 10 anos e oito equações de regressão para o cálculo da erosividade. Oliveira et al. (2012) apresentaram o mapa de erosividade para o Brasil, em que utilizaram 73 equações de regressão para calcular a erosividade da chuva. Já Trindade et al. (2016) utilizaram resultados de 1521 estações pluviométricas no Brasil, com 20 anos de dados e 75

equações de regressão, para o cálculo da erosividade e apresentaram um mapa de erosividade da chuva para o Brasil.

Alguns trabalhos realizados no Brasil apresentaram mapas de erosividade para determinados estados brasileiros. Dentre estes se destacaram os trabalhos de Lombardi Neto et al. (1981) e Vieira e Lombardi Neto (1995) para o estado de São Paulo, Mello et al. (2007) para Minas Gerais, Montebeller et al. (2007) para o Rio de Janeiro, Santos (2008) para o Rio Grande do Sul, Almeida (2009) para o Mato Grosso, Oliveira et al. (2011) para o Mato Grosso do Sul, Amaral et al. (2014) para o estado da Paraíba e Waltrick (2015) para o estado do Paraná.

2.2 ÍNDICE DE EROSIVIDADE DA CHUVA EI_{30} E O FATOR R

A expressão quantitativa de energia por unidade da precipitação que Wischmeier e Smith (1958) desenvolveram baseou-se no trabalho de Laws e Parsons (1943). As relações entre a velocidade de queda de gotas de chuva e o tamanho delas foram apresentadas por Gunn e Kinzer (1949), as quais foram corroboradas por Laws (1941) que demonstrou as relações entre tamanhos de gota e intensidades de chuva. Com base nos trabalhos citados, Wischmeier e Smith (1978) propuseram a seguinte equação:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (1)$$

em que, E_c é a energia cinética para cada mm de chuva ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) e I é a intensidade de chuva (mm h^{-1}).

A energia para uma chuva inteira, E (MJ ha^{-1}), é dada conforme Wischmeier e Smith (1978), por:

$$E = \int_0^D e i dt \quad (2)$$

em que, D é a duração do evento, e ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) é a energia da precipitação por segmentos de intensidades de chuva e i é a intensidade da precipitação em mm h^{-1} .

Geralmente essa quantidade é calculada usando k segmentos de tempo do evento e E dada, de acordo com Wischmeier e Smith (1978) por:

$$E = \sum_{k=1}^p e_k \Delta V_k \quad (3)$$

em que, e_k ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) é a energia por unidade de precipitação, p é o número de segmentos de tempo no evento registrado com uso de pluviogramas, V_k (mm) é a lâmina de precipitação para cada incremento k e e_k é calculado usando a equação da energia cinética E_c .

O valor da erosividade da chuva para uma única chuva erosiva é calculado como a energia dela, E , multiplicada pela intensidade máxima num intervalo de 30 minutos dentro do seu tempo duração, I_{30} (mm h^{-1}). Wischmeier e Smith (1958) também avaliaram o uso da intensidade máxima de 15 min, em três locais e conjuntos de parcelas. Análises conduzidas, em dados de erosão obtidos em 8000 parcelas de 37 estações experimentais, indicaram que a intensidade máxima de 30 minutos, I_{30} , correlacionou-se melhor com a perda de solo, em comparação com as intensidades máximas de 5, 15 ou 60 minutos (Wischmeier et al., 1958).

Em estudo realizado na China, com base em dados de cinco parcelas, Zheng e Chen (2015) avaliaram que intensidades máximas de 10 ou 20 min funcionavam tão bem quanto a intensidade de 30 minutos no computo da erosividade.

O poder erosivo da precipitação é explicado pelo fator de erosividade da chuva (fator R), sendo o efeito combinado da duração, magnitude e intensidade de cada evento de precipitação. O fator R é o produto da energia cinética de um evento de chuva (E) e sua intensidade máxima de 30 minutos (I_{30}), conforme Brown e Foster, (1987):

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n \cdot \sum_{k=1}^{m_j} (E I_{30}) \cdot k}{n} \quad (4)$$

em que, R é erosividade média anual da precipitação ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), n é o número de anos registrados, m_j é o número de eventos erosivos durante um

determinado ano j e k é o índice de um único evento com sua correspondente erosividade EI_{30} .

Com a Revisão da Equação Universal de Perdas de Solo (RUSLE, Renard et al., 1997) a erosividade de um evento, EI_{30} ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$), foi definida como:

$$EI_{30} = \left(\sum_{r=1}^k e_r v_r \right) I_{30} \quad (5)$$

em que, e_r é a energia da precipitação unitária ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) e v_r o volume de precipitação (mm) durante o período de tempo r do evento de precipitação dividido em k -partes. I_{30} é a intensidade máxima de precipitação de 30 minutos (mm h^{-1}).

Na Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) foram utilizados os mesmos cálculos de erosividade que na EUPS, com exceção dos cálculos de energia das chuvas, a qual foi estabelecida como a energia de uma precipitação unitária (e_r) calculada para cada intervalo de tempo como segue (Brown e Foster, 1987):

$$e_r = 0,29 \left[1 - 0,72e^{0,05 i} \right] \quad (6)$$

em que, e é a energia do segmento da precipitação quando a intensidade i da chuva é máxima durante um intervalo de tempo (mm h^{-1}).

A Equação 6, como demonstraram Brown e Foster (1987), deu resultados aproximadamente 12% menor que os da Equação 1 para intensidades de precipitação abaixo de 35 mm h^{-1} e, aproximadamente, 2% maior para intensidades superiores a 100 mm h^{-1} .

Dados de 29 indicadores pluviométricos na bacia hidrográfica de Goodwin Creek no norte do Mississippi, EUA, foram utilizados por McGregor et al. (1995) para análise da erosividade. Os resultados mostraram que a equação McGregor-Mutchler forneceu resultados aproximados aos da EUPS, mas aproximadamente 9% maiores que os da RUSLE. Dessa forma, foi proposto a seguinte equação:

$$e = 0,29 \left[1 - 0,72e^{-0,082 i} \right] \quad (7)$$

em que, e é a energia do segmento da precipitação quando a intensidade i da chuva é máxima durante um intervalo de tempo (mm h^{-1}).

Uma importante vantagem é que, ao usar a Eq. (7), é possível usar dados de registro diário de precipitação, os quais são muito mais numerosos do que aqueles com registros de 15 minutos (Nearing et al., 2017).

O cálculo do fator R requer a identificação de eventos de precipitação erosiva. Três critérios para a identificação de um evento erosivo são fornecidos por Renard et al. (1997): (i) a precipitação cumulativa de um evento deverá ser maior que 10 mm; (ii) o evento deverá ter pelo menos um pico maior que 6 mm durante um período de 15 min (ou 10 mm durante um período de 30 minutos); (iii) um acúmulo de chuva de menos de 1,0 mm durante um período de 6 h divide um período de chuva longa em dois eventos. O limite de 10 mm define eventos de precipitação que têm poder erosivo.

2.3 EROSIÃO HÍDRICA SOLO

A predição da perda de solo é importante para avaliar os riscos de erosão e determinar o uso e manejo apropriados (Oliveira et al., 2011). Como a erosão do solo é difícil de medir em grandes escalas, os modelos de predição da erosão são ferramentas de estimativa cruciais a nível regional, nacional e mundial (Panagos et al., 2017).

A utilização de modelos matemáticos para a estimativa da erosão do solo é uma alternativa que permite realizar simulações em diferentes cenários e obter resultados representativos para diferentes escalas temporais e espaciais (Amorim et al., 2010; Kinnell, 2010).

Além da EUPS, a erosividade da chuva pode ser usada como entrada em outros modelos, como Unit Stream Power Erosion-Deposition (USPED) (Mitas e Mitasova, 1998), soil erosion model for Mediterranean regions (SEMMED) (Jong et al., 1999) e WATEM/SEDEM (Van Oost et al., 2000). Além disso, estes conjuntos de dados também são interessantes para predições de risco natural, como

desbarrancamentos e avaliação de risco de inundação, que são principalmente desencadeadas por eventos de alta intensidade (Panagos et al., 2015).

Desenvolvimentos nas comunidades de modelagem de solo e mudança climática têm procurado abordar as principais lacunas científicas na descrição dos principais processos do solo, como a erosão hídrica, com base em conjuntos de dados globais atualizados. Não obstante, textos sobre iniciativas políticas como a Convenção das Nações Unidas para Combater a Desertificação (UNCCD) ou a degradação líquida zero da terra (UNCCD, 2012), a Plataforma Intergovernamental de Políticas Científicas sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (IPBES), a Avaliação da Degradação e Restauração do Solo (IPBES, 2016) e os Recursos Mundiais do Solo da Organização para a Agricultura Alimentar (FAO; ITPS, 2015) observaram a falta de um conjunto de dados científicos de erosão do solo.

A alta heterogeneidade dos fatores causais da erosão hídrica, combinados frequentemente com pouca disponibilidade de dados, é um obstáculo à aplicação de modelos complexos de erosão. Diversos modelos matemáticos (empíricos, conceituais e físicos) foram desenvolvidos para estimar a erosão do solo em diferentes escalas espaciais e temporais (Moehansyah et al., 2004; Ferro, 2010). Os modelos de erosão variam de procedimentos complexos que requerem uma série de parâmetros de entrada, como o Projeto de Previsão de Erosão Hídrica (WEPP) (Nearing et al., 1989), escoamento Cinemático e Erosão (KINEROS) (Woolhiser et al., 1990) e Modelo Europeu de Erosão do Solo (EUROSEM) (Morgan et al., 1998), para métodos mais simplificados, como a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) (Wischmeier e Smith, 1978), Equação de Perda de Solo Universal Revisada (REUPS) (Renard et al., 1997) e Morgan-Morgan e Finney (MMF) (Morgan, 2001).

A EUPS é o modelo de erosão mais utilizado no mundo, o qual permite obter informações úteis para o planejamento adequado da conservação do solo e da água. A Equação Universal de Perda de Solo Revisada (REUPS) (Renard et al., 1997), que prevê a média anual de perda de solo resultante do salpico e do escoamento superficial, é mais frequentemente utilizada em grandes escalas espaciais (Kinnell, 2010; Panagos et al., 2014).

Entre os fatores da EUPS (Wischmeier e Smith, 1978), a erosividade da chuva é de grande importância, pois a precipitação é a força motriz da erosão e tem um

impacto direto na desagregação das partículas do solo, na quebra dos agregados e no transporte das partículas erodidas via escoamento.

Além da erosividade, outra característica importante da chuva relacionada com o processo de erosão hídrica do solo é o padrão hidrológico. As chuvas foram caracterizadas por Horner e Jens (1942) em padrões hidrológicos denominados avançado, intermediário e atrasado, os quais se caracterizam, respectivamente, quando a localização do pico de maior intensidade está no início (primeiro terço), meio (segundo terço) ou fim (terceiro terço) do período de duração da chuva.

Em idênticas condições de volume total, intensidade do pico e duração, as chuvas de padrão hidrológico atrasado são mais danosas do ponto de vista da erosão do solo, uma vez que o pico de intensidade ocorre no último terço do tempo de duração da chuva, quando o solo já se encontra com maior umidade.

2.4 LIMITAÇÕES DOS MODELOS

A EUPS foi projetada para prever taxas médias de erosão de longo prazo, e não para prever eventos específicos ou individuais de perda de solo (Wischmeier, 1976). Com dados medidos em parcelas experimentais, Wischmeier (1976) relatou que a equação poderia prever razoavelmente bem os valores anuais de perda de solo, mas que as previsões para chuvas erosivas individuais não eram exatas. A variabilidade das perdas de solo de chuvas erosivas em parcelas individuais é bastante alta (Wendt et al., 1986; Nearing et al., 1999) e tal variabilidade não é capturada com precisão pela EUPS.

Uma avaliação precisa da erosividade da chuva requer registros de precipitação em intervalos curtos de tempo (1 a 60 minutos) pelo período de vários anos. Wischmeier (1959) recomendou que os valores anuais do fator R fossem baseados em 20 ou mais anos de dados pluviométricos. Registros mais curtos têm o potencial de ser influenciado por períodos incomuns úmidos ou secos. Na maioria dos estudos de erosão do solo, o cálculo da erosividade da chuva é limitado devido à falta

de dados pluviométricos de séries temporais de longo prazo com alta resolução temporal (< 60 min).

Seguindo a abordagem empírica, foram desenvolvidas equações para prever o fator R com base em dados pluviométricos com menor resolução temporal (Loureiro e Coutinho, 2001; Marker et al., 2007; Panagos et al., 2012). Nesses casos, o conhecimento especializado das condições locais e características sazonais desempenha um papel importante na estimativa da erosividade das chuvas.

Equações para estimativas da erosividade das chuvas devem ser utilizadas com cautela em diferentes aplicações, pois as relações empíricas são dependentes da localização e, na maioria dos casos, não podem ser aplicadas em áreas maiores (Oliveira et al., 2013). Além disso, essas equações empíricas não conseguem capturar as altas intensidades de precipitação que influenciam significativamente a erosividade média da chuva. Equações para estimativas do fator R desenvolvidas para uma região específica não podem ser aplicadas em outras regiões (Panagos et al., 2015).

2.5 ESTIMATIVAS DA EROSIVIDADE DA CHUVA NO BRASIL

Modelos que requerem múltiplos parâmetros de entrada podem não ser viáveis para uso em locais sem dados ou com acesso difícil, como em várias regiões do Brasil. Vários autores consideram a EUPS como um excelente modelo para prever a perda de solo devido à sua aplicabilidade (em termos de dados de entrada necessários) e à confiabilidade das estimativas de perda de solo obtidas (Risse et al., 1993; Ferro, 2010).

A aplicação do EUPS na escala de uma bacia hidrográfica foi facilitada pelo uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Essa combinação é considerada uma ferramenta útil para o planejamento da conservação do solo e da água (Oliveira et al., 2011).

O índice EI_{30} tem sido o mais utilizado (Hoyos et al., 2005) e apresenta boa correlação com a perda de solo em diversos estudos no Brasil (Bertol et al., 2008; Lombardi Neto e Moldenhauer, 1992). No entanto, recomenda-se uma série de mais

de 20 anos de pluviometria para calcular esse fator, mas esse período de séries temporais não é encontrado em muitas partes do mundo (Hoyos et al., 2005; Capolongo et al., 2008; Lee e Heo, 2011).

Métodos simplificados para a previsão da erosividade da chuva usando dados prontamente disponíveis foram apresentados e são usados em muitos países, porque os dados de precipitação de alta resolução necessários para calcular diretamente a erosividade da chuva não estão disponíveis para muitos locais; Além disso, cálculos desses dados (quando disponíveis) são intrincados e demorados (Lee e Heo, 2011).

Modelos que relacionam o índice de erosividade com dados pluviométricos (por exemplo, a média mensal, a precipitação total anual e o índice de Fournier modificado) foram propostos para obter o fator R. Estes registros pluviométricos diários estão geralmente disponíveis para locais com boa cobertura espacial e temporal, permitindo o cálculo do índice de erosividade em regiões que não possuem dados de precipitação pluviográfica (Renard e Freimund, 1994; Angulo-Martínez e Beguería, 2009).

2.6 ÍNDICE DE FOURNIER MODIFICADO

Duas abordagens são usadas para modelar a erosividade da chuva: 1) calcular o fator R com base em dados de precipitação de alta resolução temporal, e 2) desenvolver funções que correlacionem o fator R com dados de precipitação mais prontamente disponíveis (diários, mensais, anuais) (Bonilla e Vidal, 2011).

Equações de regressão resultantes geralmente são usadas para calcular a erosividade a partir de dados pluviométricos em regiões que não possuem dados pluviográficos. No Brasil, vários pesquisadores demonstraram que o índice de Fournier modificado (MFI) obteve melhores resultados no cálculo do Fator R (Lombardi Neto e Moldenhauer, 1992; Carvalho et al., 2005; Cassol et al., 2008; Oliveira et al., 2011).

Após o cálculo dos valores de EI_{30} é realizada uma análise de regressão, usualmente utilizando o Índice de Fournier Modificado por Lombardi Neto (1977) ou

precipitação média anual (P) como variáveis independentes. O Índice de Fournier Modificado pode ser obtido como (Lombardi Neto, 1977):

$$\text{MFI} = p_i^2 P^{-1} \quad (8)$$

em que, MFI é o índice de Fournier modificado, p é a precipitação média mensal no mês i (mm), e P é a precipitação média anual (mm).

III - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO ESTUDO

Jaboticabal está localizada no Centro-Norte do estado de São Paulo (latitude 21° 15' 22" e longitude 48° 18' 58") (Figura 1), província geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, próximo às Cuestas Basálticas que limitam este Planalto com a Depressão Periférica da Bacia do Paraná. Predominam Latossolos, sendo nas porções mais elevadas e planas das colinas Latossolos Vermelhos textura média, cujo material de origem derivou-se principalmente de arenitos do Grupo Bauru. O clima é classificado, segundo Köppen, como subtropical com inverno seco (Cwa).

O município de Jaboticabal tem área total de 706,602 km², população estimada para 2019 de 77.263 pessoas, com densidade populacional de 101,42 habitantes/km² (IBGE, 2020).

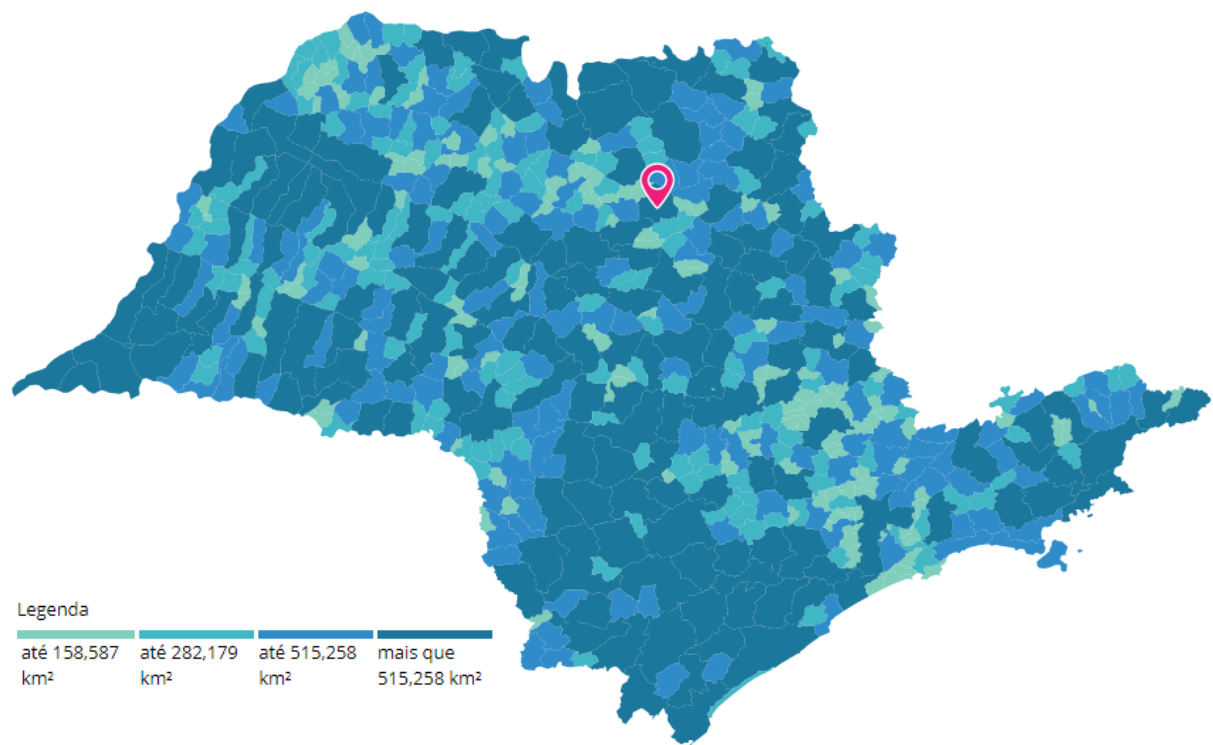


Figura 1. Localização da cidade de Jaboticabal no Estado de São Paulo. Fonte: IBGE (2020).

