

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Características Físicas de Chuvas e Erosividade  
no Estado do Rio de Janeiro e Erodibilidade de  
Argissolo Vermelho-Amarelo em Seropédica-RJ**

**Roriz Luciano Machado**

**2011**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CHUVAS E EROSIVIDADE NO  
ESTADO DO RIO DE JANEIRO E ERODIBILIDADE DE  
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM SEROPÉDICA-RJ**

**RORIZ LUCIANO MACHADO**

*Sob a Orientação do Professor*

**Daniel Fonseca de Carvalho**

*e Co-orientação da Pesquisadora*

**Janaína Ribeiro Costa**

Tese submetida como Requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2011

631.45  
M149c  
T

Machado, Roriz Luciano, 1978-

Características físicas de chuvas e erosividade no Estado do Rio de Janeiro e erodibilidade de argissolo vermelho-amarelo em Seropédica-RJ / Roriz Luciano Machado – 2011.

106 f.: il.

Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.

Tese(doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 79-92.

1. Solos - Erosão – Rio de Janeiro (Estado) - Teses. 2. Chuvas – Rio de Janeiro (Estado) - Teses. 3. Chuvas – Periodicidade – Rio de Janeiro (Estado) - Teses. 4. Solos – Erosão – Seropédica (RJ) - Teses. I. Carvalho, Daniel Fonseca de, 1968-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

**RORIZ LUCIANO MACHADO**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 28/02/2011

---

Daniel Fonseca de Carvalho. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Ildergardis Bertol. Dr. UDESC

---

Marcos Bacis Ceddia. Dr. UFRRJ

---

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Ph.D. UFRRJ

---

Teodorico Alves Sobrinho. Dr. UFMS

## **DEDICATÓRIA**

A Jesus Cristo;  
aos meus pais João Batista e Luzia;  
irmãos: Wender, Weber e Rosimeire;  
sobrinhos: Maria Luiza, Leonardo, Manuela;  
minha avó (“Sinhá”);  
e, especialmente,  
a minha esposa Suele Denise.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Jesus Cristo por mais essa realização a que me foi permitida alcançar.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por conceder a oportunidade de mais esse título.

Ao curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, onde sempre foi meu sonho fazer a Pós Graduação, e por ter permitido conciliar o final do curso de Doutorado com vínculo empregatício no IF Goiano.

Ao professor Kalil Khouri (UFV atualmente) pela ajuda no uso do *software* MatLab (Matlab, 2000).

As estudantes de agronomia e agora de mestrado Eliete Eduardo e Daniela Gomes.

Aos demais estagiários e bolsistas do Grupo de pesquisa Água e Solo em Sistemas Agrícolas Marinaldo Pinto, Paula Fernanda Soares pela ajuda nas avaliações de sedimentos e Irineu Andrade, Wilk Almeida, Ernane Gomes, Jonas Tereza, etc., que contribuíram nos momentos de maior volume de trabalho como na montagem das chapas divisórias nas parcelas de perda de solo, etc.

Ao estudante de Eng. Agrícola Hermes Rocha pelo apoio na coleta de dados pluviográficos.

Ao prof. Adão Evangelista da UFG pelo auxílio em Distribuição de Probabilidade Log-Normal.

Ao apoio da Embrapa Agrobiologia na disponibilização da área experimental e preparo anual do solo (aração e gradagem) da parcela de solo nu para estudo da erodibilidade (Capítulo III), na pessoa do Gerente de campo Sr Ernani Meirelles.

Ao amigo Lenilson Motta pela ajuda na espacialização e elaboração de mapas.

Ao amigo Valdemir pela amizade e “apoio logístico” na Rural após eu assumir emprego no IF Goiano.

Ao prof. Daniel Carvalho e a pesquisadora Janaína Costa (Co-Orientadora) pela orientação, paciência, compreensão e ensinamentos no desenvolvimento da tese.

As entidades ANA, INMET, LIGHT e SERLA (atual INEA) pela disponibilidade dos dados pluviográficos e pluviométricos.

À CAPES pelo indispensável auxílio financeiro (bolsa) durante os dois primeiros anos do curso.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para esse trabalho e podem não ter sido mencionados.

## **BIOGRAFIA**

Roriz Luciano Machado, concluiu em 1995 o ensino fundamental no Colégio Estadual Raimundo Santana Amaral em Rubiataba-GO, e em 1998, o curso Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Ceres-GO (atual IF Goiano - Ceres). De 1999 a 2004/II, concluiu os créditos dos cursos de Graduação em Licenciatura em Ciências Agrícolas e Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), colando grau nesse último em março de 2005. Durante a graduação participou de projetos de pesquisa nas áreas de Fertilidade do Solo, Olericultura (bolsista PIBIC/CNPq por um ano) e Propagação de Plantas na UFRRJ. Ainda na graduação, a partir de março de 2002, ingressou na Embrapa Agrobiologia no grupo de pesquisa de Recuperação de Áreas Degradadas como bolsista PIBIC/CNPq. Em março de 2005, iniciou o mestrado no Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo na UFRRJ, em parceria com a Embrapa Agrobiologia, com bolsa do CNPq no primeiro ano e da FAPERJ (Bolsa Nota 10) no último ano, submetendo-se à defesa em 26 de fevereiro de 2007. Em março de 2007 ingressou no curso de Doutorado no mesmo programa e Universidade agora no Grupo de Pesquisa de Água e Solo em Sistemas Agrícolas - UFRRJ. No mesmo ano colou grau no curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas. Em janeiro de 2009, adquiriu vínculo empregatício no Instituto Federal Goiano-Campus Morrinhos, onde passou a conciliar a tese e o emprego. Em agosto de 2010 foi transferido para o Campus Ceres do mesmo Instituto, local onde fez o ensino médio e técnico, e em 28 de fevereiro de 2011, submeteu-se a defesa da tese.

## RESUMO GERAL

MACHADO, Roriz Luciano. **Características físicas de chuvas e erosividade no Estado do Rio de Janeiro e erodibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo em Seropédica-RJ.** 2011. 106f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

O objetivo desse trabalho foi caracterizar e aprofundar o estudo de características físicas de chuvas e da erosividade, no Estado Rio de Janeiro, e determinar o parâmetro erodibilidade do solo para Argissolo em Seropédica (RJ) sob chuva natural, contribuindo para estudos futuros de aplicação e desenvolvimento de modelos de predição de erosão e com informações para planejamento do controle da erosão. Nesse sentido, foram realizadas as seguintes etapas: determinação de índices de erosividade das chuvas associados a períodos de retorno das chuvas para 30 localidades em 25 municípios fluminenses; caracterização dos padrões de precipitação para 36 localidades no Estado e agrupamento por similaridade; e determinação da erodibilidade de Argissolo Vermelho-Amarelo em Seropédica. A erosividade anual média ( $EI_{30}$ ) ou fator "R" da USLE para qualquer localidade no Estado do Rio de Janeiro pode ser igualada ou superada pelo menos uma vez em média em um período (T) de 1,8 a 2,1 anos e com 48,5 a 54,9 % de probabilidade de ocorrência teórica. As localidades com maior erosividade associada aos períodos de retorno estão nas mesoregiões Metropolitana e em partes das mesoregiões Sul e Centro Fluminense. Em geral, a maior variação da distribuição espacial da erosividade se apresenta no período de retorno de 2 a 5 anos. Para maiores valores de T, a variação está associada à magnitude das classes de erosividade. Em relação à caracterização dos padrões de precipitação, na média geral, o avançado foi o mais frequente com 52,5 %, seguido de 25,5 % para o padrão atrasado e 22 % para o intermediário. Os resultados da Análise de Componentes Principais (ACP), aplicada as 36 estações pluviográficas e aos padrões de precipitação avançado, intermediário e atrasado sobre os atributos altura precipitada, energia cinética-EC, Intensidade em 30 minutos- $I_{30}$ ,  $EI_{30}$ ,  $KE > 10$ ,  $KE > 25$  e duração das chuvas, indicaram que, os dois primeiros componentes principais foram responsáveis por 96,1% da variação contida no conjunto de dados originais. De acordo com a ACP, todos os atributos de chuvas foram importantes na separação das localidades e padrões de precipitação, ou seja, apresentaram alta capacidade de resposta e podem ser usados como parâmetros em outras análises estatísticas. Na Análise Canônica Discriminante, o teste de Tukey a 5% aplicado aos escores da primeira função discriminante ( $FDC_1$ ) diferenciou significativamente as estações quanto aos atributos de chuvas e erosividade para os padrões avançado e atrasado; porém, não houve diferença estatística entre as estações para o padrão intermediário, para esses atributos. No padrão atrasado, destacam-se as estações Angra do Reis, Campos, Eletrobrás, Manuel Duarte, Santa Isabel do Rio Preto, Tanguá, Teresópolis, Vila Mambucaba e Xerém, pelos maiores escores de  $FDC_1$ . Nesses locais é esperada maior perda de solo nas chuvas de padrão atrasado. Quanto a erodibilidade do Argissolo Vermelho-Amarelo, em Seropédica, o estudo com as chuvas de 2006 a 2010 revelou o índice de  $0,0117 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  pelo método do quociente da perda de solo pela erosividade (Kt) e, o valor de  $0,0105 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , pelo método da regressão (Kct) com baixo coeficiente de determinação da regressão (0,42). Como os valores de erodibilidade pelos dois métodos foram próximos qualquer um pode ser utilizado para uma primeira aproximação do índice. As informações obtidas podem contribuir para a aplicação de modelos de erosão e estudos de conservação do solo e da água no Estado do Rio de Janeiro.

**Palavras - chave:** Conservação do solo. Recorrência das chuvas. Padrões de chuvas. Fator K.



## GENERAL ABSTRACT

MACHADO, Roriz Luciano. **Physical characteristics and erosivity of rainfall in the State of Rio de Janeiro and erodibility of a Red-yellow Ultisol in Seropédica, RJ, Brazil.** 2011. 106p. Thesis (Doctor Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

This paper aimed at characterizing and detailing studies on rainfall physical characteristics and erosivity in Rio de Janeiro State (Brazil), as well as to determine soil erodibility for a Red-Yellow Ultisol in Seropédica (RJ), under natural rain, so as to contribute for further studies on application and development of erosion models and prediction. The following stages were pursued: determination of rain erosiveness associated to returning rain periods within 30 locations in the State, and grouping of those locations based on similar characteristics; determination of the Ultisol erodibility in Seropédica. The average annual erosivity ( $EI_{30}$ ) or the USLE “R” factor for any location in the state of Rio de Janeiro can be the same or at least twice the average in a period (T) of 1.8 to 2.1 years, with 48.5% to 54.9% probability of theoretical occurrence. The locations with the greatest erosivity associated to the return periods are located in the Metropolitan mesoregions and in parts of the south and center mesoregions of the state. In general, the greatest variation of erosivity spatial distribution is observed during the returning period of 2 to 5 years. For greater T values, the variation is associated to erosivity magnitude. In relation to characterization of precipitation patterns, in average the advanced pattern was the most frequent with 52.5%, followed by 25.5% for the delayed pattern, and 22% for the intermediate pattern. Main Component Analysis (MCA) applied to 36 rain gauge stations, as well as the advanced, intermediate and delayed rainfall patterns on the attributes height of precipitation, kinetic energy -  $Ke$  intensity in 30 minutes –  $I_{30}$ ,  $EI_{30}$ ,  $KE>10$ ,  $KE>25$  and rainfall duration, indicated that the two first main components were responsible for 96.1% of variation contained in the set of original data. According to this analysis, all the rain attributes studied were important in sorting the locations as well as the precipitation patterns, that is, they presented high response capacity and could be used as parameters in other statistical analysis. In Canonical Discriminating Analysis, scores at Tukey test at 5% applied to the first discriminating function ( $CDA_1$ ) made it possible to significantly differentiate the seasons relating to rainfall and erosivity attributes for advanced and delayed patterns, despite no statistical differences founded for intermediate pattern and the same attributes. In the delayed pattern, it is highlighted the Angra dos Reis, Campos, Eletrobás, Manuel Duarte, Santa Isabel do Rio Preto, Tanguá, Teresópolis, Vila Mambucaba and Xerém stations, that presented the highest  $FDF_1$  scores. At these locations a higher soil loss is expected due to the delayed rains. In relation to the Seropédica’s Red-yellow Ultisol erodibility, the studies involving rainfalls occurring from 2006 to 2010 revealed a  $0.0117 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , using the method of quotient of erosivity caused by soil loss ( $K_{ct}$ ), with a low regression determination coefficient (0.42). Since the values of erosivity obtained from the two methods were close, any of them can be used for a first index approach. The information obtained in this study can contribute to application of erosion models and soil and water conservation studies in Rio de Janeiro State.

**Key words:** Soil conservation. Rainfall recurrence. Rainfall patterns. K factor.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Fatores Relacionados à Erosão Hídrica .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Clima.....	4
2.1.2 Solo .....	4
2.1.3 Relevo .....	5
2.1.4 Uso e manejo do solo.....	6
<b>2.2 Formas de Erosão do Solo.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Modelos de Predição da Perda de Solo.....</b>	<b>7</b>
2.3.1 USLE - aplicações e limitações .....	7
2.3.2 Determinação dos parâmetros da USLE.....	9
<b>2.4 Estudo da Erosividade das Chuvas.....</b>	<b>12</b>
2.4.1 Probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas.....	12
2.4.2 Padrões de precipitação pluviométrica .....	13
<b>2.5 Análises Estatísticas Multivariadas .....</b>	<b>14</b>
<b>3 - CAPÍTULO I - PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA E PERÍODO DE RETORNO DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 RESUMO.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 ABSTRACT .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.4.1 Obtenção e seleção de séries pluviométricas na estação pluviográfica respectiva ou vizinha.....	20
3.4.2 Preenchimento de falhas .....	21
3.4.3 Estudo de adequação do tamanho da série pluviométrica a ser utilizada para cálculo da erosividade $EI_{30}$ e $KE>25$ de forma indireta .....	22
3.4.4 Obtenção dos índices de erosividade $EI_{30}$ e $KE>25$ por meio de modelos de regressão entre os índices obtidos de pluviógrafos e dados pluviométricos.....	22
3.4.5 Probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas.....	22
3.4.6 Avaliação da homogeneidade dos dados de chuvas à distribuição Log-Normal utilizando o teste de Kolgomorov-Smirnov .....	23
3.4.7 Espacialização dos valores de erosividade associados a períodos de retorno .....	23
<b>3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
3.5.1 Preenchimento de falhas .....	25
3.5.2 Estudo de adequação do tamanho da série pluviométrica a ser utilizada para determinação indireta da erosividade ( $EI_{30}$ e $KE>25$ ) .....	25
3.5.3 Precipitação mensal e anual média em diferentes regiões do Estado do Rio de Janeiro .....	28
3.5.4 Estimativa da erosividade das chuvas e teste de homogeneidade - Kolgomorov-Smirnov .....	30
3.5.5 Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro .....	32

3.5.6 Mapeamento da iso-ocorrência de erosividade associada aos diferentes períodos de retorno .....	40
<b>3.6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>4 - CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS DE CHUVAS E ÍNDICES DE EROSIVIDADE (<math>EI_{30}</math> E <math>KE &gt; 25</math>) EM RELAÇÃO AOS PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 RESUMO.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2 ABSTRACT .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>4.4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>51</b>
<b>4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
4.5.1 Frequência de chuvas em função dos padrões de precipitação pluvial no Estado do Rio de Janeiro .....	54
4.5.2 Análise de componentes principais.....	56
4.5.3 Análises de agrupamento .....	58
<b>4.6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
<b>5 - CAPÍTULO III - ERODIBILIDADE DE ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM SEROPÉDICA-RJ, DETERMINADA SOB QUATRO ANOS DE CHUVA NATURAL .....</b>	<b>67</b>
<b>5.1 RESUMO.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2 ABSTRACT .....</b>	<b>69</b>
<b>5.3 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>5.4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>71</b>
<b>5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>74</b>
<b>5.6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>77</b>
<b>6 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>78</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Em todo o mundo é cada vez mais frequente a ação da erosão do solo em vários graus de intensidade causada tanto por fatores naturais, quanto antrópicos (Wei et al., 2006; Yang, 2004), com prejuízos de ordem econômica, social e ambiental. Entre os tipos de erosão do solo, a erosão hídrica acelerada é considerada a mais importante nas regiões tropicais (Stocking, 1983), a qual se inicia com o desmatamento e utilização de práticas agrícolas inadequadas (Zheng et al., 1995) tornando um dos principais tipos de degradação do solo.

Problemas relacionados à erosão hídrica podem ser minimizados quando se utilizam sistemas de manejo adequados e práticas conservacionistas bem planejadas. Para isso se faz necessário medir a influência dos diferentes fatores determinantes no processo erosivo, a fim de possibilitar uma estimativa de perdas de solo mais precisa possível e selecionar práticas que as reduzam para limites toleráveis (Margolis et al., 1985).

Nesse sentido, foi criada em 1965, nos Estados Unidos da América, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) ou Universal Soil Loss Equation (USLE), com revisão em 1978, que gerou a publicação Agriculture Handbook 537 (Wischmeier & Smith, 1978). A USLE é um modelo empírico mais utilizado em todo o mundo, mesmo com a criação de outros modelos empíricos, além dos físicos e conceituais. Os fatores relacionados à erosão hídrica utilizados nesse modelo matemático são: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), fator topográfico (LS), cobertura e manejo do solo (C) e, práticas conservacionistas (P) (Wischmeier & Smith, 1978).

Dentre os fatores mencionados, a capacidade da chuva em causar erosão, ou seja, sua erosividade (Wischmeier & Smith, 1958) é considerado o fator mais ativo da erosão hídrica e ao mesmo tempo parâmetro limitante em estudos de erosão devido à pouca quantidade e/ou qualidade das séries históricas pluviográficas. Este fato fez com que pesquisadores buscassem como alternativa estimar erosividade a partir de dados pluviométricos (Bertoni & Lombardi Neto 1990). O conhecimento da erosividade das chuvas permite a determinação do fator R da USLE, possibilita a determinação da erodibilidade do solo (fator K da USLE) de forma direta, fator cobertura do solo (Fator C), (Wischmeier & Smith, 1978) e também o potencial natural de erosão do solo (PNE). A distribuição da erosividade ao longo do ano possibilita conhecer os meses com maior potencial erosivo e, portanto, prioritários à adoção de práticas de conservação do solo para prevenção e controle dos processos erosivos, visando a redução da perda de solo água e nutrientes.

De modo geral, se todos os fatores que influenciam a erosão forem fixados a erosão será diretamente proporcional à erosividade das chuvas. Dessa maneira, a associação da erosividade a um valor probabilístico da chuva como a precipitação esperada para um determinado intervalo de anos (período de retorno), permite estimar esse parâmetro em médio ou longo prazos, podendo ser utilizado no controle da erosão.

O Estado do Rio de Janeiro apresenta relevo movimentado associado a diferentes ambientes geomorfológicos, proporcionando grande variabilidade no clima, especificamente, na precipitação pluvial. Associado a isso, apesar de muitas propriedades rurais estarem em áreas que apresentam aptidão agrícola para lavouras ou pastagens, as mesmas estão submetidas a tipos de manejo que proporcionam intensos processos erosivos e, conseqüentemente, baixa sustentabilidade no uso do solo.

Nas regiões tropicais, a erosão do solo está diretamente relacionada com as características físicas das chuvas, principalmente aquelas relacionadas ao tamanho e velocidade de gotas, intensidade e duração da chuva. A variação da intensidade das chuvas permite classificar as chuvas em padrão uniforme, avançado, intermediário e atrasado quanto à posição do pico de maior intensidade na duração da chuva (Horner & Jens, 1941). Desse

modo, o conhecimento dos padrões de precipitação constitui informação útil nos estudos de perda de solo, uma vez que as características das chuvas variam de região para região.

Diante da capacidade da estatística multivariada e do geoprocessamento de analisarem atributos (variáveis) de forma conjunta, selecionando e agrupando os mais correlacionados aos tratamentos, o uso dessas técnicas mostra-se interessante para caracterizar padrões de chuvas e mapear áreas que apresentem características semelhantes quanto ao potencial erosivo.

Na aplicação de modelos empíricos de erosão hídrica, além da erosividade das chuvas, a determinação da erodibilidade do solo de forma direta ou indireta é uma das principais exigências para aplicação e calibração de modelos no local de interesse.

Diante do exposto, o presente estudo foi desenvolvido assumindo as seguintes hipóteses:

a) A probabilidade de ocorrência e o período de retorno da erosividade, bem como as características físicas das chuvas e da própria erosividade em relação aos padrões de precipitação, variam entre as mesorregiões do Estado do Rio de Janeiro.

b) A partir de medidas diretas de perda de solo e de erosividade das chuvas obtidos em 4 anos de avaliação é possível obter, como primeira aproximação, o fator K de boa qualidade visando a aplicação da USLE para a região de Seropédica, RJ.

Para tanto, os objetivos da tese foram:

a) Calcular a probabilidade de ocorrência e o período de retorno da erosividade das chuvas ( $EI_{30}$  e  $KE > 25$ ), e caracterizar atributos físicos de chuvas e índices de erosividade em relação aos diferentes padrões de precipitação no Estado do Rio de Janeiro.

b) Determinar a erodibilidade de Argissolo Vermelho-Amarelo em Seropédica, RJ.

Para atender esses objetivos o trabalho foi dividido em três capítulos, a saber: Capítulo I - probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro; Capítulo II - caracterização de atributos de chuvas e índices de erosividade ( $EI_{30}$  e  $KE > 25$ ) em relação aos padrões de precipitação no Estado do Rio de Janeiro; e Capítulo III - erodibilidade de Argissolo Vermelho-Amarelo em Seropédica-RJ, determinada sob quatro anos de chuva natural.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A terra é o recurso natural básico de uma nação. A fim de suprir todas as suas necessidades, o homem utiliza o solo para produção de alimentos, fibras, madeiras e água, finalidades urbanas e industriais, transportes rodoviários, ferroviários e aéreos, extração de minerais, de materiais de construção, distribuição de energia, através de linhas de comunicação oleodutos e disposição segura de resíduos sólidos e líquidos. Além desses podem ainda ser citadas atividades recreativas, desenvolvimento de estudos científicos, e habitat para a fauna e flora como grande repositório de material genético (Downes, 1983). Segundo o autor, o homem não tem usado sua habilidade para manipular a terra com toda a sua sabedoria e precauções necessárias.

O solo é recurso finito, limitado e não renovável na escala de tempo humana (Jenny, 1980) face às suas taxas de degradação potencialmente rápidas (crescente nas últimas décadas pela pressão antrópica), em relação às suas taxas de formação extremamente lentas. Segundo Bezdicek et al. (1996), a erosão, a lixiviação, a compactação do solo e a perda de matéria orgânica são exemplos de processos de degradação nos sistemas agrícolas. As conseqüências dessas degradações resultam em declínio na produtividade agrícola com reflexos econômicos e sociais, como aumento dos custos de produção, desvalorização das propriedades rurais e êxodo rural (Hudson, 1973; Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

De todos os tipos de degradação do solo, a erosão é um dos mais importantes em quase todas as partes do mundo. Fundamentalmente, a erosão hídrica é definida como o resultado dos processos de desagregação de partículas do solo, transporte e deposição dessas partículas (unitárias e agregadas) devido à ação do impacto da gota de chuva e o escoamento superficial da água sobre o solo (Ellison, 1947). Apesar da erosão, dentro de um conceito de tempo geológico, ser considerado um fenômeno natural de aplainamento da paisagem, ao qual se denomina erosão natural ou geológica, ela tem sido intensificada pela ação antrópica com problemas de diferentes abordagens. A partir do momento que o homem deixou de utilizar a caça, a pesca e os frutos silvestres em sua alimentação e passou a obter os seus alimentos dos campos por ele cultivados, iniciou-se a erosão acelerada. Esta forma de erosão nociva é estabelecida em decorrência do rompimento do equilíbrio dinâmico milenar até então existente entre solo e vegetação, quando os solos passaram a ser expostos aos agentes erosivos em grau variável com a intensidade de utilização (Almeida, 1981).

A erosão hídrica reduz a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a produtividade das culturas devido à perda de solo, água e nutrientes (Hudson, 1973; Renard et al., 1997) e pode causar sérios problemas ambientais como o assoreamento (Shen & Lai, 1996) e a contaminação de corpos d'água (Nyakatawa et al., 2001), do solo, de alimentos (Moraes & Quinzani-Jordão, 2002) e poluição do ar com CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e NO<sub>2</sub> (Lal, 2001).

### 2.1 Fatores Relacionados à Erosão Hídrica

Um dos primeiros pesquisadores a estudar as variáveis relacionadas a erosão hídrica foi H. L. Cook, publicando, em 1936, seu trabalho intitulado "The nature and controlling variables of the water erosion process" (Cook, 1936). Segundo Hudson (1973) e Wischmeier & Smith (1978), os principais fatores da erosão hídrica estão relacionados com o clima, solo, relevo, cobertura e manejo do solo e, práticas conservacionistas, conforme a seguir.

### 2.1.1 Clima

A chuva é considerada o fator climático que mais influencia a erosão do solo, especialmente nos trópicos devido às características das chuvas (Hudson, 1973). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), dados de chuvas em totais ou médias mensais e anuais pouco significa em relação à erosão, a qual depende de outras características como intensidade, duração e frequência. Para exemplificar, os autores afirmam que em duas regiões com o mesmo total de chuva em determinado ano, em que, em uma grande percentual das chuvas ocorre com baixa intensidade, e na outra, duas ou três chuvas intensas com 60 a 80% do total, é esperada nessa última erosão muito mais severa se demais condições forem semelhantes.

A distribuição e o tamanho de gotas controlam a intensidade e a velocidade terminal das gotas (Laws, 1941) que determinam a energia cinética da chuva e, juntamente com a sua duração, são as características que mais influenciam na erosão (Wischmeier & Smith, 1958; Hudson, 1973).

Laws (1941) concluiu em seu trabalho que a velocidade terminal da gota aumenta em função da altura de queda e de seu tamanho, atingindo valor máximo a 8 m de altura com gotas de 5 mm de diâmetro. De acordo com Foster (1981), o diâmetro das gotas não aumenta com chuvas de acima de 76 mm h<sup>-1</sup> de intensidade, e com isso, a energia cinética passa a ter valor constante.

A energia cinética representa a energia do golpe da gota de chuva diretamente sobre o solo a qual contribui para a erosão devido o desprendimento de partículas do solo no local do impacto, transporte por salpicamento das partículas desprendidas e produção de energia na forma de turbulência à água da superfície, constituindo o estágio inicial da erosão hídrica (Duley, 1939; Ellison, 1947).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), a frequência de chuvas é outro fator que influencia nas perdas de solo, pois se os intervalos entre elas foram curtos, o conteúdo de umidade do solo ainda pode estar alto, e com isso, as enxurradas serão mais volumosas mesmo a intensidade da chuva não sendo tão elevada.

### 2.1.2 Solo

A vulnerabilidade do solo à erosão varia em função das propriedades que controlam sua erodibilidade como: a permeabilidade, a resistência à desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência à desagregação pelo fluxo superficial (Lal, 1988), devido às condições intrínsecas do solo conferidas pelas características físicas, químicas e mineralógicas (Foster, 1982).

De acordo com Pruski (2006a), a partir do momento que a intensidade de precipitação excede a velocidade de infiltração começa o escoamento superficial, e a primeira parcela desse escoamento será destinada ao preenchimento do armazenamento superficial que somente depois de excedido vem a acontecer realmente o escoamento superficial. Esse armazenamento superficial está relacionado com a rugosidade do solo provocada pelo preparo (Pruski, 2006a), depressões na superfície, acumulações de vegetação e folhas secas (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A desestruturação do solo pelo impacto das gotas de chuvas promove liberação de partículas menores que irão obstruir poros, o que causa o adensamento natural do solo e promove o selamento de sua superfície, e conseqüentemente, a velocidade de infiltração reduz e a taxa de escoamento aumenta (Duley, 1939).

A granulometria e mineralogia do solo podem influenciar na estabilidade de agregados e na taxa de infiltração de água no solo, contribuindo para a suscetibilidade do solo à erosão. Solos ricos em silte, areia e com pouco material cimentante, como matéria orgânica e óxidos

de ferro e alumínio, são muito propensos ao processo erosivo em razão da pequena resistência que oferecem ao desprendimento de partículas durante o impacto da gota, infiltração (Pruski, 2006a) e escoamento superficial.

Segundo Verhaegen (1984), o teor de matéria orgânica proporciona maior cimentação entre as partículas conferindo ao solo maior estabilidade de agregados e, conseqüentemente, maior resistência à dispersão. Assim, solos de estrutura granular possuem maior força de coesão entre as suas partículas de estruturas menos coesas sendo por isso mais resistentes às forças de dispersão, e conseqüentemente, à erosão (Almeida, 1981).

A desagregação é influenciada também pela umidade antecedente. À medida que os agregados vão umedecendo ocorrendo a diminuição das forças de coesão. De acordo com Vargas (1977), a coesão do solo está relacionada com a tensão superficial existente na água intersticial do agregado que promove maior formação de meniscos nos pontos de contato entre as partículas. Quando a camada de água é delgada, a força para romper o agregado deve ser grande e quando a camada de água é espessa, a força necessária para a separação das partículas é pequena. Com o aumento da umidade do solo, a desagregação também é favorecida pela expulsão do O<sub>2</sub> e outros gases devido à ocupação dos poros pela água.

De acordo com Young & Wiersma (1973), na erosão em entressulcos a perda de solos está mais relacionada à desestruturação de agregados devido ao impacto da gota de chuva que devido ao fluxo laminar. No entanto, esses autores constataram que 80 a 85% do solo perdido pode ser carregado por fluxo laminar para os sulcos antes de saírem das parcelas, sendo, neste caso, a força cisalhante do escoamento superficial o principal agente de transporte.

Com relação aos princípios entre velocidade da água e poder erosivo, Ayres (1936) comenta que a velocidade da água varia com a raiz quadrada do desnível que percorre, e sua energia cinética de acordo com o quadrado da velocidade. Assim, se o declive aumenta quatro vezes, a velocidade de escoamento aumenta duas vezes e a capacidade erosiva quadruplica. A quantidade de material transportada pode variar com a quinta potência da velocidade de escoamento. Já o tamanho das partículas arrastadas varia com a sexta potência da velocidade de escoamento. Dessa forma, ao duplicar a velocidade de escoamento, a quantidade de material transportado aumenta 32 vezes e o tamanho das partículas que podem ser carregadas aumenta 64 vezes.

### **2.1.3 Relevô**

Segundo Souza & Bahia (1998) os processos erosivos em uma encosta são controlados pelas características de declividade, comprimento de rampa e forma da encosta, influenciando no tamanho e quantidade do material carregado. De acordo com Cogo et al. (2003), a inclinação da superfície do terreno influencia fortemente nas perdas de solo e água por erosão hídrica, pois à medida que ela aumenta, o volume e a velocidade da enxurrada aumentam e, com isso, diminui o tempo de oportunidade para a infiltração de água no solo. Em conseqüência, a capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada é aumentada assim como a própria capacidade desta de desagregar o solo, por ação de cisalhamento, principalmente quando concentrada nos sulcos direcionados no sentido do declive do terreno. De acordo com Pruski et al. (2001) muitas práticas de controle da erosão são, na verdade, práticas de controle da velocidade e do volume de escoamento superficial.

Em relação à forma das encostas ou pedoformas, Resende (1985) afirma que a erodibilidade aumenta das formas côncavas para as convexas, passando pela linear. Esse autor relaciona que nas formas côncavas a remoção de sedimentos é menor, principalmente na base das encostas, onde há convergência de água e pode até haver acúmulo de nutrientes e sementes, sendo mais comum em regiões tipicamente mais secas. Na forma convexa, a enxurrada apresenta maior divergência retirando o material do sistema. Nas pedoformas



côncavas é onde se tem maior tendência à formação de sulcos e voçorocas devido à maior concentração do processo erosivo.

#### **2.1.4 Uso e manejo do solo**

O uso do solo está relacionado às atividades que o mesmo está submetido, como lavoura, pastagem, bosque etc. O manejo diz respeito ao tipo de preparo do solo e a condição de cobertura sob a superfície do solo com resíduos da cultura anterior, podendo ser classificado como não-conservacionista e conservacionista (Amorim et al., 2006).

De acordo com Amaral et al. (2008), o sistema não-conservacionista é todo aquele no qual são empregados o arado e a grade para preparar o solo para o plantio. Já o manejo conservacionista é caracterizado pelo preparo com arado escarificador, seguido ou não de grade, e semeadura direta, é efetuada sem o preparo prévio do solo, resultando na menor mobilização entre todos os sistemas existentes e, conseqüentemente, na maior quantidade de resíduos culturais deixada na superfície do solo.

Em relação ao manejo não-conservacionista, Bertol (1994) destaca que as conseqüências mais importantes são normalmente a degradação das propriedades físicas da superfície e sub-superfície, entre as quais a estrutura, a densidade e a porosidade, que alteram o comportamento da infiltração, escoamento superficial e riscos de erosão.

A cobertura do solo, como é o caso do sistema de semeadura direta, é uma das principais formas de prevenir à erosão em entressulcos. Os resíduos vegetais sob a superfície do solo atuam na interceptação de gotas de chuva e dissipam a sua energia cinética, evitando a desagregação de partículas e a formação de selo superficial que afeta a infiltração da água no solo. Adicionalmente, ocorre redução da velocidade da enxurrada e, conseqüentemente, redução na sua capacidade de desagregação e transporte de partículas do solo (Mannering & Meyer, 1963). De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (1990), com a decomposição das raízes, formam-se pequenos canais que favorecem a infiltração da água da chuva, melhora a estrutura do solo pela adição de matéria orgânica conferindo maior estabilidade de agregados.

Já está comprovado que o sistema de plantio direto (SPD) possui maior eficiência no controle da perda de solo quando comparada à perda de água (Cogo et al., 2003). Bertol et al. (2003) ressaltam que, mesmo sob sistema de semeadura direta, é necessária a contenção da enxurrada nas lavouras a fim de aumentar a infiltração da água no solo. Isso pode alcançado mediante a implantação e/ou manutenção de práticas conservacionistas de suporte, como o terraceamento e a semeadura em contorno (Bertol et al., 2007a).

## **2.2 Formas de Erosão do Solo**

Existem diferentes classificações quanto às feições erosivas causadas pelas chuvas. Carvalho et al. (2006) classificam a erosão hídrica quanto às formas erosivas em: erosão superficial, interna e linear (sulcos, ravinas e voçorocas) de acordo com o seu grau de evolução. Já Bertoni & Lombardi Neto (1990) classificam em: erosão pelo impacto da gota, erosão laminar, sulcos e voçorocas, e, em formas mais especializadas como, deslocamento de massas, erosão em pedestal, erosão em pináculo e erosão em túnel.

Erosão por impacto é causada pelos danos do embate da gota de chuva que golpeia a superfície do solo a uma alta velocidade atuando como bombas em miniatura que rompe os grânulos e torrões, reduzindo-os a partículas menores e constitui o primeiro passo para o processo de erosão hídrica (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Os autores comentam que já foi constatado que uma única chuva pode provocar o desprendimento de mais de 200 toneladas de solo por hectare.

A erosão laminar caracteriza-se por remover uniformemente as partículas de solo, sendo, muitas vezes, imperceptível nos seus estágios iniciais, mas pode ser observada pelo afloramento de raízes de plantas perenes (Bahia et al., 1992). Essa forma erosiva está sendo

chamada de erosão em entressulcos. Amorim et al. (2001) se referem à erosão laminar como sendo a erosão entre sulcos, diferindo-a da erosão em sulcos que se caracteriza pela formação de pequenas irregularidades no sentido da declividade do terreno fazendo com que o escoamento superficial se concentra nos pontos mais baixos, atingindo volume e velocidade suficientes para formar canais mais ou menos profundos.

A forma mais avançada da erosão hídrica ocorre com a associação de grande volume de enxurrada e situações específicas de terreno, relativas tanto à pedologia quanto à litologia, promovendo a formação de cavidades de grandes dimensões denominadas voçorocas (Hernani et al., 2002).

### **2.3 Modelos de Predição da Perda de Solo**

O objetivo da maior parte das pesquisas sobre erosão é medir a influência dos diferentes fatores determinantes no processo a fim de possibilitar estimativa de perdas de solo e selecionar práticas que as reduzam ao máximo (Margolis et al., 1985), de modo que as taxas de erosão fiquem dentro de limites toleráveis (Lemos & Bahia, 1992). Os principais fatores relacionados à erosão hídrica são utilizados em modelos matemáticos preditivos da perda de solo. Os modelos podem ser classificados como empíricos, físicos e conceituais.

Para a avaliação e predição das perdas de solo por erosão, a USLE, apresentada por Wischmeier & Smith (1978), tem sido o modelo mais utilizado em todo o mundo. A equação engloba um conjunto de fatores como a erosividade da chuva (R), a erodibilidade do solo (K), a topografia (LS), o uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas de suporte (P) (Wischmeier & Smith, 1978).

A pesquisa mais antiga da erosão do solo nos Estados Unidos foi realizada por AW Sampson e colaboradores, na região central do Estado de Utah no início de 1912, utilizando parcelas (faixas) ocupadas com pastagem. Em 1917, M. F. Miller e colaboradores instalaram coletores de erosão no campo da Estação Experimental Agrícola de Missouri em Columbia (USDA, 2009) sendo considerado o trabalho pioneiro, posteriormente expandido para vários Estados americanos.

Entre o início da década de trinta e meados da década de cinquenta, o Departamento de Agricultura dos EUA instalou ensaios para medição da erosão em 48 localidades de 26 Estados, totalizando mais de 10.000 parcelas experimentais, com o objetivo de determinar o efeito da topografia, sistemas de cultivo, técnicas de manejo do solo e práticas de controle da erosão (Margolis et al., 1985).

Com os resultados dos ensaios de erosão, foi estabelecida em 1940, a primeira equação de perdas de solo por A.W. Zingg considerando apenas os fatores topográficos (Wischmeier & Smith, 1965). Várias fórmulas foram geradas sendo a mais conhecida a USLE, desenvolvida por W. H. Wischmeier e D. D. Smith a partir de 1954 e outros pesquisadores do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e do Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS), Serviço de Conservação do Solo (SCS) em colaboração com equipe da Universidade de Purdue. Sua aplicação no campo teve início por volta de 1960, sendo publicado em 1965, o "Agriculture Handbook 282", que até 1978 serviu de manual da USLE. Posteriormente, foi realizada uma nova revisão, resultando na publicação "Agriculture Handbook 537" (Elliot et al., 1989).

#### **2.3.1 USLE - aplicações e limitações**

No Brasil, as primeiras pesquisas com a USLE ocorreram em Minas Gerais por João Quintiliano de Avellar Marques, na década de 1940 (Informe Agropecuário, 1985). A partir de 1975, vários trabalhos passaram a ser desenvolvidos em várias regiões do país, para obtenção dos parâmetros da USLE (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Albuquerque et al.,

2005), destacando-se o trabalho pioneiro de Lombardi Neto (1977) que determinou os parâmetros do modelo para a região de Campinas-SP.

O modelo permite conhecer a perda anual de terra sob determinado tipo de manejo e o efeito de práticas conservacionistas, além de permitir a determinação isolada de cada fator da equação. Conforme Amorim et al. (2006), uma das principais limitações de aplicação da USLE é que esse modelo apresenta sua base totalmente empírica, implicando na necessidade da obtenção dos parâmetros da equação para o local do estudo. A montagem de um banco de dados para permitir a utilização de forma generalizada exige grande investimento de tempo e recursos (Nearing et al., 1994).

A USLE apresenta várias limitações, sendo as mais importantes: não apresenta precisão na estimativa da erosão para eventos específicos, estações ou ano; não estima erosão por fluxo concentrado (voçorocas), locais de deposição; concentração de sedimentos no fluxo de enxurrada; não dispõe de informações sobre tamanhos, densidades, área de superfície, e outras características requeridas para estimar o potencial de deposição e adsorção e transporte de químicos nos sedimentos (Foster, 1979; Croke & Nethery, 2006). Segundo Amorim et al. (2006), outra limitação é o fato de não considerar a variabilidade espacial e temporal dos fatores, o que juntamente com o fato de não considerar o processo de deposição de sedimentos, torna seu uso muito limitado em bacias hidrográficas. Esses autores afirmam que, apesar dessas limitações, a USLE é considerada um bom instrumento para previsão das perdas de solo por erosão superficial, por exigir menor número de informações se comparada a modelos mais complexos, além de ser bastante conhecida e estudada.

Apesar de não ter sido feita para estimar perdas de solo em bacias hidrográficas, associando perdas de solo obtidas em parcelas experimentais a sistemas de informações geográficas, diversos autores têm equivocadamente aplicado a USLE para essa finalidade. No entanto, esses trabalhos têm gerado informações qualitativas importantes como determinação das áreas de risco de erosão dentro de determinada bacia hidrográfica.

Em função das limitações, algumas modificações e revisões foram realizadas na USLE possibilitando a criação dos modelos MUSLE e RUSLE, além de vários outros modelos empíricos, bem como, físicos e conceituais (Aksoy & Kavvas, 2005). A Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE) foi uma mudança no modelo original a fim de permitir a avaliação da perda de solo para eventos individuais de chuva, e mudança do fator R que passou considerar informação de vazão de pico e volume escoado da microbacia (Willians, 1975).

A RUSLE conservou os mesmos parâmetros da USLE, mas com modificações na forma de obtenção dos mesmos. Dentre as principais melhorias no modelo pode-se destacar o fator K, que foi atualizado de modo a identificar solos onde não se aplica o nomograma, permitindo a estimativa deste fator por métodos alternativos, considerando a sazonalidade das chuvas com ponderação baseada na precipitação anual. Os fragmentos de rocha no solo passaram a ser considerados como fator C. Ainda no fator C, manteve-se o  $EI_{30}$  agora multiplicado pelo efeito residual do solo, cobertura pela copa, cobertura por resíduos, rugosidade e umidade do solo. O fator L passou a considerar quatro comprimentos da encosta, sendo três relacionados com a declividade e susceptibilidade do solo à erosão. Encostas complexas passaram a ser mais facilmente representadas na RUSLE por meio do uso de programas computacionais para proporcionar uma melhor aproximação dos efeitos topográficos. No fator P passaram a ser consideradas novas práticas conservacionistas de suporte (Renard et al., 1997).

Apesar de suas limitações e inovações no método original, Hudson (1995) afirma que a USLE é considerada um método simples, de fácil utilização e muito útil para o planejamento conservacionista e, provavelmente, continuará sendo usada em alguns países

por muito tempo. Boardman (2006) destaca no seu trabalho que é surpreendente o uso continuado do modelo original da USLE, mesmo existindo tantas outras alternativas.

### 2.3.2 Determinação dos parâmetros da USLE

A equação é expressa por

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

em que:

A = perda de solo ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );

R = erosividade da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );

K = erodibilidade do solo ( $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ );

L = comprimento de rampa (adimensional);

S = declividade (adimensional);

C = cobertura e manejo do solo (adimensional);

P = práticas conservacionistas de suporte (adimensional).

No Brasil a maioria das pesquisas envolvendo a USLE concentra-se na obtenção de seus parâmetros, principalmente a erosividade ou Fator R e na erodibilidade ou fator K (Barreto et al., 2009).

#### a) Fator R - Erosividade da chuva

A erosividade expressa a capacidade da chuva em causar erosão (Wischmeier & Smith, 1958). Stocking (1977) afirma que existem vários parâmetros que podem ser utilizados para medir a erosividade da chuva. O mais importante é escolher um que seja mais adequado para as condições do estudo, porque cada ambiente e tipo de tempestade são únicos na escala de tempo e espaço e, conseqüentemente, a erosão varia de diferentes maneiras.

Existe na literatura uma grande variedade de parâmetros para medir a erosividade das chuvas, cada um com suas vantagens e desvantagens. De acordo com Wischmeier & Smith (1958) e Wischmeier (1959), o produto da energia cinética pela intensidade das chuvas em 30 minutos é o melhor índice para estimar a erosividade, sendo utilizado na obtenção do fator R da USLE.

A energia cinética unitária (por mm de chuva) associada à chuva que incide sobre uma área é expressa em  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  pode ser obtida pela equação proposta por Wischmeier & Smith (1958) e modificada por Foster et al. (1981).

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

em que “I” representa a intensidade da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

Assim, o produto entre a energia cinética ( $E_c$ ) e intensidade máxima em trinta minutos ( $I_{30}$ ) representa um termo de interação que mede o efeito de como o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para desagregar e transportar as partículas desprendidas, sendo considerados os estágios iniciais do processo erosivo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A utilização do  $EI_{30}$ , no entanto, passou a ser discutida em países tropicais onde a intensidade das chuvas pode ultrapassar  $150 \text{ mm h}^{-1}$ , sendo proposto, em razão disso, índices alternativos como o  $KE > 25$  (Hudson, 1973). Este índice considera a erosividade como sendo a energia cinética apenas para os segmentos das chuvas que apresentam intensidades de precipitação maiores que  $25 \text{ mm h}^{-1}$ . De acordo com Lal (1976), o índice  $KE > 25$  é um índice de mais fácil obtenção, uma vez que dispensa o uso da intensidade máxima em trinta minutos.

Por outro lado, estudos realizados em vários locais do Brasil têm mostrado não haver diferença estatística entre o  $EI_{30}$  e outros índices de erosividade (Marques et al., 1997), sendo, por isso, indicado para diferentes localidades como, Campinas-SP (Lombardi Neto, 1977),

Caruaru – PE (Albuquerque et al., 1994), Mococa – SP (Carvalho et al., 1989), Rio Grande do Sul (Morais et al., 1988), Goiânia-GO (Silva et al., 1997) e Agreste de Pernambuco (Campos Filho et al., 1992; Cantalice & Margolis, 1993).

Para a caracterização do fator R da USLE é necessário calcular o índice de erosividade das chuvas ( $EI_{30}$ ) cujo valor é obtido pela multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações de dado local: a energia cinética total da chuva ( $E_c$ ) e a intensidade máxima em 30 min ( $I_{30}$ ). Tomando os valores desse índice para todas as chuvas individuais que ocorrem em cada mês do ano, tem-se o  $EI_{30}$  mensal, cuja soma caracteriza o  $EI_{30}$  anual. A média anual desse índice, determinada em uma série histórica de dados pluviográficos de pelo menos 22 anos, representa o fator R do local em estudo (Wischmeier & Smith, 1978).

A partir do trabalho pioneiro de Bertoni em Campinas, várias localidades no Brasil já possuem a erosividade média das chuvas ou fator R da USLE calculados, tais como: Norte: Manaus-AM - 14.129 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Oliveira Jr. & Medina, 1990); Nordeste: Caruaru-PE – 2.100 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Margolis et al., 1985), Fortaleza-CE – 6.900 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Silva & Dias, 2003), Mossoró-RN – 16.767,1 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Moura & Medeiros, 1987), Sumé-PB – 4.928 (Albuquerque et al., 2005), Pernambuco – 1.500 a 10.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Cantalice et al., 2009), Piauí – 3.316 a 6.877 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Aquino et al., 2006); Centro-Oeste: Brasília-DF – 8.319 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Dedecek, 1978), Goiânia-GO – 8353 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Silva et al., 1997), Cuiabá-MT – 8.810 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Almeida et al., 2011), Barranquinho e Flechas-MT – 8.493 e 7.830 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Morais et al., 1991), Bacia Hidrográfica do Rio Dourados-MS – 3.192 a 4.977 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Arai et al., 2010); Sudeste: Aracruz-ES - 8.536 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Martins et al., 2010), Estado de Minas Gerais – 5.000 a 12.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Mello et al., 2007), Estado do Rio de Janeiro – 4.000 a 16.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Montebeller et al., 2007), Mococa-SP – 7.747 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Carvalho et al., 1989), Campinas-SP, 6.738 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Lombardi Neto & Moldenhauer, 1992), Piraju-SP – 7.074 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Roque et al., 2001), Teodoro Sampaio-SP - 7.172 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Colodro et al., 2002), São Manuel-SP – 7.487 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Moreti et al., 2003a) e Pedrinhas Paulista-SP – 7.670 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Moreti et al., 2003b); e região Sul: Estado do Paraná 5.500 a 12.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Rufino et al., 1993), Campos Novos-SC, 6.329 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Bertol, 1994), Lages-SC – 5.790 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Bertol et al., 2002), Rio Grande-RS – 5.135 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Peñalva Bazzano et al., 2010), Santa Rosa-RS – 11.217 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Mazurana et al., 2009), Ijuí-RS – 8.825 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Cassol et al., 2007), Quaraí-RS – 9.292 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Peñalva Bazzano et al., 2007), São Borja-RS – 9.751 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Cassol et al., 2008), Encruzilhada do Sul-RS – 5.534,3 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Eltz et al., 2011).

## **b) Fator K – Erodibilidade**

Fundamentalmente, a magnitude do processo de erosão hídrica depende da combinação da capacidade da chuva em causar erosão (erosividade da chuva) e da capacidade do solo de resistir à ação erosiva (erodibilidade do solo) (Volk et al., 2008). De acordo com Cassol & Reichert (2000), o conhecimento da erodibilidade do solo é fundamental para aplicação de modelos de previsão da perda de solo como a USLE e suas modificações, bem como, outros modelos como a Water Erosion Prediction Project (WEPP).

A erodibilidade pode ser determinada de forma direta utilizando chuvas natural e simulada, e por método indireto. No método direto este fator é calculado pela razão entre a perda de solo obtida e a erosividade das chuvas correspondente (Wischmeier, 1959; e Wischmeier & Manering, 1959), podendo ser ainda estimada por meio de regressão linear simples entre essas duas variáveis (Wischmeier & Manering, 1959) em condições de parcela padrão da USLE e expresso em t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. A parcela padrão apresenta 22,1 m de

comprimento, 3,5 m de largura, 9% de declividade, mantida sem cobertura vegetal e submetida às práticas normais de manejo.

De acordo com Silva et al. (2000) a quantificação do fator K pode também ser realizada de forma direta, porém sob condições de chuva simulada. Estes dois métodos são considerados padrões e refletem a erodibilidade do solo da forma como é preconizada pela USLE (Wischmeier & Smith, 1978).

Os métodos indiretos utilizam regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo ou relações destes, correlacionados com o fator K obtido pelo método direto (Silva et al., 2000).

De acordo com Mannigel et al. (2000) e Marques et al. (1997) a obtenção da erodibilidade (K), conforme às normas da USLE tem uma grande limitação prática devido ao custo e o tempo despendido na sua determinação, o que tem influenciado a busca de formas alternativas como o uso do método indireto. No entanto, as pesquisas sobre métodos de determinação da erodibilidade de forma indireta têm revelado resultados até então promissores (Silva et al., 1999b; Silva et al., 2000; Sá et al., 2004), mas em virtude dos poucos tipos de solo estudados (Marques et al., 1997), ainda não é possível apresentar uma recomendação definitiva a ponto de substituir a determinação de forma direta. Algumas causas disso são: a elevada variabilidade de solos, diferenças de clima e método de obtenção em cada local (Bertol et al., 2007b). Nesse sentido, a continuidade das pesquisas sobre determinação da erodibilidade de forma direta para aplicação da USLE e também para calibração de métodos indiretos em estudo é uma necessidade permanente.

O conhecimento da erodibilidade tem sido aplicado também em outras abordagens dos estudos de erosão, como é o caso do estudo de Griebeler et al. (2005), que utilizaram a informação da erodibilidade do solo para cálculo do espaçamento de desaguadores de estradas. Outra demanda crescente por dados de erodibilidade se refere aos estudos de interpolação e espacialização de parâmetros da USLE ao nível de bacia hidrográfica a exemplo dos trabalhos de Tomazoni et al. (2005) e Petta & Cunha (2003).

### **c) Fator LS - Fator topográfico**

A intensidade da erosão hídrica é influenciada pelo relevo que é representado na USLE pelo comprimento de rampa (L) e pela declividade do terreno (S). Na prática são considerados conjuntamente por meio do fator topográfico (LS), o qual representa a relação entre as perdas de solo em uma área com um declive e comprimento de encosta quaisquer e as perdas que ocorrem em uma parcela padrão (Wischmeier & Smith, 1978).

De acordo com Hudson (1973) as perdas de solo aumentam em função do comprimento da rampa, devido ao aumento do volume de enxurrada que, conseqüentemente, aumenta a capacidade de desagregação e transporte de partículas. Porém, a declividade do terreno contribui mais ainda para o processo erosivo, uma vez que a perda aumenta com o declive na potência de 1,5 e com comprimento de rampa, na potência de 0,5.

Bertoni (1959), a partir de experimentos realizados para os principais solos do Estado de São Paulo, desenvolveu equação para LS que permite calcular as perdas médias de solo para diferentes graus de declives e comprimento de rampa, a saber:

$$LS = 0,00984L^{0,63} S^{1,18} \quad (3)$$

em que:

L = comprimento de rampa (m); e

S = grau de declive (%).

### **d) Fator C – Cobertura e manejo do solo**

O fator C para uma cultura em determinado sistema de manejo e local específicos, representa o efeito da cobertura e manejo do solo na redução da erosão hídrica e é determinado na USLE por meio do produto da razão de perda de solo (RPS) e pela fração do índice de erosividade anual ( $FEI_{30}$ ) referente ao ciclo da cultura em estudo (Wischmeier & Smith, 1978).

A RPS expressa a razão entre as perdas de solo ocorridas em determinado sistema de manejo estudado e as ocorridas em solo sem cultura e nu, variando, portanto, de zero (0) a um (1). A  $FEI_{30}$  é expressa em decimal e também varia de 0 a 1. Expressa a porcentagem do índice de erosividade que produziu a erosão utilizada no cálculo da respectiva RPS. Dessa forma, o fator C da USLE varia de 0 a 1, aproximando-se de 0, nos sistemas de manejo conservacionistas, e de 1, nos sistemas convencionais e com ausência de práticas conservacionistas.

#### **e) Fator P – Práticas conservacionistas de suporte**

O fator P da equação da USLE é a razão entre as perdas de solo sob determinada prática conservacionista em relação à cultura semeada na direção paralela ao declive, ou seja, morro abaixo (Wischmeier & Smith, 1978).

De acordo com Wischmeier & Smith (1978), as práticas conservacionistas de suporte são: preparo e plantio em contorno, plantio de culturas em faixas em contorno e, terraceamento. Práticas de cultivo melhoradas, rotação de culturas, tratamentos de adubação e grande adição de resíduos de colheita contribuem para controle da erosão. No entanto, os benefícios dessas práticas de manejo são considerados no fator C da USLE.

### **2.4 Estudo da Erosividade das Chuvas**

Dentre os diversos fatores ligados à erosão, a erosividade das chuvas é um dos mais estudados no Brasil (Barreto et al., 2009). Embora a maioria dos modelos empíricos de erosão, como a USLE, utiliza a erosividade da chuva para a predição das perdas de solo, a tendência dos modelos que têm sido desenvolvidos é associar as perdas de solo a fatores físicos do processo, passando a ser requeridas características adicionais da precipitação (Pruski, 2006b), como a probabilidade de ocorrência da erosividade e padrão de precipitação.

#### **2.4.1 Probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas**

De acordo com Wischmeier (1949) e Wischmeier & Smith (1958), quando todos os demais fatores que influem no processo erosivo, exceto a chuva, são mantidos constantes, as perdas de solo em áreas cultivadas são diretamente proporcionais ao produto da energia cinética pela intensidade da chuva em 30 minutos ( $EI_{30}$ ).

A precipitação pluviométrica é um evento aleatório que não permite uma previsão determinística com grande antecedência, sendo necessário um tratamento estatístico dos dados de precipitação para a maioria das aplicações hidrológicas e agronômicas (Tucci, 2000).

O período de retorno é o intervalo de tempo médio, em anos, em que uma variável aleatória é igualada ou superada pelo menos uma vez. A frequência com que esse evento pode ser igualado ou superado uma vez em determinado período de anos é o inverso do período de retorno (Tucci, 2000). Segundo Cassol et al. (2008), a estimativa da erosividade anual das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência possibilita prever a frequência com que as predições de perdas de solo são sub ou superestimadas.

Visando o planejamento conservacionista em médio e longo prazo, tem sido determinado também o período de retorno da erosividade para intervalos de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, como os trabalhos realizados no Estado de São Paulo, em Mococa (Carvalho et al., 1989), Piraju (Roque et al., 2001), Teodoro Sampaio (Colodro et al., 2002), São Manuel

(Moreti et al., 2003a), Pedrinhas Paulista (Moreti et al., 2003b), e em outras localidades como Fortaleza-CE (Dias & Silva, 2003), Lavras-MG (Evangelista et al., 2006), Quaraí-RS (Peñalva Bazzano et al., 2007) e Rio Grande-RS (Peñalva Bazzano et al., 2010).

Roque et al. (2001) determinaram a erosividade em Piraju-SP associada aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos e encontraram valores de erosividade de 6.696, 8.730, 10.076, 11.367, 13.039 e 14.292 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Moreti et al. (2003a), realizando semelhante estudo para São Manoel – SP, encontraram fator erosividade da chuva (R) de 7.487 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, esperado para ocorrer no local pelo menos uma vez a cada 2,33 anos com probabilidade de 42,92 %. Esses autores observaram a concentração de 81,48 % da erosividade total ocorrendo no período de outubro a março, indicando que as maiores perdas potenciais de solo são esperadas nessa época. Para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, os autores encontraram valores de erosividade (EI<sub>30</sub>) de 7.216, 8.675, 9641, 10.568, 11.768 e 12.667 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### **2.4.2 Padrões de precipitação pluviométrica**

As chuvas naturais apresentam consideráveis alterações em termos de intensidade durante sua ocorrência. Por este motivo elas podem ser classificadas em diferentes padrões ou perfis, de acordo com a posição de ocorrência do pico de intensidade em relação ao tempo total do evento. Horner & Jens (1941) padronizaram as chuvas em quatro diferentes níveis, como sendo: padrão uniforme (constante), avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT). No padrão adiantado o pico de intensidade da chuva ocorre no primeiro terço de sua duração total, no intermediário no terço médio e, no padrão atrasado, no terço final da chuva.

Conforme Flanagan et al. (1988), nos padrões intermediário e atrasado são esperadas as maiores perdas de solo tendo em vista a maior umidade do solo antecedente à ocorrência do pico de precipitação, pois, em condição de solo úmido a taxa de infiltração é menor e a desagregação é favorecida pelo impacto das gotas de chuva, causando selamento superficial e, conseqüentemente, escoamento superficial.

O conteúdo inicial de água no solo influencia a quebra dos agregados (Kuhn & Bryan, 2004) e, por isso, está diretamente associado aos processos erosivos do solo. Além da umidade inicial, a quebra dos agregados depende também do volume de ar dentro dos mesmos e das taxas de aplicação da água da chuva ou irrigação (Loch, 1994). O autor sugere que para se obter precisão em testes de laboratório sobre quebra de agregados, a condição de umidade inicial do solo precisa ser definida.

Segundo Kemper & Rosenal (1986), um alto teor de umidade inicial pode reduzir a coesão do solo. Vargas (1977) define coesão como a resistência de um solo confinado ao cisalhamento, podendo essa apresentar-se sob três condições: da presença de agente cimentante natural, principalmente de óxidos de ferro e alumínio, conferindo ao solo poder aglutinante; pela atração de natureza molecular entre partículas sólidas de solo e água, que contribuem para a ligação entre os grãos; e pelo efeito da tensão superficial existente na água intersticial quando o agregado sofre algum esforço cisalhante. No entanto, a estabilidade dos agregados pode ser maior em solo pré-umedecido.

Solos podem também responder de forma distinta na interação umidade e características granulométricas. Segundo Ferreira (1992), solos com maior teor de silte, apesar de apresentarem determinada agregação quando secos, ao umedecerem apresentam agregados com baixa estabilidade e, conseqüentemente, uma fácil dispersão e transporte de partículas.

De acordo com Avanzi et al. (2008), a variação da umidade antecedente ou inicial do solo pode induzir variações no fator K da USLE. Estudos analisando a influência da umidade na determinação do fator K para chuvas individuais foram realizados por Wischmeier (1976), sendo constatado que eventos ocorridos com solo muito seco ou muito saturado, provocam variações no valor de erodibilidade (K).



Quanto aos padrões de precipitação, a maioria dos estudos com chuvas simuladas utiliza um único padrão de chuva (padrão uniforme), o que não é coerente em regiões tropicais onde as perdas de solo são mais correlacionadas às chuvas de alta intensidade e curta duração (Eltz et al., 2001). Esses autores quantificaram as perdas de solo e água submetida aos padrões avançado, intermediário, atrasado e constante, utilizando chuva simulada, e concluíram que as taxas de perda de solo foram de 37; 49 e 91 % maiores no padrão atrasado que no avançado, intermediário e constante, respectivamente.

Carvalho et al. (2009) estudando o efeito das características da chuva natural em parcelas experimentais de perda de solo no município de Seropédica (RJ), concluíram que os padrões avançado, intermediário e atrasado ocorreram em 64,6; 21,3 e 14,1 % dos eventos de precipitação avaliados, sendo os mesmos responsáveis por 35,1; 6,6 e 58,3 % das perdas de em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Segundo Flanagan et al. (1988), a variação da intensidade da chuva poderia ser incluída nos modelos de predição de perda em parcelas padrão de solo e água por erosão. No entanto, a carência de simuladores de chuvas capazes de realizar chuvas de intensidade variável limita os estudos e os aperfeiçoamentos nos modelos.

## 2.5 Análises Estatísticas Multivariadas

De acordo com Moita Neto (2008), quando um fenômeno é dependente de muitas variáveis a análise feita de forma isolada pode trazer conclusões incompletas sobre a realidade. Isso porque não basta conhecer informações estatísticas isoladas, sendo necessário também conhecer a totalidade destas informações fornecida pelo conjunto das variáveis. O autor afirma que em qualquer decisão que se toma na vida, sempre se leva em conta um grande número de fatores. No entanto, nem todos pesam da mesma maneira na hora de uma escolha e, às vezes, decisões tomadas usando a intuição não identificam, de maneira sistemática, os fatores mais importantes. É nesse sentido que se visualiza a importância do uso de análises estatísticas multivariadas, ou seja, quando se deseja analisar o comportamento de um fenômeno regido por um grande número de variáveis.

Conforme Johnson & Wichern (1992), a escolha da técnica a ser aplicada a um conjunto de variáveis depende dos objetivos da investigação, podendo incluir, entre elas, a redução de variáveis por meio da análise de componentes principais - ACP (Manly, 1986) e a ordenação por meio da análise de agrupamento. Segundo Bouroche & Saporta (2006), os objetivos dos componentes principais são reduzir o número de variáveis e analisar quais as variáveis ou quais conjuntos de variáveis explica a maior parte da variabilidade total, revelando que tipo de relacionamento existe entre elas. Conforme Brito et al. (2006), por meio da ACP é possível selecionar aquelas variáveis de maior participação em cada fator e definir as que devem ser utilizadas, reduzindo-se assim, os custos com análises de variáveis de menor importância.

Os componentes principais são combinações lineares de  $p$  variáveis aleatórias  $X_1, \dots, X_p$ , representando um novo sistema de coordenadas, tendo em seus eixos as direções com máxima variabilidade. O primeiro componente é a combinação linear de variância máxima; o segundo componente possui a segunda maior variância, e assim sucessivamente (Johnson & Wichern, 1992). Em geral, poucos componentes explicam uma grande fração da variabilidade total dos dados.

A análise multivariada de componentes principais é geralmente utilizada como uma etapa intermediária para aplicação de outras técnicas como análise de regressão múltipla e de agrupamento. No caso da regressão, o uso de componentes principais para ajustar um modelo de regressão múltipla e multivariada foi proposto inicialmente por Kendall (1957) para reter aquelas componentes principais que têm altas correlações com a variável dependente.

As técnicas de análise multivariada têm aplicação em diversas áreas do conhecimento, inclusive nas sub-áreas das Ciências Agrárias, como melhoramento vegetal, ciência do solo, recursos hídricos, etc (Silva et al., 2010; Aguilera et al., 2001). Em estudos hidrológicos, Brito (2003), entre outros, as utilizou para avaliar impactos ambientais e/ou identificar variáveis de maior significância no conjunto das variáveis que definem a qualidade das águas. Ferreira (1999) utilizando ACP e técnicas de geoprocessamento gerou mapas de intensidade máxima das chuvas a partir de dados pluviométricos para o estado de São Paulo.

No caso do uso de análises multivariadas em estudos relacionados à erosividade das chuvas, as pesquisas ainda são poucas, mas promissoras para o conhecimento dos atributos físicos de chuvas mais adequados para caracterizar o potencial erosivo na precipitação pluvial de determinada região (município, estado, etc.), bem como, a sua distribuição ao longo dos meses do ano. Isso pode contribuir para realização de outras análises como agrupamento e interpolação de componentes principais, como também, propor índices de potencial erosivo com o objetivo de identificar áreas de maiores riscos e períodos do ano mais prioritários para adoção de medidas conservacionistas.

É comum a análise de componentes principais ser entendida como análise de agrupamento o que não é correto. É considerada como análise preliminar para realização de outras análises. Segundo Landim (2000), para problemas de discriminação e classificação, as técnicas de análises multivariadas indicadas são: funções discriminantes e as diversas técnicas de análise de agrupamentos, como distância euclidiana/análise de agrupamento (*cluster analysis*), análise canônica discriminante, etc.

Cruz & Regazzi (1994) afirmam que esta análise tem por objetivo reunir em grupos, por algum critério de classificação, as unidades amostrais de maneira que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos. De acordo com Everitt (1974), existem várias técnicas de análise de agrupamentos, como as de partição-otimização, densidade, técnicas de agrupamento com interseção, dentre outras. A determinação da função de agrupamento inicia-se onde a mesma é usada como critério para medir a distância entre dois elementos ou para estabelecer o quanto eles são parecidos, dividindo em duas categorias: similaridade ou dissimilaridade (Araújo, 2005). Segundo esse autor existem vários métodos de agrupamento, associados às várias funções de agrupamento. Wilks (1995) relaciona como métodos o Método da Ligação Simples, Método da Ligação Completa, Método do Centróide e Método de Ward.