Jaboticabal possui 301 estabelecimentos agropecuários, com área total de 67.115 hectares, sendo cultivados 850 ha com cultivos permanentes e 57.891 ha com lavouras temporárias. O sistema de preparo do solo é feito de forma convencional em 239 estabelecimentos agropecuários, 102 praticam cultivo mínimo e 16 plantio direto na palha (IBGE, 2017).

Destaca-se no município de Jaboticabal a produção cana-de-açúcar em 201 estabelecimentos agropecuários, com 43.252 ha de área colhida, seguido pelo amendoim produzido em 65 estabelecimentos, com total de 6.754 ha, sendo o maior município produtor desta leguminosa no país, e soja em 23 estabelecimentos com área colhida de 3.769 ha (IBGE, 2017).

3.2 SÉRIES HISTÓRICAS DE DADOS PLUVIOGRÁFICOS

Os elementos meteorológicos utilizados neste trabalho foram extraídos de um conjunto de dados da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCAV/UNESP - Campus de Jaboticabal, situada na altitude de 615 m, latitude 21°14'05" S e longitude 48°17'09" W (Figuras 2 e 3).

Foram avaliados dados de chuvas de duas séries, sendo a primeira abrangendo 16 anos do período de 1971 a 1986 e a segunda de 17 anos do período de 1997 a 2013. Não houve disponibilidade de dados pluviográficos no período de 1987 a 1996.

Foram selecionadas as chuvas individuais erosivas, considerando-se chuvas individuais aquelas separadas por intervalos uma da outra de no mínimo 6 horas com precipitação inferior a 1 mm. São consideradas chuvas erosivas eventos de precipitação pluvial com altura igual ou superior a 10 mm ou, ainda, quando a precipitação for igual ou superior a 24 mm h⁻¹ em 15 minutos ou menos.

A partir de registros diários de chuva, com intervalo de 10 minutos, cada chuva erosiva individual foi separada em seguimentos uniformes, com a respectiva hora em

houve variação da intensidade e a chuva acumulada até aquele momento. A amplitude de registro dos pluviogramas foi de 10 mm de precipitação, com unidade de 0,1 mm. O tempo de registro foi de 24h, com unidades de 10 minutos.



Figura 2. Localização da Estação Agroclimatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, São Paulo.



Figura 3. Estação Agroclimatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, São Paulo.

3.3 CÁLCULO DO ÍNDICE DE EROSIVIDADE EI_{30} E DO FATOR R

Foram determinados os totais de precipitação pluvial erosiva, não erosiva e total, a erosividade média mensal EI_{30} , o índice médio de erosividade anual (fator R),

o coeficiente de chuva R_c , o padrão hidrológico das chuvas e a frequência de ocorrência de eventos individuais de chuvas extremas, com auxílio do programa Chuveros, desenvolvido pelo professor Elemar Cassol, do Departamento de Solos da UFRGS), considerando os períodos de 1971 a 1986, de 1997 a 2013 a série agrupada de 1971 a 2013, totalizando 33 anos.

A energia cinética de cada segmento uniforme de chuva erosiva individual é determinada pela equação:

$$EC_s = EC h \quad (9)$$

em que EC_s é a energia cinética no segmento de chuva, em $MJ ha^{-1}$, EC é a unidade de energia cinética e h é a quantidade de chuva no segmento uniforme, em mm.

A expressão para cálculo da energia cinética é dada pela equação de Wischmeier e Smith (1978) em unidades métricas do sistema internacional:

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (10)$$

em que, EC é a energia cinética por mm de chuva, em $MJ ha^{-1} mm^{-1}$, e I é a intensidade da chuva no segmento uniforme (intensidade constante), em $mm h^{-1}$.

O valor obtido na equação 1 é multiplicado pela quantidade de chuva no respectivo segmento uniforme para expressar a energia cinética do segmento em $MJ ha^{-1}$. A energia cinética total da chuva (EC_t) é obtida adicionando a energia cinética de todos os segmentos uniformes da chuva, calculada pela equação:

$$EC_t = \sum_{i=1}^n EC_s \quad (11)$$

em que EC_t é a energia cinética total da chuva erosiva individual, em $MJ ha^{-1}$, e $\sum_{i=1}^n EC_s$ é o somatório da energia cinética de cada segmento da chuva, em $MJ ha^{-1}$.

O índice de erosividade de cada chuva EI_{30} é definido como o produto da intensidade máxima de chuva durante o período de 30 minutos (I_{30}), foi calculado pela equação:

$$EI_{30} = EC_t I_{30} \quad (12)$$

em que EI_{30} é o índice de erosividade da chuva erosiva individual, em $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; EC_t é a energia cinética total da chuva, em $MJ \text{ ha}^{-1}$; e I_{30} é a intensidade máxima da chuva em um período de 30 min, em mm h^{-1} , determinada a partir dos dados obtidos do pluviograma.

Valores mensais dos índices de erosividade EI_{30} são a média dos meses para a localidade. O valor médio anual do índice de erosividade EI_{30} é a média dos anos do período estudado.

O fator R da Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS, foi obtido a partir dos valores médios anuais do índice de erosão EI_{30} , pela equação:

$$R = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n E_i I_{30i} \quad (13)$$

em que R é erosividade média anual das chuvas ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), n é o número de anos registrados, m_j é o número de eventos erosivos durante um determinado ano j, e EI_{30} é o índice de erosividade das chuvas de um único evento k.

Os valores mensais da precipitação e o índice de erosividade EI_{30} foram expressos em porcentagens dos totais anuais, para fazer o gráfico de distribuição relativa, mensal e acumulada anual, conforme Wischmeier e Smith (1958).

3.4 COEFICIENTE DE CHUVA (R_C)

O coeficiente de chuva (R_C) foi calculado por meio da equação proposta por Lombardi Neto (1977), conforme equação:

$$R_c = \frac{P_m^2}{P_a} \quad (14)$$

em que, P_m é a precipitação pluviométrica média mensal e P_a é a precipitação pluviométrica média anual, em mm.

Lombardi Neto (1997) propôs que a relação entre erosividade e o coeficiente de chuvas R_c fosse expresso em equação exponencial ($EI_{30} = a \times R_c^b$).

3.5 PADRÃO DE CHUVAS DE JABOTICABAL

O padrão da chuva foi determinado separando-se as chuvas de acordo com os padrões de chuva avançado, intermediário e atrasado, conforme classificação proposta por Horner e Jens (1942).

Os padrões avançado, intermediário e atrasado caracterizam-se pela localização do pico de maior intensidade no início (primeiro terço), meio (segundo terço) ou fim (terceiro terço) do período de duração da chuva, respectivamente.

3.6 EVENTOS EXTREMOS DE EROSIVIDADE

Foram considerados eventos extremos de erosividade chuvas com energia cinética igual ou maior que $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ provenientes de um evento individual.

Esta classificação foi baseada na proposta por Larios (2007) e adaptada por Santos (2008), que propõe 5 classes de erosividade para o total acumulado mensal, sendo elas:

- muito baixa ($EI_{30} < 250 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$)
- baixa ($250 < EI_{30} < 500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$)

- média ($500 < EI_{30} < 700 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$)
- alta ($700 < EI_{30} < 1000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$) e
- muito alta ($EI_{30} > 1000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$)

Desta forma, foram considerados eventos extremos as chuvas individuais que superaram o total de energia cinética de classe de erosividade média ou superior esperada para todo o mês, critério semelhante ao utilizado para caracterizar eventos críticos de chuva quando esta supera a média esperada para o respectivo mês.

3.7 PERÍODO DE RETORNO DAS EROSIVIDADES MÁXIMAS

Com os valores do índice de erosividade anual de chuva (EI_{30}) foram estimados o período de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos. Para a determinação do período de retorno foi utilizada a distribuição de Gumbel-Chow e a aderência dos dados a distribuição foi avaliada com o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%, conforme metodologia descrita em Kite (1977).

O Período de retorno, a probabilidade de ocorrência e o valor teórico de EI_{30} foram obtidos como:

$$T = \frac{N+1}{m} \quad (15)$$

$$P_r = \frac{100}{T} \quad (16)$$

em que, T é o período de retorno, no qual o índice é igualado ou superado; N é o número de anos de registro de dados; m é o número de ordem do índice de erosividade; P_r é a probabilidade de ocorrência.

Para obter o valor da variável reduzida (b) da distribuição de Gumbel, aplicou-se a função de distribuição de frequência de Chow, como:

$$b = \frac{K+0,45}{0,78} \quad (17)$$

$$K = \frac{X-X_m}{S} \quad (18)$$

em que, K é o fator frequência; X é o valor teórico do índice de erosividade no período de retorno; X_m é a média dos valores dos índices de erosividade; S é o desvio padrão da série de valores de erosividade.

Para estimativa da variável hidrológica, X pelo ajuste de Gumbel em função do período de retorno (T), aplicou-se a seguinte equação:

$$X = \frac{b}{\alpha} + \mu \quad (19)$$

$$\alpha = \frac{1,2826}{S} \quad (20)$$

$$\mu = X_m - 0,45 S \quad (21)$$

em que, α é parâmetro de escala; μ é o parâmetro de locação.

IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIAL MÉDIA ANUAL EM JABOTICABAL - SP

A precipitação pluvial média anual em Jaboticabal - SP no período de 1971 a 1986 foi 1272,08 mm por ano (Tabela 1A) dos quais, 1100,9 mm, 86,55%, ocorreram em eventos erosivos (Tabela 2A) e 171,15 mm, 13,45%, em eventos não erosivos (Tabela 3A).

No período de 1997 a 2013 a precipitação média anual em Jaboticabal - SP foi 1106,9 mm por ano (Tabela 1B), sendo que deste total 931,12 mm, 84,12%, ocorreram em eventos erosivos (Tabela 2B) e 175,78 mm, 15,88%, em eventos não erosivos (Tabela 3B).

Entre os anos de 1971 e 1986 os meses chuvosos foram outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março com, respectivamente, 114,78 mm, 153,03 mm, 256,76 mm, 204,01 mm, 134,97 mm e 150,47 mm, totalizando seis meses úmidos. Nesse período, a precipitação média foi 169 mm, sendo dezembro o mês mais chuvoso. Os meses secos foram abril, maio, junho, julho, agosto e setembro com, respectivamente, 70,40 mm, 38,46 mm, 28,84 mm, 31,44 mm, 24,93 mm e 63,99 mm, e precipitação média de 43,01 mm (Figura 4).

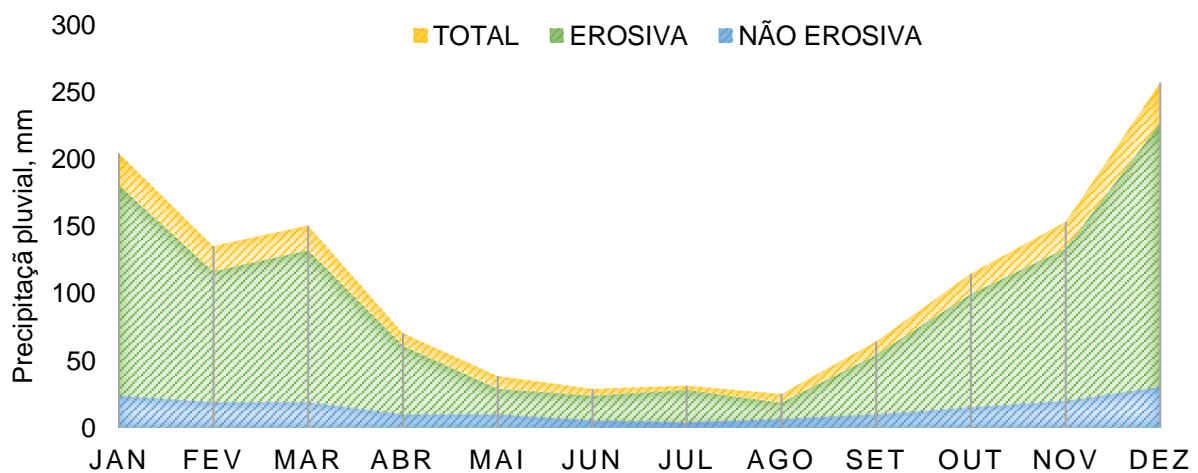


Figura 4. Precipitação pluvial média mensal total, erosiva e não erosiva, no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

No período de 1997 a 2013 os meses chuvosos foram novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março com, respectivamente, 110,83 mm, 178,70 mm, 262,72 mm, 161,77 mm e 113,50 mm, totalizando cinco meses úmidos por ano. A média de precipitação no período úmido foi 165,50 mm e janeiro foi o mês mais chuvoso com média de 262,72 mm. Os meses secos foram abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro com, respectivamente, 49,49 mm, 49,66 mm, 23,79 mm, 15,38 mm, 23,13 mm, 43,21 mm e 74,72 mm, totalizando sete meses secos, com média de precipitação de 39,91 mm (Figura 5).

A comparação entre as duas séries de dados de precipitação permite observar que o volume médio anual de precipitação pluvial do primeiro período, de 1971 a 1986, foi maior e melhor distribuída em seis meses úmidos, sendo dezembro o mês mais chuvoso, enquanto na segunda série de dados, de 1997 a 2013, o total de chuvas foi menor, no entanto concentrado em cinco meses úmidos, com janeiro sendo o mês mais chuvoso.

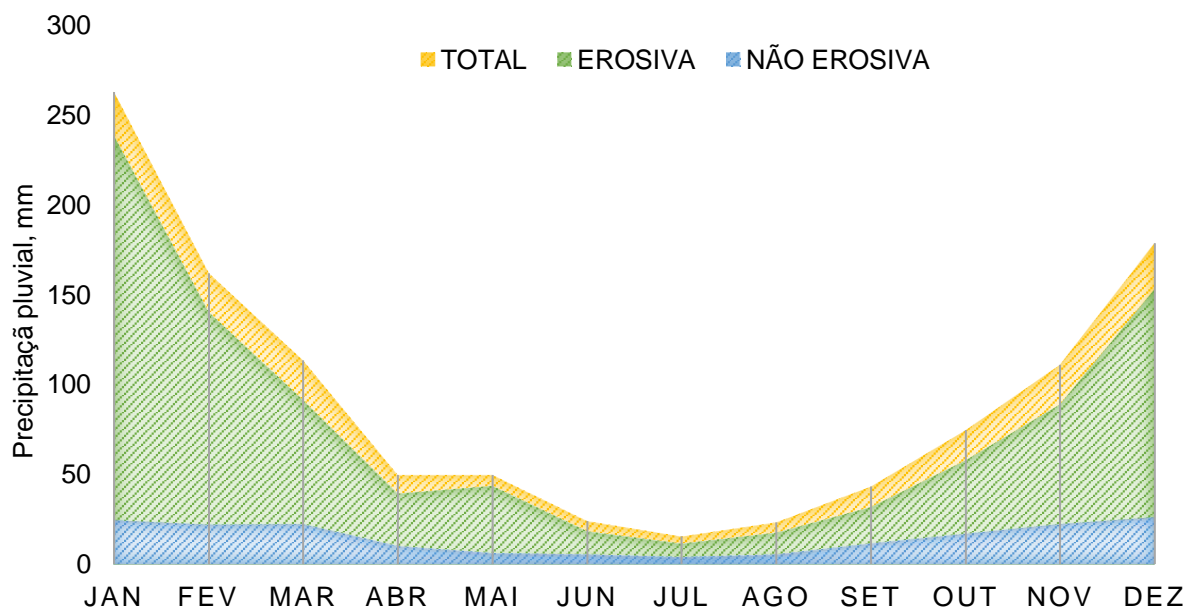


Figura 5. Precipitação pluvial média mensal total, erosiva e não erosiva, no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

A precipitação média anual de Jaboticabal, avaliada por registros de 56 anos de chuvas, de 1956 a 2013, foi 1402,7 mm com os meses mais chuvosos sendo dezembro, janeiro e fevereiro e os menos chuvosos de julho a agosto (Tabela 3)

(Andre e Garcia, 2014). Os autores também verificaram a alteração quanto ao mês mais chuvoso, de 1956 a 1985 foi dezembro, com 22% do total e de 1986 a 2013 passou a ser janeiro, representando 26% das chuvas anuais, além de terem observado tendência crescente de precipitação no decorrer dos anos. Esta média anual de precipitação está coerente com a média da bacia do Paraná que é de 1.438,58 mm (Trindade et al, 2016).

Considerando que a base de dados de Andre e Garcia (2014) são do mesmo período de 1971 a 2013, é apresentada comparação das médias mensal e anual das séries da dados de 1956 a 2013, de 1971 a 1986, de 1997 a 2013 (Tabela 3), onde pode ser observado que as maiores discrepâncias de 1971 a 1986 ocorreram de janeiro a março e, de 1997 a 2013, de fevereiro e março e de outubro a dezembro.

Tabela 3. Média mensal e anual de precipitação pluvial nos períodos de 1956 a 2013, de 1971 a 1986 e de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

Mês	Período da série da dados		
	1956 A 2013	1971 A 1986	1997 A 2013
JAN	262,30	204,01	262,72
FEV	209,80	134,97	161,77
MAR	160,90	150,47	113,50
ABR	70,10	70,40	49,49
MAI	50,10	38,46	49,66
JUN	28,80	28,84	23,79
JUL	23,40	31,44	15,38
AGO	23,90	24,93	23,13
SET	59,70	63,99	43,21
OUT	116,80	114,78	74,72
NOV	150,90	153,03	110,83
DEZ	246,00	256,76	178,70
Total	1402,70	1272,08	1106,90

Algumas médias mensais de precipitação muito baixas foram observadas em relação à média geral nas duas séries da dados (Tabelas 1A e 2A). No entanto, se essas médias discrepantes fossem excluídas, a média total de precipitação de 1971 a 1986 passaria a ser 1434,12 mm, portanto, semelhante às relatadas na literatura, e a de 1997 a 2013 a 1255,08 mm, resultando numa média integral, de 1971 a 2013 de 1344,60 mm, valor mais próximo do observado pela avaliação da série de 1956 a

2013. A tendência de aumento dos totais de precipitação considerando os dados de chuvas de a 1956 a 2013, no entanto, não se confirma na avaliação das séries separadamente, como foi feito neste trabalho.

A eliminação das médias discrepantes não teve utilidade prática para a obtenção da erosividade média mensal e anual de Jaboticabal, pelo cálculo do EI_{30} , mas poderá ser utilizada para sua estimação pela equação de regressão obtida neste trabalho. Mesmo assim, como existe a possibilidade de que os registros dessas médias muito baixas em alguns anos reflitam flutuações que intercalam anos chuvosos e anos secos, bem como anomalias de precipitação como as relatadas por Andre e Garcia (2014), esta pode ser uma das fontes de erros associadas ao uso de equações de regressão com base em médias mensais de precipitação.

4.2 COEFICIENTE DE CHUVA R_c

O coeficiente de chuvas R_c , indicador da distribuição da precipitação ao longo do ano, também foi alterado entre as séries de dados avaliadas. No período de 1971 a 1986, o mês de dezembro teve o maior R_c anual, 51,83, seguido de janeiro, 32,72, novembro, 18,41, março, 17,80, fevereiro, 14,32 e outubro, 10,36, portanto, esses seis meses concentravam 93,45% do total e os meses com maior R_c foram dezembro, 33,30% e janeiro, 21,02%, concentrando 54,33% do R_c anual (Figura 3).

Os meses secos, de abril a setembro, no período de 1971 a 1986, somavam apenas 6,55% do R_c anual. Considerando o mês de outubro, com R_c de 6,65%, como de transição dos meses mais secos para os mais chuvosos, este mês soma com os mais secos 13,21% da distribuição do coeficiente de chuvas, enquanto os cinco meses mais úmidos, de novembro a março, somavam 86,79% do R_c anual.

No período de 1997 a 2013 a média do R_c para janeiro foi 62,49, seguido de dezembro, 28,91, fevereiro, 23,69, março, 11,66 e novembro, 11,12. Em valores percentuais, estes cinco meses mais chuvosos concentravam 91,83% do coeficiente de chuvas e o mês de janeiro sozinho representa 42,62% do total (Figura 6).

Os sete meses mais secos no período de 1997 a 2013 foram de abril a outubro, com apenas 8,17% do R_c anual. Ao incluir os meses que podem ser considerados de transição, março e novembro, com 7,77 e 7,41 de coeficiente de chuva, respectivamente, somam nove meses mais secos, com 23,34% do R_c anual. Por outro lado, apenas três meses do período chuvoso, de dezembro a fevereiro, concentram 76,66%, correspondendo, portanto, aos meses críticos de risco de erosão.

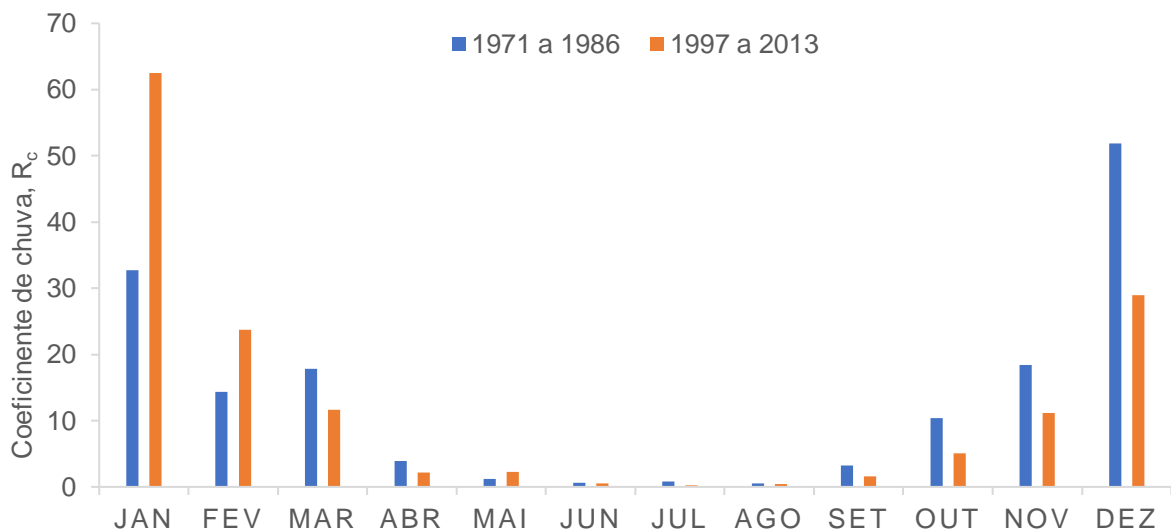


Figura 6. Comparação do coeficiente de chuvas R_c nos períodos de 1971 a 1986 e 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

4.3 EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL

Os meses com maior potencial erosivo no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, SP foram outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, com erosividade média de, respectivamente, 433,45, 700,57, 1087,83, 697,60, 534,30 e 539,22 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (Figura 7; Tabela 1C).

Na série de 1997 a 2013 os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março foram os que tiveram maior potencial erosivo das chuvas com, respectivamente, 461,35, 951,85, 1383,77, 870,46 e 443,40 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (Figura 8; Tabela 1D).

O mês de dezembro no período de 1971 a 1986 tinha o maior potencial, 1087,83 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, considerado muito alto, e a média nesses seis meses era 515,47 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, considerada de médio potencial erosivo. No período de 1997 a 2013, janeiro passou a ser o mês com maior potencial erosivo, e média dos cinco meses com maior potencial erosivo igual a 822,17 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, considerada alta. Portanto, a distribuição da precipitação ficou mais concentrada em cinco meses chuvosos e o potencial erosivo das chuvas também foi intensificado, com aumento de 59,5% (de 515,47 para 822,17 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) do EI₃₀ médio do período chuvoso das séries de 1971 a 1986 para a de 1997 a 2013.

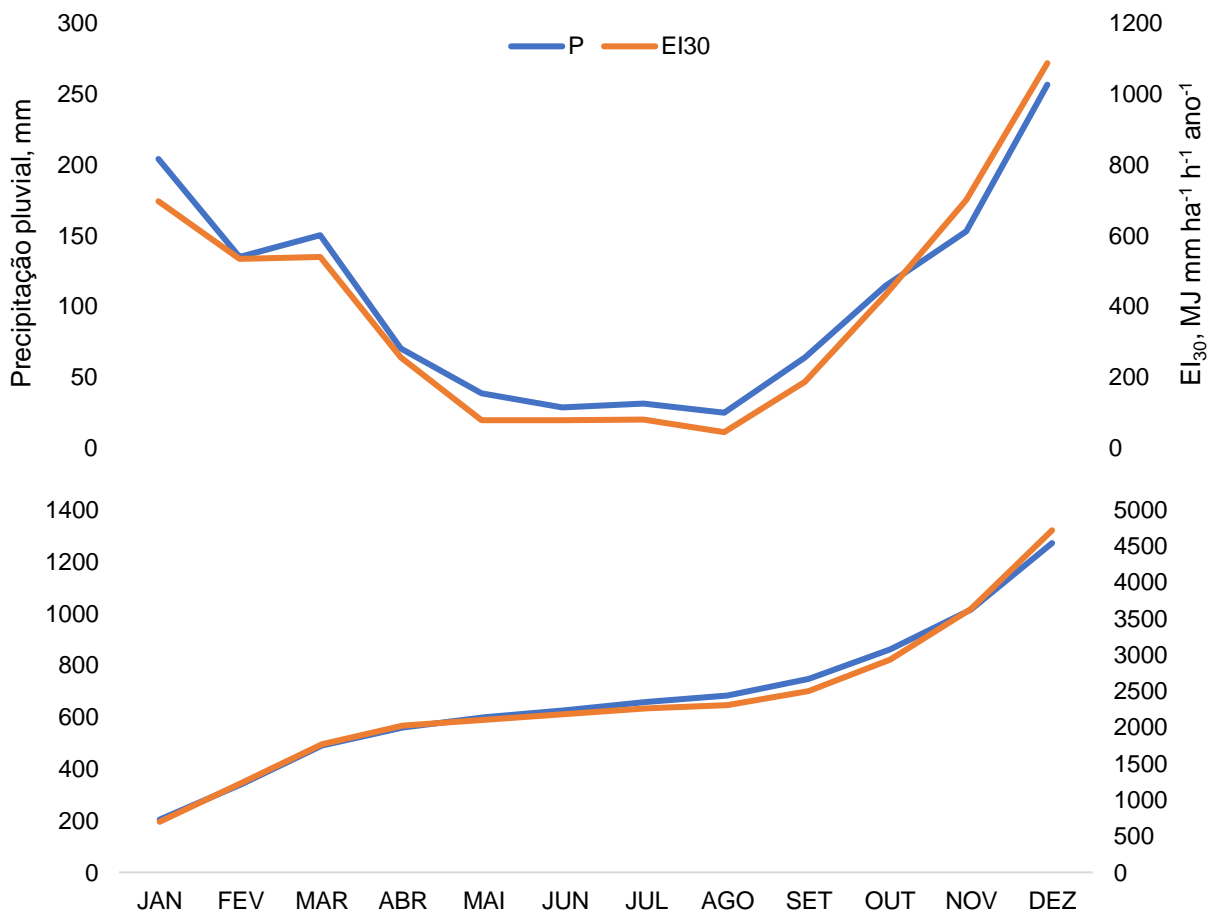


Figura 7. Erosividade e precipitação pluviométrica média mensal e acumulada no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

Dentro do período chuvoso de maior potencial erosivo foram separadas as classes de erosividade baixa ($250 < EI_{30} \leq 500$), média ($500 < EI_{30} \leq 700$ MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹)

h^{-1}), alta ($700 < \text{EI}_{30} \leq 1000 \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e muito alta ($\text{EI}_{30} > 1000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (BACK, 2018).

Na série de dados mais antiga, dos seis meses úmidos, a erosividade em outubro foi classificada como baixa, janeiro, fevereiro e março como média, novembro, alta e dezembro muito alta. Os três meses de maior potencial erosivo, eram novembro, dezembro e janeiro, com média de $828,48 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, que pode ser classificada como alta, sendo este o período crítico de erosividade.

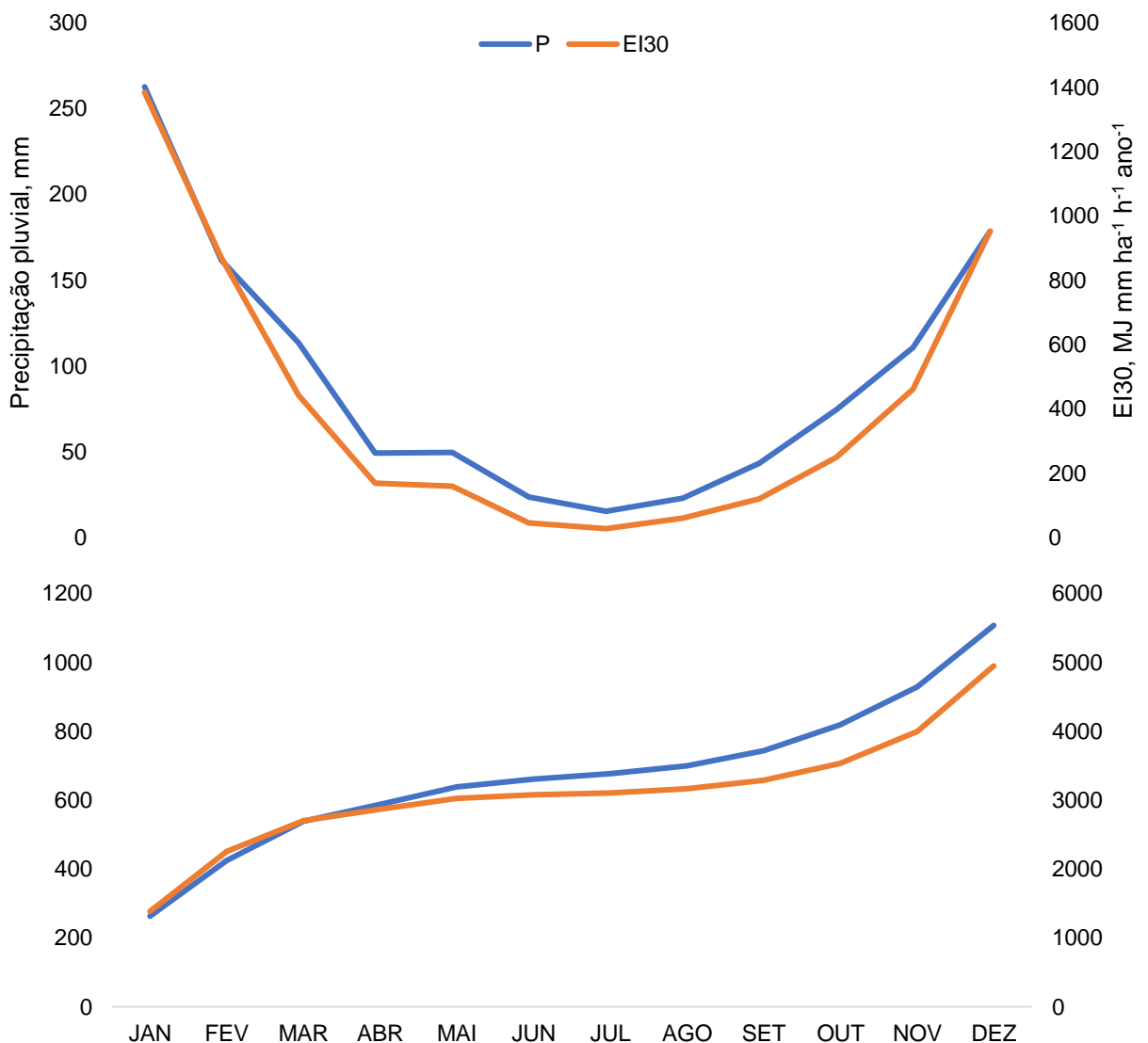


Figura 8. Erosividade e precipitação pluviométrica média mensal e acumulada do período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

Na série de dados mais recente, dos anos de 1997 a 2013, dos cinco meses que concentram os maiores valores de erosividade de novembro e março são classificados de baixo potencial erosivo, dezembro e fevereiro, apresentam alta erosividade, e o mês de janeiro com índice EI_{30} de $1383,77 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é de muito alta erosividade. A média dos três meses de maior potencial erosivo, dezembro a fevereiro, é de $1068,69 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo este valor classificado como muito alto, portanto, este é o período crítico de erosividade.

Estes resultados indicam que houve alteração do período crítico que era de novembro a janeiro na série de 1971 a 1986, para dezembro a fevereiro, na série de 1997 a 2013, e o índice de erosividade do período crítico aumentou 29%, de alto para muito alto potencial erosivo (Figura 9).

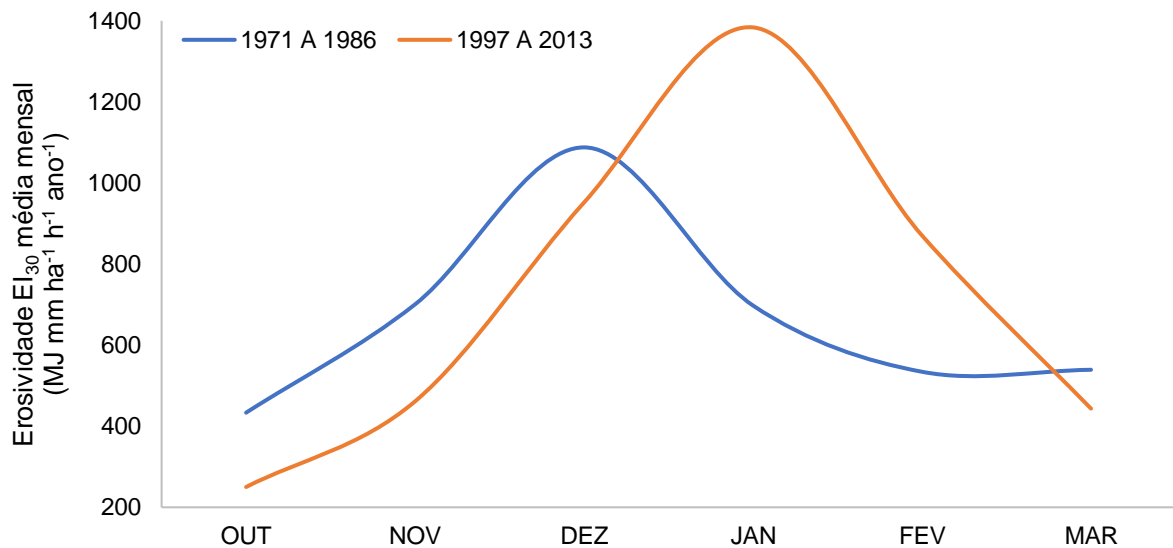


Figura 9. Erosividade EI_{30} média mensal considerando somente os meses de maior potencial erosivo, de outubro a março, nos períodos de 1971 a 1986 e de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

O índice de erosividade de Campinas (SP) foi $6769 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com base em registros de 22 anos de chuvas, sendo que 90,7% do índice de erosividade esteve associado ao período de outubro a março e os totais chuvas correspondente ao período foi de 80,1% (Lombardi Neto, 1977). As chuvas nas regiões sudoeste, oeste, norte pioneiro, centro-oriental e sudeste do Paraná, com base em dados

pluviométricos de 1986 a 2008 estão mais erosivas em relação à última estimativa feita por Rufino et al. (1993) (Waltrick et al, 2015).

A tendência de aumento do risco de erosão devido a chuvas intensas, em relação à soma das chuvas erosivas totais, corrobora previsões futuras de verões caracterizados por chuvas mais concentradas e maiores períodos de seca (Gericke et al., 2019).

4.4 DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E DA EROSIVIDADE

No período de 1971 a 1986 nos meses de novembro, dezembro e fevereiro a erosividade EI_{30} relativa foi maior que a precipitação pluvial relativa (Figura 10), situação que indica maior potencial erosivo das chuvas nesses meses, por outro lado, em janeiro, março e abril, a erosividade foi menor que a precipitação e em outubro os percentuais foram semelhantes (9,02% e 9,18%).

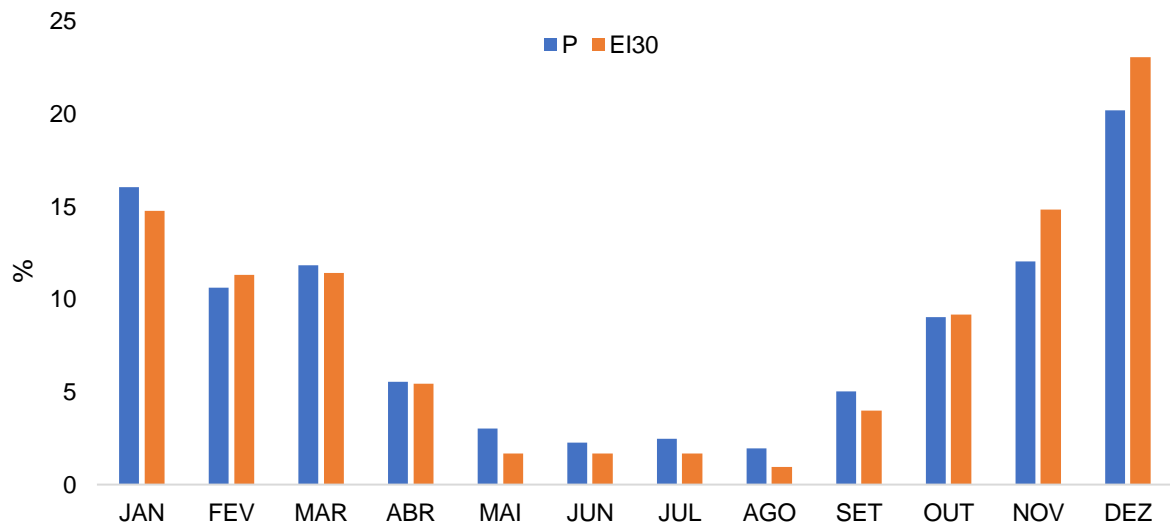


Figura 10. Distribuição percentual da precipitação média mensal (P) e do índice de erosividade EI_{30} no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

No período de 1997 a 2013 a erosividade EI_{30} relativa nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro foi maior que o valor relativo da precipitação pluvial, diferente de

outubro, novembro e março, que completam os meses mais chuvosos do período, porém, com menor potencial erosivo (Figura 11).