De acordo com Cruz-Castilho et al. (1994), a técnica de estatística multivariada de Análise Canônica Discriminante (ACD) é uma ferramenta que permite não só diferenciar tratamentos entre si, mas também saber qual é o atributo que mais contribui para a separação entre eles, permitindo assim a eliminação de recursos despendidos com atributos que expressam baixa resposta.

No estudo da erosividade das chuvas, além de se conhecer os atributos mais importantes no processo, é de grande importância o agrupamento das chuvas com determinadas características em comum para mesma região, para fins de comparação e tomada de decisão.

### **3 CAPÍTULO I**

## **PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA E PERÍODO DE RETORNO DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

### 3.1 RESUMO

O conhecimento da erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência pode contribuir para o planejamento conservacionista de uma região, em médio e longo prazo. Visando gerar informações para melhor utilização de modelos e controle da erosão em médio e longo prazo foram desenvolvidos estudos de adequação das séries de dados de chuvas, cálculo da probabilidade de ocorrência teórica e período de retorno (T) da erosividade das chuvas, e espacialização da erosividade associada aos diferentes períodos de retorno para todo o Estado do Rio de Janeiro. Por meio da análise de intervalo de confiança foi possível selecionar 30 estações pluviométricas/pluviográficas de boa qualidade de um total inicial de 34 estações. A erosividade anual média ( $EI_{30}$ ) ou fator R da USLE para qualquer localidade no Estado do Rio de Janeiro pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez em média em um período de 1,8 a 2,1 anos, com faixa de 48,5 a 54,9 % de probabilidade de ocorrência teórica. As localidades que apresentam maior erosividade associada aos períodos de retorno estão situadas nas Mesoregiões Metropolitana e em partes das mesoregiões Sul e Centro Fluminense. De modo geral, a maior variação da distribuição espacial da erosividade se apresenta na faixa de período de retorno de 2 a 5 anos. Para maiores valores de T, a variação está mais associada à magnitude das classes de erosividade. Os índices de erosividade das chuvas associada aos períodos de retorno estudados encontram-se disponíveis para todo o Estado do Rio de Janeiro e o uso dessas informações pode contribuir para aplicação da USLE em médio e longo prazo no Estado.

### 3.2 ABSTRACT

The knowledge of rainfall erosivity associated to returning periods and occurrence probability can contribute for medium and long term conservation planning. Having the objective of generating information for a better use of medium and long term erosion models and control, studies were developed on adapting and improvement of data series on rainfalls, probability calculus of theoretical occurrence and period of return of rainfall erosivity for State of Rio de Janeiro; and also the spatialization of erosivity associated to different returning periods for the whole state. By means of confidence interval analysis it was possible to increase and make use of the 18 data series by selecting 30 well performing rainfall gauge/rainfall location stations from an initial number of 34 stations. Average annual erosivity ( $EI_{30}$ ) or USLE “R” factor, for any location in the State, can be equaled or surpassed at an average of at least once in a 1.8 – 2.1 year period, displaying a range of 48.5% to 54.9% of theoretical occurrence probability. The locations that present the highest erosivity rates associated to return periods are located in the Metropolitan mesoregions, as well as in parts of the South and Center Mesoregions of the state. Overall, the greatest variation of spatial distribution of erosivity can be seen in a return period range from 2 to 5 years. For higher T values, the variation is more associated to the magnitude of the erosivity classes. Rain erosivity associated to rainfall return periods is available for all Rio de Janeiro State, and the usage of this information can contribute for medium and long term application of USLE.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Nos Estados brasileiros é comum a escassez de dados pluviográficos e ou falta de séries históricas adequadas visando a obtenção de índices de erosividade (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Além da escassez de informações, o árduo trabalho necessário desde a leitura das informações de pluviogramas até o cálculo dos índices de erosividade contribuiu para a busca de alternativas como a possibilidade de obtenção desses índices a partir de características pluviométricas (Bertoni & Lombardi Neto 1990), como a altura precipitada e o coeficiente de chuva ( $R_c$ ) (Fournier, 1956; modificado por Lombardi Neto, 1977).

Outra situação comum nesse tipo de estudo é o caso de uma mesma estação meteorológica ou estações vizinhas disporem de longas séries de dados pluviométricos, mas com poucos registros pluviográficos. Nesse sentido, torna-se viável ampliar as séries de dados pluviográficos utilizando dados pluviométricos após estudo de correlação entre ambos para a mesma estação meteorológica ou estação vizinha, obtendo assim, série histórica mais representativa e confiável para o cálculo da erosividade. Estudos desta natureza já foram realizados para diferentes localidades brasileiras, podendo citar como exemplos os trabalhos desenvolvidos por Roque et al. (2001) para Piraju-SP, Colodro et al. (2002) para Teodoro Sampaio-SP e Gonçalves et al. (2006) para o Estado do Rio de Janeiro.

Para o planejamento conservacionista em médio e longo prazo, pesquisadores têm associado estudos probabilísticos à variável chuva, gerando estudos relacionados às equações de intensidade, duração e frequência (IDF), chuva máxima diária anual, e no caso de erosividade, estudo da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das chuvas e erosividade, que representa a capacidade de um evento de chuva ser igualado ou ultrapassado em dado intervalo de anos pelo menos uma vez.

Carvalho et al. (1989) e Moreti et al. (2003b) sugerem índices de erosividade associados a períodos de retorno no dimensionamento de técnicas de erosão visando solucionar problemas específicos relacionados a aspectos econômicos e ecológicos e dos possíveis danos admitidos, por serem mais consistentes que simplesmente a erosividade média anual ou fator R da USLE. Além disso, a estimativa dos períodos de retorno e da probabilidade de ocorrência da erosividade anual das chuvas possibilita estabelecer previsões da frequência com que às predições de perdas de solo são sub ou superestimadas (Cassol et al., 2008).

Estudos de período de retorno da erosividade das chuvas são comuns na literatura para algumas localidades das regiões Nordeste, Sul e Sudeste (Estado de São Paulo e Minas Gerais) do Brasil. No entanto, se constata que mesmo nas regiões supracitadas os estudos são dispersos, ao passo que, no Rio de Janeiro, são raros ou ainda não foram desenvolvidos. Desse modo, a determinação da erosividade associada ao período de retorno e a sua espacialização pode fornecer informações sobre os locais em que o potencial erosivo associado a eventos extremos é mais severo para, assim, poder ser considerado no planejamento conservacionista no Estado do Rio de Janeiro.

Diante do exposto, são objetivos desse trabalho: i) estudar a adequação e ampliação de séries de dados utilizando dados pluviométricos; ii) calcular a probabilidade de ocorrência teórica e período de retorno da erosividade da chuva abrangendo todo o Estado do Rio de Janeiro; iii) e espacializar a erosividade das chuvas associada aos diferentes períodos de retorno para o Estado do Rio de Janeiro.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Obtenção e seleção de séries pluviométricas na estação pluviográfica respectiva ou vizinha

Com base nas séries pluviográficas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Serviços e Eletricidade S/A (LIGHT) e Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA atual INEA) foi realizada, inicialmente, uma consulta nas estações pluviométricas da base de dados do HidroWeb/ANA para pré-selecionar estações com maior número de anos de dados relacionados com suas respectivas pluviográficas ou estações vizinhas. Para isso foram utilizadas, como critério, estações pluviométricas com valores de altitude mais próximos possíveis ao da estação pluviográfica, para que também fosse semelhante à condição climática entre elas. Nessa etapa do trabalho foi possível selecionar 34 estações pluviométricas/pluviográficas (Tabela 1).

**Tabela 1:** Relação de estações pluviográficas e suas pluviométricas (mesma estação) ou vizinhas pré-selecionadas (continua)

Estações pluviográficas					Estações pluviométricas Hidroweb/ANA		
Código	Nome	Entidade	Município	Alt. (m)	Código	Nome	Alt. (m)
Mesorregião Baixadas Litorâneas							
02242067	Álcalis	INMET	Cabo Frio	7,4	02242006	Rio Dourado (Casimiro de Abreu)*	12
02242101	Rio Mole	SERLA	Saquarema	10	02242101	Rio Mole	10
Mesorregião Centro Fluminense							
02142053	Carmo	INMET	Carmo	341	02142014	Paquequer (Carmo)*	150
02242074	Cordeiro	INMET	Cordeiro	485	02242074	Cordeiro	485
02142362	Ilha dos Pombos	LIGHT	Carmo	146	02142065	Barragem Ilha dos Pombos (Carmo)*	140
02242070	Nova Friburgo	INMET	Nova Friburgo	857	02242023	Conselheiro Paulino (Nova Friburgo)*	830
02243011	Rio da Cidade	ANA	Petrópolis	704	02243011	Rio da Cidade	704
02142051	Santa Madalena	INMET	Sta M <sup>a</sup> Madalena	620	02142051	Sta M <sup>a</sup> Madalena	620
Mesorregião Metropolitana							
02242090	Andorinhas	SERLA	Magé	80	02242090	Andorinhas	80
02242095	Cac. de Macacu	SERLA	Cac. de Macacu	40	02242095	Cac. de Macacu	40
02243239	Capela Mayrink	SERLA	Rio de Janeiro	460	02243239	Capela Mayrink	460
02243186	Ecologia Agrícola	INMET	Seropédica	33	02243186	Ecologia Agrícola	33
02243083	Eletrobrás	SERLA	Rio de Janeiro	40	02243083	Eletrobrás	40
02242094	Escola União	SERLA	Magé	10	02242094	Escola União	10
02243238	Fazenda Coqueiro	SERLA	Cac. de Macacu	140	02243238	Faz. Coqueiro	140

Tabela 1. Continuação

02243235	Faz. Santo Amaro	SERLA	Cac. de Macacu	260	02243235	Faz.Sto.Amaro	260
02344017	Ilha Guaíba	INMET	Itaguaí	64	02243250	Coroa Grande (Itaguaí)*	40
02242097	Japuíba	SERLA	Cac. de Macacu	50	02242097	Japuíba	50
02242098	Posto Garrafão	SERLA	Guapimirim	640	02242098	Posto Garrafão	640
02242100	Sambaetiba	SERLA	Itaboraí	10	02242100	Sambaetiba	10
02243157	São Bento	INMET	Rio de Janeiro	6	02243108	Glória (Rio de Janeiro)*	-
02242091	Tanguá	SERLA	Rio Bonito	40	02242091	Tanguá	40
02243151	Vassouras	INMET	Vassouras	437	02243151	Vassouras	437
02242096	Xerém	SERLA	Duq. de Caxias	144	02242096	Xerém	144
Mesorregião Norte Fluminense							
02141044	Campos	INMET	Campos	11	02241001	Farol de São Tomé (Campos)*	2
02241020	Macaé	INMET	Macaé	4	02241010	Quicamã (Macaé)*	-
Mesorregião Sul Fluminense							
02243008	Manuel Duarte	ANA	Rio das Flores	400	02243008	Manuel Duarte	400
02243165	Piraí	INMET	Piraí	388	02243165	Piraí	388
02244092	Resende	INMET	Resende	440	02244030	Nhangapi (Resende)*	440
02243251	Ribeirão das Lajes	LIGHT	Piraí	462	02243219	Barragem de Lajes (Piraí)*	433
02243205	Elevatória. Santa Cecília	LIGHT	Barra do Piraí	371	02243205	E. Santa Cecília	371
02244033	Sta. Isab. Rio Preto	ANA	Valença	567	02244033	Sta Isabel do Rio Preto	567
02244103	Tocos	LIGHT	Rio Claro	479	02244097	Vargem Ralo Coletor ou Várzea (Rio Claro)*	510
02344016	Vila Mambucaba	ANA	Angra dos Reis	6	02344016	Vila Mambucaba	6

\*Vizinha à pluviográfica

### 3.4.2 Preenchimento de falhas

Os dados diários de precipitação das séries pluviométricas de cada localidade foram trabalhados, possibilitando a obtenção das precipitações mensais e, posteriormente, as precipitações anuais totais. O preenchimento das falhas foi realizado utilizando o método da regressão linear, ajustada entre os dados do(s) mês(es) da estação pluviométrica com a falha e os dados de estação pluviográfica vizinha com série completa, atendendo assim, aos critérios de homogeneidade. A variável dependente foi o valor estimado e a independente, o valor do mês  $i$  da série completa para o qual existia a falha na série a ser preenchida.



### 3.4.3 Estudo de adequação do tamanho da série pluviométrica a ser utilizada para cálculo da erosividade $EI_{30}$ e $KE>25$ de forma indireta

As séries pluviográficas disponíveis para algumas localidades desse estudo apresentavam números de anos bem inferiores em relação às suas respectivas estações pluviométricas ou estações vizinhas. Com isso, visando ampliar essas séries históricas para a estimativa de valores mais confiáveis de  $EI_{30}$  e  $KE>25$ , optou-se por estimar esses índices por meio de dados pluviométricos para aquelas estações meteorológicas que dispunham de séries com poucos anos de registros pluviográficos, depois de verificada a adequação dos dados pluviométricos.

Para avaliar a adequação do tamanho ou período da série pluviométrica que pudesse ser utilizada para estimativa dos índices de erosividade, foi analisado previamente, o tamanho máximo da série pluviométrica em que a altura precipitada (mm) ainda fosse semelhante estatisticamente à série pluviográfica disponível (com menor número de anos), utilizando para isso, a análise de intervalos de confiança (Moreti et al., 2003a).

### 3.4.4 Obtenção dos índices de erosividade $EI_{30}$ e $KE>25$ por meio de modelos de regressão entre os índices obtidos de pluviogramas e dados pluviométricos

Após a obtenção do período de anos a ser utilizado em cada série histórica foram determinadas as precipitações médias mensais ( $p$ ) e o coeficiente de chuva ( $R_c$ ), definido como o quociente entre o quadrado da precipitação pluviométrica mensal média ( $p$ ) e a precipitação pluviométrica anual média ( $P$ ) (Carvalho et al., 2005), para cada estação pluviométrica. Com esses valores foram calculados os índices de erosividade  $EI_{30}$  e  $KE>25$  mensais médios a partir das equações ( $EI_{30}$  – Anexo B e  $KE>25$  – Anexo C) ajustadas entre índices médios mensais de erosividade obtidos por meio de pluviogramas e, dados mensais pluviométricos conforme Gonçalves (2002) e Montebeller (2005).

Os índices mensais de erosividade, para cada ano da série, foram estimados conforme Moreti et al. (2003a) a partir da planilha geral de distribuição da precipitação pluviométrica para as estações analisadas da seguinte forma:

$$E_i = \frac{(P \cdot IE)}{P_a} \quad (4)$$

em que:

$E_i$  = índice de erosividade do mês  $i$  contido no ano  $j$  da série de dados;

$P$  = total precipitado no mês  $i$  contido num ano  $j$  da série de dados;

$IE$  = índice de erosividade ( $EI_{30}$  ou  $KE>25$ ) mensal média, no qual o mês  $i$  está contido na série de dados; e

$P_a$  = precipitação mensal média no qual o mês  $i$  está contido na série de dados.

O somatório dos índices mensais de erosividade dentro de cada ano foi usado para o cálculo do índice de erosividade ( $EI_{30}$  e  $KE>25$ ), para o ano em questão e o conjunto de todos os anos da série foi utilizado para a determinação da probabilidade de ocorrência e período de retorno conforme a seguir.

### 3.4.5 Probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas

O período de retorno ( $T$ ) e a probabilidade de ocorrência ( $Pr$ ) foram obtidos conforme Villela & Matos (1975) utilizando as equações 5 e 6, respectivamente, descritas a seguir:

$$T = \frac{N + 1}{m} \quad (5)$$

em que:

N = número de anos da extensão da série parcial de dados; e  
 m = número de ordem do índice de erosividade.

$$Pr = \frac{100}{T} \quad (6)$$

Nas equações 5 e 6, T é expresso em anos e Pr em porcentagem.

Com auxílio de uma planilha eletrônica, os valores dos índices de erosividade foram dispostos em ordem decrescente e associados a um valor de ordem. Devido aos trabalhos anteriores terem sido desenvolvidos utilizando a função Log-normal (Moreti et al., 2003a; Evangelista et al., 2006), típica de eventos hidrológicos (Roque et al., 2001), foi realizado inicialmente um ajuste para esta distribuição. Para isso foi estimado o valor do coeficiente de frequência (Z) utilizando a equação 7:

$$Z = \frac{\text{Log}(IE) - \overline{IE}}{DPI} \quad (7)$$

em que:

IE = índice de erosividade;

$\overline{IE}$  = média do logaritmo dos valores de IE; e

DPI = desvio-padrão do logaritmo dos valores de IE

Em seguida foram estimados os valores teóricos de probabilidade (Pr<sub>t</sub>) por meio da função distribuição de probabilidade Log-normal, utilizando-se o aplicativo Excel.

$$Pr_t = \frac{1}{IE \cdot DP \sqrt{2\pi}} E^{-\frac{(\ln(IE) - \overline{IE})^2}{2DP^2}} \quad (8)$$

em que:

$\overline{IE}$  = média dos valores de IE; e

DP = desvio-padrão dos valores de IE

### 3.4.6 Avaliação da homogeneidade dos dados de chuvas à distribuição Log-Normal utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov

A fim de verificar o ajuste dos dados a distribuição Log-Normal foi utilizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de 5% de probabilidade, conforme Evangelista et al. (2006). Desta forma, para cada valor de ordem foi estimada a diferença entre o valor de probabilidade calculado pela equação 6 e o valor teórico obtido pela equação 8. Finalmente, com base nos valores teóricos de probabilidade, do período de retorno e dos índices de erosividade, foram confeccionadas, no ambiente Matlab (Matlab, 2000), as curvas e equações de ajuste linear, possibilitando assim, a estimativa dos índices EI<sub>30</sub> e KE>25 para diferentes valores de período de retorno e probabilidade de ocorrência.

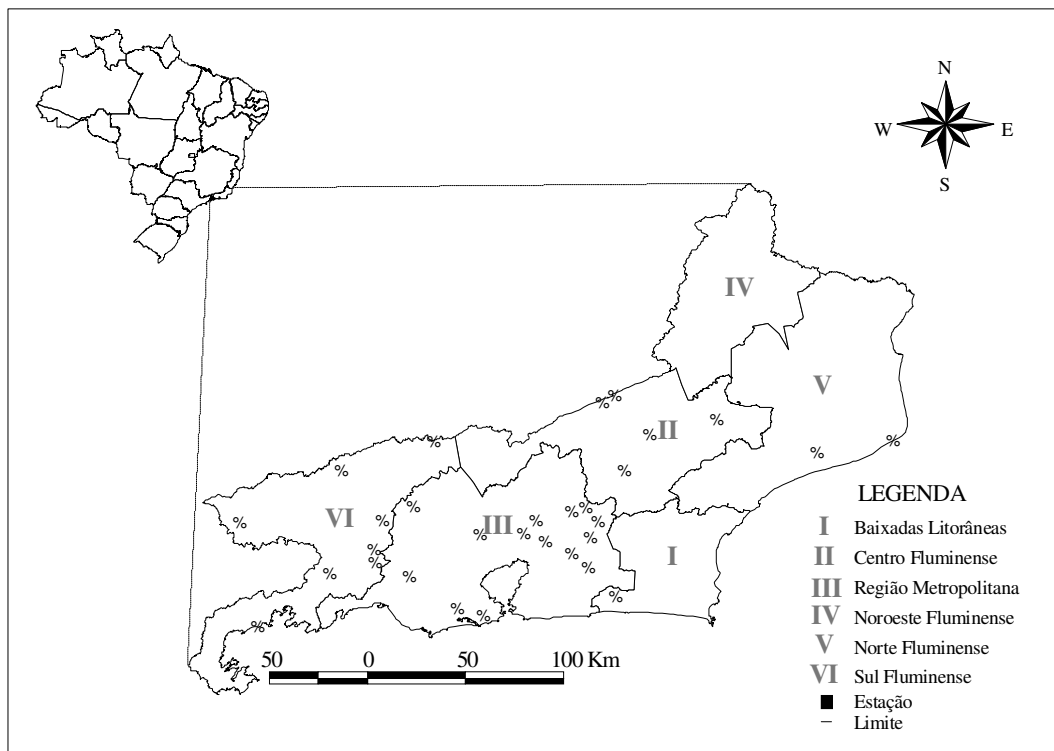
Seguindo padrão encontrado na literatura a fim de permitir comparações entre diferentes localidades, foram estimados, para cada estação, índices de erosividade com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

### 3.4.7 Espacialização dos valores de erosividade associados a períodos de retorno

Visando obter uma noção geral da iso-ocorrência da erosividade das chuvas associada aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos no Estado do Rio de Janeiro, foi realizada a interpolação dos valores para esses períodos de retorno sobre uma base georeferenciada com o contorno (“máscara”) do Estado (Figura 1), contendo a divisão das

mesorregiões e municípios. Essa base que se encontrava anteriormente no formato *Shape*, foi convertida para o formato *grid* e submetida à técnica de interpolação do Inverso do Quadrado da Distância, utilizando uma malha de 200 m e, os dados de erosividade associados aos períodos de retorno estudados. Em seguida, foram elaborados os mapas com uso do programa de computação Surfer 8.0 (Golden software, Inc., 2002).

A interpolação de valores para locais não amostrados utilizando a técnica do inverso do quadrado da distância tem sido questionada quando comparado com técnicas de melhor precisão como a krigagem (Gotway et al., 1994) e apresenta algumas desvantagens como a impossibilidade de geração de mapas de erros e de correlacionar com outras variáveis (Montebeller et al., 2007). No entanto, para aplicação da Krigagem é necessário utilizar uma quantidade mínima de dados (pontos) para que a dependência espacial, caso exista, possa ser expressa. Quando não existe dependência espacial não se justifica a adoção da interpolação por Krigagem. Montebeller (2005) não encontrou dependência espacial ao trabalhar com índices de erosividade ( $EI_{30}$  e  $KE > 25$  anuais médios) das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro, referentes a 36 estações pluviográficas. O autor conseguiu ajustar semivariogramas quando passou a utilizar informações provenientes de 88 estações, incluindo dados pluviométricos. No presente estudo em que se utilizaram dados de erosividade ( $EI_{30}$  e  $KE > 25$ ) associado a períodos de retorno referentes a 30 estações (pluviográficas e pluviométricas), se concluiu que não seria viável utilizar Krigagem e, com isso, optou-se por usar a técnica do inverso do quadrado da distância euclidiana para que fosse possível espacializar a erosividade associada aos diferentes períodos de retorno no Estado.



**Figura 1:** Localização das estações pluviométricas/pluviográficas estudadas sobre Base Georeferenciada do Estado do Rio de Janeiro – IBGE.

## 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.5.1 Preenchimento de falhas

Para que as séries pré-selecionadas pudessem ser aproveitadas no estudo houve a necessidade do preenchimento de falhas em alguns meses e estações. Utilizando a técnica de regressão linear simples aplicada a cada estação e mês da série com falha e da série completa, foi possível o aproveitamento de séries para as seguintes estações/municípios: Barragem de Lages/Piraí, Quissamã/Macaé, Manuel Duarte/Rio das Flores, Piraí/Piraí, Nhangapi/Resende, Santa Isabel do Rio Preto/Valença, Elevatória Santa Cecília/Barra do Piraí, Japuiba/Cachoeiras de Macacu, Vargem Ralo Coletor/Rio Claro, Vassouras/Vassouras. Maiores detalhes sobre as equações utilizadas e os dados preenchidos são apresentados no Anexo A.

### 3.5.2 Estudo de adequação do tamanho da série pluviométrica a ser utilizada para determinação indireta da erosividade ( $EI_{30}$ e $KE > 25$ )

Nesse estudo foi possível selecionar 30 estações meteorológicas de um total inicial de 34 estações distribuídas em 25 municípios de 5 das 6 mesorregiões do Estado do Rio de Janeiro (Tabela 2). O número de estações trabalhadas por mesorregião variou em função do número de séries (estações) disponibilizadas pelas entidades ANA, INMET, LIGTH e SERLA (atual INEA), o que resultou em um número desuniforme de estações por mesorregião. Algumas delas ficaram com quantidade razoável de estações como a Metropolitana. Em outras, o número de estações foi menor como na Mesorregião Norte, e excepcionalmente na mesorregião Noroeste, com nenhuma estação.

Das 34 estações pluviográficas previamente selecionadas, apenas Álcalis, Rio da Cidade, Ilha Guaiuba e São Bento mostraram-se inadequadas para uso em fases posteriores desse estudo (Tabela 2). Essas estações foram eliminadas por não ter sido possível ajustar equação de regressão entre estação pluviográfica/pluviométrica, pelo pequeno número de anos da série ou por não ter apresentado resultados satisfatórios na análise do Intervalo de Confiança (IC).

Na mesorregião Baixadas Litorâneas, a estação de Álcalis/Rio Dourado foi excluída por não ter sido possível gerar equação de regressão entre estações pluviométrica/pluviográfica. Analisando a mesorregião Centro Fluminense, de um total de 6 estações, apenas a Rio da Cidade/Petrópolis não apresentou resultados satisfatórios no teste de Intervalo de Confiança, e também foi eliminada.

Para a mesorregião Metropolitana, a mais abundante com um total de 16 estações, foi onde se eliminou as outras 2 estações (Ilha Guaiuba/Coroa Grande e São Bento/Glória) por não apresentarem resultados satisfatórios pelo teste de IC. Nessa mesorregião, observa-se que houve a necessidade de aplicação do IC para a definição do tamanho da série pluviométrica apenas para quatro estações (Ecologia Agrícola, Eletrobrás, Japuiba e Vassouras), pelo fato da maioria apresentar série pluviográfica de boa qualidade.

Na mesorregião Norte Fluminense, representada por duas estações, o teste de IC indicou o uso de séries pluviométricas como o mais adequado. Para as estações da mesorregião Sul Fluminense analisadas pela técnica de IC, com exceção da de Tocos, a análise indicou o uso de séries pluviométricas.

**Tabela 2:** Seleção de séries históricas (pluviométricas e pluviográficas) e do intervalo de anos mais adequado da série, utilizando a análise de IC (continua)

Estação Pluviográfica			Estação pluviométrica		Série de dados selecionada
Nome	Entidade	Série histórica	Nome/ município	Série histórica	
Mesorregião Baixadas Litorâneas					
Álcalis *	INMET	1974-1980	Rio Dourado / Casimiro de Abreu	1968-2006	Não foi possível ajustar equação
Rio Mole	SERLA	1980-1987	Rio Mole / Saquarema	1979-1994	Toda a série pluviométrica (16 anos)
Mesorregião Centro Fluminense					
Carmo	INMET	1974-1980	Paqueta / Carmo	1956-2006	Série pluviométrica período de 1977 a 2006 (30 anos)
Cordeiro	INMET	1974-1980	Cordeiro / Cordeiro	1643-1965	Série pluviométrica período de 1947-1965 (19 anos)
Ilha dos Pombos	LIGTH	Descontínua 1979 a 1989; e 1991	Barragem Ilha dos Pombos / Carmo	Indisponível	Série pluviográfica (12 anos)
Nova Friburgo	INMET	1974-1980 (exc.1979)	Conselheiro Paulino / Nova Friburgo	1939-1979	Série pluviométrica período 1960-1970 (11 anos)
Rio da Cidade*	ANA	1990 a 1992	Rio da Cidade / Petrópolis	1942-1963 e 1967-1978	Estação pluviográfica descartada devido ao pequeno tamanho e baixa qualidade da série
St M <sup>a</sup> Madalena	INMET	1974-1979	St M <sup>a</sup> Madalena / Sta M <sup>a</sup> Madalena	1966-1979	Toda a série pluviométrica (14 anos)
Mesorregião Metropolitana					
Andorinhas	SERLA	1977-1996	Andorinhas / Magé	1977-1994	Série pluviográfica (20 anos)
Cachoeiras de Macacu	SERLA	1979-1993	Cachoeiras de Macacu / C. de Macacu	1943-1979	Série pluviográfica (15 anos)
Capela Mayrink	SERLA	1980-1995	Capela Mayrink / Rio de Janeiro	1977-1994	Série pluviográfica (16 anos)
Ecologia Agrícola	INMET	1974-1980	Ecologia Agrícola / Seropédica	1974-1980	Série pluviométrica período 1973-2002 (30 anos)
Eletrobrás	SERLA	1979-1995	Eletrobrás / Rio de Janeiro	1969-1994	Toda a série pluviométrica (26 anos)
Escola União	SERLA	1977- 1995	Escola União / Magé	1977-1994	Série pluviográfica (19 anos)
Fazenda Coqueiro	SERLA	1978-1993	Faz. Coqueiro / Teresópolis	1979-1993	Série pluviográfica (16 anos)
Fazenda Santo Amaro	SERLA	1977-1995	Faz.Sto.Amaro / Cachoeiras de Macacu	1978-1994	Série pluviográfica (19 anos)
Ilha Guaíba *	INMET	1974-1980	Coroa Grande / Itaguaí	1990-2006	Resultados de IC não satisfatórios
Japuíba	SERLA	1976-1995	Japuíba / Cachoeiras de Macacu	1967-2005	Toda a série pluviométrica (39 anos)
Posto Garrafão	SERLA	1980-1995	Posto Garrafão / Guapimirim	1978-1994	Série pluviográfica (16 anos)

Tabela 2. Continuação					
Sambaetiba	SERLA	1977-1995	Sambaetiba / Itaboraí	1978-1994	Série pluviográfica (19 anos)
São Bento*	INMET	1974-1980	Glória / Rio de Janeiro	1928-1956	Resultados IC não satisfatórios
Tanguá	SERLA	1980-995	Tanguá / Rio Bonito	1977-1994	Série pluviográfica (16 anos)
Vassouras	INMET	1974-1980	Vassouras / Vassouras	1961-1978	Toda a série pluviométrica (18 anos)
Xerém	SERLA	1977-1995	Xerém / Duque de Caxias	1977-1993	Série pluviográfica (19 anos)
Mesorregião Norte Fluminense					
Campos	INMET	1974-1980	Farol de São Tomé / Campos	1967-2006	Série pluviométrica período 1991-2006 (16 anos)
Macaé	INMET	1974-1980	Quiçamã / Macaé	Descontínua: 1945-1955 + 67-80	Toda a série pluviométrica (25 anos)
Região Sul Fluminense					
Manuel Duarte	ANA	Descontínua 1981, 983 e 1984; 1990-1994	Manuel Duarte / Rio das Flores	1942-2006	Série pluviométrica período 1977 a 2006 (30 anos)
Piraí	INMET	1974-1980	Piraí / Piraí	1961-1978	Toda a série pluviométrica (18 anos)
Resende	INMET	1974-1980	Nhangapi / Resende	1957-2005	Série pluviométrica período 1957-2005 (49 anos)
Ribeirão das Lajes	LIGTH	Descontínua 1966 a 1983; exc 72, 75 e 76	Barragem de Lajes / Piraí	1942-1978	Toda a série pluviométrica (37 anos)
Santa Cecília	LIGTH	descontínua 1963-1964; 1973-1976; 1982, 1986, 1988; 1990-1993 e 1996	Elevatória Santa Cecília / Barra do Piraí	1933-2003	Toda a série pluviométrica (71 anos)
Santa Isabel do Rio Preto	ANA	1990-1996	Sta Isabel do Rio Preto / Valença	1943-2006	Série pluviométrica período 1973 a 2006 (34 anos)
Tocos	LIGTH	Descontínua 1981-1988; 1993-1999	Vargem (Ralo Coletor) / Rio Claro	1915-2003	Toda a série pluviográfica. Pluviométrica longa, porém, resultados de IC insatisfatórios. (15 anos)
Vila Mambucaba	ANA	1991-1996	Vila Mambucaba / Angra dos Reis	1983-2006	Toda a série pluviométrica (24 anos)

\*/ Estação descartada do estudo

Em relação ao período e tamanho das séries históricas (após estudo de adequação) não foi possível estabelecer um período comum para todas as séries selecionadas, as quais

variaram de 1933 a 2006. A média de anos das séries de cada mesorregião foi a seguinte: 16 anos para a mesorregião Baixadas Litorâneas; 17,2 anos para a Mesorregião Centro Fluminense; 20,6 anos mesorregião Metropolitana; 20,5 anos mesorregião Norte Fluminense e 34,8 anos para a mesorregião Sul Fluminense (Tabela 2). Nessa última mesorregião, o uso de série pluviométrica após estudo de adequação permitiu ampliar as séries de dados para o cálculo da erosividade e, com isso, apenas 2 estações ficaram com menos de 20 anos de dados.

De acordo com Wischmeier & Smith (1978), para se obter o fator R da USLE de forma confiável são necessários pelo menos 22 anos de dados. Entretanto, no Brasil é difícil atender a essa exigência devido à escassez de dados pluviográficos, e desta forma, tem se determinado a erosividade com número de anos inferior a essa recomendação (Marques et al., 1997).