Os meses críticos de risco de erosão do período de 1971 a 1986 eram de novembro a janeiro, e no período de 1997 a 2013 de dezembro a fevereiro, considerando as classes de erosividade alta e muito alta e também o coeficiente de chuvas que concentrava 66,15% do R_c anual no período na série de dados mais antiga, e 76,66% no período crítico da série de dados mais recente.

Estes resultados estão de acordo com a alteração dos meses de período crítico de potencial erosivo e também com o aumento da concentração e intensidade de chuvas nestes três meses, situação que representa agravamento do problema da distribuição anual das chuvas e a ocorrência de eventos erosivos mais intensivos, razão pela qual é importante manter o monitoramento da chuva e a atualização do estudo de erosividade regional EI_{30} em função dessas mudanças de padrões.

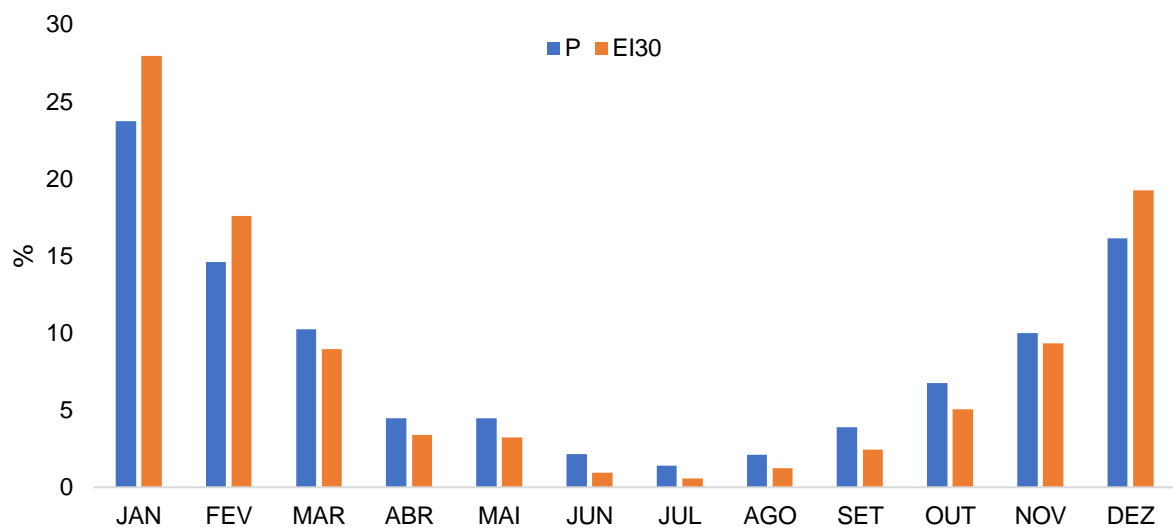


Figura 11. Distribuição percentual da precipitação média mensal P, do índice de erosividade EI_{30}) e do coeficiente de chuvas em Jaboticabal, São Paulo

A alteração do período crítico de novembro a fevereiro para dezembro a fevereiro, além de o mês mais erosivo ter se deslocado de dezembro para janeiro, pode representar uma vantagem na estratégia de práticas de controle da erosão, na medida em que a maior erosividade passa a coincidir com o estágio de crescimento mais avançado das culturas, que proporcionam maior cobertura e proteção do solo,

na comparação com o período de 1971 a 1986, quando a fase crítica de erosividade se iniciava em novembro, período em que o solo ainda está exposto, considerando que os processos de revolvimento, correção, adubação e semeadura são realizados na transição do período seco para o chuvoso, de outubro-novembro, portanto o solo nesta fase tem baixa taxa de cobertura pelas culturas e está mais exposto a erosão.

É importante ressaltar que a determinação do período crítico de erosão pela comparação do percentual de erosividade EI_{30} com o percentual de precipitação pluvial é útil pela facilidade e por evidenciar a preponderância da intensidade da chuva em caracterizar o potencial erosivo, porém, é necessário utilizá-la em conjunto com outros critérios de avaliação, pois isoladamente poderia resultar em interpretação equivocada. Por exemplo, se fosse utilizada para avaliar o mês de janeiro da série de dados de 1971 a 1986 (Figura 11), que têm o EI_{30} relativa menor que a precipitação pluvial relativa, portanto não seria considerado como crítico por este critério, mas que foi caracterizado como mês crítico pela média de erosividade alta e por concentrar, junto com novembro e dezembro, 66,15% do coeficiente anual de chuvas, contribuindo com 21,02% do R_c anual.

Em Viçosa, MG, os meses de novembro a março concentram 80,74% da erosividade anual (Boarett et al., 1998), razão pela qual os autores sugeriram que o preparo do solo e o estabelecimento das culturas nos sistemas tradicionais de produção, fossem antecipados para o início do ano agrícola ou, então, que nos cultivos tardios ou do início da estação chuvosa os métodos tradicionais fossem substituídos pelo plantio direto ou outras modalidade de cultivo mínimo.

4.5 EROSIVIDADE MÉDIA ANUAL, FATOR R DE JABOTICABAL - SP

O índice médio de erosividade de Jaboticabal, SP, dos anos de 1971 a 1988 foi 4719,85 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (FIGURA 12), enquanto no período de 1997 a 2013 a erosividade média anual foi 4946,38 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Figura 13). Na avaliação das séries agrupadas, considerando 33 anos de dados de chuvas, a erosividade média anual é de 4836,56 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Os maiores valores observados foram, na série de 1971 a 1986, 7295,80 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ em 1983 (Tabela 1C) e, na série de 1997 a 2013, 7539,70 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ no ano de 2006 (Tabela 1D).

De acordo com as classificações para a interpretação do índice de erosividade anual do Brasil (Carvalho, 2008), Jaboticabal tem classe de erosividade de média a alta ($4905 < R \leq 7357$ MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹), considerando o valor calculado com os dados de chuvas da série mais recente de 1997 a 2013. Se for considerada a série completa, de 33 anos, que resulta em erosividade de 4836,56 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, a classificação seria de erosividade média ($2452 < R \leq 4905$ MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹).

Considerando a tendência observada de concentração e aumento de intensidade das chuvas no período crítico de erosividade na série de 1997 a 2013, além da ocorrência mais frequente de eventos extremos (discutido na sequência), a classificação da erosividade de média a alta, feita para este período para Jaboticabal, mais recente é a mais apropriada.

Simulações de avaliação de cenários futuros de erosividade a partir de dados históricos de 30 anos das cidades paranaenses de Quedas do Iguaçu, Cascavel Francisco Beltrão, mostram curvas de evolução que apresentaram tendência de aumento da erosividade entre 8,99% a 27,08% (Neto et al, 2018).

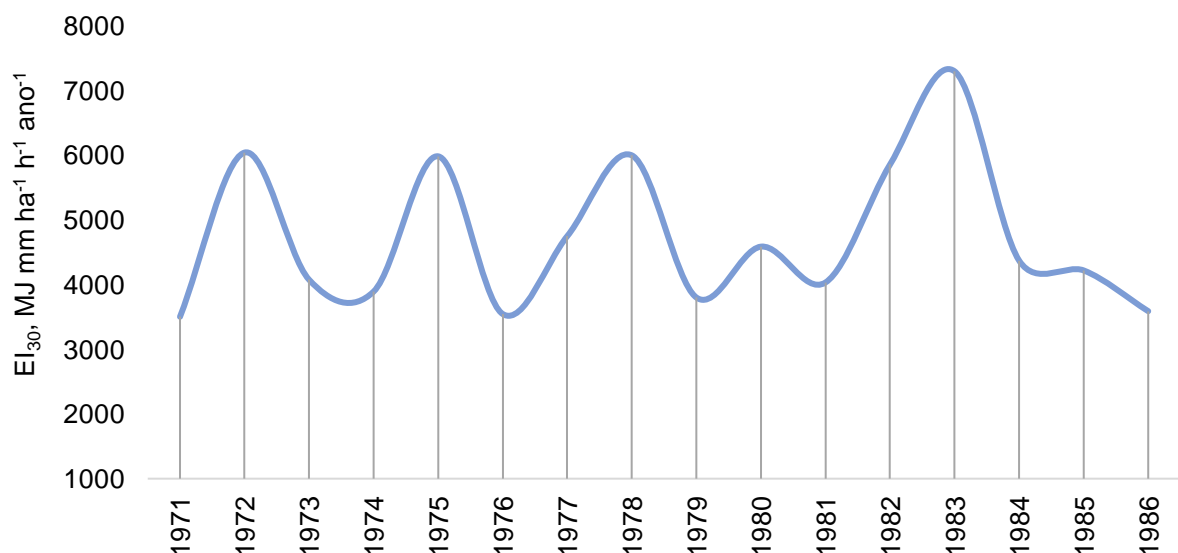


Figura 12. Índice de erosividade anual média, EI₃₀, no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

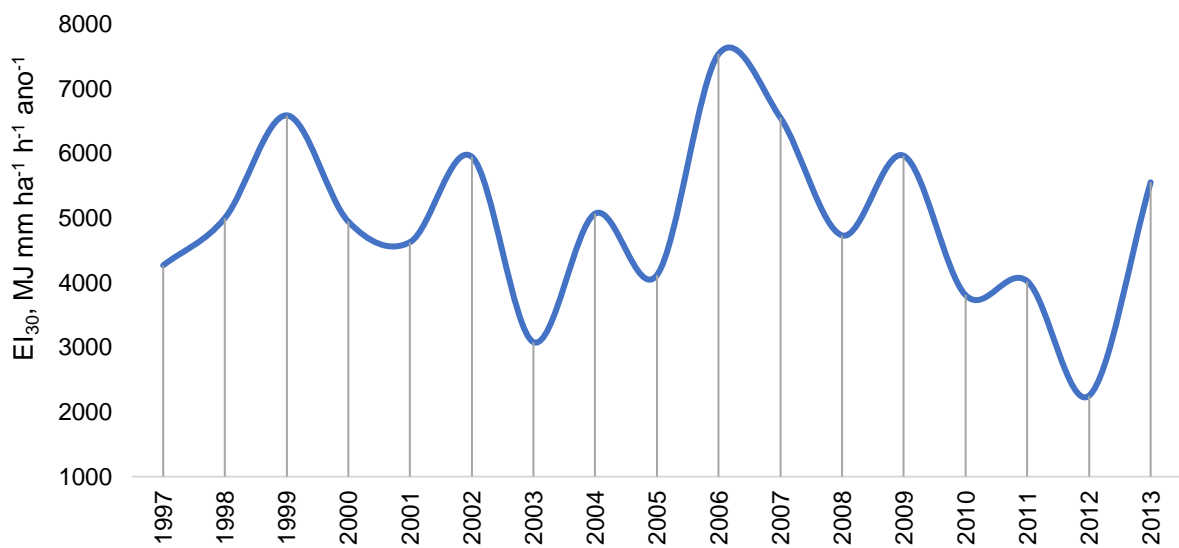


Figura 13. Índice de erosividade anual, EI₃₀ de 1997 a 2013 de Jaboticabal, São Paulo

A erosividade média anual das chuvas para Jaboticabal é menor que os valores obtidos no Estado de São Paulo por Tommaselli et al. (1999) que obtiveram, para Presidente Prudente valor de 7.161 MJ h⁻¹ mm ha⁻¹ ano⁻¹; por Roque et al. (2001), para Piraju valor de 7.074 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; por Colodro et al. (2002), para Teodoro Sampaio de 7.172 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; e por Moreti et al. (2003), para Pedrinhas Paulista de 7670 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

O fator erosividade da chuva para o município de Teodoro Sampaio (SP) é de 7172 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, calculado pelo parâmetro EI₃₀ com base em dados de 20 anos de chuvas, com média anual de 1282,3 mm (Colodro et al., 2002), valor de precipitação parecido ao observado em Jaboticabal, no entanto, com erosividade os dois municípios apresentam diferença de 2225,62 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, diferença que representa 45% da erosividade de Jaboticabal, SP. Portanto, a distribuição, o padrão hidrológico, o coeficiente e a intensidade de chuvas variam muito, mesmo para totais semelhantes de chuvas.

Os índices de erosividade do Estado de São Paulo variam entre 5000 e 12000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, sendo que as serras do Mar, Paranapiacaba e Mantiqueira, as Cuestas basálticas de Franca, São Carlos, Botucatu e Agudos, além da Zona Costeira, apresentam índices superiores a 8000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, e as demais regiões apresentam índices intermediários, entre 6.500 e 8.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Santa'anna Neto, 1995).

No Brasil existem várias áreas de risco de erosão hídrica, principalmente nas regiões sudeste e centro-oeste (Oliveira et al., 2012), e o conhecimento da erosividade é essencial para avaliar o risco de erosão do solo e apoiar o planejamento da conservação do solo e da água (Oliveira et al., 2011).

A erosividade das chuvas observada no Brasil varia de 1672 a 22452 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com os valores mais baixos encontrados na região nordeste, e os maiores na região norte e sudeste (Oliveira et al., 2012).

A erosividade média estimada para Itajaí, SC foi 4756,3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, valor próximo ao obtido para Jaboticabal, SP, apesar de que média de precipitação do município catarinense tenha sido de 1795,2 mm, porém, este volume de chuvas é bem distribuído ao longo do ano (Back e Gonçalves, 2017).

4.6 ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE EI₃₀ COM DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Foram obtidas regressões exponenciais significativas, $p < 0,01$ entre a erosividade das chuvas medida pelo índice EI₃₀ médio mensal dos períodos de 1971 a 1986 (Equação 22; Figura 14), de 1997 a 2013 (Equação 23; Figura 15) e de 1971 a 2013 (Equação 24; Figura 16) com o coeficiente de chuvas (R_c) obtido de um banco de dados de médias mensais de chuvas do período de 1971 a 2018 de Jaboticabal (Tabela 4).

$$EI_{30} = 108,6166 R_c^{0,5768} \quad R^2 = 0,972^{**}, \text{ série 1971 a 1986} \quad (22)$$

$$EI_{30} = 103,9678 R_c^{0,6355} \quad R^2 = 0,989^{**}, \text{ série 1997 a 2013} \quad (23)$$

$$EI_{30} = 104,0281 R_c^{0,6145} \quad R^2 = 0,990^{**}, \text{ série 1971 a 2013} \quad (24)$$

A equações de regressão 24 ($EI_{30} = 104,0281 R_c^{0,6145}$) foi aplicada à série de 48 anos de dados médios diários de chuvas do período 1971 a 2018 disponibilizada pela Estação Agroclimatológica da UNESP de Jaboticabal (Tabela 1E), resultando no valor estimado de 5618,77 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ de potencial erosivo das chuvas em Jaboticabal (Tabela 4).

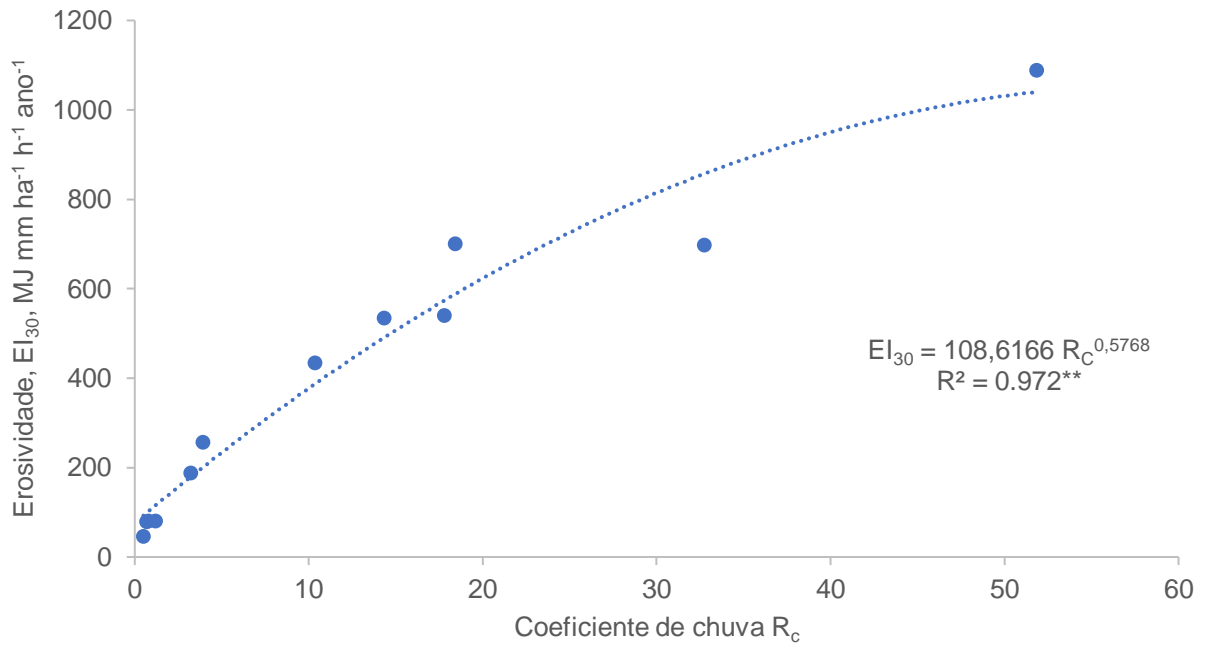


Figura 14. Regressão do índice de erosividade EI_{30} médio mensal com o coeficiente de chuvas R_c do período de 1971 a 1986 para Jaboticabal, São Paulo