Os valores dos testes de IC para as estações de cada mesorregião estudada pelos quais foram definidos os tamanhos adequados das séries pluviométricas para a estimativa indireta da erosividade das chuvas estão apresentados nos Anexos D a H. Para a maioria das estações as médias de altura precipitada entre a estação pluviográfica e a pluviométrica ficaram próximas, ou pelo menos, os Intervalos de Confiança após diversas tentativas se sobrepuseram. Com isso, foi definido então o período de anos em que as séries são estatisticamente semelhantes e, dessa forma, adequadas para serem utilizadas para estimar os índices de erosividade  $EI_{30}$  e  $KE > 25$ . Com o uso dessa técnica foi possível aproveitar e ou ampliar 18 séries de um total de 30, onde as pluviográficas apresentavam baixa qualidade.

Moreti et al. (2003a) utilizaram a técnica de análise de IC para avaliar a adequação do uso de equação desenvolvida para a região de Mococa-SP, com base no coeficiente de chuva ( $R_c$ ), visando estimar dados de erosividade em São Manoel-SP e obtiveram resultados satisfatórios.

### **3.5.3 Precipitação mensal e anual média em diferentes regiões do Estado do Rio de Janeiro**

De acordo com os dados históricos de chuvas utilizados nesse estudo, observa-se na Tabela 3 que a distribuição das chuvas no Estado do Rio de Janeiro apresenta grande variação entre e dentro das mesorregiões. Os valores médios variaram de 672 mm ano<sup>-1</sup> a 3.006 mm ano<sup>-1</sup>, para as estações Farol de São Tomé/Campos (município de Campos dos Goytacazes) no Norte Fluminense e Posto Garrafão (Guapimirim) na mesorregião Metropolitana, respectivamente. De acordo com Gonçalves et al. (2006), o alto índice pluviométrico apresentado na estação Posto Garrafão está relacionado ao efeito orográfico nessa localidade em razão da sua localização próxima ao cume da Serra do Mar na mesorregião Metropolitana (região Serrana pelo autor), sendo um dos locais de maior potencial erosivo no Estado.

As mesorregiões com maiores índices anuais de precipitação pluviométrica no Estado, em ordem decrescente, foram: Metropolitana, Sul Fluminense, Baixada Litorânea, Centro Fluminense e, por último, a Norte Fluminense. Na primeira mesorregião, em várias estações, o total anual ultrapassa 1.700 mm. Em relação à distribuição da precipitação ao longo do ano em cada mesorregião, a Baixada Litorânea, representada pela estação Rio Mole (Saquarema), apresenta chuvas relativamente bem distribuídas. O período de maior precipitação compreende os meses de setembro a abril (76 % das chuvas), sendo os meses de dezembro (151,7 mm) e janeiro (138,2 mm) com 21% das chuvas anuais aqueles com maior precipitação. Os meses mais secos são julho e agosto com 79,3 e 48,8 mm, respectivamente, somando 10% das chuvas anuais.

**Tabela 3:** Precipitação pluviográfica mensal e anual média (mm) em diferentes localidades do Estado do Rio de Janeiro em função das séries selecionadas

Estação	Entidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Mesorregião Baixadas Litorâneas														
Rio Mole	SERLA	138,2	104,8	127,0	130,0	86,8	95,0	79,3	48,8	99,4	85,7	113,2	151,7	1.260,0
Mesorregião Centro Fluminense														
Carmo/Paquequer	INMET	143,6	95,0	102,0	34,5	23,4	12,5	8,4	12,3	36,2	63,9	128,0	173,8	833,6
Cordeiro	INMET	207,0	184,9	143,8	66,7	39,5	22,6	19,6	17,3	36,6	86,1	152,3	273,8	1.250,3
Ilha dos Pombos*	LIGTH	129,0	204,3	106,4	52,4	38,1	25,4	21,6	16,7	56,8	42,9	83,4	236,2	1.013,0
Nova Friburgo / Conselhei. Paulino	INMET	312,6	222,8	157,6	67,2	36,1	25,7	31,6	27,7	37,2	109,0	180,2	247,3	1.454,7
Sta M. Madalena	INMET	242,5	134,5	133,6	96,7	65,6	64,7	63,3	53,1	94,2	143,3	250,4	225,3	1.567,1
Mesorregião Metropolitana														
Andorinhas	SERLA	278,0	229,4	231,2	155,4	83,1	66,0	46,8	51,2	113,1	122,5	184,1	317,3	1878,1
Cac. De Macacu	SERLA	257,4	213,0	204,9	185,6	94,2	69,3	67,7	63,2	117,4	124,4	211,4	306,3	1.914,9
Capela Mayrink	SERLA	189,2	182,0	201,8	226,4	152,4	143,4	163,1	136,2	177,5	182,8	185,6	229,9	2.170,3
Ecol. Agrícola	INMET	174,8	136,0	145,1	97,5	65,9	37,0	31,6	34,4	82,2	83,4	116,0	181,6	1.185,6
Eletróbrás	SERLA	155,4	132,6	136,7	138,0	80,5	63,7	57,1	58,0	88,9	90,9	111,4	171,1	1.284,3
Escola União*	SERLA	275,6	221,5	229,8	163,7	94,7	63,1	58,5	57,2	113,0	107,2	176,4	298,9	1859,5
Faz. Coqueiro	SERLA	264,7	184,9	218,0	154,9	57,6	49,3	52,1	49,1	134,7	121,9	210,8	278,4	1.776,5
Faz. Sto Amaro	SERLA	252,5	214,7	227,1	190,1	75,1	58,3	70,2	65,8	145,3	146,0	270,6	296,8	2.012,5
Japuiba	SERLA	262,5	208,2	211,0	142,6	97,9	53,7	61,3	63,8	104,2	121,1	194,3	284,2	1.804,9
Posto Garrafão*	SERLA	393,1	311,6	330,3	268,4	131,3	89,2	99,9	114,2	257,6	235,3	325,7	449,5	3.006,0
Sambaetiba	SERLA	136,1	131,2	119,5	90,6	57,6	35,8	31,8	22,2	62,9	53,0	116,7	139,5	996,8
Tanguá*	SERLA	163,4	157,9	185,6	140,2	93,8	63,1	50,8	45,0	77,5	91,2	125,1	193,8	1387,3
Vassouras	INMET	248,5	160,9	150,0	56,6	35,7	21,5	24,0	29,6	47,5	121,6	152,3	194,9	1.243,1
Xerém	SERLA	147,8	160,1	155,5	113,3	52,9	50,4	54,1	57,5	101,7	78,8	139,5	141,6	1.253,2
Mesorregião Norte Fluminense														
Campos / Farol de São Tomé	INMET	74,5	44,9	75,5	47,9	40,8	21,6	27,0	22,1	51,7	60,9	100,1	105,5	672,5
Macaé / Quiçamã	INMET	203,0	144,7	155,8	112,9	70,4	44,7	32,7	40,9	44,3	85,4	119,7	157,9	1.212,4
Mesorregião Sul Fluminense														
Manuel Duarte	ANA	239,6	165,0	155,2	78,2	43,2	21,1	15,4	19,5	67,5	92,8	156,8	235,9	1.290,2
Pirai	INMET	208,4	158,5	135,2	67,6	36,9	18,7	23,7	33,6	50,1	108,6	148,7	185,6	1.175,6
Resende/Nhangapi	INMET	244,2	194,4	187,7	78,9	43,8	27,1	22,9	27,3	70,5	121,8	165,2	216,8	1.400,5
Rib. das Lajes/ Barragem de Lajes	LIGTH	243,6	197,5	175,8	98,6	58,9	35,2	31,1	40,8	57,9	120,0	155,0	214,2	1.428,6
Sta Cecília / Elevatória de Sta Cecília	LIGTH	233,3	196,5	166,1	76,5	45,5	25,6	21,6	30,0	61,4	106,4	148,1	231,3	1.342,2
Sta. I. Rio Preto	ANA	294,0	225,2	224,2	106,8	51,0	26,1	25,1	26,3	77,5	129,7	184,9	268,9	1.639,6
Tocos*	LIGTH	296,2	232,4	196,3	99,9	55,5	35,9	18,1	19,6	58,3	74,4	111,0	271,7	1.469,3
V. Mambucaba	ANA	271,6	269,2	296,4	209,7	128,2	88,4	87,0	60,3	173,8	189,8	211,6	247,1	2.223,0

\* Extraído de Gonçalves (2002)



Na mesorregião Centro Fluminense, conhecida também como Serrana (mapa político administrativo Fundação CIDE), em todas as estações com exceção de Santa Maria Madalena (município de Sta M<sup>a</sup> Madalena), as chuvas estão concentradas de novembro a março com um percentual acumulado em torno de 77% no ano. Nessa estação, as chuvas apresentam-se mais distribuídas que nas outras localidades com 45% de novembro a janeiro e os 55% no restante do ano (Tabela 3).

Para as estações da mesorregião Metropolitana, Ecologia Agrícola (município de Seropédica), Fazenda Coqueiro (Teresópolis), Fazenda Santo Amaro (Cachoeiras de Macacu), Japuíba (Cachoeiras de Macacu), Posto Garrafão (Guapimirim), Sambaetiba (Itaboraí) e Xerém (Duque de Caxias), 63% do total precipitado ocorre no período de novembro a março. Em Cachoeiras de Macacu (Cachoeiras de Macacu) e Tanguá (Rio Bonito), 72 e 61 %, respectivamente, são esperados para novembro a abril, respectivamente. Nas estações Capela Mayrink, Eletrobrás (município do Rio de Janeiro) e Escola União (município de Magé), a precipitação pluvial está concentrada de março a abril com cerca de 54 % do total anual, resultado esse inferior ao observado nas demais estações, indicando uma melhor distribuição ao longo do ano, principalmente na estação Capela Mayrink onde o menor índice mensal é de 136 mm, observado no mês de agosto. A estação Vassouras (Vassouras) destacou-se das demais localizadas nessa mesorregião por concentrar 83% das chuvas no período de outubro a março.

Na mesorregião Norte Fluminense, representada pelas estações Farol de São Tomé/Campos (Campos) e Quiçamã/Macaé (Macaé), as chuvas estão concentradas de novembro a março com 60 e 65 % das chuvas totais anuais, respectivamente.

Analisando a mesorregião Sul Fluminense, nas 9 estações estudadas as chuvas estão concentradas de novembro a março excetuando a estação de Tocos (Tocos) com um total acumulado de 71%, em média. Na estação Vila Mambucaba (Angra dos Reis) as chuvas foram menos concentradas no período de novembro a março, com 59% do acumulado anual.

Tendo em vista que os períodos de maior concentração da precipitação geralmente são também aqueles com maior potencial erosivo, os agricultores devem evitar práticas agrícolas que deixam o solo descoberto para prevenir danos ao solo causado por erosão hídrica (Silva et al., 2010).

### **3.5.4 Estimativa da erosividade das chuvas e teste de homogeneidade - Kolmogorov-Smirnov**

A Tabela 4 apresenta o tipo de equação (precipitação mensal média-p ou coeficiente de chuva-Rc) utilizada para estimar os dados de EI<sub>30</sub> e KE>25, para cada estação. Apresenta também um resumo dos cálculos referentes à avaliação da homogeneidade das séries históricas à distribuição Log-Normal, utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5 % de probabilidade.

De acordo com essa etapa, observa-se que o uso da equação com base em p ou Rc foi variável entre as estações e até mesmo dentro da mesma estação estudada. O critério adotado sobre qual equação utilizar baseou-se na estação de maior valor de coeficiente de determinação (Anexos B e C). No entanto, nem sempre as equações de maior coeficiente de determinação foram as mais adequadas para a estimativa dos índices. Em alguns casos, a equação com maior r<sup>2</sup> gerou resultados negativos dentro de cada mês e, nesse caso, foi utilizada a outra equação mesmo sendo de menor r<sup>2</sup>. Isso pode estar relacionado ao uso de série pluviométrica com período diferente de anos daquele em que foram geradas as equações, mesmo após a realização do estudo de adequação das séries com aplicação da análise de IC.

Levando em conta essa questão (valores negativos) o coeficiente Rc apresentou-se mais flexível para estimar a erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro nesse estudo, uma vez que das 17 estações onde foram estimados os índices, 64% tiveram o coeficiente de

chuva (Rc) como o mais adequado para o índice EI<sub>30</sub> e 71% para o índice KE> 25. Tomando por base apenas a significância do modelo e o coeficiente de determinação, como é normalmente feito, Gonçalves et al. (2006) estudando 14 localidades nesse Estado encontraram pequena diferença entre equações obtidas pelo fator Rc e precipitação mensal média para estimativa do EI<sub>30</sub> e, com isso, recomendaram o uso dessa última equação.

**Tabela 4:** Equação utilizada na estimativa dos índices de erosividade e resumo da análise de homogeneidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (5%)

Estação estudada/ (tamanho da série)	EI <sub>30</sub>			KE>25		
	Eq.	Delta_F calc. Máx	Delta_F tab. (5 %)	Eq.	Delta_F calc. máx	Delta_F tab.(5%)
Mesorregião Baixadas Litorâneas						
Rio Mole (N= 16)	Rc	0,108	0,327	Rc	0,112	0,327
Mesorregião Centro Fluminense						
Carmo/Paquequer (N= 30)	Rc	0,119	0,242	Rc	0,060	0,242
Cordeiro (N= 19)	Rc	0,098	0,301	P	0,129	0,301
Ilha dos Pombos (N= 15)	-	0,161	0,338	-	0,111	0,338
Nova Friburgo/Cons. Paulino (N= 11)	Rc	0,197	0,391	Rc	0,194	0,391
Sta M.Madalena (N= 14)	Rc	0,107	0,349	Rc	0,129	0,349
Mesorregião Metropolitana						
Andorinhas (N= 20)	-	0,201	0,294	-	0,217	0,294
Cach. De Macacu (N= 15)	-	0,142	0,338	-	0,116	0,338
Capela Mayrink (N= 16)	-	0,106	0,327	-	0,112	0,327
Ecol. Agrícola (N= 30)	P	0,104	0,242	Rc	0,117	0,242
Eletróbrás (N= 26)	Rc	0,069	0,259	Rc	0,077	0,259
Escola União (N= 19)	-	0,121	0,301	-	0,096	0,301
Faz. Coqueiro (N= 16)	-	0,171	0,327	-	0,104	0,327
Faz. Sto Amaro (N= 19)	-	0,264	0,301	-	0,236	0,301
Japuiba (N= 39)	P	0,064	0,213	P	0,072	0,213
Posto Garrafão (N= 16)	-	0,088	0,327	-	0,135	0,327
Sambaetiba (N= 19)	-	0,097	0,301	-	0,100	0,301
Tanguá (N= 16)	-	0,063	0,327	-	0,109	0,327
Vassouras (N= 18)	Rc	0,239	0,309	Rc	0,245	0,309
Xerém (N= 19)	-	0,071	0,301	-	0,197	0,301
Mesorregião Norte Fluminense						
Campos/ Farol de São Tomé (N= 16)	P	0,080	0,327	P	0,079	0,327
Macaé (N= 28)	Rc	0,111	0,250	Rc	0,120	0,250
Mesorregião Sul Fluminense						
Manuel Duarte (N= 30)	P	0,078	0,242	P	0,122	0,242
Piraí (N= 18)	Rc	0,086	0,309	Rc	0,091	0,309
Resende (N= 49)	Rc	0,062	0,210	P	0,078	0,210
Rib. das Lajes (N= 37)	P	0,161	0,338	Rc	0,111	0,338
E. Sta Cecília (N= 71) N>40	P	0,067	0,218	Rc	0,109	0,218
Sta. Is. Rio Preto (N= 34)	P	0,064	0,227	P	0,065	0,227
Tocos (N= 15)	-	0,095	0,338	-	0,124	0,338
Vila Mambucaba (N= 23)	Rc	0,062	0,275	Rc	0,060	0,275

Eq.= Equação usada: P= Precipitação mensal média; coeficiente de chuva (Rc); - utilizou-se dados pluviográficos

Com base no coeficiente de determinação e significância do modelo (correlação linear ou potencial) o uso do coeficiente de chuva (Rc) mostrou-se mais adequado para os trabalhos

de Carvalho et al. (1991) para Mococa-SP, Rufino et al. (1993) para oito regiões no Paraná, Silva & Dias (2003) para Fortaleza-CE. Já o uso da precipitação mensal média, foi mais adequado no trabalho de Gonçalves et al. (2006), para o Rio de Janeiro, e ambos os índices, foram considerados satisfatórios como nos estudos de Silva et al. (1997) para Goiânia e Peñalva Bazzano et al. (2007) para Quaraí-RS. Além desse critério é também aconselhável observar se a equação não estima valores negativos de erosividade mês a mês, o que não é condizente com a realidade.

Ainda na Tabela 4, no teste de Kolgomorov-Smirnov, observa-se que em todas as estações avaliadas o Delta F\_calculado foi menor que o Delta F\_tabelado, ou seja, os dados apresentam homogeneidade à distribuição Log-Normal, a qual é adequada para apresentar as séries de valores.

### **3.5.5 Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro**

De acordo com as séries históricas trabalhadas, os valores de  $EI_{30}$  anual médio e  $KE>25$  variaram de 1.927,3 e 33,8 em Campos/Farol de São Tomé (Campos) a 15.805,8 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 171,8 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em Posto Garrafão (Guapimirim), respectivamente (Tabelas 5 e 6). De acordo com esse estudo, pode se verificar que de modo geral a mesorregião Metropolitana foi a que apresentou o maior potencial erosivo das chuvas no Estado com uma média de 9.095 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o índice  $EI_{30}$  e, 113,6 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para  $KE>25$ . Nessa região, várias localidades apresentaram  $EI_{30}$  superior a 10.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A mesorregião Sul Fluminense vem em seguida com maior potencial erosivo, apresentando média em torno de 7.477 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o  $EI_{30}$  e 92 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o índice  $KE>25$ .

Diante desses resultados pode-se afirmar que as localidades com maior potencial erosivo (fator R da USLE) no Estado do Rio de Janeiro, além de Posto Garrafão, estão nas áreas de influência das estações Andorinhas (Magé), Fazenda Santo Amaro (Cachoeiras de Macacu), Fazenda Coqueiro (Cachoeiras de Macacu) e Escola União (Magé), na mesorregião Metropolitana e, Vila Mambucaba (Angra dos Reis) na mesorregião Sul Fluminense, com valores de 13.653,5; 13.106,0; 10.605,9; 10.077,9 e 12.800,9 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Da mesma forma apresentam também os maiores valores de  $KE>25$  com 153,9, 133,8, 118,5, 117,5 e 117,0 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 6). Vale ressaltar que nos trabalhos de Gonçalves (2002) e Montebeller (2005) algumas das estações/municípios da região metropolitana (nesse trabalho) pertencem a mesorregião Centro Fluminense (região Serrana pelos autores) por ter sido utilizado mapa político administrativo da Fundação CIDE pelos autores.

Posto Garrafão, com maior potencial erosivo do Estado e localizado em Guapimirim na mesorregião Metropolitana faz divisa com Teresópolis, que é um dos municípios que possui maior destaque na produção de hortaliças no Estado. Diante dos altos valores de erosividade observados, a cobertura do solo e uso de práticas conservacionistas são medidas fundamentais para manter a perda de solo dentro de limites toleráveis.

Dos trabalhos realizados no Brasil, o que mais se assemelha aos dados para Posto Garrafão em relação ao índice  $EI_{30}$  é o de Oliveira Júnior & Medina (1990), que encontraram para a região de Manaus-AM erosividade anual média ( $EI_{30}$ ) da ordem de 14.129 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Para as estações de Andorinhas, Fazenda Santo Amaro e Vila Mambucaba a erosividade anual média ou fator R ficou próximo de outras localidades também sob domínio de floresta amazônica, como os municípios paraenses de Bragança e Marabá com 12.350 e 13.914 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, conforme Oliveira Júnior (1988).

**Tabela 5:** Valores anuais médios, probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas ( $EI_{30}$ ) e estatísticas simples para diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro (continua)

Estação	$EI_{30}$ (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )						$T_{EI30}$ anual médio	$Pr_{EI30}$ anual médio
	Entidade	Anual médio (fator R)	Mín.	Máx.	DP	CV (%)		
Mesorregião Baixadas Litorâneas								
Rio Mole	SERLA	7365,1	3238,2	10499,4	1896,5	25,7	1,9	52,9
Mesorregião Centro Fluminense								
Carmo/Paquequer	INMET	4637,2	1369,1	10759,2	2365,1	51,0	2,0	51,0
Cordeiro	INMET	7847,5	4010,0	10898,3	1614,7	20,6	1,9	52,6
Ilha dos Pombos	LIGTH	5652,7	1918,0	9511,0	2557,2	45,2	1,9	51,8
Nova Friburgo/ Conselheiro Paulino	INMET	9100,5	4390,7	15811,1	3121,0	34,3	1,9	51,7
Sta M.Madalena	INMET	6017,4	4324,4	7809,0	997,3	16,6	2,0	51,1
Mesorregião Metropolitana								
Andorinhas	SERLA	13653,5	2194,7	28768,0	5980,0	43,8	1,9	53,4
Cach. de Macacu	SERLA	7962,0	3480,0	12975,0	2507,2	31,5	1,9	52,9
Capela Mayrink	SERLA	9331,6	2915,0	19180,0	3605,3	38,6	1,9	51,6
Ecol. Agrícola	SERLA	5960,4	3350,6	9792,9	1278,3	21,4	2,0	50,8
Eletrobrás	INMET	5988,6	3818,8	11993,9	1627,2	27,2	2,0	48,8
Escola União	SERLA	10077,9	2485,0	25903,0	4773,1	47,4	2,0	50,9
Faz. Coqueiro	SERLA	10605,9	5901,2	18701,8	3398,5	32,0	2,0	50,8
Faz. Sto Amaro	SERLA	13106,0	1418,5	19491,4	4090,1	31,2	1,8	54,9
Japuíba	SERLA	9452,4	6097,0	12915,4	1530,8	16,2	2,0	50,7
Posto Garrafão	SERLA	15805,8	8382,0	25829,0	5387,0	34,1	2,0	50,0
Sambatiba	SERLA	6201,7	3207,0	13817,9	2578,4	41,6	2,0	49,2
Tanguá	SERLA	5292,5	2994,0	8492,0	1577,5	29,8	2,0	50,7
Vassouras	INMET	7179,3	2713,2	9878,4	1599,5	22,3	1,9	54,0
Xerém	SERLA	6719,4	1890,9	19285,0	4318,6	64,3	2,0	50,2
Mesorregião Norte Fluminense								
Campos / Farol de São Tomé	INMET	1927,3	1302,8	3154,9	472,9	24,5	2,0	49,7
Macaé	INMET	6257,3	3549,9	12393,5	1703,1	27,2	2,0	49,3
Mesorregião Sul Fluminense								
Manuel Duarte	ANA	5128,3	3697,9	7258,3	936,1	18,3	2,0	49,1
Piraí	INMET	5879,9	2769,8	10143,9	1937,7	33,0	2,0	50,4
Resende	INMET	9063,3	5172,2	14519,3	1803,6	19,9	2,0	49,4
Rib. das Lajes	LIGTH	4882,0	3334,1	7681,1	1072,6	22,0	2,1	48,5
E. Sta Cecília	LIGTH	5417,8	2983,2	9519,0	1256,0	23,2	2,0	49,8

Tabela 5. Continuação

Sta. Isa. Rio Preto	ANA	7613,4	5458,7	10949,6	1349,0	17,7	2,0	49,7
Tocos	LIGTH	9030,5	4204,0	17629,0	3426,3	37,9	2,0	50,1
Vila Mambucaba	ANA	12800,9	7001,0	20266,7	3520,0	27,5	2,0	50,0
Min.	-	1927,3	1302,8	3154,9	472,9	16,2	1,8	48,5
Máx.	-	15805,8	8382,0	28768,0	59,80	64,3	2,1	54,9
Médio	-	7865,3	-	-	-	-	-	-

No trabalho de determinação da erosividade para o Estado do Rio de Janeiro realizado por Montebeller (2005), a estação com maior erosividade foi a Andorinhas com  $14.794,12 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Essa e outras diferenças, embora relativamente pequenas, poderão ser encontradas entre os dois estudos em razão da diferença no tamanho das séries históricas utilizadas. No trabalho do autor supracitado, as séries pluviométricas apresentavam o mesmo número de anos que as pluviográficas que deram origem as equações, ou seja, não foram ampliadas mediante o estudo de intervalo de IC ou outro e, portanto, apresentam menor número de anos que o presente estudo.

Ainda com relação à magnitude da erosividade, a mesorregião Centro Fluminense vem em seguida, apresentando erosividade anual média de  $6.651 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $93,6 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para os índices  $EI_{30}$  e  $KE>25$ , respectivamente. Nessa mesorregião (Serrana na Fundação CIDE), destaca-se a estação de Nova Friburgo (Nova Friburgo) com um  $EI_{30}$  anual médio de  $9.100,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Tabelas 5 e 6). Esses dados divergiram dos encontrados por Carvalho et al. (2005) que encontraram erosividade anual média de  $5.431 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $83,5 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente, para essa estação. A explicação para isso é que os autores trabalharam com séries pluviográficas de 1974 a 1980 (7 anos), enquanto que nesse estudo utilizou-se série de 1960 a 1970 (11 anos), após estudo de adequação. Nas demais mesorregiões, os valores médios do  $EI_{30}$  anual médio foram de 7.365 para as Baixadas Litorâneas e  $4.092 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para a região Norte Fluminense.

O índice  $KE>25$  seguiu a mesma tendência do  $EI_{30}$ . Vale ressaltar que, mesmo para locais com menores índices anuais médios de erosividade isso não implica que o risco de erosão seja menor. Locais onde as chuvas individuais apresentam alta intensidade e concentração da erosividade em poucos meses do ano, e em solos com alta erodibilidade, podem ocorrer perdas de solo acima do limite tolerável se não forem tomadas medidas de conservação e de preservação da cobertura vegetal. Gonçalves (2002) e Montebeller (2005) determinaram além dos índices de erosividade  $EI_{30}$  e  $KE>25$  médios anuais, a distribuição mensal da erosividade no Estado do Rio de Janeiro com base nessas mesmas estações pluviográficas estudadas.

Analisando os valores extremos de erosividade em um único ano dentro de cada série (localidade) estudada, foi verificado que o  $EI_{30}$  mínimo variou de 1.302,8 a 8.382  $\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para as Estações de Campos/ Farol de São Tomé (Campos) e Posto Garrafão (Guapimirim). Já os valores máximos de  $EI_{30}$  apresentaram uma amplitude de 3.159,8 a 28.768,0  $\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para Campos/ Farol de São Tomé (Campos) e Andorinhas (Magé), respectivamente. Para o índice  $K>25$ , o mínimo variou de 8,0 a 83,0  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para Vassouras (Vassouras) e Posto Garrafão (Guapimirim), respectivamente e, o máximo, de 55,0 a 296,8  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para as estações Campos/São Tomé e Xerém, respectivamente.

**Tabela 6:** Valores anuais médios, probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas (KE>25); e estatísticas simples para diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro (continua)

Estação	KE>25						T <sub>KE&gt;25</sub> anual médio	P <sub>KE&gt;25</sub> anual médio
	Entidade	Mé- di- o	Mín.	Máx.	DP	CV (%)		
Mesorregião Baixadas Litorâneas								
Rio Mole	SERLA	84,0	37,0	119,0	21,8	25,9	1,9	52,9
Mesorregião Centro Fluminense								
Carmo/Paqueter	INMET	80,2	26,3	258,9	50,2	62,6	2,0	49,4
Cordeiro	INMET	92,9	46,0	139,0	22,3	24,0	1,9	51,9
Ilha dos Pombos	LIGTH	72,4	16,3	124,2	33,1	45,6	1,9	52,5
Nova Friburgo/ Consel. Paulino	INMET	132,8	66,4	228,2	44,5	33,5	1,9	51,7
Sta M.Madalena	INMET	89,7	64,0	113,0	14,4	16,1	2,0	51,2
Mesorregião Metropolitana								
Andorinhas	SERLA	153,9	29,4	296,3	63,1	41,0	1,8	54,2
Cachoeiras de Macacu	SERLA	94,2	39,0	138,0	29,5	31,3	1,9	52,8
Capela Mayrink	SERLA	81,0	15,8	171,3	38,6	47,6	1,9	52,3
Eletróbrás	SERLA	90,3	58,0	176,8	23,4	25,9	2,1	48,8
Ecol. Agrícola	INMET	99,2	57,0	158,0	22,3	22,4	2,0	50,8
Escola União	SERLA	117,5	33,9	253,9	48,4	41,2	2,0	51,0
Faz. Coqueiro	SERLA	118,5	67,8	186,9	35,4	29,9	2,0	50,4
Faz. Sto Amaro	SERLA	133,8	16,0	206,0	49,6	37,1	1,8	54,4
Japuiba	SERLA	119,3	77,0	164,0	19,6	16,4	2,0	50,7
Posto Garrafão)	SERLA	171,8	83,0	276,0	56,5	32,9	2,0	51,1
Sambaetiba	SERLA	62,2	32,4	98,4	18,6	29,8	1,9	52,1
Tanguá	SERLA	120,7	46,0	167,0	27,2	22,5	1,9	53,9
Vassouras	INMET	73,9	8,0	184,0	42,6	57,6	1,9	52,9
Xerém	SERLA	153,9	29,4	296,3	63,1	41,0	1,8	54,2
Mesorregião Norte Fluminense								
Campos/Farol de São Tomé	INMET	33,8	23,0	55,0	8,1	24,0	2,0	49,5
Macaé	INMET	94,3	53,9	200,6	28,1	29,7	2,0	49,0
Mesorregião Sul Fluminense								
Manuel Duarte	ANA	49,4	36,0	72,0	9,1	18,4	2,1	48,9
Piraí	INMET	105,4	50,0	184,0	35,1	33,3	2,0	50,3
Resende	INMET	111,7	67,4	165,6	19,0	17,0	2,0	50,8
Rib. das Lajes	LIGTH	69,0	46,0	130,0	16,5	24,0	2,1	48,9
E. Sta Cecília	LIGTH	67,9	37,0	120,0	15,9	23,5	2,0	49,8

Tabela 6. Continuação

Sta. Is. Rio Preto	ANA	97,2	69,0	138,0	17,2	17,7	2,0	49,7
Tocos	LIGTH	115,8	63,4	204,9	37,7	32,5	2,0	50,6
Vila Mambucaba	ANA	117,0	61,0	190,0	33,6	28,7	2,0	50,0
Mín.	-	33,8	8,0	55,0	8,1	16,1	1,8	48,8
Máx.	-	171,8	83	296,3	63,1	62,6	2,1	54,4
Médio	-	100,1	-	-	-	-	-	-

Para o desvio padrão da erosividade média anual entre as localidades, medida pelo  $EI_{30}$ , os valores variaram de 472,9 a 5.980  $MJ\ mm\ h^{-1}\ ha^{-1}\ ano^{-1}$  para as mesmas localidades dos valores de máximo de erosividade, e da mesma forma para o  $KE>25$ , com variação de 8,1 a 63,1  $MJ\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ .

Quanto ao CV (%) as amplitudes de valores foram bem semelhantes para os índices  $EI_{30}$ , as quais foram de 16,2 a 64,3 % para Japuíba (C. de Macacu) e Xerém (Duque de Caxias) respectivamente, para o primeiro e, 16,1 a 62,6 % para as estações Santa M. Madalena e Carmo/Paquequer, respectivamente, para o segundo índice. Em muitas das localidades estudadas no Estado, os valores de máximo, mínimo, DP e CV (%) para a erosividade anual média medida pelo  $EI_{30}$  foram próximos aos encontrados por Oliveira Jr & Medina (1990) para Manaus-AM, Dias & Silva (2003) para Fortaleza-CE, Cassol et al. (2008) para São Borja-RS e Mazurana et al. (2009) para Santa Rosa-RS.

Quanto à probabilidade de ocorrência teórica (Pr) e ao período de retorno T da erosividade média ( $EI_{30}$ ), os valores determinados ficaram muito próximos em todas as estações estudadas, variando de 48,5 a 54,9% e 1,8 a 2,1 anos, respectivamente. Utilizando a estação de Rio Mole como exemplo, significa dizer que com 52,9 % de probabilidade o valor anual de erosividade pode igualar ou ultrapassar ao valor anual médio 7.365,1  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$  encontrado, pelo menos uma vez em média a cada 1,9 anos.

Analisando a literatura nacional, constata-se que os valores de probabilidade de ocorrência do  $EI_{30}$  para as diferentes localidades do Rio de Janeiro foram um pouco mais elevados, enquanto que, os valores de período de retorno apresentaram-se ligeiramente menores que os encontrados em outras regiões do país como nos trabalhos realizados por Carvalho et al. (1989) para Mococa-SP (Pr = 42 % e T = 2,4 anos), Moreti et al. (2003a) em São Manuel – SP (Pr = 42,9 % e T = 2,3 anos), Mazurana et al. (2009) para Santa Rosa – RS (Pr = 43,3% e T = 2,3 anos), Hickmann et al. (2008) para Uruguaiana-RS (Pr = 48 % e T = 2,0 anos) e Evangelista et al. (2006) para Lavras-MG (Pr = 34 % e T = 2,9 anos). Martins et al. (2010) encontraram para a região de tabuleiros costeiros do Espírito Santo Pr de 29,78 % e T de 3,4 anos.