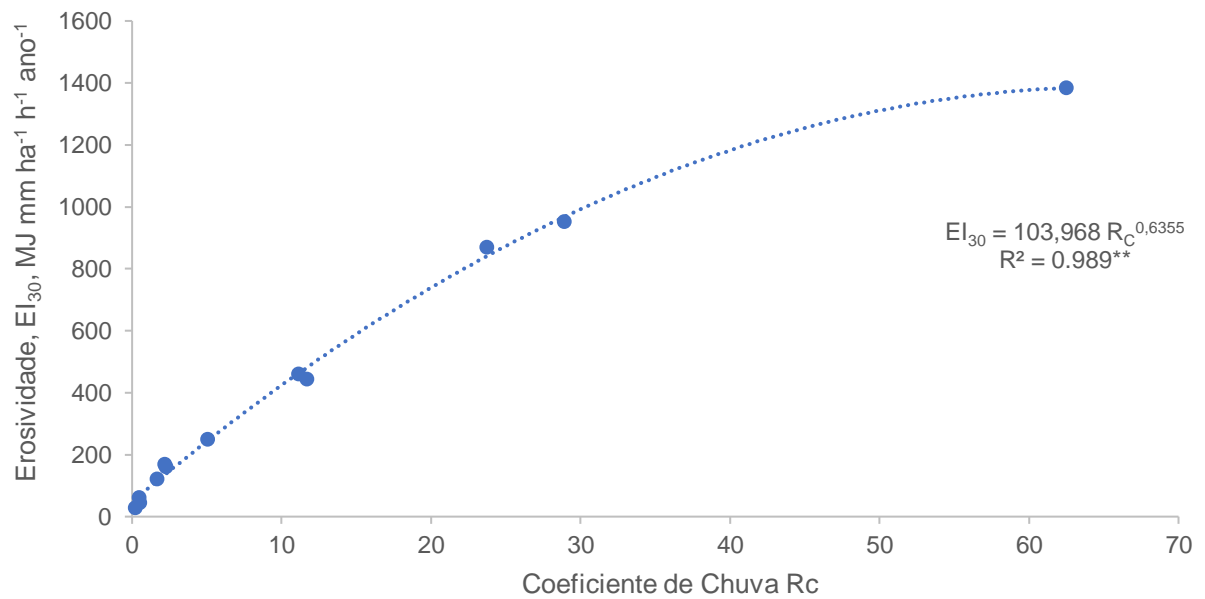


Figura 15. Regressão do índice de erosividade EI_{30} médio mensal com o coeficiente de chuvas R_c de Jaboticabal, São Paulo

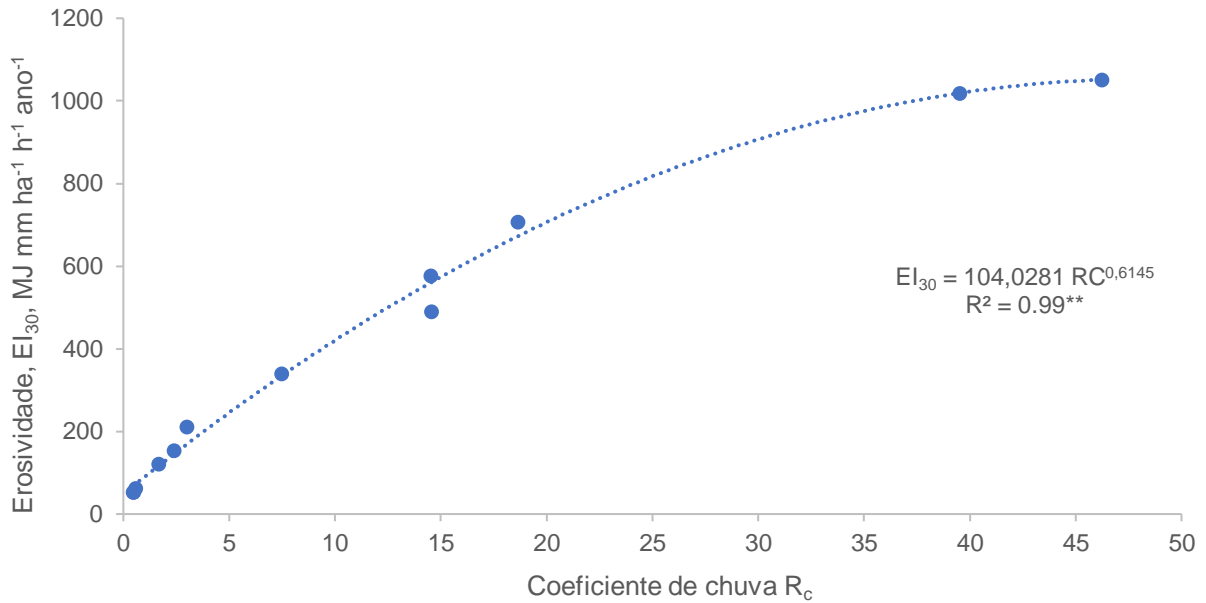


Figura 16. Regressão do índice de erosividade EI_{30} médio mensal com o coeficiente de chuvas R_c do período de 1971 a 2013 para Jaboticabal, São Paulo

A bacia hidrográfica do Paraná tem índice de erosividade médio anual de $7924,72\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$, obtidos a partir de dados de estações pluviográficas selecionadas e interpolados por meio de krigagem para estimar os valores de erosividade para locais não amostrados (Trindade et al, 2016). A média anual de precipitação na bacia do Paraná é de $1.438,58\ mm$, com distribuição da precipitação ao longo do ano com característica parecidas as observadas em Jaboticabal, SP, com $89,76\%$ do coeficiente de chuvas R_c concentrado no período de outubro-março e apenas $10,24\%$ no período de abril-setembro.

A erosividade média anual de Jaboticabal, estimada por Rede Neural Artificial (RNA) (Moreira et al., 2006), obtida por interpolação de dados de 138 estações pluviométricas, é de $7789\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$, índice de erosividade disponibilizado ao usuário por meio do programa netErosividade para o Estado de São Paulo, do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Viçosa.

Portanto, considerando os resultados de erosividade das duas séries de dados pluviográficos de Jaboticabal avaliadas neste trabalho, de 1971 a 1986 e de 1997 a 2013, totalizando 33 anos de séries de dados, cuja erosividade média foi de $4719,85\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ na série mais antiga, $4946,38\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$, na série mais recente e $4836,56\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ considerando todo o período, é possível

que os métodos de estimação da erosividade para o Estado de São Paulo, utilizando a equação proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) (Equação 25) obtida para Campinas - SP, mas que é frequentemente utilizada para produção de mapas de erosividade de outras regiões em São Paulo e em outros Estados, estejam superestimando os valores.

$$EI_{\text{mensal}} = 89,823 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,759} \quad (25)$$

em que EI_{mensal} é a erosividade média mensal do mês k , $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; r é a precipitação média mensal do mês k , mm ; e P é a precipitação média anual, mm .

A estimativa de erosividade para Jaboticabal pela equação de regressão obtida neste trabalho, mesmo que utilizando dados do coeficiente de chuvas provenientes de longa série de dados, ainda assim superestimou a erosividade em 16%, indicando que ocorrem e são importantes até mesmo pequenas variações locais. Portanto, os métodos de estimativa da erosividade devem ser utilizados com cautela.

Tabela 4 - Erosividade média mensal e anual calculada pela equação de regressão ($EI_{30} = 104,0281 R_c^{0,6145}$) aplicada em série de dados de médios de precipitação diária de 48 anos do período de 1971 a 2018 de Jaboticabal, São Paulo.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1971	1134,48	789,90	527,21	41,43	115,20	390,39	36,15	0,00	274,03	450,59	505,60	1405,74	5670,72
1972	1189,11	1108,18	374,81	125,58	284,61	4,32	449,26	118,24	284,98	658,39	728,97	710,76	6037,22
1973	459,65	392,33	539,09	744,91	94,90	43,38	73,17	2,01	116,91	529,32	518,66	2081,71	5596,04
1974	1113,25	310,32	1732,37	115,65	15,38	156,05	0,00	1,34	3,50	468,44	408,89	1651,24	5976,44
1975	370,69	1028,48	220,21	256,97	1,80	0,00	122,00	0,00	402,60	363,82	1808,00	744,32	5318,88
1976	433,81	1052,56	528,92	152,86	182,40	49,16	188,12	327,97	396,17	571,39	530,77	835,38	5249,52
1977	1385,37	246,75	471,25	426,76	10,86	71,78	12,66	58,13	141,26	139,82	1108,84	1721,08	5794,56
1978	900,44	743,66	792,69	54,83	361,44	70,34	192,25	0,00	152,58	357,65	614,18	1380,41	5620,47
1979	462,78	844,26	143,30	369,22	232,41	0,00	168,91	89,55	601,90	272,78	466,01	1675,80	5326,93
1980	871,93	625,04	493,24	400,94	4,54	249,47	0,00	56,12	318,60	335,11	1134,81	1148,88	5638,68
1981	1525,32	319,39	751,70	81,11	26,79	260,04	0,00	5,43	81,44	1183,56	346,80	950,11	5531,70
1982	1508,40	774,40	1369,35	112,44	72,62	87,62	53,23	87,32	48,64	611,77	384,78	1243,66	6354,22
1983	1171,07	1120,13	574,32	335,91	484,68	62,39	170,10	0,00	638,16	1175,20	654,78	995,48	7382,22
1984	1008,72	194,76	444,74	454,06	96,53	0,00	0,00	394,84	359,22	193,92	927,20	825,51	4899,48
1985	1689,21	1029,84	520,24	436,62	8,74	0,80	0,80	1,55	3,45	346,28	1178,34	500,60	5716,48
1986	1181,59	886,58	603,20	100,21	213,39	0,00	154,50	424,29	42,48	96,39	433,91	1931,53	6068,06
1987	1170,55	626,62	478,87	202,34	272,14	28,17	55,96	7,69	144,11	212,82	836,36	720,16	4755,79
1988	739,66	862,40	654,15	641,59	305,91	23,85	0,00	0,00	0,00	762,37	512,88	749,96	5252,77
1989	1243,77	1425,62	622,99	107,28	63,90	82,90	172,85	44,53	107,93	117,74	845,31	1193,34	6028,16
1990	860,43	451,37	1515,78	264,94	345,81	0,40	35,79	322,85	67,17	201,00	349,30	966,46	5381,32
1991	1417,77	437,34	1361,52	696,74	71,82	2,83	8,29	0,00	302,21	347,21	67,09	1040,81	5753,63

Continua...

...continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1992	1063,40	1107,13	589,62	255,36	148,57	0,00	38,70	45,89	396,59	876,18	584,46	385,27	5491,16
1993	789,24	1940,81	484,03	264,97	199,67	146,68	0,00	94,66	436,32	698,72	568,05	546,92	6170,07
1994	1141,77	384,37	524,61	70,96	129,39	44,56	32,79	0,00	4,02	821,06	725,01	888,06	4766,61
1995	907,75	1982,96	1210,05	145,28	97,91	26,13	37,83	0,00	103,07	304,49	255,72	1078,16	6149,33
1996	828,26	374,50	386,76	114,59	204,25	94,61	0,00	74,05	356,93	406,43	866,73	1515,06	5222,19
1997	1347,67	314,05	250,94	224,51	163,79	575,63	33,12	0,00	121,16	201,71	1699,35	747,85	5679,81
1998	365,43	1122,16	632,46	125,25	298,34	2,27	5,73	192,90	81,95	617,06	315,31	1555,80	5314,67
1999	1903,30	1678,12	395,85	360,47	70,90	45,40	2,70	0,00	246,38	204,44	260,67	930,84	6099,05
2000	1328,42	1128,01	413,88	167,48	6,19	0,71	106,41	146,43	338,65	38,87	538,35	936,26	5149,66
2001	915,22	289,47	379,21	134,34	334,45	9,33	4,18	201,84	75,14	606,39	991,24	1251,96	5192,76
2002	1831,12	1326,42	525,01	8,28	125,97	0,00	9,10	48,60	497,80	141,70	606,84	975,50	6096,34
2003	1870,57	628,37	404,20	483,87	311,40	28,25	42,65	23,53	61,94	225,18	272,15	924,70	5276,81
2004	1951,38	1349,84	135,06	308,13	270,83	71,72	104,11	0,00	69,28	480,65	703,97	495,08	5940,06
2005	1810,62	291,88	510,65	199,59	507,71	86,20	147,12	0,00	193,84	186,50	128,68	1120,45	5183,24
2006	985,31	1969,63	501,93	21,13	6,53	20,88	4,96	44,61	102,54	724,29	639,86	904,20	5925,88
2007	3185,90	551,44	558,46	150,23	345,31	3,46	274,51	0,00	0,36	98,85	477,08	776,60	6422,20
2008	1474,37	1351,03	382,43	484,46	235,64	23,75	0,00	60,56	33,92	186,76	270,57	1221,68	5725,18
2009	885,74	674,16	794,72	199,61	59,93	136,28	56,90	433,62	430,82	312,28	557,51	1593,01	6134,58
2010	1112,56	625,74	794,41	357,20	23,97	16,44	0,00	0,00	581,14	241,28	378,46	1025,73	5156,93
2011	1032,33	785,28	2282,23	288,97	12,14	71,72	0,00	39,82	8,62	576,47	643,24	567,29	6308,12
2012	1012,98	479,21	91,38	319,20	262,85	581,05	33,63	0,00	289,19	137,55	715,03	975,56	4897,64
2013	1778,31	538,17	521,82	205,35	311,27	81,96	87,12	0,00	206,12	302,24	614,28	997,52	5644,17
2014	484,51	386,30	526,61	276,89	17,52	3,48	110,60	0,23	182,04	191,03	1006,39	801,42	3987,03

Continua...

...continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2015	313,42	1108,52	648,04	257,13	300,19	21,80	115,34	6,62	385,82	505,27	976,09	1548,12	6186,36
2016	2025,32	753,42	453,13	16,79	392,33	382,56	0,00	198,15	49,13	184,59	968,17	677,68	6101,27
2017	992,26	468,92	508,19	555,06	445,16	8,90	0,00	52,44	14,52	370,66	1094,60	530,03	5040,73
2018	1360,46	335,90	194,72	32,57	17,93	0,00	8,12	128,43	234,97	695,86	1734,52	342,57	5086,06
Média	1177,83	816,99	621,26	253,13	178,46	84,74	65,62	77,80	208,12	411,09	686,54	1037,21	5618,77

4.7 PADRÃO DE CHUVAS DE JABOTICABAL

O padrão das chuvas em Jaboticabal, SP foi alterado considerando as séries de dados de 1971 a 1986 e de 1997 a 2013 (Figura 17). Houve aumento das chuvas no padrão avançado e intermediário, e redução no padrão atrasado. Houve a redução de 30% das chuvas no padrão hidrológico atrasado na série de dados de 1971 a 1986, (Tabela 1F) para 20% no período de 1997 a 2013 (Tabela 1G).

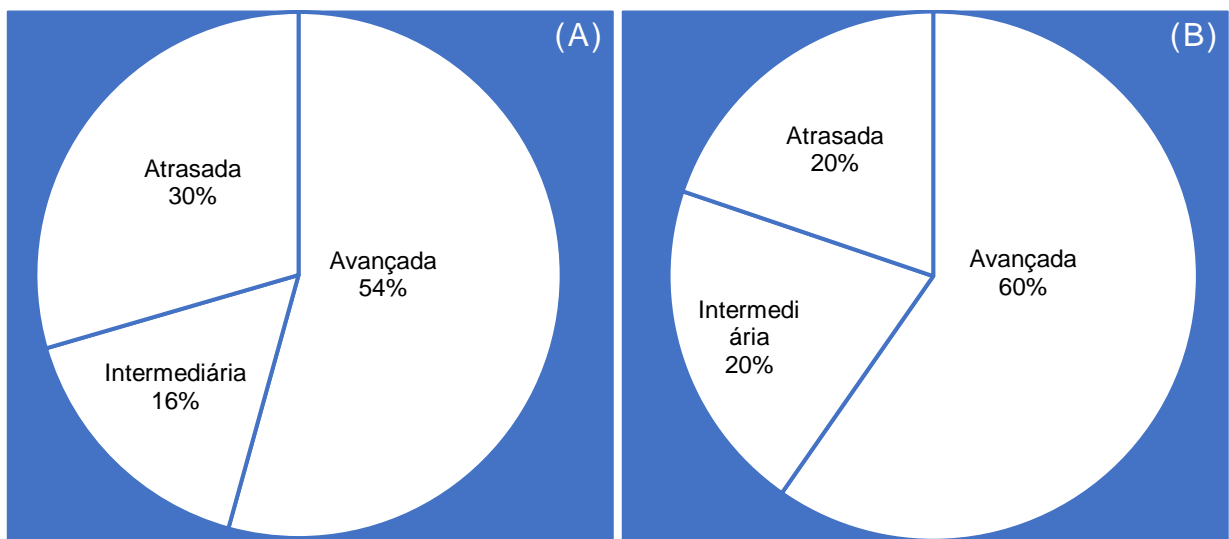


Figura 17. Padrões das chuvas erosivas nos períodos de 1971 a 1988 (3A) e de 1997 a 2013 (3B) em Jaboticabal, São Paulo

A erosão avaliada por Eltz et al. (2001) foi maior em chuvas do padrão atrasado em relação às de padrões intermediários e avançados, que não diferem entre si, situação explicada pela alteração da superfície e conteúdo de água do solo no decorrer da chuva

Como 60% das chuvas ocorrem no padrão avançado, é possível esperar menores perdas de solo em Jaboticabal devido ao fato de que no momento do pico da chuva este estaria menos úmido que no caso dos outros padrões, dessa forma, a desagregação, o selamento e o transporte de solo seriam menores (Mehl et al., 2001). No entanto, é preciso considerar a condição inicial de umidade do solo para fazer esta interpretação. Nas condições do período mais erosivo, normalmente com ocorrência

frequente de chuvas, em que o solo já está previamente úmido, a erosão causada por uma chuva de pico adiantado será significativa.

Maior perda de solo em Argissolo Vermelho-Amarelo foram observadas sob chuvas simulada de padrão atrasado, em relação às perdas de solo das chuvas de padrão intermediário e avançado, entre as quais não houve diferenças significativas, o que foi explicado pelas condições de alteração da superfície e pela umidade do solo no decorrer da chuva (Eltz et al., 2001). No padrão atrasado, quando ocorre o pico de máxima intensidade, o solo está com maior umidade em relação aos outros padrões, favorecendo a desagregação, o selamento superficial e o transporte de suas partículas, ocorrendo assim maior perda de solo.

4.8 EVENTOS EXTREMOS DE EROSIVIDADE

No período de 1971 a 1986 ocorreram 22 eventos extremos de erosividade (Tabela 5), média de 1,37 por ano, enquanto no período de 1997 a 2013 houve 39 eventos extremos (Tabela 6), média de 2,44 por ano, o que representa aumento de 77,27% em relação a série de dados mais antiga.

Eventos extremos, com frequência de uma vez ao ano, foram responsáveis por grande fração da produção de sedimentos anual, como ocorrido em outubro de 2015 que foi responsável sozinho pela produção de 24,7t de sedimentos, 56% do total anual de 43,9t de erosão naquele ano (Barros, 2016).

A ocorrência de eventos intensos de chuva no período de 1971 a 1986 foi mais frequente no mês de dezembro, já no período de 1997 a 2013 passou a ser em janeiro. Neste mês, havia ocorrido apenas três eventos extremos na série mais antiga, passando a 13. O mês de dezembro, inclusive, em que havia ocorrido seis chuvas intensas, passou a somar oito.