Para a erosividade anual média medida pelo índice  $KE>25$ , os resultados variaram de 48,8 a 54,4 % e 1,8 a 2,1 anos para Pr e T, respectivamente, semelhante ao observado para o índice  $EI_{30}$ . Da mesma forma, esses valores foram relativamente menores que os obtidos por Carvalho et al. (1991) para a região de Mococa-SP, que apresentou Pr de 44 % e T de 2,3 anos para o  $KE>25$  médio anual.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os índices de erosividade das chuvas associados aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, calculados a partir das equações geradas após o ajuste dos dados à distribuição log-normal (Anexo I). Como podem ser observados, os valores de índices de erosividade esperados aumentaram em função dos períodos de retorno confirmando a tendência observada nos gráficos. No entanto, de 50 para 100 anos, esse aumento foi relativamente pequeno, tanto para  $EI_{30}$  quanto para o índice  $KE>25$ .

**Tabela 7:** Índice anual médio de erosividade ( $EI_{30}$ ) e associado a períodos de retorno (anos) para diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro

Estação	2	5	10	20	50	100	Anual médio
	$EI_{30}$ (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )						
Mesorregião Baixadas Litorâneas							
Rio Mole	7.562	9.604	10.284	10.625	10.829	10.897	7.365,1
Mesorregião Centro Fluminense							
Carmo/Paquequer	4.714	7.015	7.782	8.166	8.396	8.472	4.637,2
Cordeiro	7.996	9.731	10.310	10.599	10.772	10.830	7.847,5
Ilha dos Pombos	5.795	8.142	8.924	9.315	9.550	9.628	5.652,7
Nova Friburgo/ Conselh. Paulino	9.250	11.903	12.788	13.230	13.495	13.584	9.100,5
Sta M <sup>a</sup> Madalena	6.052	6.995	7.309	7.466	7.561	7.592	6.017,4
Mesorregião Metropolitana							
Andorinhas	14.408	21.040	23.250	24.356	25.019	25.240	13.653,5
Cac. de Macacu	8.212	10.840	11.716	12.154	12.417	12.504	7.962,0
Capela Mayrink	9.551	13.591	14.938	15.612	16.016	16.150	9.331,6
Eletobrás	5.928	7.427	7.927	8.177	8.327	8.377	5.960,4
Ecologia Agrícola	5.995	7.262	7.684	7.895	8.022	8.064	5.988,6
Escola União	10.232	15.475	17.222	18.096	18.620	18.795	10.077,9
Fazenda Coqueiro	10.691	13.789	14.821	15.338	15.647	15.751	10.605,9
Faz. Santo Amaro	13.934	18.952	20.624	21.461	21.962	22.130	13.106,0
Japuíba	9.490	11.022	11.533	11.789	11.942	11.993	9.452,4
Posto Garrafão	15.807	21.055	22.804	23.678	24.203	24.378	15.805,8
Sambaetiba	6.142	8.426	9.187	9.567	9.796	9.872	6.201,7
Tanguá	5.329	6.843	7.347	7.599	7.751	7.801	5.292,5
Vassouras	7.430	9.326	9.958	10.274	10.464	10.527	7.179,3
Xerém	6.748	10.625	11.918	12.564	12.952	13.081	6.719,4
Mesorregião Norte Fluminense							
Campos/Farol de S. Tomé	1.923	2.372	2.521	2.596	2.641	2.656	1.927,3
Macaé	6.216	7.980	8.569	8.863	9.039	9.098	6.257,3
Mesorregião Sul Fluminense							
Manuel Duarte	5.100	6.019	6.326	6.479	6.571	6.601	5.128,3
Piraí	5.907	7.901	8.565	8.898	9.097	9.163	5.879,9
Resende	9.029	10.818	11.415	11.713	11.892	11.951	9.063,3
Ribeirão das Lajes	4.832	5.855	6.196	6.366	6.468	6.502	4.882,0
E. Sta Cecília	5.410	6.657	7.073	7.281	7.406	7.448	5.417,8
Sta Isabel Rio Preto	7.599	8.896	9.328	9.544	9.674	9.717	7.613,4
Tocos	9.039	12.327	13.423	13.971	14.300	14.409	9.030,5
Vila Mambucaba	12.805	16.254	17.403	17.978	18.323	18.438	12.800,9

Para o período de retorno de 2 anos, os valores de erosividade anual variaram de 1.923 a 15.807 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o índice  $EI_{30}$  e de 34 a 174 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o índice  $KE>25$  para as estações Campos/Farol de São Tomé (Campos) e Posto Garrafão (Guapimirim), respectivamente. Como se pode verificar, esses resultados foram semelhantes aos observados para a distribuição dos índices anuais médios de  $EI_{30}$  e  $KE>25$  nessas mesmas



estações, e isso se deve ao fato da probabilidade de ocorrência desses índices serem coincidentemente de 2 anos (ver Tabela 5).

**Tabela 8:** Índice anual médio de erosividade (KE>25) e associado a períodos de retorno (anos) para diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro

Estação	2	5	10	20	50	100	Anual médio
	KE>25 (MJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )						
Mesorregião Baixadas Litorâneas							
Rio Mole	86	110	117	121	124	124	84,0
Mesorregião Centro Fluminense							
Carmo/Paquequer	79	124	139	146	151	152	80,2
Cordeiro	94	117	125	129	131	132	92,9
Ilha dos Pombos	75	109	120	126	129	130	72,4
Nova Friburgo / Conselhei. Paulino	135	172	185	191	195	196	132,8
Sta M <sup>a</sup> Madalena	90	104	109	111	112	113	89,7
Mesorregião Metropolitana							
Andorinhas	164	235	259	271	278	280	153,9
Cach. de Macacu	97	126	136	141	144	145	94,2
Capela Mayrink	146	150	152	152	153	153	81,0
Ecologia Agrícola	100	123	130	134	136	137	90,3
Eletróbrás	89	111	118	122	124	125	99,2
Escola União	119	171	188	197	202	204	117,5
Fazenda Coqueiro	119	145	154	158	161	162	118,5
Faz. Santo Amaro	142	198	216	226	231	233	133,8
Japuíba	120	139	146	149	151	152	119,3
Posto Garrafão	174	228	247	256	261	263	171,8
Sambaetiba	78	113	124	130	134	135	62,2
Tanguá	63	81	87	90	92	93	120,7
Vassouras	125	157	168	173	176	177	73,9
Xerém	78	120	134	141	145	146	153,9
Mesorregião Norte Fluminense							
Campos/Farol de São Tomé	34	41	44	45	46	46	33,8
Macaé	93	121	130	135	138	139	94,3
Mesorregião Sul Fluminense							
Piraí	106	142	154	160	163	164	49,4
Manuel Duarte	49	58	61	62	63	63	105,4
Resende	112	132	138	142	144	144	111,7
Ribeirão das Lajes	68	84	90	92	94	95	69,0
E. Sta Cecília	68	83	89	91	93	93	67,9
Sta I. Rio Preto	97	114	119	122	124	124	97,2
Tocos	116	151	163	169	172	174	115,8
Vila Mambucaba	117	150	161	166	170	171	117,0

Analisando o índice anual médio associado aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos os valores de EI<sub>30</sub> variaram de 1.923, 2.372, 2521, 2.596, 2.641 e 2.656 para a estação Farol de São Tomé/Campos (Campos) a 15.807, 21.055, 23.250, 24.356, 25019 e

25240 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> sendo os dois primeiros períodos de retorno para Posto Garrafão (Guapimirim), e os demais, para Andorinhas (Magé). Para o índice KE>25, a erosividade anual média variou de 34, 41, 44, 45, 46 e 46 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na estação de Farol de São Tomé/Campos (Campos) a 174, 235, 259, 271, 278 e 280 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nas estações de Posto Garrafão (2 anos) e Andorinhas (os demais) para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente. Percebe-se que há uma tendência de aumento da erosividade associada aos períodos de retorno no sentido Norte-Sul no Estado do Rio de Janeiro, corroborando com o trabalho de Montebeller et al. (2007) sobre espacialização dos índices médios anuais nesse Estado.

A Tabela 9 apresenta os valores de EI<sub>30</sub>, associados aos períodos de retorno, obtidos por diferentes autores para outras localidades. Os valores se apresentam diferentes dos encontrados neste trabalho, mas é possível identificar algumas estações com valores desse índice próximos aos encontrados na literatura, como as estações de Rio Mole, Cordeiro, Cachoeiras de Macacu, Vassouras e Santa Isabel do Rio Preto no Estado do Rio de Janeiro (ver Tabela 7). A variação do EI<sub>30</sub> entre as localidades acima mencionadas para os diferentes períodos de retorno é de certa forma, semelhante. No entanto, o mesmo não é observado quando se compara a variação ao longo dos mesmos períodos de retorno entre as estações dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo apresentados na Tabela 9, onde nesse último, constata-se maior variação da erosividade (EI<sub>30</sub>). Com isso, pode-se pressupor que o índice anual médio de erosividade para as referidas estações no Rio de Janeiro apresenta menor probabilidade de variação ao longo dos anos. Por outro lado, mesmo em localidades com índice anual médio de erosividade semelhantes entre os dois Estados, pode se esperar para um mesmo período de retorno maior risco de erosão no Estado de São Paulo.

**Tabela 9:** Índices anuais médios de erosividade (EI<sub>30</sub>) para diferentes localidades e períodos de retorno

Localidade	T (anos)						EI <sub>30</sub>
	2	5	10	20	50	100	Anual médio
Mococa – SP <sup>1</sup>	7.355	9.151	-	11.455	-	14.062	7.747
Piraju –SP <sup>2</sup>	6.696	8.730	10.076	11.367	13.039	14.292	7.074
Teodoro Sampaio – SP <sup>3</sup>	6.831	8.666	9.877	11.046	12.546	13.675	7.172
São Manuel – SP <sup>4</sup>	7.216	8.675	9.641	10.568	11.768	12.667	7.487
Pedrinhas Paulista -SP <sup>5</sup>	7.404	8.833	9.779	10.686	11.860	12.740	7.670
Lavras-MG <sup>6</sup>	5.400	7.000	8.000	8.800	9.900	10.500	5.403
Cuiabá-MT <sup>7</sup>	8.442	10.426	11.739	12.999	14.630	15.852	8810

1 – Carvalho et al. (1989), 2 - Roque et al. (2001); 3 - Colodro et al. (2002), 4 – Moreti et al. (2003a); 5 – Moreti et al. (2003b); 6 – Evangelista et al. (2006); 7- Almeida et al. (2011).

Em relação ao KE>25, os valores obtidos foram de 36, 41, 44, 45, 46, 46 anos MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a estação de Campos/Farol de São Tomé (Campos) e 174, 288, 247, 256, 261 e 263 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a estação Posto Garrafão, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente. Carvalho et al. (1991) realizando semelhante estudo para Mococa-SP encontraram valores de KE>25 de 136, 167, 187, 207 e 251 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 100 anos respectivamente. Os valores encontrados por esses autores ficaram próximos para algumas localidades da mesorregião Metropolitana com exceção para o período de retorno de 100 anos.

Carvalho et al. (1989) e Moreti et al. (2003b) sugerem índices de erosividade associados a períodos de retorno no dimensionamento de projetos de combate à erosão para

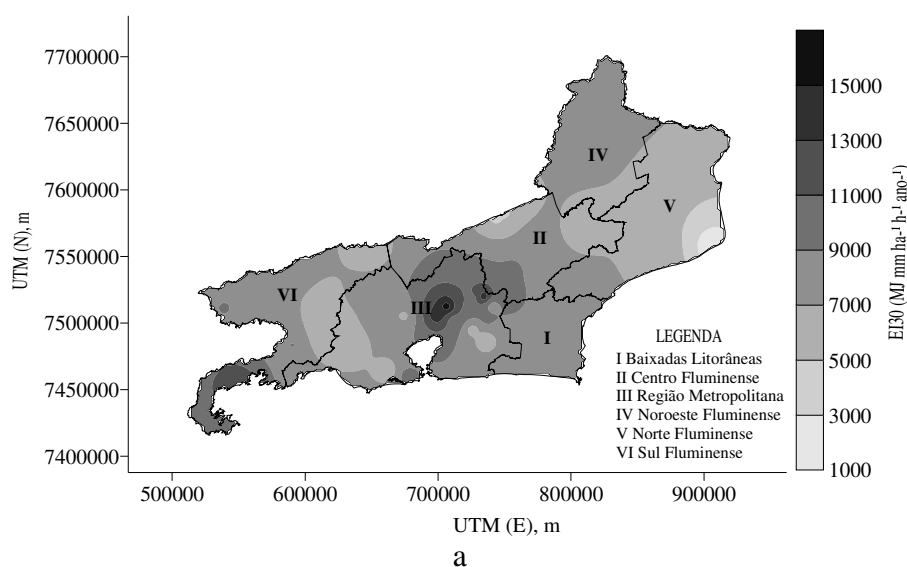
solucionar problemas relacionados a aspectos econômicos e ecológicos e os possíveis danos admitidos, por serem mais consistentes que simplesmente a erosividade média anual (ou fator R). Além do período de retorno do índice anual de erosividade ( $EI_{30}$ ), os autores citados na Tabela 9 determinaram a erosividade para eventos máximos anuais de chuvas individuais.

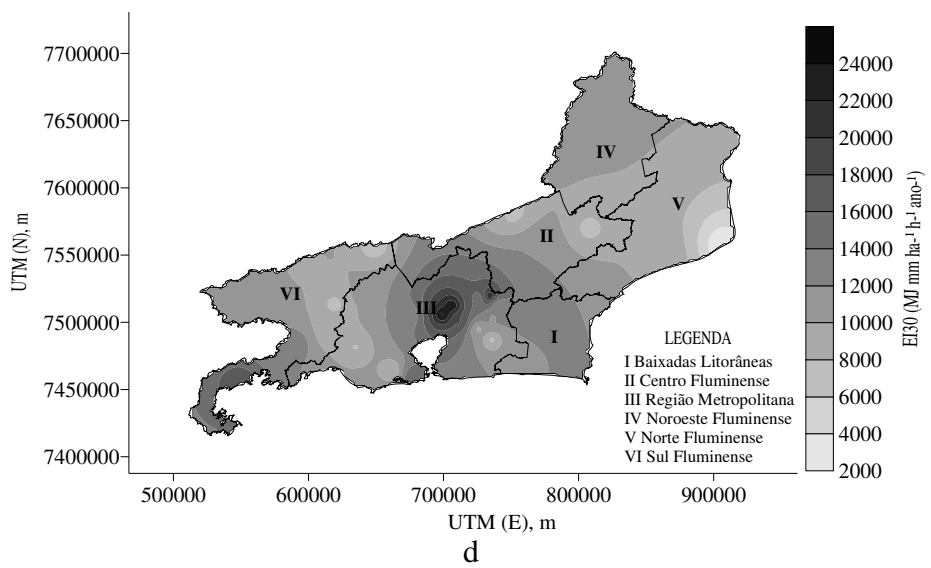
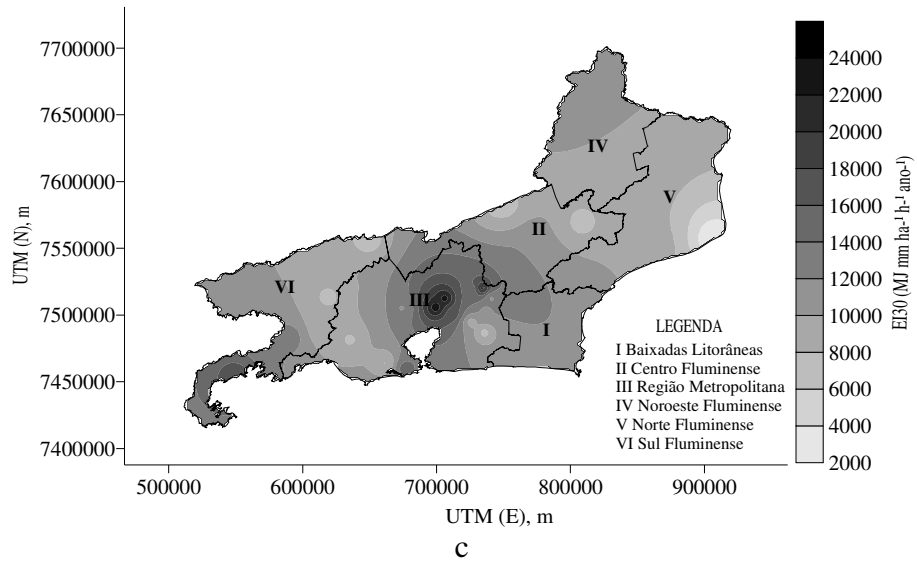
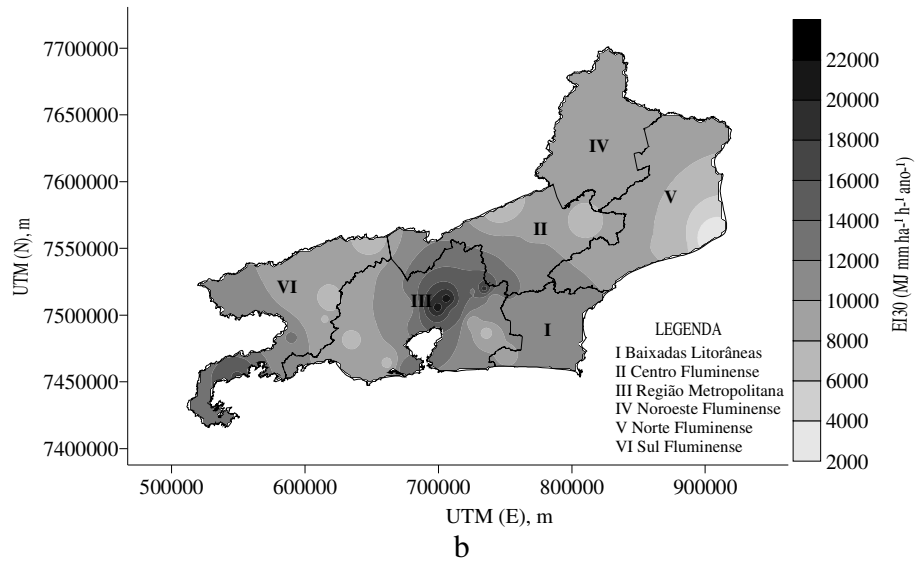
Índices anuais médios de  $EI_{30}$  e  $KE > 25$  para diferentes valores de probabilidade (%) e períodos de retorno podem ser facilmente visualizados nesse trabalho por meio das figuras contidas nos Anexos K a S, ou estimados a partir de equações (apresentadas nas respectivas figuras) ajustadas com base na distribuição dos dados de cada uma das Figuras desses anexos.

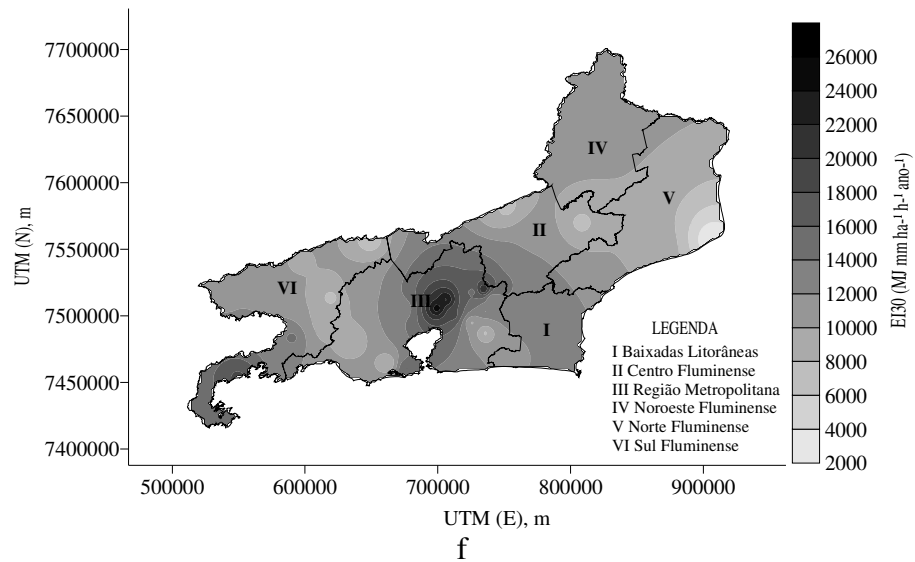
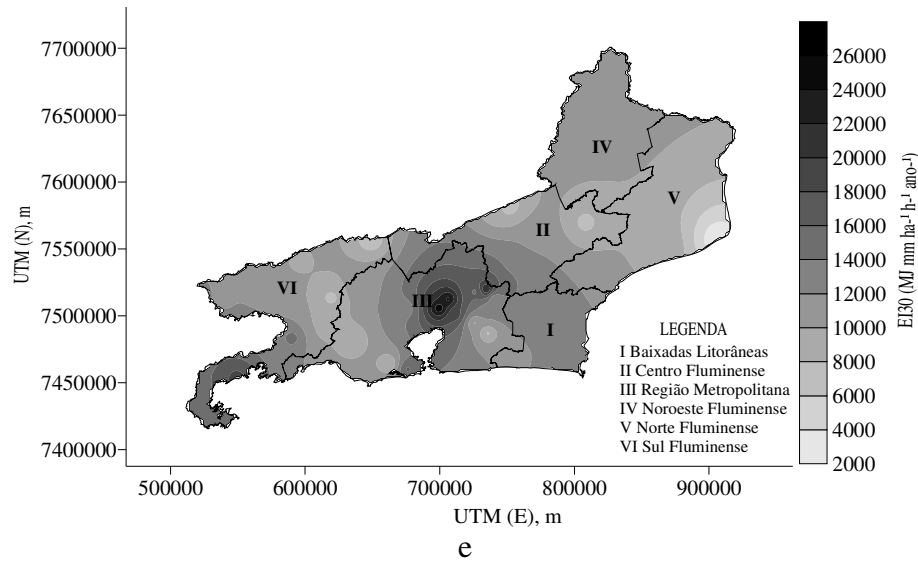
### 3.5.6 Mapeamento da iso-ocorrência de erosividade associada aos diferentes períodos de retorno

As Figuras 2 e 3 apresentam os mapas de iso-ocorrência dos índices de erosividade ( $EI_{30}$  e  $KE > 25$ ) no Estado do Rio de Janeiro, sendo a cor mais clara e a mais escura a que indica menores e maiores valores de erosividade, respectivamente. Conforme se observa nos mapas, independente do período de retorno os locais que apresentaram os maiores valores de erosividade estão localizados na Mesorregião Metropolitana e em partes da Sul e Central Fluminense, com valores de  $EI_{30}$  acima de  $9.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o período de retorno de 2 anos (Figura 2a).

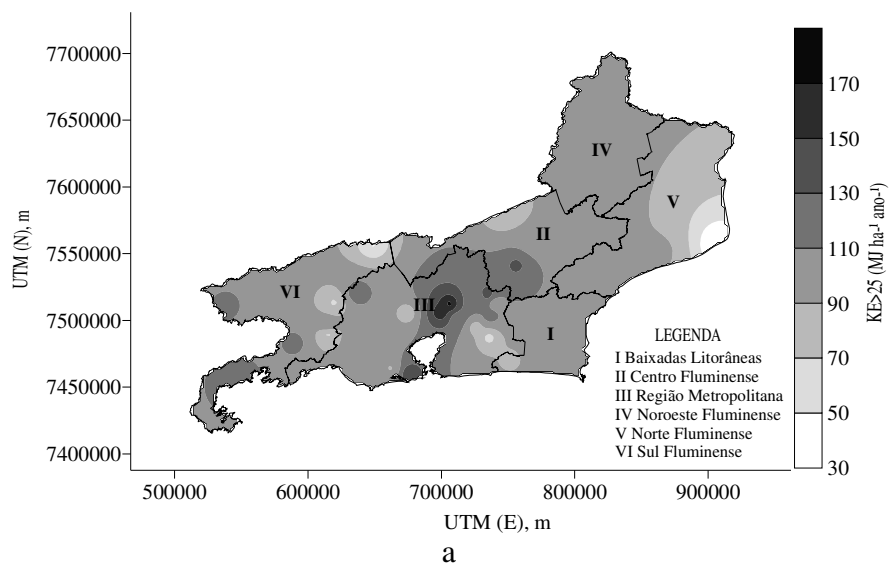
Analisando o período de retorno de 2 anos, que é o tempo em que a erosividade anual média ou fator R da USLE pode se igualada ou ultrapassado pelo menos uma vez, a maior parte do Estado do Rio de Janeiro apresenta erosividade na faixa de  $7.000$  a  $9.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Excetua-se dessa análise a mesorregião Norte Fluminense quase por inteira e partes das mesorregiões Metropolitana e Sul Fluminense, sendo a primeira, onde ocorrem as áreas com menor índice de erosividade (partes dos municípios de Campos e São João da Barra), e o contrário, nas outras duas. Apesar da diferença entre as metodologias de mapeamento, a erosividade das chuvas associadas ao período de retorno de 2 anos apresenta razoável semelhança aos resultados do trabalho de espacialização da erosividade anual média no Estado do Rio de Janeiro realizado por Montebeller et al. (2007). Assim como no presente trabalho, os autores constataram que a erosividade diminui da mesorregião Sul Fluminense (identificada como Baía de Ilha Grande) para o sentido Norte Fluminense.

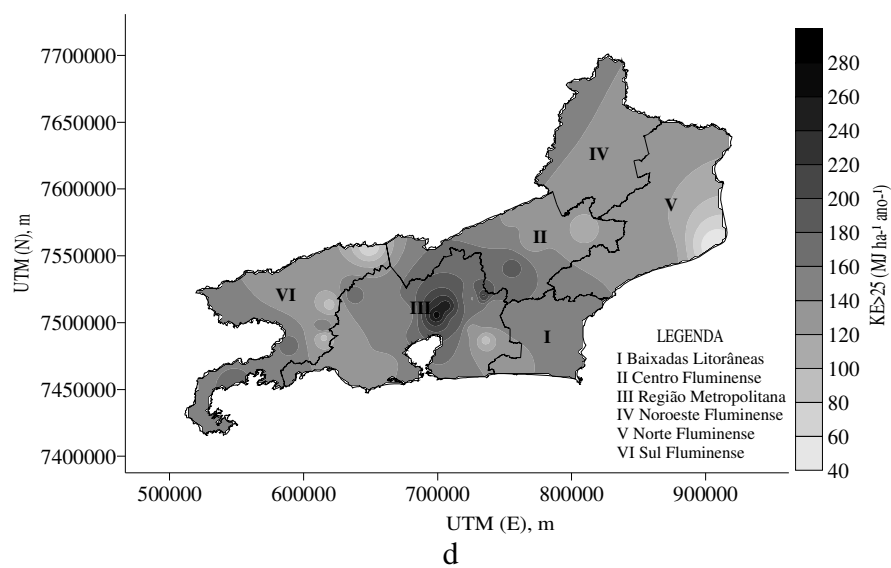
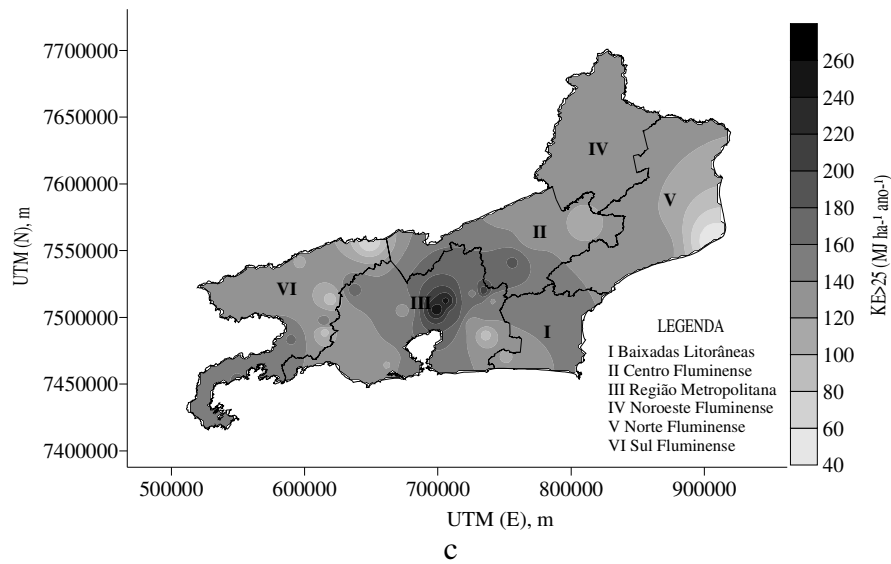
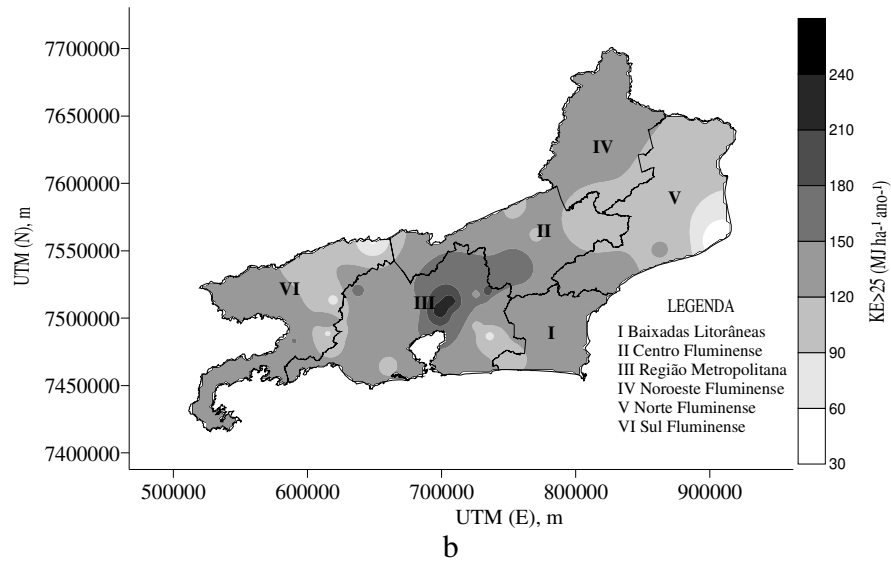


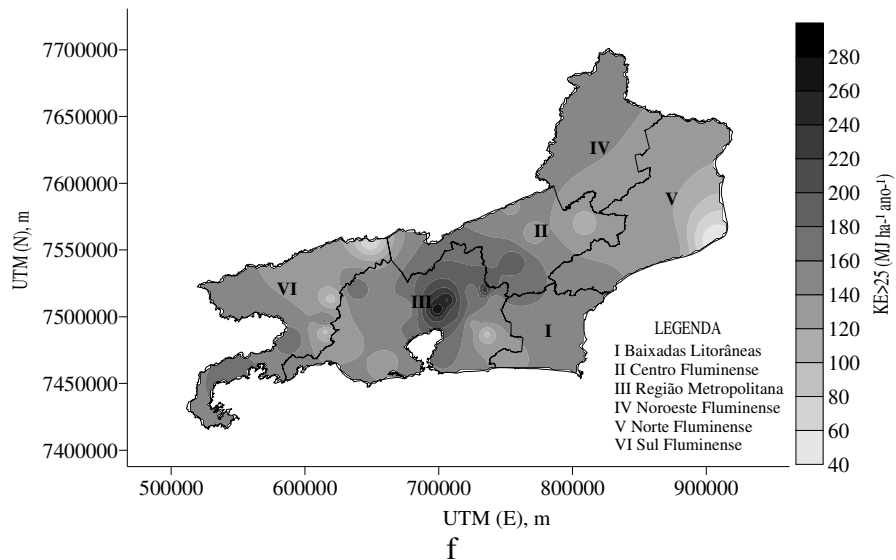
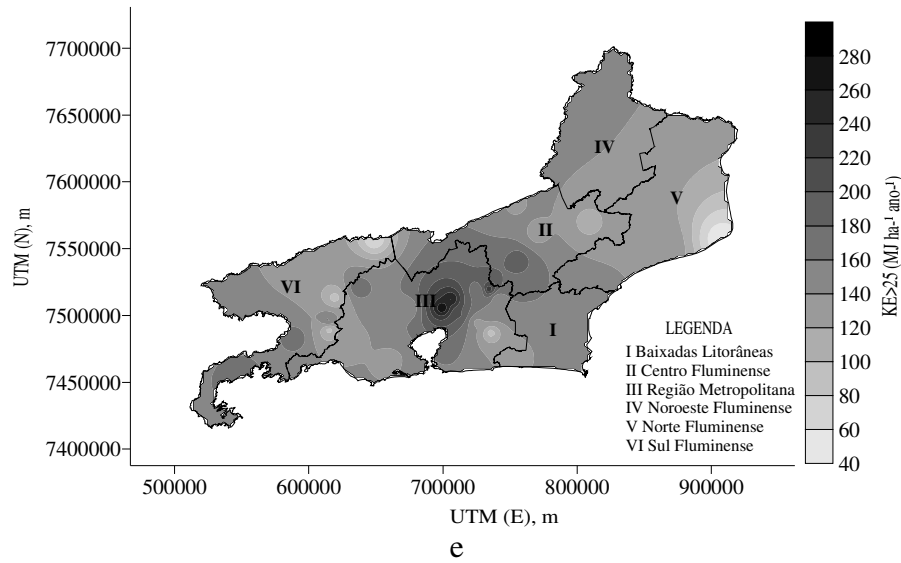




**Figura 2:** Mapas de iso-ocorrência da erosividade das chuvas ( $EI_{30}$ ) associada aos períodos de retorno de 2 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 50 (e) e 100 (f) anos.