Tabela 5. Ocorrência de eventos extremos de precipitação e erosividade no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

Data	Mês	Duração	Precipitação (mm)	El ₃₀ (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ mês ⁻¹)
06/01/1977	JAN	23h11	81,00	657,10
08/01/1985		13h30	83,60	606,10
16/01/1986		02h25	39,50	500,00
21/02/1978	FEV	22h00	80,30	903,00
27/02/1982		01h00	34,70	665,50
06/03/1971	MAR	31h15	68,70	664,40
17/03/1974		23h30	59,70	500,00
23/03/1975		05h25	31,00	500,00
09/03/1978		13h20	67,00	726,70
09/03/1982		15h50	56,00	805,60
20/04/1974	ABR	09h40	42,90	599,70
28/10/1985	OUT	10h20	61,10	569,20
31/11/1972	NOV	03h50	54,00	1327,00
11/11/1975		06h45	64,00	875,80
25/11/1975		16h35	71,50	830,50
02/11/1985		12h25	124,60	675,40
28/12/1972	DEZ	06h00	54,30	844,30
24/12/1975		16h00	91,90	831,10
10/12/1977		19h35	87,80	491,70
30/12/1980		11h39	51,80	507,10
21/12/1982		07h55	51,00	500,00
15/12/1983		10h35	91,00	1702,60
MÉDIA			65,79	728,59
DESVIO PADRÃO			22,14	302,35
MÍNIMO			31,00	500,00
MÁXIMO			124,60	1702,60

Os dados indicam que houve aumento na frequência, na distribuição e na intensidade de chuvas consideradas como eventos extremos. Por representarem isoladamente alto potencial erosivo e grande percentual do total da erosividade, o planejamento de controle da erosão deve levar em consideração estas características de ocorrência dos eventos extremos.

Tabela 6. Ocorrência de eventos extremos de precipitação e erosividade no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

Data	Mês	Duração	Precipitação (mm)	El ₃₀ (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ mês ⁻¹)
09/01/1999	JAN	03h40	50,70	738,40
15/01/1999		48h10	81,00	500,00
23/01/2001		05h00	59,10	912,00
12/01/2002		70h50	109,80	1008,50
09/01/2004		16h00	66,50	500,00
30/01/2005		02h20	52,10	543,10
13/01/2007		54h00	130,80	1496,10
12/01/2008		12h50	44,80	500,00
20/01/2008		48h50	68,30	500,00
02/01/2011		44h40	98,10	537,00
07/01/2013		03h30	41,20	644,60
08/01/2013		08h10	72,70	1272,30
16/01/2013		04h50	41,10	783,70
13/02/1999	FEV	07h20	73,70	1419,70
14/02/2004		34h00	96,50	650,80
22/02/2004		82h20	130,20	545,00
08/02/2006		13h30	111,70	2568,90
21/02/2006		16h10	97,90	791,60
09/02/2009		11h50	51,50	500,00
12/03/1998	MAR	14h10	38,20	555,20
09/03/2009		10h30	57,50	510,00
02/03/2011		118h30	207,70	651,50
23/03/2011		10h40	32,50	500,00
04/05/2005	MAIO	16h10	62,50	500,00
30/09/2010	SET	07h50	47,30	500,00
19/10/2004	OUT	07h30	41,80	553,40
18/11/2002	NOV	05h40	62,20	507,00
27/11/2004		13h30	45,50	500,00
23/11/2009		12h30	40,60	509,80
09/12/1998	DEZ	15h40	48,50	598,10
15/12/1998		10h00	36,80	500,00
29/12/1998		27h10	63,60	718,00
08/12/1999		31h50	62,90	777,70
14/12/2001		05h00	47,10	500,00
30/12/2002		04h00	34,80	500,00
02/12/2005		11h30	103,00	962,90
10/12/2007		04h10	53,50	686,10
26/12/2008		18h30	71,50	836,30
03/12/2009		03h10	31,80	500,00
MÉDIA			68,38	705,77
DESVIO PADRÃO			35,20	408,45
MÍNIMO			31,80	500,00
MÁXIMO			207,70	2568,90

Poucos eventos extremos representaram a totalidade de um mês ou a maior parte da produção de sedimentos anual da bacia hidrográfica monitorada de Arvorezinha, no Rio Grande do Sul (Barros, 2016). Dessa forma, a análise de eventos extremos é muito importante pois a frequência de sua ocorrência vem aumentando nos últimos anos, sendo cada vez mais agressivos devido a falta de medidas preventivas.

As mudanças climáticas influenciam a erosividade das chuvas devido à alteração dos padrões de precipitação e de circulação climática, modificando a intensidade e frequência de eventos extremos de chuva (Almagro et al., 2017). Estudos dos impactos das mudanças climáticas sugerem variação de até 109% da erosividade Brasil (Almagro et al., 2017).

4.9 PERÍODO DE RETORNO DAS EROSIVIDADES MÁXIMAS EM JABOTICABAL - SP

Na Figura 18 está representada a distribuição de probabilidade de Gumbel-Chow ajustada aos valores de erosividade anual (EI_{30}). O valor da estatística de Kolmogorov-Smirnov ($d_{máx} = 0,117$) foi inferior ao valor crítico para o nível de significância de 5% ($d_{crít} = 0,231$), indicando que a distribuição pode ser utilizada na estimativa de valores de EI_{30} . A distribuição de probabilidade de Gumbel-Chow demonstrou aderência à diversas séries de valores de EI_{30} determinadas em localidades no Brasil como: Teodoro Sampaio - SP (Colodro et al., 2002; Santa Rosa-RS (Mazurana et al., 2009); Florianópolis - SC (Back e Poletto, 2017).

A partir da distribuição de Gumbel foi possível estimar as probabilidades de ocorrência de EI_{30} para diferentes períodos de retorno (T), o que é apresentado na Tabela 7.

Informações quanto ao período de retorno de valores de EI_{30} são importantes, segundo Back e Poletto (2017), pois podem permitir a inclusão de um fator de risco relativo a T nos modelos de previsão de perdas de solo, utilizando valores diferentes do valor médio de erosividade. Uma análise do período de retorno é ferramenta imprescindível para ajudar engenheiros a lidarem com as incertezas, no sentido de

tomarem as melhores decisões no controle e prevenção da erosão do solo com base em análises de informações e eventos que ocorreram no passado, como relatado por Sadeghi et al. (2017). Neste sentido, a erosividade anual para período de retorno de 5 anos foi estimada em $5725,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para T igual a 10 anos em $6449,0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valores 18,4% e 33,3%, nesta ordem, maiores que a erosividade média anual de $4836,54 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para Jaboticabal - SP (Tabela 7).

A erosividade média anual de $4836,54 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ apresentou um período de retorno de 2,3 anos, ou seja, um valor que pode ser igualado ou superado com facilidade no município de Jaboticabal - SP.

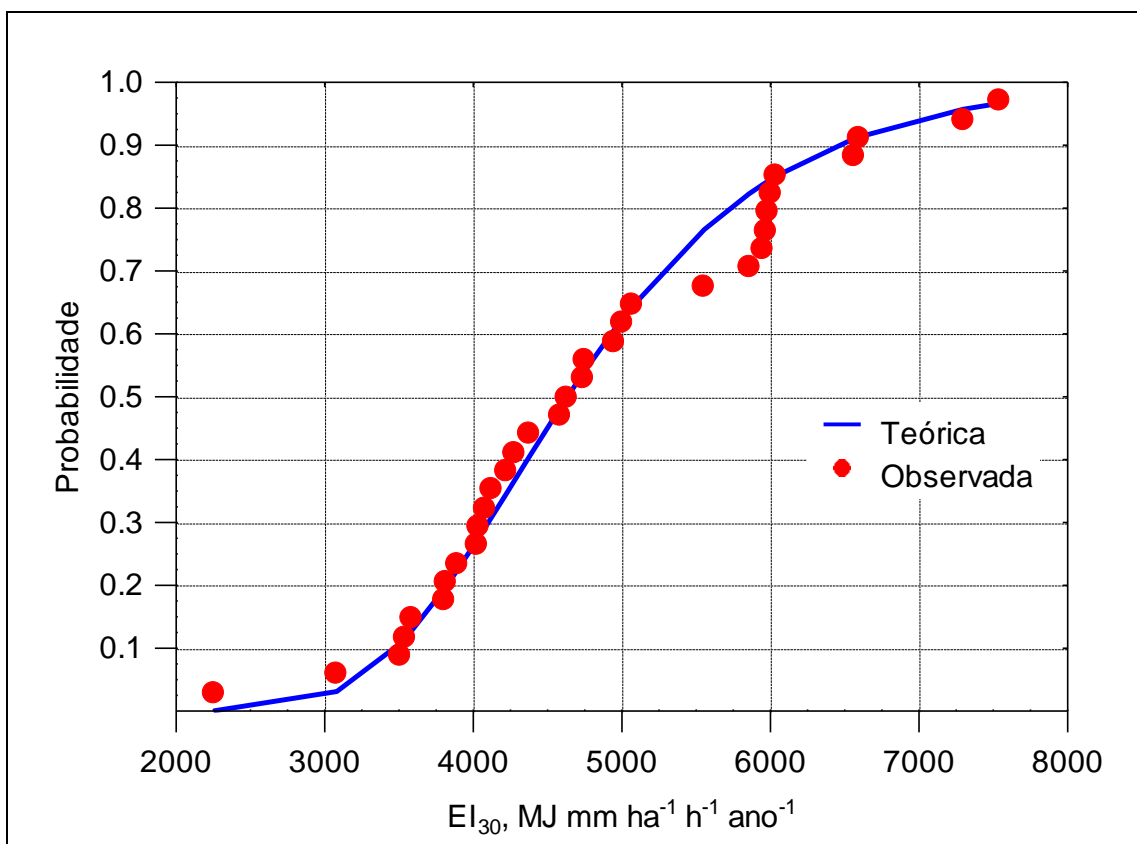


Figura 18. Aderência da distribuição ajustada à série de valores de erosividade (EI_{30}) de Jaboticabal, SP.

Tabela 7. Valores estimados de erosividade anual (EI_{30}) para Jaboticabal, SP.

Período de Retorno (T)	Probabilidade	EI_{30}
Anos	$P_r[X \leq]$	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹
2	0,5	4633,5
5	0,8	5725,8
10	0,9	6449,0
20	0,95	7142,6
25	0,96	7362,7
50	0,98	8040,5
100	0,99	8713,4

V - CONCLUSÕES

O índice médio de erosividade El_{30} , fator R da Equação Universal de Perdas do Solo para Jaboticabal, SP é de 4836,56 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e é classificada como de média a alta.

A erosividade, El_{30} média mensal aumentou 59,5% no período chuvoso de 1997 a 2013, em relação ao mesmo período da série de 1971 a 1986.

O período mais crítico de erosividade na série de 1971 a 1986, de novembro a janeiro, tinha erosividade alta, foi alterado para dezembro a fevereiro, na série de 1997 a 2013, com aumento de 29% para erosividade classificada como muito alta.

A equação de regressão ($El_{30} = 104,0281 R_c^{0,6145}$, $R^2 = 0,99^{**}$) do índice de erosividade da chuva com o coeficiente de chuva de Jaboticabal - SP, obtida no período de 1971 a 2013 superestima a erosividade em 16%.

O padrão de chuvas de Jaboticabal, SP migrou de 54% para 60% da chuva do tipo avançada e reduziu de 30% para 20% de chuva do tipo atrasada, considerando os períodos de 1971 a 1986 e 1997 a 2013, respectivamente.

Houve aumento de 77,27% na ocorrência de eventos individuais extremos de alta precipitação e potencial erosivo, da média de 1,37 por ano, no período de 1971 a 1986, para 2,44 por ano, no período de 1997 a 2013.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, AW, Chaves, IB, Vasques Filho, J. (1994) Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num Regossolo eutrófico de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 18:279-283.

Almagro, A, Oliveira, TPS, Nearing, MA, Hagemann, S (2017) Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil. **Scientific Reports** 7:8130.

Almeida, DA, Parente Júnior, WC, Beserra Neta, LC, Costa, ML (2009) Erodibilidade do solo e erosividade da chuva na Serra do Tepequém – Roraima. **Revista Acta Geográfica** 3:39-46.

Alexander, L. V.; Zhang et al. (2006) Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. **Journal of Geophysical Research** 111:1-22.

Amaral, BSD, Dantas, JC., Silva, RM, Carvalho Neto, JF (2014) Variabilidade da erosividade das chuvas no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira Geografia Física** 7:691-701.

Amorim, RSS, Silva, DD da, Pruski, FF, Matos, AT (2010) Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola** 30:1046-1049. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000600006>

André, RGB, Garcia, A (2014) Variabilidade temporal da precipitação em Jaboticabal - SP. **Nucleus** 11:397-402.

Angulo-Martínez, M, Beguería, S (2009) Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: a comparison among methods using data from the Ebro Basin

(NE Spain). **Journal of Hydrology** 379:111-121. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.051>

Back, AJ, Gonçalves, FN (2017) Avaliação da erosividade de chuvas para o Vale do Rio Itajaí, SC. **Revista Tecnologia e Ambiente** 23:29-42.

Back, AJ, Poletto, C (2017) Avaliação temporal do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC. **Revista Brasileira de Climatologia** 21:264-283.

Back, AJ (2018) Erosividade da chuva para a região do Planalto Serrano de Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias** 41:298-308.

Barros, CAP de (2016) **Dinâmica dos escoamentos na modelagem da produção de sedimentos em uma pequena bacia rural**. 197 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Barredo, JI (2007) Major flood disasters in Europe: 1950-2005. **Nat. Hazards** 42:125-148.

Bazzano MGP, Eltz FLF, Cassol EA (2007) Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:1205-1217. <http://hdl.handle.net/10183/79492>.

Beguiria, S, Serrano-Notivoli, R, Tomas-Burguera, M (2018) Computation of rainfall erosivity from daily precipitation amounts. **Science of the Total Environment** 637-359-373.

Bertol, I, Zoldan Junior, W., Fabian, EL, Zavaschi, E, Pegoraro, R, Gonzáles, AP (2008) Effect of chiseling and rainfall erosivity on some characteristics of water erosion in a nitosol under distinct management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32:747–757. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200027>.

Beskow, S, Mello, CR, Norton, DL, Curi, N, Viola, MR, Avanzi,,JC (2009) Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed model. **Catena** 79:49-59.

Boarett, WA, Souza, CM, Wruck, FJ (1998) Índice de erosividade das chuvas para Viçosa/MG. **Revista Ceres** 45:193-201.

Bonilla, CA, Vidal, KL (2011) Rainfall erosivity in Central Chile. **Journal of Hydrology** 410:126-133. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.022>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

Brown, LC, Foster, GR, (1987) Storm erosivity using idealized intensity distributions. **Trans. Am. Geophys. Union** 39:285–291.

Cantalice, JRB, Margolis, E (1993) Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 17:275-281.

Capolongo, D, Diodato, N, Mannaerts, CM, Piccarreta, M, Strobl, RO (2008) Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (southern Italy). **Journal of Hydrology** 356:119-130

Carvalho, DF, Montebeller, CA, Franco, EM, Valcarcel, R, Bertol, I (2005) Rainfall patterns and erosion indices at Seropedica and Nova Friburgo, Rio de Janeiro - Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 9:7-14. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000100001>.

Carvalho, MP, Lombardi Neto, F, Vasques Filho, J, Cataneo (1989) A Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI_{30} . **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 13:243-249.

Cassol, EA, Eltz, FLF, Martins, D, Lemos, AM, Lima, VD, Bueno AC (2008) Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32:1239-1251.

Colodro G, Carvalho MP, Roque CG, Prado RM (2002) Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 26:809-818. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000300027>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

Dash, CJ, Das, N K, Adhikar, PP (2019) Rainfall erosivity and erosivity density in Eastern Ghats Highland of east India. **Natural Hazards** 97:727-746.

Dominati E, Patterson, M, Mackay, A (2010) A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecol. Econ.** 69:1858-1868. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

Eltz FLF, Mehl HU, Reichert JM (2001) Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 25:485-493.

Ferro, V (2010) Deducing the USLE mathematical structure by dimensional analysis and self-similarity theory. **Biosystems Engineering** 106:16-220. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.03.006>.

Fournier, F (1960) *Climate et Erosion*. Paris: PRESS UNIVERSITAIRES DE FRANCE, 201p.

Gericke, A, Kiesel, J, Deumlich, D, Venohr, M (2019) Recent and Future Changes in Rainfall Erosivity and Implications for the Soil Erosion Risk in Brandenburg, NE Germany. **Water** 11:2-18.

Gonçalves, FA (2002) **Erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro**. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

Gunn, R, Kinzer, GD (1949) The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air. **Journal Meteorology** 6:243-248.

Horner WW, Jens SW (1942) Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the American Society of Civil Engineers** 107:1039-1075.

Horner, WW, Jens, SW (1941) Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Trans. Am. Soc. Agron. Eng.** 107:1039-1117.

Hoyos, N, Waylen, PR, Jaramillo, A (2005) Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. **Journal of Hydrology** 314:177-191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.014>.

Hudson, N W (1971) Raindrop size. Soil Conservation: Cornell University Press, Ithaca, New York, p. 50-56.

Jong, SM de, Paracchini, ML, Bertolo, F, Folving, S, Megier, J, Roo, APJ de (1999) Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data. **Catena** 37:291-30.

Kinnell, PIA (2010) Event soil loss, runoff and the universal soil loss equation family of models: a review. **Journal of Hydrology** 385:384-397. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.024>

Kinnell, PIA (1981) Rainfall intensity-kinetic energy relationships for soil loss prediction. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 45:153-155.

KITE, G.W. Frequency and risk analyses in hydrology. Fort Collins, Water Resources Publications, 1977. 224p.

Laws, JO, Parsons, DA (1943) The relation of raindrop-size to intensity. **Transactions of the American Geophysical Union** 24:452-460. <https://doi.org/10.1029/TR024i002p00452>

Laws, JO (1941) Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops. **Eos. Trans** 22:709-721.

Lee, JH, Heo, JH (2011) Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. **Journal of Hydrology** 409:30-48. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.07.031](http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.07.031).

Lee, MH, Lin (2014) Evaluation of Annual Rainfall Erosivity Index Based on Daily, Monthly, and Annual Precipitation Data of Rainfall Station Network in Southern Taiw. **Hindawi Publishing Corporation** 10:1-15.

Loarie, SR, Lobell, DB, Asner, GP, Mu, Q, Field, CB (2011) Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. **Nature Climate Change** 1:105-109. <http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE1067>.

Lombardi Neto F. (1977) **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP)**. 53 f. Tese. West Lafayette: Purdue Univ.

Lombardi Neto, F, Moldenhauer, WC (1992) Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia** 51:189-196.

Lombardi Neto, F, Silva, IR, Castro, OM (1981) **Potencial de erosão das chuvas no Estado de São Paulo**. In: III ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO. **Anais...**Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Lukić, T, Lukić, A, Basarin, B, et al. (2019) Rainfall erosivity and extreme precipitation in the Pannonian basin. **Open Geosci.** 11:664-681.

Mannaerts, CM, Gabriels, D (2000) Rainfall erosivity in Cape Verde. **Soil and Tillage Research** 55:207-212.

Maracchi G, Sirotenko O, Bindi M (2005) Impacts of Present and Future Climate Variability on Agriculture and Forestry in the Temperate Regions: Europe. *Climatic Change*. **Climatic Change**. 70:117-135. Disponível em <<https://doi.org/10.1007/s10584-005-5939-7>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

Marker, M, et al. (2007) Assessment of land degradation susceptibility by scenario analysis: a case study in Southern Tuscany, Italy. **Geomorphology** 93:120-129.