**Figura 3:** Mapas de iso-ocorrência da erosividade das chuvas ( $KE>25$ ) associada aos períodos de retorno de 2 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 50 (e) e 100 (f) anos.

De forma geral, a classe de erosividade de  $9.000$  a  $11.000$   $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$  é esperada na parte central da mesorregião Metropolitana, acompanhando a divisa com a mesorregião Centro Fluminense. Essa última chega a abranger parte dos municípios de Paraíba do Sul, Areal (quase todo), Três Rios, Sumidouro, Nova Friburgo, pequena porção do município de Silva Jardim (Baixadas Litorâneas) próximo aos limites de Nova Friburgo e Cachoeiras de Macacu. Essa mesma classe de erosividade ocorre também em Angra dos Reis, na mesorregião Sul Fluminense. Ainda na Figura 2b, verifica-se que as áreas com cor mais escura no mapa (maior erosividade), estão localizadas em parte dos municípios de Magé e Guapimirim, e também, na área de divisa com Petrópolis e Teresópolis. Ocorre também em área relativamente pequena no município de Cachoeiras de Macacu e divisa com Nova Friburgo nas mesorregiões Metropolitana e Centro Fluminense, assim como em parte dos municípios de Parati no Sul Fluminense.

A explicação para os maiores valores de erosividade dos dados obtidos dessas estações com base em Mello et al. (2007) deve-se à precipitação pluvial nessas localizações geográficas, que além de sofrerem influência da zona de convergência do Atlântico Sul, de ocorrência comum no sudeste brasileiro, combinada com sistemas atmosféricos ciclônicos,

soma-se à formação de nuvens nessas regiões, efeitos orográficos e de convecção atmosférica, sendo esse último, gerado por maiores temperaturas médias.

De modo geral, a maior variação da distribuição da erosividade nos mapas parece ter ocorrido no período de retorno de 2 para 5 anos, evidenciado pelo aumento do número de classes de erosividade em detrimento do aumento ou redução de área de cada classe. No período de retorno de 5 anos observa-se na Figura (2b), que as áreas referentes aos maiores valores de erosividade pouco se alteraram no mapa. No entanto, surgiram novas classes de erosividade com valores intermediários.

Analisando a erosividade anual média associada aos períodos de retorno de 5 anos em diante, constata-se que o aumento do número de classes é pequeno, bem como, a área de cada classe e a variabilidade da erosividade passa a variar mais com a amplitude dos valores na medida em que se aumenta o período de retorno.

Em relação ao índice  $KE > 25$ , verifica-se que, de modo geral, o comportamento da erosividade associado aos períodos de retorno foi semelhante ao observado para o índice  $EI_{30}$  (Figura 3). Levando em conta que o índice  $KE > 25$  considera apenas chuvas com intensidade igual ou superior a  $25 \text{ mm h}^{-1}$  é de se esperar que nesses locais de maior erosividade anual média, ocorra maior percentual de precipitações mais intensas e com maior poder erosivo.

Vale ressaltar que os mapas aqui apresentados têm por objetivo oferecer uma visão geral do comportamento da erosividade das chuvas associada aos diferentes períodos de retorno no Estado. Para informações mais precisas será necessário, em estudos futuros, introduzir mais dados principalmente nas mesorregiões Norte e Noroeste, além de usar técnicas que levem em conta a dependência espacial, como os métodos geoestatísticos.

Além dos índices médios anuais de erosividade, bem como os índices de erosividade associados a períodos de retorno, ou seja, índices de erosividade extremos e que não ocorrem frequentemente, esse trabalho disponibiliza dados que podem ser utilizados em modelos de predição, assim como, em estudo de potencial natural de erosão (PNE) no Estado do Rio de Janeiro para curto, médio e longo prazo. Tendo em vista que o índice de erosividade  $EI_{30}$  (e não diferente para o  $Ke > 25$ ) representa bem o impacto da gota de chuva e o fluxo laminar, principais causadores da desestruturação de agregados e do transporte de sedimentos (primeiras etapas da erosão) e responsáveis por perdas de solo na erosão em entressulcos (Bertoni & Lombardi Neto, 1990), áreas prioritárias ao planejamento conservacionista poderão ser identificadas tomando por base o fator erosividade.

Em relação ao planejamento conservacionista, pode se enfatizar recomendações preventivas simples, como a consideração da aptidão agrícola das terras pelos agricultores, uso de sistemas de manejo conservacionistas, como por exemplo, o cultivo mínimo e a semeadura direta; lotação adequada de animais e manejo de maior altura de corte das pastagens: abolição de queimadas e uso de práticas de conservação do solo; ou seja, conjunto de práticas que mantenham o solo protegido do efeito do impacto das gotas de chuva e a energia potencial da enxurrada, aumentando a capacidade de armazenamento superficial e permeabilidade e, diminuindo assim, as perdas de solo, água e nutrientes no período de maior potencial erosivo das chuvas.



### 3.6 CONCLUSÕES

- A análise de intervalo de confiança mostrou-se ferramenta promissora na definição do máximo número de anos da série pluviométrica a ser aproveitado em equações para estimativa de índices de erosividade  $EI_{30}$  e  $KE > 25$ .
- A erosividade anual média ( $EI_{30}$ ) ou fator R da USLE para qualquer localidade no Estado do Rio de Janeiro pode ser igualada ou superada pelo menos uma vez, em média, em um período de 1,8 a 2,1 anos, com uma faixa de 48,5 a 54,9 % de probabilidade de ocorrência teórica.
- A maior variação da distribuição espacial da erosividade (número de classes e área de cada classe) se apresenta na faixa de período de retorno de 2 para 5 anos; e para maiores valores de período de retorno, a variação está mais associada à magnitude das classes de erosividade.

## **4 CAPÍTULO II**

### **CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS DE CHUVAS E ÍNDICES DE EROSIVIDADE ( $EI_{30}$ E $KE > 25$ ) EM RELAÇÃO AOS PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

#### 4.1 RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi caracterizar os padrões de chuvas em diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro por meio de análise estatística multivariada. Para tanto, foram realizadas análises multivariadas de componentes principais (ACP), discriminante canônicas (ADC) e análise de agrupamento de Ward. Estudou-se 36 estações pluviográficas e os padrões de chuvas avançado, intermediário e atrasado utilizando os atributos físicos de chuvas altura precipitada, energia cinética-EC, intensidade em 30 minutos- $I_{30}$ , duração das chuvas,  $KE > 10$ ,  $KE > 25$  e  $EI_{30}$  e os padrões de chuvas avançado, intermediário e atrasado. Na média geral, o padrão avançado foi o mais freqüente com 52,5% das chuvas, seguido do padrão atrasado (25,5 %) e do padrão intermediário (22%). Os resultados da ACP indicaram que os dois primeiros componentes principais ( $Y_1$  e  $Y_2$ ) foram responsáveis por 96,1% da variação contida no conjunto de dados originais. De acordo com essa análise, foi possível verificar que todos os atributos de chuvas estudados foram importantes na caracterização das localidades e padrões de precipitação, ou seja, apresentaram alta capacidade de resposta, e podem ser utilizados como parâmetros em outras análises estatísticas. Na análise canônica discriminante, o teste de Tukey a 5% aplicado aos escores da primeira função discriminante ( $FDC_1$ ) possibilitou diferenciar significativamente as estações quanto aos atributos de chuvas e erosividade para os padrões avançado e atrasado, não havendo, no entanto, diferença estatística entre as estações para o padrão intermediário quanto aos mesmos atributos. No padrão atrasado, destacaram-se as estações Angra dos Reis, Campos, Eletrobrás, Manuel Duarte, Santa Isabel do Rio Preto, Tanguá, Teresópolis, Mambucaba e Xerém, por apresentarem os maiores escores de  $FCD_1$ . Analizando o fator erosividade de forma isolada, é esperado nesses locais, maior perda de solo e água originada de chuvas de padrão atrasado, o que sugere variável a mais no planejamento conservacionista do solo. A análise de agrupamento (*Cluster Analysis*) também permitiu a identificação de grupos de estações semelhantes quanto as suas características de chuvas e erosividade para os padrões avaliados.

## 4.2 ABSTRACT

This study aims at characterizing rainfall patterns in different locations in Rio de Janeiro State by using multivariate statistical analysis. Pursuing that goal, multivariate analyses were performed for the main components (ACP), canonical discriminants (ADC), and analysis of Ward grouping. Thirty-six rainfall gauge stations were studied, where the rainfall physical attributes were analyzed: height of precipitation, kinetic energy – EC, intensity in 30 minutes- $I_{30}$ ,  $KE > 10$ ,  $KE > 25$  and rain duration, and also advanced, intermediate and delayed rain patterns. In general average, the advanced pattern was the most frequent with 52.5% of rains, followed by the delayed pattern (25.5%) and by the intermediate pattern (22%). ACP results indicated that the two first main components ( $Y_1$  and  $Y_2$ ) were responsible for 96.1% of variation within the set of original data. According to that analysis, it was possible to observe that all the rain attributes studied were important for characterization of the precipitation locations and patterns, that is, they presented high response capacity, and can be used as parameters in other statistical analysis. In the canonical discriminant analysis, Tukey test at 5% applied to the first discriminant function (FDC) scores made it possible to differentiate significantly the stations in relation to the rain and erosivity attributes, for the advanced and delayed patterns, although there was no statistical difference among stations for the intermediate pattern in relation to the same attributes. In the delayed pattern, the stations Angra dos Reis, Campos, Eletrobrás, Manuel Duarte, Santa Isabel do Rio Preto, Tanguá, Teresópolis, Mambucaba and Xerém stood out for showing the highest  $FCD_1$  scores. By analyzing the erosivity factor isolatedly, it is expected greatest soil and water losses originated from rains in the delayed pattern, which suggests more variable in the soil conservationist planning. The Cluster Analysis also allowed for identification of groups of stations which were similar in relation to their rainfall and erosion characteristics for the assessed patterns.

### 4.3 INTRODUÇÃO

As correlações entre a erosividade das chuvas e a perda de solo no Brasil nem sempre são altas e variam de 0,57 a 0,81 (Bertol et al., 2002). Normalmente, uma chuva de alta erosividade pode causar uma perda de solo elevada, mas, em alguns casos, o mesmo nível de perda pode ser obtido após uma chuva de erosividade relativamente baixa.

A erosão hídrica nas regiões tropicais está diretamente relacionada às características físicas das chuvas, principalmente aquelas relacionadas ao tamanho e velocidade de gotas, intensidade e duração da chuva. A variação da intensidade permite classificar as chuvas em padrão uniforme avançado, intermediário e atrasado quanto à posição do pico de maior intensidade na duração da chuva (Horner & Jens, 1941). Segundo Wischmeier (1959), a obtenção da melhor correlação entre erosividade e perdas de solo é dificultada pela falta de conhecimento das características físicas das chuvas.

Apesar da erosividade das chuvas ou fator R da USLE já ser conhecido em várias localidades do Brasil, ainda são poucos os estudos desenvolvidos sobre características físicas de chuvas como às relacionadas com a variação de sua intensidade ao longo da duração, ou seja, com os padrões de precipitação.

Em função dos muitos fatores que influenciam o processo erosivo com relação à chuva, o uso da estatística multivariada para analisar atributos (variáveis) de forma conjunta, selecionando e agrupando os mais correlacionados aos tratamentos, e aliando geoprocessamento para espacialização dessas informações, pode ser interessante para caracterização de locais e padrões de chuvas a fim de identificar e mapear áreas com características semelhantes quanto ao potencial erosivo.

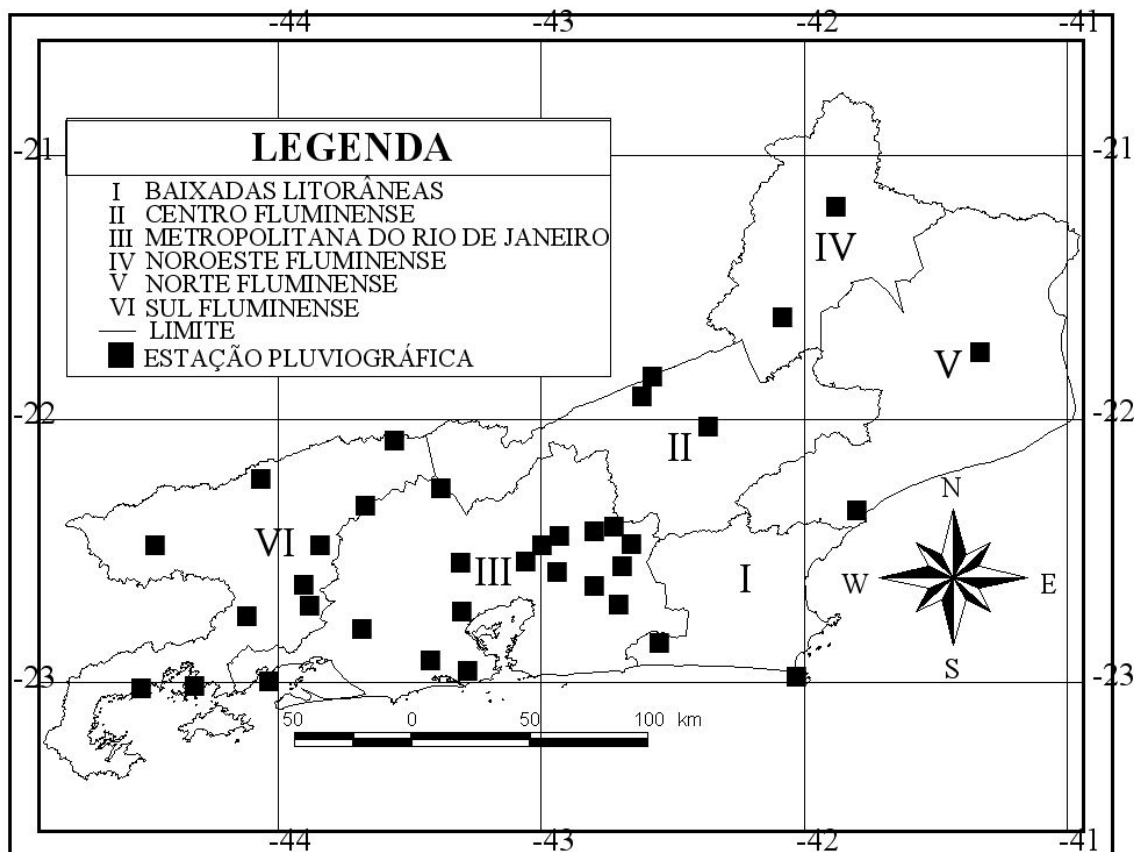
Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi caracterizar diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro em relação aos padrões de precipitação pluvial avançado, intermediário e atrasado, por meio de atributos de chuvas e índices de erosividade, utilizando recursos de estatística multivariada.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram trabalhados os dados referentes às séries históricas de 36 estações pluviográficas pertencentes à rede de estações da SERLA (atual INEA), INMET, ANA e LIGHT (Tabela 10 e Figura 4).

**Tabela 10:** Relação das estações pluviográficas estudadas

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Cidade</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>
02242067	Ácalis	Cabo Frio	-22,9833	-42,0333	7,4
02242090	Andorinhas	Magé	-22,5433	-43,0603	80
02344013	Angra dos Reis	Angra dos Reis	-22,4794	-42,6578	2
02242095	Cachoeiras Macacú	C. de Macacú	-21,7500	-41,3333	40
02141044	Campos	Campos	-21,9167	-42,6167	11
02243239	Capela Mayrink	Rio de Janeiro	-22,0333	-42,3667	460
02142053	Carmo	Carmo	-22,8000	-43,6833	341
02242074	Cordeiro	Cordeiro	-22,9217	-43,4200	485
02243186	Ecologia Agrícola	Seropédica	-22,5842	-42,9408	33
02243083	Eletróbrás	Rio de Janeiro	-22,4283	-42,8008	40
02242094	Escola União	Magé	-22,4108	-42,7236	10
02243238	Faz. Coqueiro	Cach. de Macacu	-21,8433	-42,5783	140
02243235	Faz. Sto Amaro	Cach. de Macacu	-23,0000	-44,0333	260
02142362	Ilha dos Pombos	Carmo	-21,2000	-41,8833	146
02344017	Ilha Guaíba	Itaguaí	-22,5614	-42,6936	64
02141045	Itaperuna	Itaperuna	-22,7106	-43,8780	124
02242097	Japuiba	Cach.de Macacu	-22,3500	-41,8000	50
02243251	Ribeirão das Lajes	Piraí	-22,0858	-43,5567	462
02241020	Macaé	Macaé	-22,2667	-43,3833	4
02243008	Manuel Duarte	Rio das Flores	-22,6333	-43,9000	400
02242070	Nova Friburgo	Nova Friburgo	-22,4822	-42,9961	857
02243165	Piraí	Piraí	-22,4833	-44,4667	388
02242098	Posto Garrafão	Guapimirim	-22,8531	-42,5519	640
02244092	Resende	Resende	-22,6394	-42,8006	440
02242101	Rio Mole	Saquarema	-21,6167	-42,0833	10
02242100	Sambaetiba	Itaboraí	-22,7333	-43,3000	10
02243205	Santa Cecília	Barra do Piraí	-22,2311	-44,0647	371
02243157	São Bento	Rio de Janeiro	-22,4500	-42,9333	6
02244033	S <sup>ta</sup> Isabel Rio Preto	Valença	-22,7542	-44,1197	567
02142051	Sta M <sup>a</sup> Madalena	Sta M <sup>a</sup> Madalena	-23,0258	-44,5181	620
02242091	Tanguá	Rio Bonito	-22,5508	-43,3042	40
02242072	Teresópolis	Teresópolis	-22,9833	-42,0333	874
02244103	Tocos	Rio Claro	-22,5433	-43,0603	479
02243151	Vassouras	Vassouras	-23,0167	-44,3167	437
02344016	Vila Mambucaba	Angra dos Reis	-22,4794	-42,6578	6
02242096	Xerém	Duque de Caxias	-21,7500	-41,3333	144



**Figura 4:** Localização das estações pluviográficas estudadas no Estado do Rio de Janeiro.

Para obtenção dos dados pluviográficos, foram convertidos para o formato digital registros de pluviogramas diários com amplitude de 10 mm de altura precipitada e menor escala de leitura de 0,1 mm, e tempo de registro de 24 horas com menor escala de leitura de 10 minutos. A digitalização dos mesmos foi realizada em mesa digitalizadora com uso do Sistema para Digitalização de Pluviogramas (HidroGraph 1.02), conforme Gonçalves (2002).

Os critérios adotados para individualização das chuvas foram os mesmos propostos por Wischmeier & Smith (1965) e modificados por Cabeda (1976). De acordo com esses critérios, uma chuva foi considerada independente quando esteve separada de outra por no mínimo seis horas, com precipitação inferior a 1 mm, e considerada erosiva, quando a lâmina precipitada era superior a 10 mm ou quando a mesma fosse igual ou superior a 6 mm, em um período máximo de 15 minutos. Nesse trabalho, chuvas não erosivas também foram consideradas devido o software utilizado para calcular a erosividade não isolar tais chuvas, a separação manual ser laboriosa e, de acordo com McGregor et al. (1995) essas chuvas não alterar significativamente o resultado final. De acordo com Marques et al. (1997), isso elimina o problema de chuvas não erosivas contribuir para a erosão.

Os dados obtidos dos arquivos digitais gerados no HidroGraph 1.02 foram convertidos e submetidos ao programa computacional CHUVEROS (programa computacional elaborado pelo Prof. Elemer Antonino Cassol; não publicado) para o cálculo dos índices de erosividade ( $EI_{30}$ ,  $KE > 10$  e  $KE > 25$ ) para toda a série de dados existente de cada estação estudada. Esse programa calcula a erosividade das chuvas a partir de um arquivo de dados de extensão "DAT", que deve conter as chuvas de no máximo um ano, sendo informadas apenas aquelas chuvas individuais. Além dos índices de erosividade, o programa fornece também outros atributos das chuvas como, altura precipitada, energia cinética, intensidade máxima em 30 minutos ( $I_{30}$ ), duração da chuva, etc., além da caracterização dos padrões.

Para conhecer a frequência de ocorrência dos padrões de precipitação no Estado determinou-se o número de chuvas em cada padrão de precipitação para cada localidade. Para analisar conjuntamente os atributos de chuvas e erosividade no Estado do Rio de Janeiro e obtenção de grupos de estações/localidade com características semelhantes, foram estudadas as 36 estações pluviográficas em relação aos padrões de precipitação avançado, intermediário e atrasado, por meio de análises multivariadas de componentes principais (ACP) e de agrupamento.

Para esse estudo, foram utilizados os 12 meses do ano serviram de repetições obtidas a partir de uma média de todos os eventos em cada mês de todos os anos da série histórica, referentes a cada localidade e padrão. Os atributos de chuvas e erosividade foram: altura precipitada (mm), energia cinética - EC ( $\text{J m}^{-2}$ ), intensidade em 30 minutos -  $I_{30}$  ( $\text{mm h}^{-1}$ ), duração das chuvas (h),  $\text{KE}>10$  ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ),  $\text{KE}>25$  ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) e  $\text{EI}_{30}$  ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ). As variáveis (atributos) foram analisadas nos programas Canoco (Ter Braak & Smilauer, 1998), SAS (Statistical Analysis System, 1997) e Statistica.

Na interpretação dos resultados da ACP, além dos escores dos dois primeiros componentes principais ( $Y_1$  e  $Y_2$ ) também foram utilizados os valores de coeficientes de correlação linear entre as variáveis originais e os dois componentes.

Em relação às análises de agrupamento foi aplicado o método de Análise Canônica Discriminante com os tratamentos e as variáveis supracitadas. Visando complementar as análises anteriores foi aplicado também o teste de agrupamento usando o método de Ward e a Distância Euclidiana, com os mesmos dados das análises anteriores por meio do programa *Statistica*.



## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Frequência de chuvas em função dos padrões de precipitação pluvial no Estado do Rio de Janeiro

A Tabela 11 apresenta a distribuição das chuvas para as 36 estações pluviográficas analisadas em função dos padrões de precipitação. É possível verificar que das chuvas ocorridas, em média, o perfil avançado foi o mais freqüente com 52,5 %, seguido do padrão atrasado (25,5 %) e do padrão intermediário (22,0 %).

**Tabela 11:** Padrões de precipitação para diferentes estações no Estado do Rio de Janeiro (continua)

Estação	Padrão avançado		Padrão intermediário		Padrão atrasado	
	eventos	%	eventos	%	eventos	%
Mesorregião Baixadas Litorâneas						
Álcalis	52	56,5	14	15,2	26	28,3
Rio Mole	82	48,0	42	24,6	47	27,5
Mesorregião Centro Fluminense						
Carmo	35	58,3	12	20,0	13	21,7
Cordeiro	157	62,6	47	18,7	47	18,7
Ilha dos Pombos	170	52,8	68	21,1	84	26,1
Nova Friburgo	88	54,7	31	19,3	42	26,1
Santa Maria Madalena	91	56,9	31	19,4	38	23,8
Mesorregião Metropolitana						
Andorinhas	457	55,0	188	22,6	186	22,4
Cachoeiras de Macacu	265	49,2	135	25,1	139	25,8
Capela Mayrink	209	45,7	112	24,5	136	29,8
Ecologia Agrícola	103	60,2	34	19,9	34	19,9
Eletrobrás	180	43,6	92	22,3	141	34,1
Escola União	330	43,8	180	23,9	243	32,3
Fazenda Coqueiro	351	53,8	171	26,2	131	20,1
Fazenda Santo Amaro	412	51,9	203	25,6	179	22,5
Ilha Guáíba	88	57,5	38	24,8	27	17,7
Japuíba	295	58,3	119	23,5	92	18,2
Posto Garrafão	457	37,0	389	31,5	388	31,4
São Bento	109	64,1	27	15,9	34	20,0
Sambaetiba	315	62,0	102	20,1	91	17,9
Tanguá	317	50,3	165	26,2	148	23,5
Teresópolis	50	59,5	20	23,8	14	16,7
Vassouras	109	65,7	26	15,7	31	18,7
Xerém	301	54,7	140	25,5	109	19,8
Mesorregião Norte Fluminense						
Campos	105	52,5	46	23,0	49	24,5
Macaé	70	50,7	31	22,5	37	26,8
Mesorregião Noroeste Fluminense						
Itaperuna	114	58,2	36	18,4	46	23,5

Tabela 11. Continuação						
Mesorregião Sul Fluminense						
Angra	112	51,4	51	23,4	55	25,2
Manuel Duarte	129	26,7	82	16,9	273	56,4
Piraí	130	66,7	31	15,9	34	17,4
Resende	126	56,5	54	24,2	43	19,3
Ribeirão das Lajes	268	54,1	110	22,2	117	23,6
Santa Cecília	210	51,9	92	22,7	103	25,4
Sta. I. do Rio Preto	203	37,7	136	25,2	200	37,1
Tocos	380	53,2	161	22,5	174	24,3
Vila Mambucaba	147	28,0	102	19,4	277	52,7
Média Total	-----	52,5	-----	22,0	-----	25,5

Esse comportamento predominante de chuvas de padrão avançado no Estado do Rio de Janeiro ocorre também em outras regiões no Brasil, como as verificadas em São Borja - RS com 53%, 25% e 22% (Cassol et al., 2008), em Quaraí-RS com 53, 25 e 22% (Peñalva Bazzano et al., 2007), Lavras-MG com 68, 22 e 10% (Evangelista et al., 2005), para Seropédica-RJ 61, 24 e 15% e Nova Friburgo, 58, 24 e 18 % (Carvalho et al., 2005) mostram as chuvas ocorrentes nos padrões avançado, intermediário e atrasado, respectivamente.

Tendo em vista que as chuvas na maioria das localidades do Estado Rio de Janeiro são mais frequentes no padrão avançado pode se inferir que as perdas de solo, na maior parte do Estado, são menores que poderiam ser caso as chuvas fossem predominantemente de padrão intermediário ou padrão atrasado. No entanto, apesar deste comportamento médio no Estado, em algumas estações/localidades não foi encontrada predominância de chuvas no padrão avançado, como nas estações Rio Mole (Saquarema), na mesorregião Baixadas Litorâneas; Cachoeiras de Macacu (Cachoeiras de Macacu), Eletrobrás (Rio de Janeiro), Escola da União (Magé) e Posto Garrafão (Guapimirim), na mesorregião Metropolitana; e Manoel Duarte (Rio das Flores) e Vila Mambucaba (Angra dos Reis), na mesorregião Sul Fluminense. Entre essas estações, Vila Mambucaba, Posto Garrafão e Santa Isabel do Rio Preto foram as que apresentaram menores percentuais de chuvas caracterizadas como de padrão avançado com 28%, 37,0% e 37,7%, respectivamente. Nessas localidades, o padrão mais frequente foi o atrasado, com 52,7%, 37,1% e 31,4%, respectivamente, para cada estação.

De acordo com Flanagan et al. (1988), Eltz et al. (2001) e Mehl et al. (2001), as maiores perdas de solo são esperadas nos padrões intermediário e atrasado, em razão da maior umidade antecedente, tendo em vista que, em solo úmido, a capacidade de infiltração é menor e a desagregação do solo é favorecida pelo impacto das gotas de chuvas, causando maior selamento da superfície e, conseqüentemente, maior escoamento superficial.

Carvalho et al. (2009) estudando o efeito das características da chuva natural em parcelas experimentais de perda de solo no município de Seropédica (RJ), ocupadas com diferentes práticas de manejo, concluíram que os padrões avançado, intermediário e atrasado ocorreram em 64,6; 21,3 e 14,1 % dos eventos de precipitação avaliados, sendo os mesmos responsáveis por 35,1; 6,6 e 58,3 % das perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Somente a frequência das chuvas de cada padrão de precipitação pode ser insuficiente para caracterizar as localidades quanto aos padrões de chuvas. Desta forma, as análises apresentadas a seguir mostram os resultados da análise conjunta de todos os atributos estudados em relação aos padrões de precipitação por meio da análise estatística multivariada de Componentes Principais (ACP), Análise Canônica Discriminante e Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*).

#### 4.5.2 Análise de componentes principais

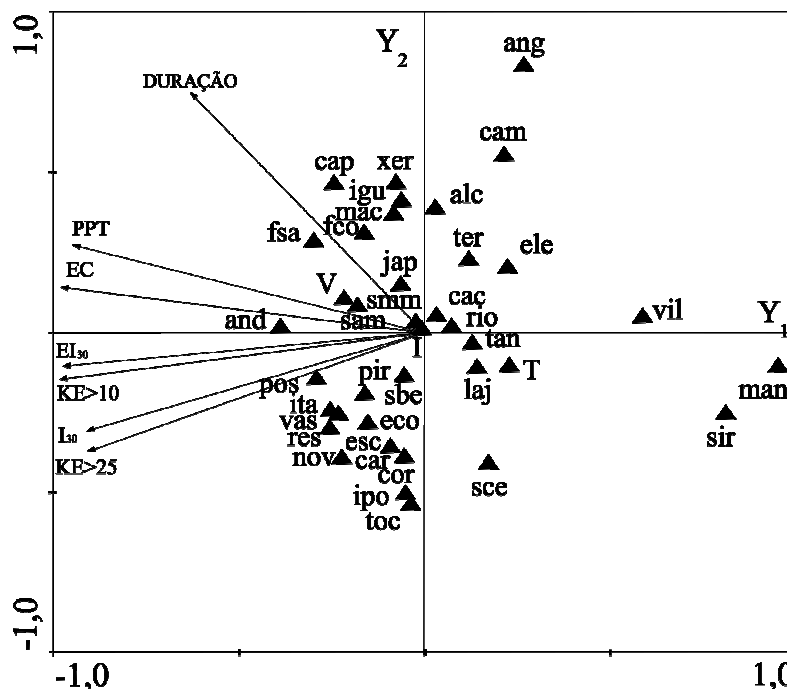
A Tabela 12 apresenta a relação das estações pluviográficas e padrões de precipitação com os seus respectivos valores dos dois primeiros componentes principais ( $Y_1$  e  $Y_2$ ), e a ordenação decrescente dos mesmos.

**Tabela 12:** Valores dos dois componentes principais ( $Y_1$  e  $Y_2$ ) para as estações pluviográficas e padrões de precipitação e porcentagem da informação retida por eles (% variância e % variância acumulada)

Fator	$Y_1$	Ordem	$Y_2$	Ordem
alc – Álcalis	0,076	14	1,008	6
and – Andorinhas	-1,014	39	0,033	19
ang – Angra dos Reis	0,696	4	2,170	1
cac – Cach. de Macacu	0,083	13	0,130	15
cam – Campos	0,557	7	1,440	2
cap – Capela Mayrink	-0,637	33	1,205	4
car – Carmo	-0,583	31	-1,033	36
cor – Cordeiro	-0,144	19	-1,024	35
eco – Ecologia Agrícola	-0,398	26	-0,751	32
ele – Eletrobrás	0,582	6	0,525	11
esc – Escola União	-0,242	25	-0,942	34
fco – Fazenda Coqueiro	-0,426	28	0,798	8
fsa – Fazenda Santo Amaro	-0,778	38	0,736	9
Ipo – Ilha dos Pombos	-0,134	18	-1,326	38
Igu – Ilha Guaíba	-0,163	21	1,065	5
Ita – Itaperuna	-0,774	37	-0,397	27
jap – Japuiba	-0,167	22	0,381	12
laj – Ribeirão das Lajes	0,367	9	-0,295	24
mac – Macaé	-0,217	24	0,961	7
man – Manuel Duarte	2,480	1	-0,284	23
nov – Nova Friburgo	-0,666	35	-0,791	33
pir – Piraí	-0,421	27	-0,511	28
pos – Posto Garrafão	-0,753	36	-0,388	26
res – Resende	-0,608	32	-0,675	31
rio – Rio da Cidade	0,188	12	0,040	18
sam – Sambaetiba	-0,473	29	0,208	14
sce – Santa Cecília	0,448	8	-1,078	37
smm – Santa M. Madalena	-0,064	16	0,072	17
sbe – São Bento	-0,145	20	-0,365	25
sir – Sta Izabel do Rio Preto	2,115	2	-0,667	30
tan – Tanguá	0,334	10	-0,097	21
ter – Teresópolis	0,310	11	0,584	10
toc – Tocos	-0,097	17	-1,413	39
vas – Vassouras	-0,664	34	-0,649	29
vil – Vila Mambucaba	1,530	3	0,121	16
xer – Xerém	-0,199	23	1,211	3
Padrão Avançado	-0,570	30	0,264	13
Padrão Intermediário	-0,024	15	0,017	20
Padrão Atrasado	0,594	5	-0,281	22
Variância (%)	83,0		13,1	
Variância acumulada (%)	83,0		96,1	

Nesse estudo, os dois primeiros componentes principais foram responsáveis por 96,1% da informação contida no conjunto das sete variáveis originais, correspondentes aos atributos de chuva e índices de erosividade. As contribuições foram de 83,0% e 13,1% para os eixos  $Y_1$  e  $Y_2$ , respectivamente.