Marques, JJGSM, Alvarenga, RC, Curi, N, Santana, DP, Silva, MLN (1997) Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 21:427-434. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831997000300011>

Mazurana, J, Cassol, EA, Santos, LC, Eltz, FLF, Bueno, AC (2009) Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 13:975-983.

McGregor, KC, Bingner, RL, Bowie, AJ, Foster, GR (1995) Erosivity index values for northern Mississippi. **Trans. ASAE** 38:1039-1047.

McGregor, KC, Mutchler, CK (1976) Status of the R factor in northern Mississippi. In: *Soil Erosion: Prediction and Control*. **Soil Conservation Soc. Amer** 135-142.

Mehl HU, Eltz FLF, Reichert JM, Didonè IA (2001) Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 25:475-483.

Mello, CR, Viola, M R, Curi, N, Silva, AM (2012) Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:1878-1891.

Mello, CR, Sá, MAC, Curi, N, Mello, JM, Viola, MR (2007) Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 42:537-545. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>

Mitas, L., Mitasova, H., Terrain Analysis and erosion modeling, 1998.

Moehansyah, H, Maheshwari, BL, Armstrong, J (2004) Field evaluation of selected soil erosion models for catchment management in Indonesia. **Biosystems Engineering** 88:491-506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.04.013>.

Montebeller, CA, Ceddia, MB, Carvalho, DF, Vieira, SR, Franco, EM (2007) Spatial variability of the rainfall erosive potential in the State of Rio de Janeiro, Brazil. **Engenharia Agrícola** 27:426-435.

Morais, LFB, Mutti, LSM, Eltz, FLF (1988) Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 12:281-284.

Moreira, MC, Cecícilo, RA, Pinto, FAC, Pruski, FF (2006) Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 30:1069-1076. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000600016>.

Moreti D, Mannigel AN, Carvalho MP (2003) Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy** 25:137-145. Disponível em <DOI: 10.4025/actasciagron.v25i1.2467>. Acesso em: 01 nov. 2019.

Moreti, D, Carvalho, MP, Mannigel, AR, Medeiros, LR (2003) Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **R. Bras. Ci. Solo** 27:713-725. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400016>.

Morgan, RPC (2001) A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan-Morgan-Finney model. **Catena** 44:305-322. [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00171-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00171-5).

Loureiro, NDS, Coutinho, MDA (2001) A new procedure to estimate the RUSLE EI_{30} index based on monthly rainfall data and applied to Algarve region. **J. Hydrol** 250:12-18.

Nearing, MA, Yin, S, Borrelli, P, Polyakov, VO (2017) Rainfall erosivity: a historical review. **Catena** 157:357-362.

Nearing, MA, Foster, GR, Lane, LJ, Finkner, SC (1989) A process based soil erosion model for USDA Water Erosion Prediction Project technology. **Transactions of ASAE** 32:1587-1593.

Nearing, MA, Simanton, JR, Norton, LD, Bulygin, SJ, Stone, J (1999) Soil erosion by surface water flow on a stony, semiarid hillslope. **Earth Surface Processes and Landforms** 24:677-686.

Oliveira PTS, Alves Sobrinho T, Rodrigues DBB, Panachuki E (2011) Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management** 25:1021-1036. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-010-9739-0>.

Oliveira PTS, Wendland E, Nearing MA (2012) Rainfall erosivity in Brazil: a review. **Catena** 100:139-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>.

Oliveira, PTS, Alves Sobrinho T, Rodrigues, DBB, Panachuki, E (2011) Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management** 25:1021-1036. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-010-9739-0>.

Oliveira, PTS, Youlton, C, Oliveira, DBB, Alves Sobrinho, T, Wendland, E, Mendiondo, EM (2011) Estimativa do índice de erosividade e obtenção de padrões de precipitação usando séries curtas de dados. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Maceió: ABRH, p. 1-9.

Olsson, J, Berggren, K, Olofsson, M, Viklander, M (2009) Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden. 7th INT. WORKSHOP PRECIP. URBAN AREAS 7TH INT. WORKSHOP PRECIP. URBAN AREAS 92:364-375.

Panagos P, Borrelli P, Meusburger K (2017) Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. **Nature** 4175:1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>

Panagos, P, Borrelli, P, Poesen, J, Ballabio, C, Lugato, E, Meusburger, K, Montanarella, L, Alewell, C (2015) The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. **Environ. Sci. Pol.** 54:438-447.

Panagos, P, Karydas, CG, Ballabio, C, Gitas, IZ (2014) Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: an application of the G2 model in Crete focusing on agricultural land uses. **Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.** 27:147-155.

Panagos, P, Karydas, CG, Gitas, IZ, Montanarella, L (2012) Monthly soil erosion monitoring based on remotely sensed biophysical parameters: a case study in Strymonas river basin towards a functional pan-European service. **Int. J. Digit. Earth** 5:461-487.

Panagos, P, Balbio, C, Borrelli, P, Meusburger, K, Klik, A, Rousseva, S, Tadic, MP, Michealides, S, Hrabalikova, M, Olsen, P, Aalto, J., Lakatos, M (2015) Rainfall erosivity in Europe. **Science of the Total Environment** 511:801-814.

Pimentel, D (2006) Soil erosion: a food and environmental threat. **Environ. Dev. Sustain** 8:119-137. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-1262-8>

Renard, KG, Foster, GR, Weesies, GA, McCool, DK, Yoder, DC (1997) Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook 703. Washington: USDA, 404 p.

Renard, KG, Freimund, JR (1994) Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology** 157:287-306. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4).

Renard, KG, Freimund, JR (1994) Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology** 57:287-306.

Risse, LM, Nearing, MA, Nicks, AD, Lafien, JM (1993) Error Assessment in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal** 57:825-833.

Roque, CG, Carvalho, MP, Prado, RM (2001) Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **R. Bras. Ci. Solo** 25:147-156.

Rosewell, CJ (1986) Rainfall kinetic energy in eastern Australia. **J. Clim. Appl. Meteorol.** 25:1695-1701.

Rufino, RL, Biscaia, RCM, Merten, GH (1993) Determinação do potencial erosivo da chuva no Estado do Paraná através de pluviometria: Terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 30:439-444.

Sadeghi, SHR.; Moatamednia, M.; Behzadfar, M. (2011) Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran, **Journal of Agricultural Science and Technology** 13: 451–464.

Santa'anna Neto, JL (1995) A erosividade das chuvas no Estado de São Paulo. **R. Dep. Geografia** 9:35-49. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br /rdg/article/view/53690/57653>.

Santos, C.N. (2008) **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul. Universidade Federal de Pelotas**. 138 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS.

Schick, J, Bertol, I, Cogo, NP, González, AP (2014) Erosividade de chuvas em Lages, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 38:1890-1905.

Silva, AM da (2004) Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena** 57:251-259.

Silva, AM da, Silva, MLN, Curi, N, Lima, JM de. Avanzi, JC, Ferreira, MM (2005) Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 40:1223-1230.

Tommaselli, JTG, Freire, O, Carvalho, WA (1999) Erosividade da chuva da região oeste do estado de São Paulo. **R. Bras. Agrometeorol.** 7:269-276.

Trindade, ALF, Oliveira, PTS, Anache, JAA, Wendland, E (2016) Variabilidade espacial da erosividade das chuvas do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 5:1918-1928.

UNESCO. **Solo a pele da Terra: ciências da terra para a sociedade**. Paris, 2007.

USDA Agricultural Research Service (2013) **Science Documentation Revised Universal Soil Loss Equation Version 2**. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60600505/RUSLE/RUSLE2_Science_Doc.pdf.

Van Oost K, Govers G, Desmet PJJ (2000) Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. **Landscape Ecology** 15: 579-591.

Vieira, SR, Lombardi Neto, F (1995) Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia** 54:405-412.

Waltrick, PC, Machado, MADM, Dieckow, J, Oliveira, D (2015) Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39:256-267. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20150147>

Wang, Y, Tan, S, Liu, B, Yang, Y (2017) Estimating rainfall erosivity by incorporating seasonal variations in parameters into the Richardson model. **J. Geogr. Sci.** 27:275-296.

Wischmeier WH, Smith, DD (1958) Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos Trans** 39:285-291. <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>.

Wischmeier WH (1959) A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-Loss Equation 1. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 23:246-249. doi:10.2136/sssaj1959.03615995002300030027x.

Wischmeier, WH, Smith, DD (1978) Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, D.C, United States Department of Agriculture. 58p. (Agriculture handbook, 537).

Willems, P, Arnbjerg-Nielsen, K, Olsson, J, Nguyen, VTV (2012) Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: methods and shortcomings. **Atmospheric Res** 103:106-118.

Woolhiser, DA, Smith, RE, Goodrich, DC (1990) KINEROS: A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual, ARS-77. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 130 p.

Zhang, L, Su, F, Yang, D, Hao, Z, Tong, K (2013) Discharge regime and simulation for the upstream of major rivers over Tibetan Plateau. **J. Geophys. Res. Atmos.** 118: 8500-851.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Dados de precipitação pluvial erosiva, não erosiva e total do período de 1971 a 1986 de Jaboticabal, São Paulo

Tabela 1A. Precipitação pluvial mensal e total anual (mm) no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1971	39.1	84.1	131.4	16.7	46.4	55.3	29.3	0.0	67.4	96.8	54.0	248.9	869.4
1972	241.7	163.7	112.0	50.1	54.9	3.2	71.7	43.1	69.5	161.4	153.2	142.1	1266.6
1973	80.1	69.2	121.3	149.4	33.0	15.8	25.7	1.0	24.2	119.8	118.3	286.0	1043.8
1974	182.6	38.7	294.7	57.4	7.3	49.3	0.0	1.0	2.2	125.3	92.8	296.6	1147.9
1975	95.9	84.5	70.8	59.7	0.0	0.0	39.1	0.0	122.7	71.7	322.7	185.2	1052.3
1976	141.0	140.3	131.6	51.3	0.0	7.9	66.6	101.4	103.6	0.0	99.5	166.9	1010.1
1977	280.3	50.8	104.7	110.1	7.6	15.0	4.2	0.0	59.1	52.9	231.2	379.4	1295.3
1978	222.7	210.3	207.4	28.1	109.1	66.2	38.6	21.0	35.4	71.7	127.9	267.6	1406.0
1979	100.8	185.2	33.9	100.8	58.4	0.0	53.5	32.2	142.6	75.8	115.3	341.0	1239.5
1980	208.7	166.8	117.1	98.3	2.2	77.6	0.0	21.0	72.6	96.8	212.4	247.3	1320.8
1981	251.6	80.7	171.8	27.5	4.9	81.9	0.0	3.2	26.6	220.2	93.1	207.1	1168.6
1982	336.0	203.3	302.1	40.5	31.3	32.4	21.3	30.1	20.4	174.4	102.2	296.5	1590.5
1983	265.8	245.7	170.3	109.2	139.1	29.3	69.8	0.0	197.7	324.5	197.7	278.0	2027.1
1984	203.5	138.5	147.0	74.0	42.6	26.9	29.4	22.7	59.7	110.7	144.5	239.6	1239.2
1985	340.5	76.9	129.9	115.3	4.9	0.7	0.7	1.3	2.3	97.3	262.7	158.6	1191.1
1986	273.9	220.8	161.5	38.0	73.7	0.0	53.1	120.8	17.9	37.1	121.0	367.4	1485.2
MÉDIA	204.0	135.0	150.5	70.4	38.5	28.8	31.4	24.9	64.0	114.8	153.0	256.8	1272.1

Tabela 2A. Precipitação pluvial mensal e total anual (mm) em eventos de chuvas erosivas no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1971	21.3	78.7	124.5	5.9	45.7	43.5	28.0	0.0	63.7	84.7	46.2	224.0	766.2
1972	215.7	129.0	92.1	43.8	48.4	0.0	44.1	27.6	48.3	147.8	112.4	122.1	1031.3
1973	44.0	55.6	109.2	125.1	0.0	14.5	24.8	0.0	10.0	95.3	104.0	267.4	849.9
1974	149.9	22.4	245.8	47.5	0.0	31.5	0.0	0.0	0.0	103.5	88.1	256.2	944.9
1975	69.3	48.6	68.7	59.7	0.0	0.0	38.2	0.0	110.0	57.8	300.0	156.5	908.8
1976	109.1	129.7	78.8	33.4	0.0	0.0	66.6	93.7	86.8	0.0	93.9	130.4	822.4
1977	260.2	46.4	87.0	108.1	0.0	14.6	0.0	0.0	43.1	31.3	205.8	344.1	1140.6
1978	198.0	185.0	194.5	20.4	102.7	52.3	31.5	0.0	32.0	57.1	110.4	246.9	1230.8
1979	81.9	173.2	29.9	91.9	58.4	0.0	52.5	25.4	119.3	69.3	101.7	300.2	1103.7
1980	189.7	130.4	103.8	93.7	0.0	67.8	0.0	13.8	60.7	88.2	186.0	222.0	1156.1
1981	224.0	80.2	140.5	24.5	0.0	77.4	0.0	0.0	25.5	218.5	65.5	187.4	1043.5
1982	336.0	188.0	300.3	26.4	8.2	28.5	11.9	10.0	17.9	139.7	66.1	242.4	1375.4
1983	233.6	221.1	147.2	91.6	128.3	21.8	69.8	0.0	185.9	303.5	178.3	244.4	1825.5
1984	179.0	116.5	127.8	64.2	31.6	21.9	25.4	16.4	49.9	93.8	125.5	209.6	1061.6
1985	321.1	66.3	111.6	107.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.2	243.9	149.4	1091.3
1986	256.7	188.2	144.9	26.3	35.6	0.0	49.3	107.6	14.0	11.2	106.8	322.4	1263.0
MÉDIA	180.6	116.2	131.7	60.6	28.7	23.4	27.6	18.4	54.2	99.6	133.4	226.6	1100.9

Tabela 3A. Precipitação pluvial mensal e total anual (mm) em eventos de chuvas não erosivas no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1971	17.8	5.4	6.9	10.8	0.7	11.8	1.3	0.0	3.7	12.1	7.8	24.9	103.2
1972	26.0	34.7	19.9	6.3	6.5	3.2	27.6	15.5	21.2	13.6	40.8	20.0	235.3
1973	36.1	13.6	12.1	24.3	33.0	1.3	0.9	1.0	14.2	24.5	14.3	18.6	193.9
1974	32.7	16.3	48.9	9.9	7.3	17.8	0.0	1.0	2.2	21.8	4.7	40.4	203.0
1975	26.6	35.9	2.1	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	12.7	13.9	22.7	28.7	143.5
1976	31.9	10.6	52.8	17.9	0.0	7.9	0.0	7.7	16.8	0.0	5.6	36.5	187.7
1977	20.1	4.4	17.7	2.0	7.6	0.4	4.2	0.0	16.0	21.6	25.4	35.3	154.7
1978	24.7	25.3	12.9	7.7	6.4	13.9	7.1	21.0	3.4	14.6	17.5	20.7	175.2
1979	18.9	12.0	4.0	8.9	0.0	0.0	1.0	6.8	23.3	6.5	13.6	40.8	135.8
1980	19.0	36.4	13.3	4.6	2.2	9.8	0.0	7.2	11.9	8.6	26.4	25.3	164.7
1981	27.6	0.5	31.3	3.0	4.9	4.5	0.0	3.2	1.1	1.7	27.6	19.7	125.1
1982	0.0	15.3	1.8	14.1	23.1	3.9	9.4	20.1	2.5	34.7	36.1	54.1	215.1
1983	32.2	24.6	23.1	17.6	10.8	7.5	0.0	0.0	11.8	21.0	19.4	33.6	201.6
1984	24.5	22.0	19.2	9.9	11.0	4.9	4.0	6.4	9.8	16.9	19.0	30.0	177.6
1985	19.4	10.6	18.3	7.5	4.9	0.7	0.7	1.3	2.3	6.1	18.8	9.2	99.8
1986	17.2	32.6	16.6	11.7	38.1	0.0	3.8	13.2	3.9	25.9	14.2	45.0	222.2
MÉDIA	23.4	18.8	18.8	9.8	9.8	5.5	3.8	6.5	9.8	15.2	19.6	30.2	171.2

APÊNDICE B. Precipitação pluvial mensal e total anual (mm) em eventos de chuvas erosivas no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

Tabela 1B. Precipitação pluvial mensal e total anual (mm) no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1997	262.7	161.8	113.5	48.6	34.8	91.4	0.0	0.0	42.8	55.8	84.7	83.1	979.2
1998	94.6	169.8	116.4	37.8	76.4	1.6	3.6	54.9	27.1	123.3	77.9	281.0	1064.4
1999	363.4	159.2	183.1	83.4	26.0	20.7	1.5	0.0	60.7	35.8	66.4	201.8	1202.0
2000	262.7	161.8	113.5	49.5	49.7	24.1	15.6	23.1	43.2	78.6	110.8	178.7	1111.3
2001	179.1	71.3	80.4	1.4	83.8	5.4	3.2	56.4	25.1	135.7	198.2	212.4	1052.4
2002	341.4	276.0	128.6	4.4	45.0	0.0	18.6	50.7	76.0	10.0	139.5	61.8	1152.0
2003	288.7	135.9	91.4	55.7	72.3	16.6	16.1	7.4	24.3	62.2	63.6	97.9	932.1
2004	303.7	274.9	46.5	85.4	39.5	28.2	37.5	0.6	12.8	123.3	170.4	129.6	1252.4
2005	320.5	72.8	114.0	54.4	111.7	28.4	38.0	2.6	57.4	59.1	68.6	204.6	1132.1
2006	175.0	374.4	128.3	10.9	4.0	9.8	4.9	18.5	37.4	169.9	153.8	218.7	1305.6
2007	535.8	100.3	108.5	48.3	93.7	5.3	80.8	1.8	0.7	35.6	126.1	179.0	1315.9
2008	289.6	161.8	66.6	118.8	68.4	10.4	0.3	23.7	13.8	35.3	74.3	247.7	1110.7
2009	196.5	152.4	148.5	61.3	22.8	36.0	14.3	94.8	65.4	95.1	154.0	346.4	1387.5
2010	221.1	160.8	78.3	40.3	6.8	4.8	0.1	3.8	133.9	52.0	92.0	201.8	995.7
2011	189.2	129.8	324.2	23.4	2.6	3.5	0.1	16.6	3.8	98.8	141.7	147.1	1080.8
2012	174.3	107.3	28.3	75.0	50.3	103.8	3.4	3.8	67.0	25.1	51.2	67.6	757.1
2013	267.9	79.8	59.4	42.8	56.5	14.4	23.4	34.4	43.2	74.7	110.8	178.7	986.1
MÉDIA	262.7	161.8	113.5	49.5	49.7	23.8	15.4	23.1	43.2	74.7	110.8	178.7	1106.9