Na Figura 5, interpretando o primeiro eixo referente ao componente  $Y_1$ , nota-se que as estações pluviográficas man (Manuel Duarte), sir (Santa Isabel do Rio Preto) e vil (Vila Mambucaba), todas na mesorregião Sul Fluminense, destacaram-se das demais estações estudadas situando-se mais afastadas e à direita da origem do gráfico. Em complemento, na Tabela 13 observa-se que o primeiro componente principal ( $Y_1$ ) correlacionou-se bem com 6 das 7 variáveis (atributos) de chuvas e índices de erosividade estudados com altos (em módulo) e negativos valores dos coeficientes de correlação sendo, 0,98; 0,98; 0,97; 0,95 e 0,91 para EC, KE>10, EI<sub>30</sub>, KE>25 e altura precipitada, respectivamente. Este resultado indica que todas as variáveis, com exceção da duração, tiveram contribuição importante para os valores de  $Y_1$ .



**Figura 5:** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos de chuva e erosividade, considerando as 36 estações pluviográficas e os 3 padrões de precipitação (Legenda do gráfico: ver Tabela 12; primeiras 3 letras do nome da estação).

Ainda na Tabela 12, certifica-se que os maiores valores de  $Y_1$  foram encontrados para as estações man, sir e vil. Nessas estações, os valores médios obtidos de EC, KE>10, EI<sub>30</sub>, PPT, KE>25 e I<sub>30</sub> encontram-se abaixo de uma média geral (calculada com os dados provenientes de todas as localidades) para cada uma destas variáveis. As demais estações pluviográficas apresentaram valores médios destas variáveis (atributos) próximos às suas médias gerais. Analisando o segundo eixo, referente ao componente  $Y_2$ , é possível destacar na Figura 5, as estações Ang (Angra dos Reis), cam (Campos), cap (Capela Mayrink) e xer (Xerém) com maiores valores de componentes principais para  $Y_2$ .

Na Tabela 13, nota-se que a variável duração apresentou alto valor de correlação positiva com  $Y_2$  (0,75). Assim, pode-se concluir que as estações Angra dos Reis, Campos, Capela Mayrink e Xerém apresentaram valores médios acima da média geral para esse atributo.

**Tabela 13:** Coeficientes de correlação linear entre os atributos de chuva e erosividade e os dois primeiros componentes principais ( $Y_1$  e  $Y_2$ )

Variáveis	Y1	Y2
Altura precipitada-PPT	-0,95	0,27
EC	-0,98	0,14
I <sub>30</sub>	-0,91	-0,31
EI <sub>30</sub>	-0,97	-0,11
KE>10	-0,98	-0,15
KE>25	-0,91	-0,37
Duração	-0,63	0,75

Pela análise dos padrões de precipitação, não foi possível notar influência marcante em relação aos atributos de chuvas e erosividade para as estações estudadas, pois todos ficaram próximos à origem do gráfico quando se observa os eixos  $Y_1$  e  $Y_2$ . O atributo lâmina precipitada foi o que mais se aproximou do padrão avançado. Entretanto, analisando as estações mais correlacionadas (próximas) a cada padrão de precipitação, destacam-se Andorinhas, Fazenda Santo Amaro, Sambaetiba, Capela Mayrink, Fazenda Coqueiro, Posto Garrafão, Itaperuna, Vassouras, Resende e Nova Friburgo, no padrão avançado; Santa Maria Madalena, Japuiba, São Bento, Pirai, Cachoeiras de Macacú, Alcalis, Rio Mole, Escola União, Carmo, Cordeiro, Ilha dos Pombos e Tocos, no padrão intermediário; e Manuel Duarte, Santa Izabel do Rio Preto, Vila Mambucaba, Ribeirão das Lajes, Tanguá, Eletrobrás e Santa Cecília, para o padrão atrasado.

Os resultados de ACP permitem indicar que todos os atributos de chuvas estudados foram importantes na separação das localidades e padrões de precipitação, apresentando alta capacidade de resposta e indicando a possibilidade de serem utilizados em outras análises estatísticas multivariada (analisadas conjuntamente) e/ou univariada (separadamente), visando caracterizar locais quanto a erosividade das chuvas no Estado.

#### 4.5.3 Análises de agrupamento

##### a) Análise Canônica Discriminante

Na análise canônica discriminante (ACD), as duas primeiras variáveis explicaram 64,3% da variação total contida nos dados, sendo 42,2% e 22,2% explicado pela primeira (FDC1) e segunda (FDC2) função canônica discriminante, respectivamente (Tabela 14).

O teste da razão de verossimilhança mostrou que a  $FCD_1$  e a  $FCD_2$  foram significativas a 1%, sendo pequena a explicação da variação entre amostras dada pelas FCD's restantes. As correlações canônicas foram de 0,70 e 0,58 para  $FCD_1$  e  $FDC_2$ , respectivamente, sendo consideradas altas e indicando elevada associação entre amostras/tratamentos (localidades e padrões de precipitação) e variáveis (ou atributos) de chuvas e índices de erosividade.

Essas primeiras funções discriminantes ( $FDC_1$  e  $FDC_2$ ) apresentaram diferenças significativas entre localidades e padrões de precipitação pelo teste multivariado Wilks Lambda ( $p < 0,0001$ ) (Green, 1978). As variáveis  $I_{30}$ , duração e  $EI_{30}$  foram as que apresentaram os maiores valores (em módulo) de coeficiente canônico padronizado para a  $FDC_1$  (Tabela 14). A altura precipitada seguida da energia cinética (EC), juntamente com os seus coeficientes de correlação, foram superiores para a  $FDC_2$ . Este resultado mostra que, entre as variáveis avaliadas, o  $I_{30}$  e a precipitação pluviométrica foram as que possibilitaram maior discriminação entre as amostras localidades e padrões de chuvas (Tabela 14). Segundo Marcus (1990), na análise canônica discriminante pode-se também fazer redução de dados, ou seja, determinar as variáveis mais importantes como nos componentes principais.

**Tabela 14:** Coeficientes canônicos padronizados (CCP) e coeficientes de correlação (r) entre as primeiras funções discriminantes canônicas (FDC's) e as 7 (sete) variáveis avaliadas

Variáveis	Funções discriminantes			
	FDC <sub>1</sub>		FDC <sub>2</sub>	
	CCP	r	CCP	r
Altura precipitada (PPT)	0,77	0,76	-5,30	-0,47
EC	-0,10	0,68	4,35	-0,38
I <sub>30</sub>	1,39	0,47	0,86	0,11
EI <sub>30</sub>	-0,79	0,40	-1,21	-0,24
KE>10	-0,26	0,44	0,04	-0,13
KE>25	-0,11	0,32	0,46	0,06
Duração	0,89	0,73	1,38	-0,05
% de variância explicada	42,2		22,1	

Levando em conta que o I<sub>30</sub> representa o pico de intensidade máxima da chuva em 30 minutos, percebe-se que a intensidade é uma característica física importante da chuva para diferenciar localidades no Estado quanto ao potencial erosivo nos padrões de precipitação. A variável I<sub>30</sub>, juntamente com a energia cinética, compõe o EI<sub>30</sub> que é o parâmetro oficial para quantificação da erosividade na USLE e considerado um dos melhores estimadores da capacidade da chuva em causar erosão, em clima temperado (Wischmeier, 1959).

A Figura 6 apresenta o resultado da Análise Canônica Discriminante, sendo considerada uma média dos 12 meses (adotados anteriormente como repetições) para cada combinação estação *versus* padrão de precipitação, reduzindo-se para 108 observações. Para identificação dos grupos recomenda-se considerar aqueles que estão mais isolados ou em pontos extremos do gráfico, e também os que se localizam na parte intermediária e mais densa da nuvem de pontos. Apesar da subjetividade na visualização dos grupos devido a grande quantidade de pontos, pode-se afirmar que houve a formação de 3 grupos distintos de estações *versus* padrão de chuva, considerando a posição dos mesmos: com menor média de escores o grupo formado por capV (Capela Mayrink e padrão avançado), grupo com os maiores valores composto das estações sirT (Sta I. do Rio Preto) e ManT (Manuel Duarte), ambas para padrões atrasados, e o terceiro grupo com média de escores intermediários, reunindo as demais estações combinadas com cada padrão (Figura 6).

Considerando que a maioria das variáveis (atributos) nesse trabalho está diretamente relacionada ao potencial erosivo, significa dizer que, quanto mais negativa for a média dos escores (combinação linear de todas as variáveis estudadas), menor será o potencial erosivo das estações dos respectivos grupo e padrão de chuvas.

Analisando o agrupamento das estações para cada padrão de precipitação, pode-se observar que no padrão avançado (Figura 7) a nuvem de pontos se apresentou mais dispersa permitindo também a identificação de 3 grupos distintos de estações. Com menor escore sobressaiu a estação cap (Capela Mayrink) e com maiores valores as estações sir (Santa Isabel do Rio Preto), man (Manuel Duarte), vil (Vila Mambucaba) e cor (Cordeiro). No entanto, somente a estação “sir” foi estatisticamente superior pelo teste de Tukey a 5% (Tabela 15). As demais estações formaram um grupo intermediário.

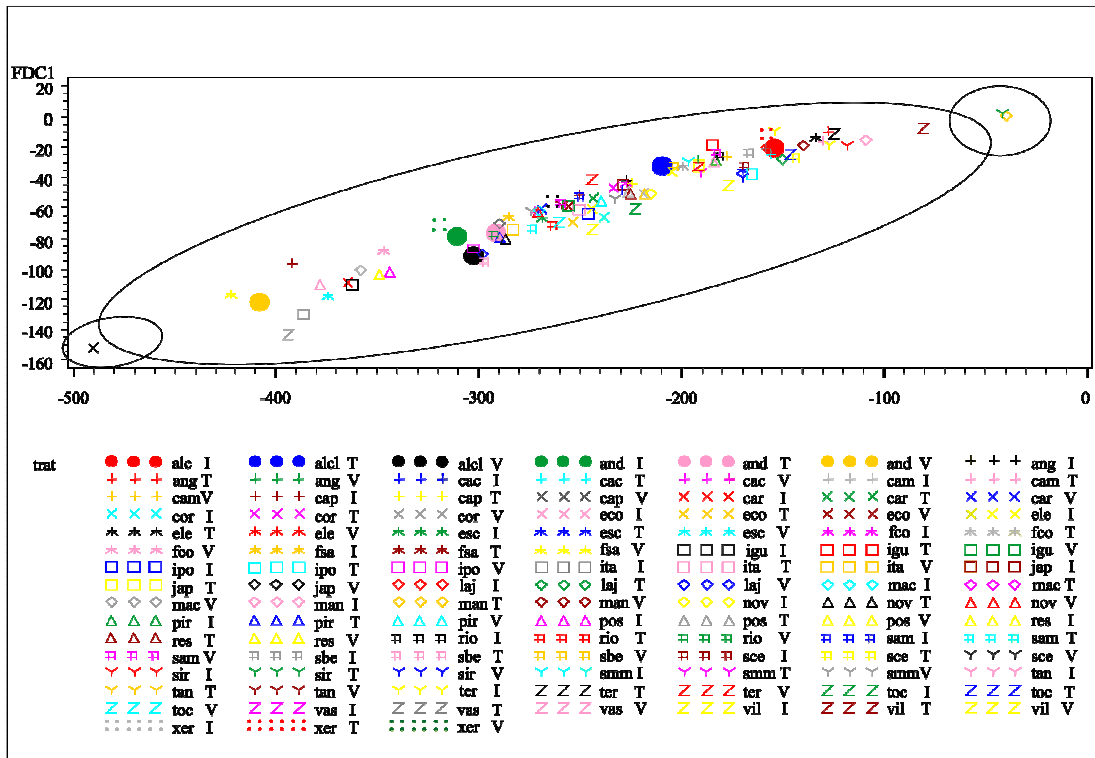


Figura 6: Médias dos escores canônicos padronizados das funções discriminantes canônicas (FDC) significativas das variáveis de atributos de chuvas e erosividade para 36 localidades e 3 padrões de chuvas.

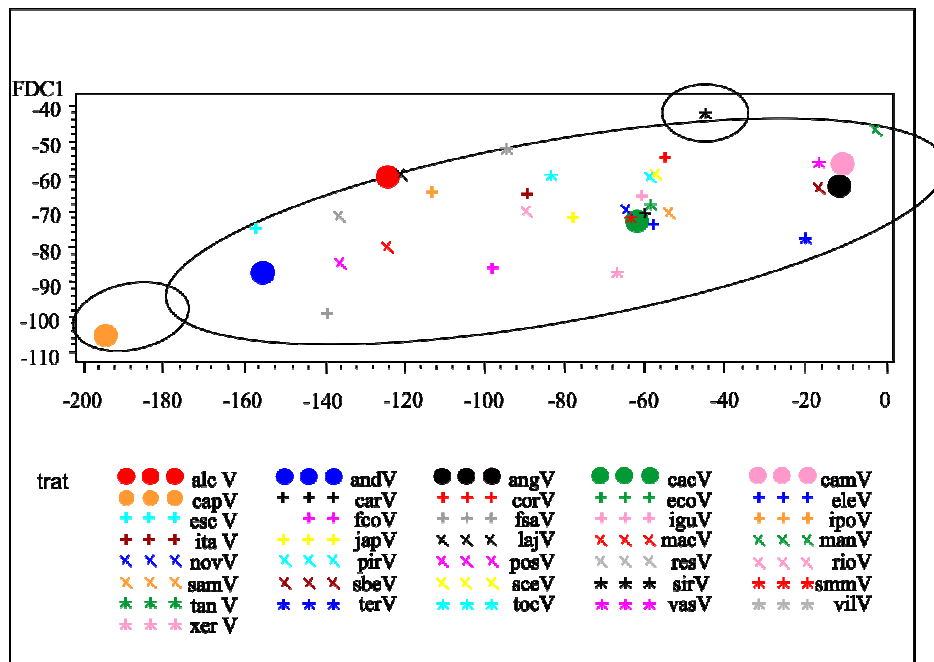
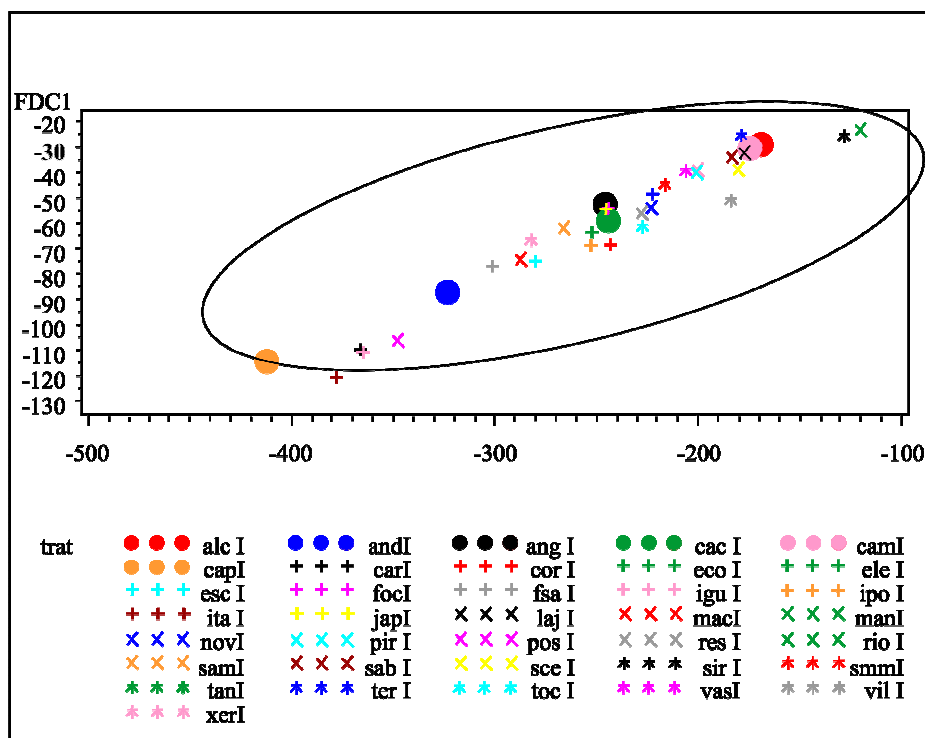


Figura 7: Média dos escores canônicos padronizados das duas primeiras funções discriminantes canônicas (FDC) significativas das variáveis de atributos de chuvas e erosividade para 36 localidades (ver correspondências das siglas na Tabela 12) e no padrão avançado.

No padrão intermediário destaca-se com a menor média a estação ita (Itaperuna), e com os maiores escores, Manuel Duarte, Teresópolis e Santa Isabel do Rio Preto. As demais

estações situaram com valores de escores intermediários (Figura 8), não apresentando diferença significativa entre si pelo teste de Tukey (5%) aplicado a  $FDC_1$  (Tabela 15).



**Figura 8:** Médias dos escores canônicos padronizados das funções discriminantes canônicas (FDC) significativas das variáveis de atributos de chuvas e erosividade para 36 localidades e no padrão intermediário.

**Tabela 15:** Médias de escores canônicos padronizados da função discriminante canônica ( $FDC_1$ ) significativas das variáveis de atributos físicos e erosividade para os padrões de chuvas (continua)

Estação	Avançado		Intermediário		Atrasado	
	$FDC_1$	Teste de Tukey	$FDC_1$	Teste de Tukey	$FDC_1$	Teste de Tukey
alc-Álcalis	-59,95	abcdef*	-28,97	a	-109,10	ab*
and-Andorinhas	-87,40	ghi	-86,76	a	-182,42	ab
ang-Angra	-62,56	abcdefg	-52,69	a	-57,37	a
cac-C. de Macacu	-72,52	cdefg	-58,33	a	-80,91	ab
cam-Campos	-56,41	abcde	-29,93	a	-64,58	a
cap-Capela Mayrink	-105,19	i	-114,14	a	-123,84	ab
car-Carmo	-70,54	bcdefg	-110,07	a	-141,69	ab
cor-Cordeiro	-54,53	abcd	-68,34	a	-130,62	ab
eco-Ecologia Agrícola	-65,61	abcdefg	-63,62	a	-161,74	ab
ele-Eletronbras	-73,68	cdefgh	-48,52	a	-60,56	a
esc-Escola União	-74,18	cdefgh	-75,1	a	-95,74	ab
fco-Fazenda Coqueiro	-86,03	ghi	-54,03	a	-104,27	ab
fsa-F. Santo Amaro	-99,01	hi	-76,73	a	-141,53	ab
igu-Ilha Guaíba	-65,61	abcdefg	-110,43	a	-83,73	ab
ipo-Ilha dos Pombos	-62,14	abcdefg	-68,33	a	-97,30	ab
ita-Itaperuna	-64,82	abcdefg	-120,16	a	-151,99	ab
jap-Japuiba	-71,82	bcdefg	-55,09	a	-100,00	ab
laj-Rib. das Lajes	-59,18	abcde	-32,16	a	-82,30	ab
mac-Macaé	-80,07	efghi	-73,9	a	-90,56	ab
man-Manuel Duarte	-46,76	ab	-22,86	a	-12,98	a
nov-Nova Friburgo	-69,77	bcdefg	-53,63	a	-184,20	ab



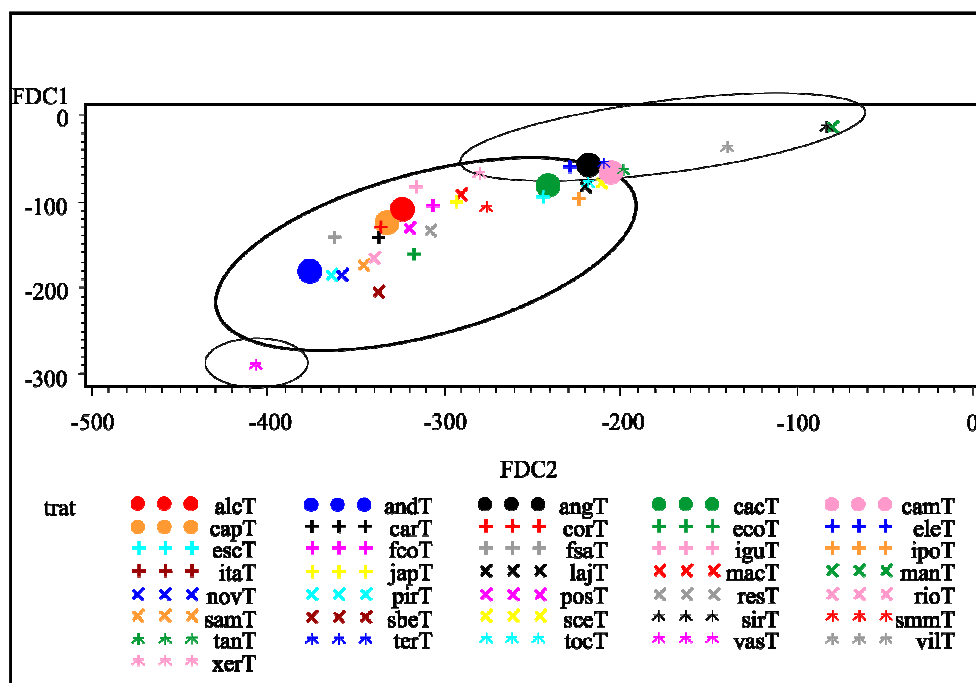
Tabela 15. Continuação

pir-Pirai	-59,97	abcdef	-39,56	a	-185,00	Ab
pos-Posto Garrafão	-84,53	fghi	-105,79	a	-129,91	Ab
res-Resende	-70,89	bcdefg	-55,53	a	-132,60	Ab
rio-Rio Mole	-69,54	bcdefg	-38,44	a	-165,32	Ab
sam-sambaetiba	-69,90	bcdefg	-61,65	a	-173,07	Ab
sbe-São bento	-62,95	abcdefg	-33,34	a	-204,09	ab
sce-Santa Cecília	-59,19	abcdef	-38,48	a	-77,29	ab
sir-Sta I. do Rio Preto	-41,95	a	-25,22	a	-13,30	a
smm-S. Mª. Madalena	-72,11	cdefg	-44,25	a	-105,38	ab
tan-Tanguá	-68,61	bcdefg	-55,97	a	-64,63	a
ter-Teresópolis	-78,02	defgh	-25,13	a	-56,23	a
toc-Tocos	-59,69	abcdef	-61,01	a	-77,26	ab
vas-Vassouras	-55,95	abcde	-38,78	a	-289,11	b
vil-Vila Mambucaba	-52,14	abc	-50,78	a	-36,14	a
xer-Xerém	-87,23	ghi	-66,39	a	-67,51	a

\* Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste t de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

No padrão atrasado, visualizam-se 3 grupos sendo o grupo com menores valores constituído das estações vas-Vassouras e sbe - São Bento, o grupo com as estações de maiores escores foi composto das estações Manuel Duarte, Sta. I. do Rio Preto, vil-Vila Mambucaba, Teresópolis e Angra dos Reis, e por fim, com escores intermediários posicionaram as demais estações (Figura 9).

Para facilitar a interpretação do resultado de Variáveis Canônicas Discriminantes e confirmar a interpretação das Figuras 6 a 9 foi aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade aos escores (índice resultante da combinação linear de todas variáveis) das estações/localidades dentro de cada padrão de precipitação. Como a  $FCD_1$  explicou a maior a variação dos dados (42%), somente foi discutido o resultado do teste de Tukey aplicado a ele.



**Figura 9:** Médias dos escores canônicos padronizados das funções discriminantes canônicas (FDC) significativas das variáveis de atributos de chuvas e erosividade para 36 localidades no padrão atrasado.

Analisando o padrão avançado, a localidade Santa Isabel do Rio Preto (sir) apresentou maior escore (-41,948) e a estação Capela Mayrink (cap) o menor -105,191. As demais estações não diferenciaram estatisticamente entre si (Tabela 15), sendo que algumas delas se assemelharam estatisticamente a sir (estações man, vil, cor, vas, cam, laj, sce, toc, alc, pir, ipo, ang, sbe, ita, igu, eco) e outras à cap (estações mac, pos, fco, xer, and e fsa), com relação às características das chuvas e erosividade. Esses resultados estão de certa forma, coerentes com a Figura 7 e indicam que a maioria das estações e os respectivos padrões de precipitação associados pertencem a mesma faixa de variação, sendo eles estatisticamente semelhantes.

Para o padrão de precipitação intermediário, não houve diferença significativa entre as estações quando a  $FCD_1$  foi analisada estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Isso mostra que nesse padrão de precipitação, as localidades não diferem quanto às características físicas das chuvas e erosividade conjuntamente avaliadas, formando um único grupo.

Para o padrão de precipitação atrasado, considerado como um dos mais impactantes quanto à perda de solo, as diferentes localidades se comportaram de forma distinta quanto às características físicas, formando 3 grupos. As maiores médias de escores foram observadas para as estações Ang (Angra do Reis), cam (Campos), ele (Eletrobrás), man (Manuel Duarte), sir (Santa Isabel do Rio Preto), tan (Tanguá), ter (Teresópolis), vil (Vila Mambucaba) e xer (Xerém). Por outro lado, Vassouras (vas) apresentou o menor escore, no entanto, estatisticamente semelhante (teste de Tukey a 5%) às demais estações, que apresentaram escores intermediários.

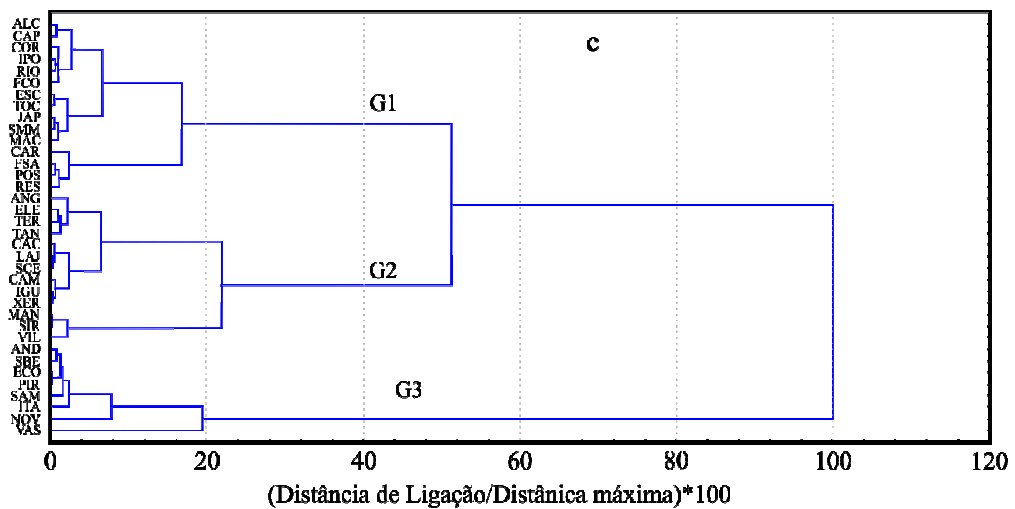
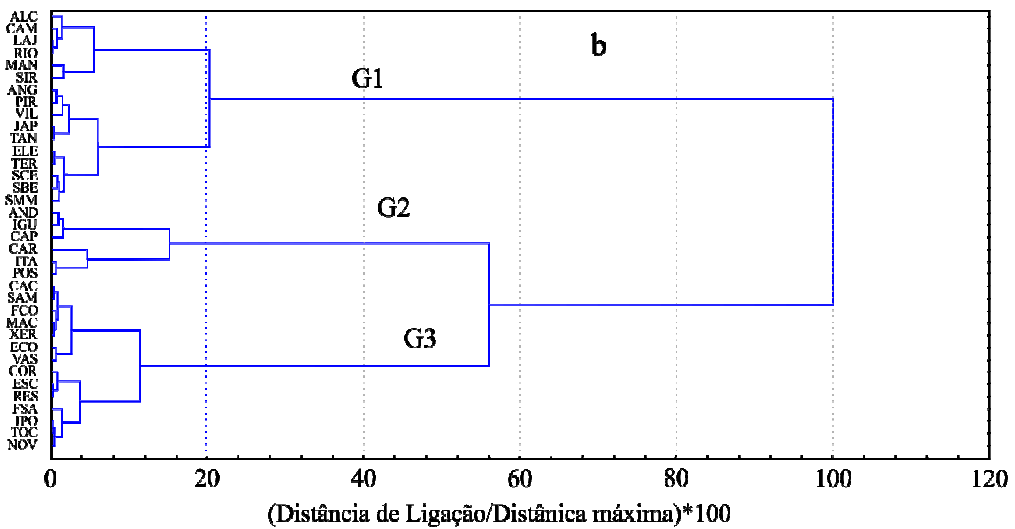
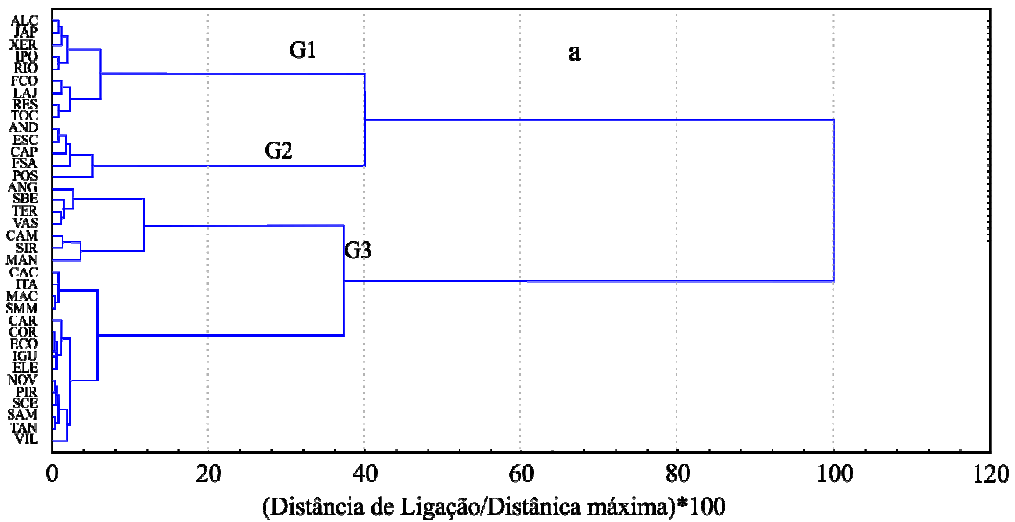
As estações pertencentes ao grupo com maior média significativa de escore para  $FCD_1$  em relação às demais amostras, apresentaram chuvas de alta precipitação (PPT), alto  $I_{30}$  e alta duração, pois o CCP e “r” desses atributos foram positivos. Nessas localidades, são esperadas chuvas de maior potencial erosivo e, conseqüentemente, maior capacidade de perda de solo, devido às características das chuvas de padrão avançado.

Como sugestão, sugere-se estudos mais detalhados para as localidades que se destacaram em relação às chuvas de padrão atrasado, com uma análise dos padrões em relação aos meses do ano.

#### **a) Análise de agrupamento de Ward**

A Figura 10 permite visualizar os agrupamentos de estações/localidades com características semelhantes para cada padrão de precipitação. Analisando por essa técnica, observa-se que, para cada padrão de precipitação, foi possível agrupar os dados em 3 grupos distintos, assumindo uma distância euclidiana igual a 40 % entre os grupos. Esses resultados são concordantes com a Análise Canônica Discriminante, na qual foi possível agrupar em 3 diferentes grupos os padrões de precipitação, exceto para o intermediário, por meio do teste de Tukey a 5%.

A Tabela 16 mostra a relação das estações pertencentes a cada grupo em cada padrão de precipitação. Embora também tenha formado 3 grupos, nesse agrupamento houve maior número de estações por grupo. A análise de agrupamento permite maior liberdade na formação de diferentes grupos e estações por grupo em função da distância escolhida, determinada pelo interesse do pesquisador. No entanto, quanto menor a distância euclidiana adotada, maior a semelhança entre os grupos de estações com relação aos atributos de chuva e erosividade.



**Figura 10:** Classificação hierárquica para as 36 estações pluviográficas estudadas para os padrões de precipitação avançado (a), intermediário (b) e atrasado (c).