Tabela 2B. Precipitação pluvial mensal e total anual (mm) em eventos de chuvas erosivas no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1997	238.3	140.0	91.5	38.4	30.7	91.2	0.0	0.0	29.1	43.4	73.1	80.4	856.0
1998	70.9	155.8	100.3	26.4	72.6	0.0	0.0	49.0	20.2	123.0	68.1	264.7	951.0
1999	343.6	132.3	158.0	83.3	17.0	15.6	0.0	0.0	59.3	22.6	59.4	175.6	1066.7
2000	238.3	140.0	91.5	39.3	43.5	18.4	11.5	17.6	31.6	61.8	88.7	152.8	935.0
2001	156.3	44.5	31.6	0.0	81.1	0.0	0.0	39.2	0.0	118.9	157.6	173.3	802.5
2002	321.6	264.2	106.8	0.0	24.2	0.0	12.4	44.1	69.5	0.0	127.2	47.1	1017.1
2003	251.7	108.6	79.0	53.1	71.6	4.5	10.4	0.0	0.0	44.2	28.6	86.2	737.9
2004	259.5	254.5	27.9	69.9	15.3	16.0	33.5	0.0	0.0	108.7	152.1	95.0	1032.4
2005	292.4	59.0	97.9	47.6	111.0	27.1	27.2	0.0	33.2	17.0	51.6	158.8	922.8
2006	151.9	359.1	115.0	0.0	0.0	9.7	0.0	11.6	25.5	135.7	117.6	171.8	1097.9
2007	511.6	69.6	93.5	39.1	86.5	0.0	77.3	0.0	0.0	31.3	96.2	162.6	1167.7
2008	261.6	153.8	41.9	90.6	65.8	0.0	0.0	11.0	0.0	10.1	42.8	224.4	902.0
2009	176.6	130.2	123.6	59.0	19.9	19.4	0.0	93.9	57.7	78.6	120.4	304.7	1184.0
2010	204.6	137.5	55.7	18.7	0.0	0.0	0.0	0.0	116.8	34.1	76.1	174.9	818.4
2011	178.8	87.1	280.2	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7	0.0	83.7	124.4	120.8	890.7
2012	133.6	100.7	14.3	71.9	47.8	97.9	0.0	0.0	62.9	14.1	34.9	51.4	629.5
2013	259.2	43.2	46.1	31.1	52.7	13.4	23.1	17.6	31.6	58.0	88.7	152.8	817.5
MÉDIA	238.3	140.0	91.5	39.3	43.5	18.4	11.5	17.6	31.6	58.0	88.7	152.8	931.1

Tabela 3B. Precipitação pluvial mensal e total anual (mm) em eventos de chuvas não erosivas no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1997	24.46	21.76	22.05	10.17	4.10	0.20	0.00	0.00	13.70	12.40	11.60	2.70	123.14
1998	23.70	14.00	16.12	11.40	3.80	1.60	3.60	5.90	6.90	0.30	9.80	16.30	113.42
1999	19.80	26.90	25.10	0.10	9.00	5.10	1.50	0.00	1.40	13.20	7.00	26.20	135.30
2000	24.46	21.76	22.05	10.17	6.15	5.70	4.13	5.49	11.60	16.77	22.15	25.92	176.36
2001	22.80	26.80	48.80	1.40	2.70	5.40	3.20	17.20	25.10	16.80	40.60	39.10	249.90
2002	19.80	11.80	21.80	4.40	20.80	0.00	6.20	6.60	6.50	10.00	12.30	14.70	134.90
2003	37.00	27.30	12.40	2.60	0.70	12.10	5.70	7.40	24.30	18.00	35.00	11.70	194.20
2004	44.20	20.40	18.60	15.50	24.20	12.20	4.00	0.60	12.80	14.60	18.30	34.60	220.00
2005	28.10	13.80	16.10	6.80	0.70	1.30	10.80	2.60	24.20	42.10	17.00	45.80	209.30
2006	23.10	15.30	13.30	10.90	4.00	0.10	4.90	6.90	11.90	34.20	36.20	46.90	207.70
2007	24.20	30.70	15.00	9.20	7.20	5.30	3.50	1.80	0.70	4.30	29.90	16.40	148.20
2008	28.00	8.00	24.70	28.20	2.60	10.40	0.30	12.70	13.80	25.20	31.50	23.30	208.70
2009	19.90	22.20	24.90	2.30	2.90	16.60	14.30	0.90	7.70	16.50	33.60	41.70	203.50
2010	16.50	23.30	22.60	21.60	6.80	4.80	0.10	3.80	17.10	17.90	15.90	26.90	177.30
2011	10.40	42.70	44.00	23.40	2.60	3.50	0.10	0.90	3.80	15.10	17.30	26.30	190.10
2012	40.70	6.60	14.00	3.10	2.50	5.90	3.40	3.80	4.10	11.00	16.30	16.20	127.60
2013	8.70	36.60	13.30	11.70	3.80	1.00	0.30	16.77	11.60	16.77	22.15	25.92	168.61
MÉDIA	24.5	21.8	22.0	10.2	6.2	5.4	3.9	5.5	11.6	16.8	22.2	25.9	175.8

APÊNDICE C. Dados de erosividade EI_{30} média mensal, total anual e média do período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

Tabela 1C. Erosividade EI_{30} média mensal, total anual e média do período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1971	105.5	310.5	911.0	13.2	180.6	52.2	64.8	0.0	184.3	586.0	122.4	971.4	3501.9
1972	1065.2	440.5	465.4	126.5	216.3	0.0	89.9	85.7	306.8	585.0	1735.8	922.0	6039.0
1973	166.2	366.6	295.9	1064.8	0.0	70.1	38.7	0.0	6.0	506.7	449.8	1109.2	4073.9
1974	652.9	79.1	1090.7	117.9	0.0	109.8	0.0	0.0	0.0	407.3	369.4	1064.2	3891.4
1975	382.6	150.0	511.5	283.4	0.0	0.0	139.4	0.0	568.3	228.7	2595.1	1121.9	5981.0
1976	547.1	850.4	211.6	66.9	0.0	0.0	264.6	265.7	320.9	0.0	400.6	616.3	3544.2
1977	1379.0	263.5	311.4	224.2	0.0	6.1	0.0	0.0	53.9	113.7	782.4	1613.7	4748.0
1978	842.0	1568.1	1070.4	73.4	181.3	250.5	93.7	0.0	113.7	364.2	451.7	986.9	5995.8
1979	223.6	752.8	53.4	555.0	158.8	0.0	348.9	60.4	303.4	141.7	226.2	975.5	3799.6
1980	564.7	497.9	352.6	297.8	0.0	313.7	0.0	24.9	78.0	432.8	777.4	1245.8	4585.7
1981	729.0	323.1	418.8	101.9	0.0	330.9	0.0	0.0	201.1	664.4	465.9	796.6	4031.7
1982	1018.4	881.1	1427.2	27.4	1.6	48.1	66.0	8.5	42.3	694.7	379.9	1259.8	5855.1
1983	541.1	806.1	439.0	276.7	411.6	19.4	57.0	0.0	604.9	1137.9	755.5	2245.8	7295.0
1984	654.0	515.9	500.2	252.9	80.7	59.5	71.9	39.8	168.6	396.4	647.5	982.2	4369.7
1985	1279.4	143.1	352.3	520.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	671.0	763.2	488.4	4217.8
1986	1011.0	600.1	216.2	103.3	39.0	0.0	39.4	231.9	50.7	4.7	286.3	1005.5	3588.0
MÉDIA	697.6	534.3	539.2	256.6	79.4	78.8	79.6	44.8	187.7	433.4	700.6	1087.8	4719.9

APÊNDICE D. Dados de erosividade EI_{30} média mensal, total anual e média do período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

Tabela 1D. Erosividade EI_{30} média mensal, total anual e média do período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
----- EI_{30} (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)-----													
1997	1383,8	870,5	443,4	139,4	96,4	353,1	0,0	0,0	64,4	135,4	371,3	412,1	4269,67
1998	363,1	743,6	883,3	42,2	175,7	0,0	0,0	76,6	61,4	366,2	213,0	2076,8	5001,9
1999	2181,9	1690,8	553,3	439,3	35,4	10,2	0,0	0,0	282,1	43,0	123,6	1230,3	6589,9
2000	1383,8	870,5	443,4	169,0	160,5	46,0	28,0	61,0	120,9	250,1	461,3	951,8	4946,4
2001	1328,1	164,2	158,7	0,0	248,7	0,0	0,0	299,3	0,0	519,8	919,6	990,2	4628,6
2002	2299,1	1251,8	508,9	0,0	184,6	0,0	16,9	299,2	141,6	0,0	800,0	447,7	5949,8
2003	908,6	557,4	248,3	258,9	467,8	9,9	5,3	0,0	0,0	54,4	68,7	501,7	3080,9
2004	1008,9	1267,1	107,3	317,3	70,1	67,9	91,8	0,0	0,0	706,5	896,6	536,7	5070,3
2005	1435,5	231,6	305,6	144,3	474,0	29,4	12,3	0,0	97,3	124,8	144,8	1119,2	4118,8
2006	484,0	4109,6	579,8	0,0	0,0	33,9	0,0	15,6	36,9	920,4	774,7	584,8	7539,7
2007	3300,4	206,8	726,3	186,0	285,8	0,0	269,3	0,0	0,0	45,0	393,7	1141,9	6555,2
2008	1261,0	614,5	92,4	444,1	247,6	0,0	0,0	9,6	0,0	24,0	212,1	1827,3	4732,6
2009	445,6	820,2	655,5	352,6	29,9	46,6	0,0	173,9	308,4	492,3	891,5	1748,1	5964,6
2010	1006,1	561,6	338,7	30,4	0,0	0,0	0,0	0,0	609,8	63,1	295,5	904,7	3809,7
2011	1160,9	195,6	1263,5	0,0	0,0	0,0	0,0	41,5	0,0	234,3	642,9	486,0	4024,7
2012	478,3	481,3	55,3	243,6	146,3	169,9	0,0	0,0	212,0	22,4	172,2	270,2	2251,4
2013	3095,1	160,8	174,1	105,7	105,7	15,0	52,5	61,0	120,9	250,1	461,3	951,8	5554,2
MÉDIA	1383,8	870,5	443,4	169,0	160,5	46,0	28,0	61,0	120,9	250,1	461,3	951,8	4946,4

APÊNDICE E - Dados de precipitação pluviométrica médios mensais e total anual de 1971 a 2018 de Jaboticabal, São Paulo

Tabela 1E - Precipitação pluviométrica médias mensais e total anual de 1971 a 2018 de Jaboticabal, São Paulo

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1971	267,52	199,26	143,40	18,10	41,60	112,30	16,20	0,00	84,20	126,20	138,60	318,50	1465,88
1972	299,60	282,90	117,10	48,10	93,60	3,10	135,70	45,80	93,70	185,20	201,20	197,10	1703,10
1973	124,90	109,80	142,20	185,00	34,60	18,30	28,00	1,50	41,00	140,10	137,80	426,90	1390,10
1974	260,70	92,20	373,60	41,30	8,00	52,70	0,00	1,10	2,40	128,90	115,40	359,30	1435,60
1975	99,30	227,80	65,00	73,70	1,30	0,00	40,20	0,00	106,20	97,80	360,50	175,10	1246,90
1976	119,40	245,60	140,30	51,10	59,00	20,30	60,50	95,10	110,90	149,40	140,70	203,50	1395,80
1977	310,20	76,20	129,00	119,00	6,00	27,90	6,80	23,50	48,40	48,00	258,80	370,10	1423,90
1978	221,30	189,40	199,50	22,70	105,30	27,80	63,00	0,00	52,20	104,40	162,10	313,30	1461,00
1979	123,30	201,10	47,50	102,60	70,40	0,00	54,30	32,40	152,70	80,20	124,00	351,30	1339,80
1980	216,20	164,90	136,00	114,90	3,00	78,10	0,00	23,20	95,30	99,30	267,90	270,60	1469,40
1981	324,40	90,90	182,40	29,80	12,10	76,90	0,00	3,30	29,90	263,90	97,20	220,70	1331,50
1982	364,70	212,00	337,10	44,10	30,90	36,00	24,00	35,90	22,30	175,00	120,00	311,70	1713,70
1983	348,90	336,50	195,40	126,30	170,20	32,10	72,60	0,00	212,90	349,90	217,40	305,70	2367,90
1984	217,30	57,00	111,60	113,50	32,20	0,00	0,00	101,30	93,80	56,80	202,90	184,60	1171,00
1985	355,10	237,40	136,20	118,10	4,90	0,70	0,70	1,20	2,30	97,80	264,90	132,00	1351,30
1986	287,40	227,50	166,30	38,60	71,40	0,00	54,90	124,90	19,20	37,40	127,20	428,70	1583,50
1987	238,60	143,50	115,30	57,20	72,80	11,50	20,10	4,00	43,40	59,60	181,50	160,70	1108,20
1988	176,60	200,10	159,80	157,30	86,10	10,80	0,00	0,00	0,00	181,00	131,10	178,60	1281,40
1989	298,90	334,00	170,30	40,70	26,70	33,00	60,00	19,90	40,90	43,90	218,30	289,00	1575,60
1990	204,70	121,10	324,50	78,50	97,50	0,40	15,40	92,20	25,70	62,70	98,30	225,00	1346,00

Continua...

...continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1991	314,80	120,90	304,60	176,60	27,80	2,00	4,80	0,00	89,50	100,20	26,30	244,80	1412,30
1992	249,00	257,30	154,10	78,00	50,20	0,00	16,80	19,30	111,60	212,70	153,00	109,00	1411,00
1993	215,10	447,30	144,50	88,50	70,30	54,70	0,00	38,30	132,80	194,80	164,60	159,60	1710,50
1994	228,20	94,10	121,20	23,80	38,80	16,30	12,70	0,00	2,30	174,50	157,70	186,00	1055,60
1995	229,60	433,60	290,10	51,70	37,50	12,80	17,30	0,00	39,10	94,40	81,90	264,10	1552,10
1996	194,00	101,70	104,40	38,80	62,10	33,20	0,00	27,20	97,80	108,70	201,30	317,10	1286,30
1997	303,90	92,90	77,40	70,70	54,70	152,10	14,90	0,00	42,80	64,80	367,00	188,20	1429,40
1998	99,90	248,90	156,10	41,80	84,70	1,60	3,40	59,40	29,60	153,00	88,60	324,70	1291,70
1999	415,90	375,40	115,90	107,40	28,60	19,90	2,00	0,00	78,80	67,70	82,50	232,40	1526,50
2000	276,10	241,70	106,90	51,20	3,50	0,60	35,40	45,90	90,80	15,60	132,40	207,70	1207,80
2001	208,70	81,80	101,90	43,80	92,00	5,00	2,60	61,00	27,30	149,30	222,70	269,30	1265,40
2002	404,30	311,00	146,30	5,00	45,80	0,00	5,40	21,10	140,10	50,40	164,60	242,20	1536,20
2003	372,90	153,50	107,20	124,10	86,70	12,30	17,20	10,60	23,30	66,60	77,70	210,20	1262,30
2004	423,40	313,70	48,20	94,30	84,90	28,80	39,00	0,00	28,00	135,40	184,70	138,70	1519,10
2005	358,50	81,20	128,00	59,60	127,40	30,10	46,50	0,00	58,20	56,40	41,70	242,60	1230,20
2006	237,00	416,40	136,90	10,40	4,00	10,30	3,20	19,10	37,60	184,50	166,80	221,00	1447,20
2007	644,60	154,70	156,30	53,70	105,70	2,50	87,70	0,00	0,40	38,20	137,50	204,40	1585,70
2008	325,00	302,70	108,40	131,40	73,10	11,30	0,00	24,20	15,10	60,50	81,80	278,90	1412,40
2009	238,00	190,60	217,90	70,80	26,60	51,90	25,50	133,10	132,40	101,90	163,30	383,70	1735,70
2010	240,70	150,70	183,00	95,50	10,60	7,80	0,00	0,00	141,90	69,40	100,10	225,30	1225,00
2011	260,10	208,20	496,00	92,30	7,00	29,70	0,00	18,40	5,30	161,90	177,00	159,80	1615,70
2012	218,80	119,00	30,90	85,50	73,00	139,20	13,70	0,00	78,90	43,10	164,80	212,20	1179,10
2013	384,00	145,20	141,60	66,30	93,00	31,40	33,00	0,00	66,50	90,80	161,70	239,90	1453,40

Continua...

...continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2014	99,80	83,00	106,80	63,30	6,70	1,80	30,00	0,20	45,00	46,80	180,90	150,30	814,60
2015	101,50	283,70	183,30	86,40	98,00	11,60	45,00	4,40	120,20	149,70	255,80	372,30	1711,90
2016	449,40	201,00	132,90	9,10	118,20	115,80	0,00	67,80	21,80	64,00	246,50	184,40	1610,90
2017	217,70	118,30	126,30	135,70	113,40	4,70	0,00	19,90	7,00	97,70	235,80	130,70	1207,20
2018	270,90	86,80	55,70	13,00	8,00	0,00	4,20	39,70	64,90	157,00	330,10	88,20	1118,50
Média	267,52	199,26	157,82	73,94	55,41	27,69	23,18	25,31	62,63	112,45	169,05	241,88	1416,15

APÊNDICE F. Dados da classificação das chuvas erosivas nos padrões avançada, intermediária e atrasada no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

Tabela 1F. Percentual das chuvas erosivas nos padrões avançada, intermediária e atrasada no período de 1971 a 1986 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	AVANÇADA	INTERMEDIÁRIA	ATRASADA
	-----%-----		
1971	51,11	20,00	28,89
1972	46,15	23,08	30,77
1973	57,78	22,22	20,00
1974	61,70	19,15	19,15
1975	57,14	19,05	23,81
1976	35,00	27,50	37,50
1977	63,27	18,37	18,37
1978	67,31	11,54	21,15
1979	63,64	7,27	29,09
1980	46,15	13,46	40,38
1981	70,21	8,51	21,28
1982	56,16	16,44	27,40
1983	46,25	21,25	32,50
1984	54,31	16,22	29,47
1985	47,37	14,04	38,60
1986	50,00	12,00	38,00
1987	54,05	10,81	35,14
1988	50,00	11,11	38,89
MÉDIA	54,31	16,22	29,47
DP	8,86	5,52	7,53
MÁX	70,21	27,50	40,38
MÍN	35,00	7,27	18,37

DP - desvio padrão; MÁX - máximo; MÍN - mínimo

APÊNDICE G. Dados da classificação das chuvas erosivas nos padrões avançada, intermediária e atrasada no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

Tabela 1G. Percentual das chuvas erosivas nos padrões avançada, intermediária e atrasada no período de 1997 a 2013 em Jaboticabal, São Paulo

ANO	AVANÇADA	INTERMEDIÁRIA	ATRASADA
	-----%-----		
1997	52,94	29,41	17,65
1998	72,09	11,63	16,28
1999	55,56	25,00	19,44
2000	59,67	20,51	19,82
2001	62,50	15,63	21,88
2002	47,50	30,00	22,50
2003	61,76	14,71	23,53
2004	54,29	20,00	25,71
2005	51,22	14,63	34,15
2006	68,42	15,79	15,79
2007	61,90	26,19	11,90
2008	72,97	16,22	10,81
2009	67,44	16,28	16,28
2010	52,63	13,16	34,21
2011	60,00	23,33	16,67
2012	61,29	25,81	12,90
2013	52,17	30,43	17,39
MÉDIA	59,67	20,51	19,82
DP	7,52	6,32	6,74
MÁX	72,97	30,43	34,21
MÍN	47,50	11,63	10,81

DP - desvio padrão; MÁX - máximo; MÍN - mínimo