**Tabela 16:** Grupos formados e suas estações em função do padrão de precipitação segundo método de agrupamento de Ward

<b>Grupo</b>	<b>Estações</b>
<b>Padrão avançado</b>	
<b>G1</b>	Álcalis, Japuíba, Xerém, Ilha dos Pombos, Rio Mole, Fazenda Coqueiro, Ribeirão das Lajes, Resende e Tocos
<b>G2</b>	Adorinhas, Escola União, Capela Mayrink, Fazenda Santo Amaro, Posto e Garrafão
<b>G3</b>	Angra dos Reis, São Bento, Teresópolis, Vassouras, Campos, Sta I. do Rio Preto e Manuel Duarte, Cachoeiras de Macacu, Itaperuna, Macaé, Sta M <sup>a</sup> Madalena, Carmo, Cordeiro, Ecologia Agrícola, Ilha Guaíba, Eletrobrás, Nova Friburgo, Piraí, Sta Cecília, Sambaetiba, Tanguá e Vila Mambucaba.
<b>Padrão intermediário</b>	
<b>G1</b>	Álcalis, Campos, Ribeirão das Lajes, Rio Mole, Manuel Duarte e Sta I. do Rio Preto, Angra dos Reis, Piraí, Vila Mambucaba, Japuíba, Tanguá, Eletrobrás, Sta Cecília, São Bento e Sta M <sup>a</sup> Madalena.
<b>G2</b>	Andorinhas, Ilha Guaíba e Capela Mayrink, Carmo, Itaperuna e Posto Garrafão
<b>G3</b>	Cachoeiras de Macacu, Sambaetiba, Fazenda Coqueiro, Macaé, Xerém, Ecologia Agrícola e Vassouras, Cordeiro, Escola União, Resende, Fazenda Sto Amaro, Ilha dos Pombos, Tocos e Nova Friburgo.
<b>Padrão atrasado</b>	
<b>G1</b>	Álcalis, Capela Mayrink, Cordeiro, Ilha dos Pombos, Rio Mole, Fazenda Coqueiro, Escola União, Tocos, Japuíba, Sta M <sup>a</sup> Madalena e Macaé, Carmo, Fazenda Sto Amaro, Posto Garrafão e Resende.
<b>G2</b>	Angra dos Reis, Eletrobrás, Teresópolis, Tanguá, Cachoeiras de Macacu, Ribeirão das Lajes, Santa Cecília, Campos, Ilha Guaíba e Xerém, Manuel Duarte, Sta I. do Rio Preto e Vila Mambucaba.
<b>G3</b>	Andorinhas, São Bento, Ecologia Agrícola, Piraí, Sambaetiba, Itaperuna, Nova Friburgo e Vassouras.

## 4.6 CONCLUSÕES

- O padrão de precipitação avançado foi o mais freqüente no Estado do Rio de Janeiro com 52,5% das chuvas ocorridas, seguido do padrão atrasado 25,5 % e do padrão intermediário (22%).
- Os resultados de ACP indicaram que os dois primeiros componentes principais foram responsáveis por 96,1% da variação contida no conjunto de dados, sendo os atributos: altura precipitada,  $EI_{30}$ , energia cinética (EC), intensidade em 30 minutos ( $I_{30}$ ),  $KE>10$ ,  $KE>25$  e duração das chuvas, os mais importantes na separação das localidades e padrões de precipitação.
- A análise canônica discriminante possibilitou diferenciar, significativamente, as estações para os padrões avançado e atrasado. No padrão atrasado, destacaram-se as estações Angra do Reis, Campos, Eletrobrás, Manuel Duarte, Santa Isabel do Rio Preto, Tanguá, Teresópolis, Vila Mambucaba e Xerém, por apresentarem os maiores escores de  $FCD_1$ .
- A análise de agrupamento pelo método de Ward permitiu a identificação de 3 grupos de estações quanto às suas semelhanças nas características de chuvas e erosividades para os padrões de precipitação.

## **5 CAPÍTULO III**

### **ERODIBILIDADE DE ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM SEROPÉDICA-RJ, DETERMINADA SOB QUATRO ANOS DE CHUVA NATURAL**

## 5.1 RESUMO

O objetivo desse trabalho foi obter o índice de erodibilidade de Argissolo Vermelho-Amarelo em Seropédica – RJ, sob chuva natural. O experimento foi desenvolvido no campo experimental da Embrapa Agrobiologia em parcela padrão de Wischmeier com dimensões de 22,1 m x 3,5 m, delimitada por chapas galvanizadas e conectadas a reservatórios para coleta de enxurrada. As avaliações foram realizadas a cada evento erosivo onde se avaliou sedimentos sólidos e sedimentos em suspensão na água escoada para as caixas de coleta durante os seguintes períodos chuvosos: 2006/2007, 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010 totalizando 90 eventos de chuva com perda de solo. Neste período, a precipitação pluvial foi registrada em pluviógrafo dotado de *dataloger* cujos dados foram sistematizados e processados no programa computacional Chuveros (Programa computacional desenvolvido pelo prof. Elemer Antonino Cassol), para a obtenção da erosividade de cada evento de chuva. Com os dados de erosividade ( $EI_{30}$ ) e perdas de solo ( $Ps$ ) correspondentes foi determinada a erodibilidade do solo por dois métodos, sendo eles: quociente entre  $Ps$  e  $EI_{30}$  para cada período chuvoso ( $Ka$ ) e para todos os anos do estudo ( $Kt$ ), e coeficiente angular da curva ajustada por meio de regressão linear simples entre os dados de  $Ps$  e de  $EI_{30}$  para cada período chuvoso ( $Kci$ ) e para todo o período estudado ( $Kct$ ). Avaliando todo o período chuvoso estudado (2006 a 2010), encontrou-se  $Kt$  de  $0,0105 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , e  $Kct$  de  $0,0117 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , com coeficiente de determinação da regressão de  $r^2 = 0,42$  considerado baixo, e indicando a necessidade de novas avaliações. Ambos os índices podem ser utilizados como primeira aproximação do fator  $K$  para Seropédica, RJ.

## 5.2 ABSTRACT

The objective of this study was to obtain the erodibility index of a Red-Yellow Ultissol in Seropédica – RJ. The experiment was developed at the Embrapa Agrobiologia experimental site in a Wischmeier pattern plot measuring 22.4 m x 3.5 m, limited by galvanized plates, and connected to reservoirs for run off collection. Assessments were made at each erosive event which included solid sediments and sediments in suspension in water running to the collection tanks for the rainfall periods that follow: 2006/2007, 2007/2008, 2008/2009, and 2009/2010, 90 rain events in total with soil loss. In that period, rain precipitation was registered in pluviograph with dataloger, whose data were organized and processed in the computer program Chuveros (computer program developed by Prof. Elemar Antonino Cassol), for recording of erosivity at each rain event. From erosivity ( $EI_{30}$ ) and correspondent soil loss (Ps) data, it was possible to determine the erosivity of the soil by means of two methods, which are: Ps and  $EI_{30}$  quotients for each rainfall period (Ka), and for all the years under study (Kt), and the angular coefficient for the adjusted curve by means of simple linear regression between the data in Ps and  $EI_{30}$  for each rainfall period (Kci) and for all the period studied (Ket). By assessing all the rain period studied (206 to 2010), it was found Kt of  $0,0105 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , and Kct of  $0.0117 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , with a low regression determination coefficient ( $r^2 = 0.42$ ), therefore indicating need of new evaluations. Both indexes can be used as a primary approach of K factor for Seropédia, RJ.



### 5.3 INTRODUÇÃO

A erodibilidade, conforme preconizada pela Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) (Wischmeier & Smith, 1978) é determinada de forma direta em condições de campo em parcela padrão, por meio da razão entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas (Wischmeier, 1959; Wischmeier & Smith, 1978) ou, ainda, estimado por meio de análise de regressão linear simples entre estas duas variáveis (Wischmeier & Mannering, 1969) em condições de parcela padrão.

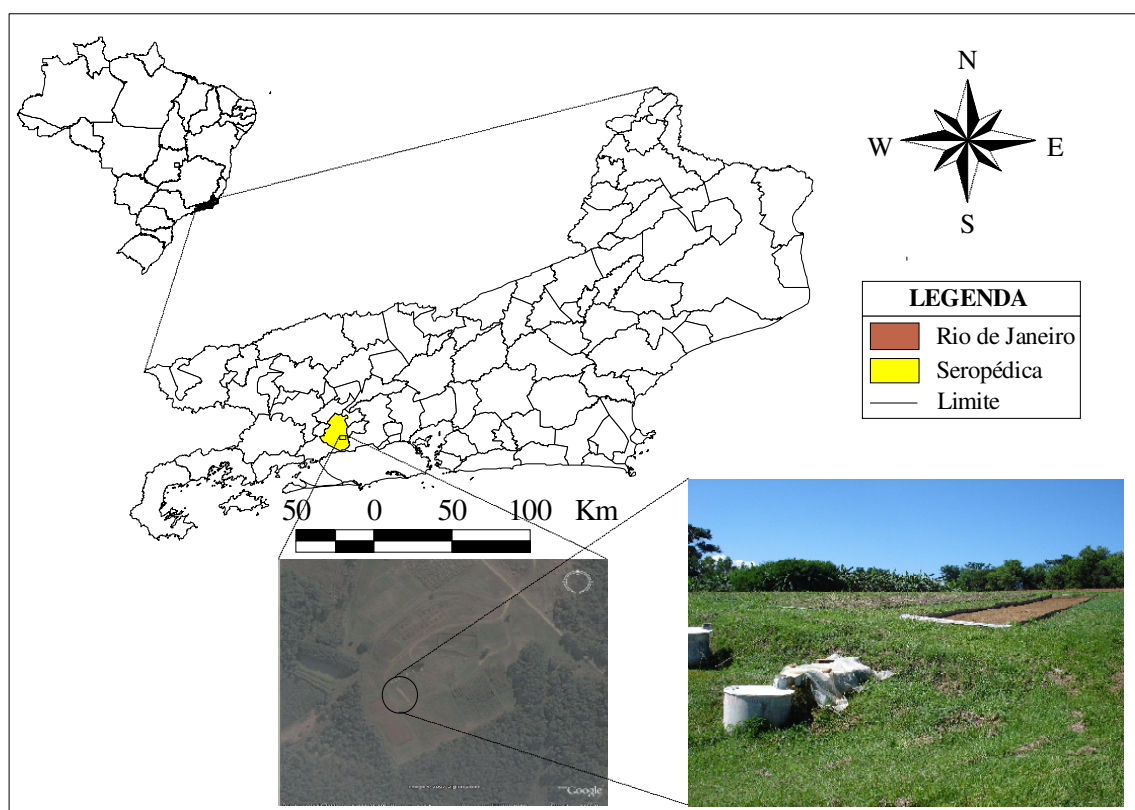
Segundo Pruski (2006b), diferentes tipos de solos no Brasil já têm seus valores de erodibilidade determinados, principalmente com uso de simuladores de chuvas. Conforme levantamento de Denardin (1990), a erodibilidade de solos com horizonte B latossólico varia de 0,002 a 0,034 t h (ha MJ mm)<sup>-1</sup>; já no horizonte B textural, a erodibilidade situa-se entre 0,004 e 0,044 t h (ha MJ mm)<sup>-1</sup>. Carvalho et al. (1989), estudando a erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (provavelmente atual Argissolo Vermelho-Amarelo) no Estado de São Paulo encontraram fator K de 0,0232 t h (ha MJ mm)<sup>-1</sup>.

Foster et al. (1981) sugeriram os valores de 0,010, 0,030 e 0,060 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para classificar a erodibilidade dos solos americanos como sendo de erodibilidade baixa, moderada e alta, respectivamente.

No Rio de Janeiro são poucos os estudos já desenvolvidos sobre erodibilidade do solo e sob chuva natural. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo determinar o índice de erodibilidade para Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva natural na região de Seropédica – RJ.

## 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

Essa pesquisa de erosão em entressulcos vem sendo realizada desde dezembro de 2004 na área experimental da Embrapa Agrobiologia, localizada no município de Seropédica-RJ, sob as coordenadas 22° 46' de latitude Sul e 43° 41' de longitude Oeste. A parcela de erosão, considerada como padrão na USLE, possui dimensão de 22,1 m x 3,5 m, declividade de 0,09 m m<sup>-1</sup> e está delimitada por chapas galvanizadas cravadas 0,10 m no solo e dispõe de calha coletora construída de alvenaria para a coleta das enxurradas na sua parte inferior (Figura 11). O solo estudado foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006) e algumas características, físicas, químicas e morfológicas de perfil aberto ao lado da parcela, estão apresentadas nas Tabelas 17 e 18.



**Figura 11:** Localização das parcelas de perda de solo no campo experimental da Embrapa Agrobiologia em Seropédica, RJ.

Na área do Argissolo Vermelho-Amarelo, onde estão as parcelas de erosão, vem sendo realizados vários projetos de pesquisa da UFRRJ em parceria com a Embrapa Agrobiologia, Embrapa Solos, PESAGRO e outras instituições. Foram concluídas duas dissertações do CPGA-CS, as quais estudaram o efeito do preparo de solo e plantas de cobertura na erosão do solo e, perdas de solo, água e nutrientes em diferentes padrões de chuva simulada, respectivamente, e atualmente, uma dissertação de mestrado do CPGA-CS em andamento sobre erodibilidade em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva natural e simulada. Projetos de iniciação científica também foram conduzidos, como por exemplo, estudo sobre fracionamento de matéria orgânica sob diferentes preparos do solo e plantas de cobertura e, determinação da erodibilidade.

**Tabela 17:** Características físicas e químicas do Argissolo Vermelho-Amarelo estudado\*

Horizonte	Prof.	Granulometria (g kg <sup>-1</sup> )					Silte / argila
		Areia 2 – 0,05 mm	Silte 0,5 – 0,02 mm	Argila <0,002 mm	Grau de Floculação (%)		
A	0 – 16	580	160	260	27	0,58	
AB	16 – 27	500	140	360	19	0,38	
BA	27 – 46	420	140	440	44	0,30	
Bt <sub>1</sub>	46 – 90	460	120	420	77	0,30	
Bt <sub>2</sub>	90 – 117	400	150	450	82	0,33	
Bt <sub>3</sub>	117 – 155+	300	120	580	99	0,21	

Símbolo	pH (H <sub>2</sub> O)	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	P	C	MO	N
		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>		%		
A	4,9	0,2	2,8	1,3	47,0	4,0	1,04	1,80	0,11
AB	5,0	0,2	2,0	1,7	20,0	3,0	0,85	1,46	0,10
BA	5,1	0	2,3	1,1	14,0	1,0	0,48	0,83	0,06
Bt <sub>1</sub>	5,7	0	1,8	1,2	51,0	1,0	0,28	0,48	0,05
Bt <sub>2</sub>	5,9	0	1,1	1,2	6,0	1,0	0,24	0,41	0,04
Bt <sub>3</sub>	5,8	0	1,7	1,5	7,0	2,0	0,22	0,39	0,05

\* Extraído de Cruz (2006).

**Tabela 18:** Granulometria de amostras de solo dentro da parcela de erosão

Local da parcela	Areia (g kg <sup>-1</sup> )				Silte 0,05–0,002 mm (g kg <sup>-1</sup> )	Argila < 0,002 mm (g kg <sup>-1</sup> )
	Grossa 2 – 0,25 mm	Fina 0,25 – 0,10 mm	Muito Fina 0,1 – 0,05 mm	Total 2 – 0,05 mm		
Superior	49,7	529,7	45,0	624,3	101,7	274,0
Médio	45,0	488,0	76,0	609,0	107,3	283,7
Inferior	46,0	482,0	53,0	581,0	118,0	301,0
Média	46,9	499,9	58,0	604,8	109,0	286,2

O presente estudo abrangeu os períodos chuvosos (primavera/verão) referentes a 2006/2007, 2007/2008 e 2008/2009 e 2009/2010, tendo sido desconsiderados os dois primeiros anos de avaliação (2004/2005 e 2005/2006), de acordo com metodologia de Wischmeier & Smith (1978).

A parcela foi preparada de forma convencional, ou seja, com uma aração e duas gradagens no sentido paralelo ao declive e durante o período de avaliação, o solo foi mantido sem cobertura, com capinas manuais com enxada para remover plantas espontâneas e evitar o encrostamento superficial.

A quantificação das perdas de solo e água foi realizada conforme Bertoni & Lombardi Neto (1990). As coletas de enxurradas foram realizadas sempre após cada evento de chuva capaz de proporcionar escoamento superficial, sendo as mesmas interceptadas pela calha coletora e conduzidas ao primeiro tanque de armazenamento (caixa A) por meio de tubo de PVC. Esse tanque possui capacidade de armazenamento de 800 L sendo dotado de calha divisora do tipo GHEIB, permitindo o escoamento de volume correspondente a 1/11 daquele recolhido na caixa A e, quando o mesmo excedia sua capacidade máxima, a fração de volume foi recolhida na segunda caixa (caixa B) com capacidade de armazenagem de 1.000 L. Ambas as caixas foram dotadas de tampas para que a precipitação não fosse contabilizada como escoamento superficial.

Em cada evento de chuva com produção de escoamento foram realizadas amostragens dos sedimentos e da suspensão retida na(s) caixa(s) para posterior quantificação da massa de solo erodida. A amostragem de sedimentos em suspensão foi feita em garrafas plásticas de 0,5 L, num total de três repetições por caixa. Em seguida, as amostras eram agitadas e vertidas em provetas, adicionando-se 10 mL de solução de sulfato de alumínio na concentração de 1,0 N, para flocular a argila em suspensão e, assim, promover a separação dos sedimentos. Após essa etapa, parte da água foi retirada por meio de sifonagem para facilitar a secagem das alíquotas utilizando estufa a 105°C durante 24 horas. Após a secagem completa do material, foi realizada a determinação da massa de solo nas amostras em suspensão e, posteriormente, determinada a massa de solo erodido em função do volume de enxurrada coletado, correspondente a cada evento de chuva.

Para a determinação dos sedimentos sólidos, em cada evento de chuva com produção de sedimentos foi medido o volume e em seguida coletadas amostras para determinação da umidade, as quais eram secas em estufa de circulação forçada a 105°C, até que se atingissem peso constante, conforme metodologia utilizada por Carvalho et al. (2003). As perdas totais de solo foram determinadas somando-se a massa de solo presente na suspensão (extrapolada para o volume total escoado) com a massa de sedimentos sólidos.

De forma paralela, foram registrados os eventos de chuva ocorridos durante a condução do experimento por meio de pluviógrafo digital do tipo pulso instalado na área do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), na conhecida “Fazendinha Agroecológica do Km 47” que é um projeto de produção agroecológica iniciado em 1990 e gerido pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Embrapa Arobiologia, Embrapa Solos e PESAGRO-RIO.

O pluviógrafo é conectado a *datalogger*, previamente programado para armazenar valores de precipitação a cada dois minutos. Os dados pluviográficos obtidos foram processados no programa CHUVEROS (programa elaborado pelo Prof. Elemar Antonino Cassol) para o cálculo dos índices de erosividade ( $EI_{30}$ ) das chuvas ocorridas durante a execução do experimento.

Considerando que os parâmetros L, S, C e P da USLE para as condições da parcela padrão são unitários, a erodibilidade (K) foi determinada expressando a quantidade de solo perdido ( $P_s$ ) por unidade de erosividade da chuva (R) (Wischmeier et al., 1971). O cálculo foi realizado para cada período chuvoso ( $K_a$ ) e para todo o período do estudo ( $K_t$ ). Foi também determinado por meio de regressão linear simples, entre os dados de  $P_s$  e  $EI_{30}$ , para cada período chuvoso ( $K_{ci}$ ) e para todo o período estudado ( $K_{ct}$ ) conforme (Wischmeier & Mannering, 1969).

## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 19 apresenta a caracterização estatística da altura precipitada e perda de solo para cada período chuvoso (primavera / verão) de 2006 a 2010. Conforme se observa, a perda de solo mínima para eventos individuais de chuvas variou de 0,0001 a 0,0031 Mg ha<sup>-1</sup> para os períodos chuvosos de 2007/2008 e 2009/2010, respectivamente. Já a perda de solo máxima apresentou uma amplitude de 4,265 a 21,545 Mg ha<sup>-1</sup> para os períodos de 2007/2008 e 2008/2009, respectivamente.

Verifica-se que a perda de solo apresentou grande variabilidade entre os anos de avaliações, certamente, por estar relacionada à característica de erosividade das chuvas, a qual apresenta na natureza grande variação como pode ser observado na Tabela 19 em relação ao desvio padrão e coeficiente de variação, considerados altos.

**Tabela 19:** Estatística simples de atributos de chuvas e perda de solo em função do período de avaliação da erodibilidade

Atributos	Média	Mín.	Máx.	DP	% CV
<b>2006/2007</b>					
Alt. precipitada (mm)	29	5	100	24	81,52
EI <sub>30</sub>	112,6	0,4	885,1	210,3	186,80
Perda solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,4515	0,0002	6,0711	1,3888	307,58
<b>2007/2008</b>					
Alt. precipitada (mm)	24	7	95	20	81,53
EI <sub>30</sub>	59,6	3,5	456,2	101,9	170,89
Perda solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,4515	0,0001	4,2647	0,9411	208,43
<b>2008/2009</b>					
Alt. precipitada (mm)	23	6	74	16	72,53
EI <sub>30</sub>	133,1	5,7	874,3	212,8	159,91
Perda solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	3,0697	0,0020	21,5450	5,5589	181,09
<b>2009/2010</b>					
Alt. precipitada (mm)	34	9	87	26	75,87
EI <sub>30</sub>	236,5	6,8	1426,9	278,2	117,63
Perda solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,5819	0,0031	7,1805	1,0854	186,53

A Tabela 20 apresenta os índices de erodibilidade calculados pelo quociente entre a perda de solo e a erosividade das chuvas individuais e totais no período (Ka e Kt) referente a 90 eventos avaliados, e por meio da regressão linear entre esses mesmos parâmetros (Kci e Kct). Os índices para cada ano foram relativamente semelhantes entre si, com exceção para o período chuvoso de 2008/2009. Essa variabilidade pode estar relacionada às características das chuvas (variação na erosividade), umidade antecedente no momento dos picos de maior intensidade, precisão na quantificação dos sedimentos sólidos e em suspensão, mobilização prévia do solo por meio de prática de capina sucedida de chuva de alta erosividade, etc. O valor obtido para Kct foi encontrado a partir da análise na Figura 12.

**Tabela 20:** Valores de erodibilidade de Argissolo Vermelho-Amarelo em Seropédica-RJ, na primavera-primavera para o período de 2006 a 2010, em função de  $EI_{30}$  e da perda de solo

Período	Ka	Kt	Kci	Kct	Número de eventos
	Mg ha h ha <sup>-1</sup> MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>				
2006-2007	0,0033		0,0050 $r^2 = 0,74$		19
2007 -2008	0,0076	0,0105	0,0078 $r^2 = 0,72$	0,0117	24
2008- 2009	0,0227		0,0217 $r^2 = 0,70$	$r^2 = 0,42$	31
2009-2010	0,0018		0,0018 $r^2 = 0,49$		16

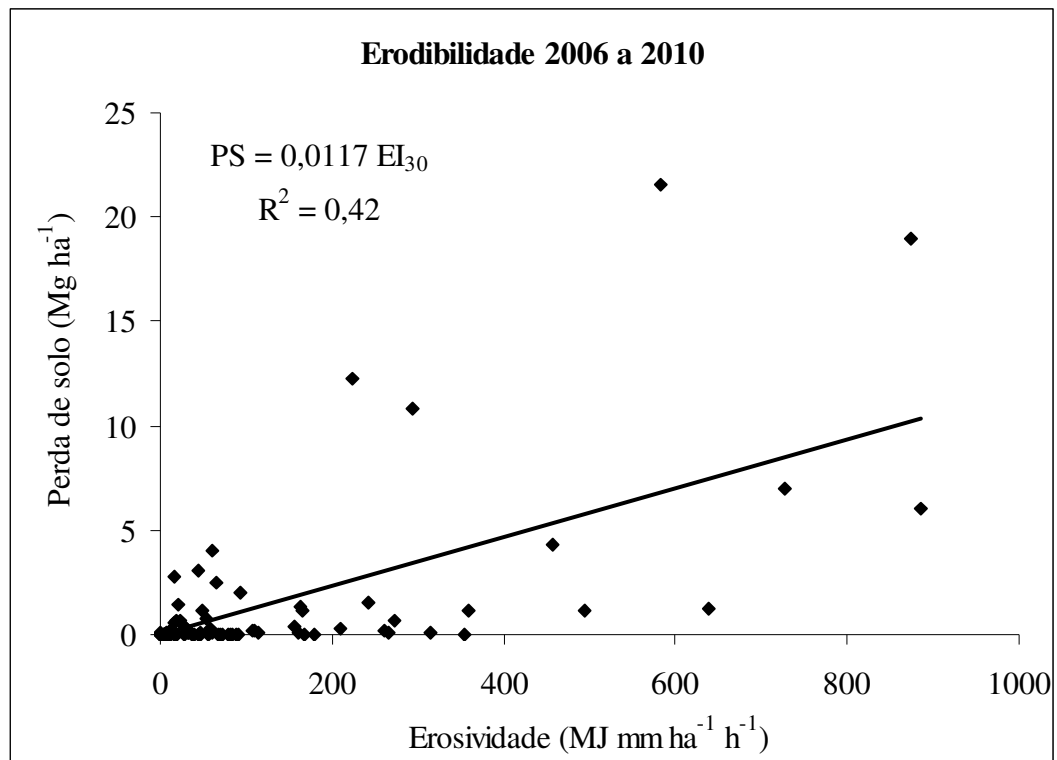
Em relação ao índice de erodibilidade obtido para cada ano pela análise de regressão entre perda de solo e erosividade, os valores se apresentaram com maior variação e com coeficiente de determinação em torno de 0,70. Esses valores obtidos para os períodos chuvosos avaliados com exceção de 2009/2010, estão próximos aos obtidos por Biscaya (1981) para a região de Londrina – PR ( $r^2= 0,72$ ), sendo a maioria até superior ao obtido por Lombardi Neto (1977) para Campinas-SP ( $r^2= 0,64$ ).

Avaliando todo o período chuvoso estudado (2006 a 2010), os valores de erosividade foram de 0,0105 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e 0,0117 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente pelos métodos do quociente (Kt) e pelo método da regressão para todo o período (Kct), o qual apresentou  $r^2$  de 0,42.

Para a mesma classe de solo, Marques et al. (1997) obtiveram para a região de Sete Lagoas (MG), sob chuva natural, fator K de 0,033 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, o qual foi praticamente o dobro do encontrado (Kct= 0,0117) para o Argissolo estudado. No entanto, as características do solo fornecidas no trabalho são insuficientes para explicar essa maior erodibilidade, que ao mesmo tempo, é até contraditória comparando com as características do Argissolo de Seropédica (RJ). Observa-se que o Argissolo de Sete Lagoas apresenta menor teor de areia fina e maior teor de carbono que são indicativos de maior estabilidade de agregados e, conseqüentemente, maior resistência à erosão. Apenas o teor de silte e a textura mais argilosa do horizonte A (indicativo de menor infiltração) foram desfavoráveis nesse aspecto, em que foram superiores ao Argissolo de Seropédica, RJ (Tabelas 19 e 20). Essas diferenças na erodibilidade podem ser devido à erosividade das chuvas, mineralogia, permeabilidade, forma de avaliação dos sedimentos, grau de flocculação da argila, etc.

Os valores de erodibilidade de Seropédica- RJ foram também menores que o valor obtido por Carvalho et al. (1989), em Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (provavelmente atual Argissolo Vermelho-Amarelo no SiBC, 2006) no Estado de São Paulo, que encontraram fator K de 0,0232 t h (ha MJ mm)<sup>-1</sup>.

Por outro lado, os índices de erodibilidade apresentados para o solo em questão foram muito semelhantes a solo de classe diferente dos Argissolos no Estado de Santa Catarina. Foi o caso dos valores de erodibilidade obtidos por Bertol et al. (2002) para Cambissolo Húmico, os quais encontraram valores de 0,0105 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para o período primavera-verão e, 0,021 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para as mesmas estações do ano, pelo método da regressão.



**Figura 12:** Dispersão e ajuste dos dados entre perda de solo e erosividade (EI<sub>30</sub>) considerando 90 eventos individuais de chuvas e aviações de perda de solo.

Analisando a Figura 12 observa-se grande dispersão dos pontos, fato comum em estudos dessa natureza. Como o coeficiente de determinação é considerado estatisticamente considerado baixo ( $r^2 = 0,41$ ), recomenda-se a continuação do estudo no intuito de melhor avaliar as causas da baixa correlação perda de solo *versus* erosividade. Neste sentido, o aumento do número de dados e a implementação do monitoramento da umidade do solo nas parcelas constituem medidas importantes para a obtenção de um valor mais representativo da erodibilidade do solo em questão.

Tendo em vista que os valores de erodibilidade obtidos a partir do quociente entre perdas de solo ( $K_t = 0,0105$ ) e erosividade, bem como, os obtidos por meio da análise de regressão ( $k_{ct} = 0,0117$ ) foram relativamente similares, qualquer uma das metodologias poderia ser utilizada para representar o fator K em uma primeira aproximação para o solo e região em estudo.

Diante dos valores obtidos até então a erodibilidade do Argissolo Vermelho-Amarelo de Seropédica-RJ pode ser considerada baixa de acordo com a classificação de Foster (1981). No entanto, isso deve ser visto com cautela por estar subestimando a erodibilidade do solo estudado, haja visto, a ocorrência de valores de perda de solo de mais de 21 Mg ha<sup>-1</sup> em uma única chuva em 2008/2009.

## 5.6 CONCLUSÕES

- O fator erodibilidade do solo (K) do Argissolo Vermelho-Amarelo em estudo determinado pelo quociente entre perdas de solo e erosividade (Kt) para o período de 2006 a 2010 é de  $0,0105 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ; e pelo método da análise de regressão é de  $0,0117 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ; podendo ambos ser utilizados como primeira aproximação do fator erodibilidade (K) para esse solo e local.
- O coeficiente de determinação da regressão de 0,42 entre perdas de solo e erosividade pode ser considerado baixo, indicando a necessidade de novas avaliações para obtenção de um índice de erodibilidade definitivo.



## 6 CONCLUSÕES GERAIS

- O período de retorno da erosividade anual média ( $EI_{30}$ ) ou fator “R” da USLE no Estado do Rio de Janeiro varia de 1,8 a 2,1 anos, com uma faixa de 48,5 a 54,9 % de probabilidade de ocorrência teórica;
- A maior variabilidade espacial da erosividade ocorre no período de retorno de 2 para 5 anos e a erosividade associada aos períodos de retorno tende em aumentar no sentido Norte - Sul ao longo do Estado do Rio de Janeiro;
- O padrão de precipitação pluviométrica avançado é o mais freqüente no Estado do Rio de Janeiro com 52,5%, seguido do padrão atrasado 25,5 % e do padrão intermediário (22%);
- Os atributos altura precipitada,  $EI_{30}$ , energia cinética (EC), Intensidade em 30 minutos ( $I_{30}$ ),  $KE>10$ ,  $KE>25$ , mostraram ser bons indicadores para avaliar localidades quanto ao potencial erosivo das chuvas no Estado;
- As estações ang-Angra (município de Angra do Reis), cam-Campos (Campos), ele-Eletróbrás (Rio de Janeiro), man-Manuel Duarte (Rio das Flores), sir-Santa Isabel do Rio Preto (Valença), tan-Tanguá (Rio Bonito), ter-Teresópolis (Teresópolis), vil-Vila Mambucaba (Angra do Reis) e xer-Xerém (Duque de Caxias), são as que mais se destacam com chuvas com características de padrão atrasado no Estado do Rio de Janeiro.
- A primeira aproximação do fator erodibilidade do solo (K) de Argissolo Vermelho-Amarelo para Seropédica é de  $0,0117 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ .

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, P. A.; CASTRO, H.; RESCIA, A.; SCHMITZ, M. F. Methodological development of an index of coastal water quality: application in a tourist area. *Environmental Management*, New York, v. 27, n. 2, p.295-301, 2001.

AKSOY, H. & KAVVAS, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models, *Catena*, v. 64, n. 2 - 3, p. 247-271. 2005.

ALBUQUERQUE, A. W. de; FILHO, G. M., SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n. 2, p. 153-160, 2005.

ALBUQUERQUE, A. W.; CHAVES, I. B.; VASQUES FILHO, J. Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num regossolo de Caruaru-PE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 279-283, 1994.

ALMEIDA, C. O. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; ELTZ, F. L. F.; BORGES, L. E. C. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá-MT: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 178-184, 2011.

ALMEIDA, J. R. de. Erosão dos solos e suas conseqüências. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 7, n. 80, 17-26, 1981.

AMARAL, A. J. do; BERTOL, I.; COGO, N. P. BARBOSA, F. T. redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um cambissolo húmico da região do planalto Sul-Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2145-2155, 2008.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. de. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 5, n. 1, p.124-130, 2001.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D. da; PRUSKY, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. *Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica* (Ed.). Viçosa: Editora Viçosa, p. 75-108, 2006.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; OLIVEIRA, M. C. L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. *Revista Ciência Agronômica*. Fortaleza, v. 37, n.3, p. 287-291, 2006.

ARAI, F. K.; GONCALVES, G. G. G.; PEREIRA, S. B.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A. C. T.; DANIEL, O. Espacialização da precipitação e erosividade na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados - MS. *Engenharia Agrícola* (Impresso). Jaboticabal, v. 30, p. 922-931, 2010.

ARAÚJO, S. M. B. Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias do ar no Rio Grande do Sul, 2005, 54f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de meteorologia, Pelotas, 2005.

AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MELLO, C. R.; FONSECA, S. Calibração e aplicação do modelo Musle em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, p. 563-569, 2008.

AYRES, Q. C. Soil erosion and its control. New York, N. Y., McGraw-Hill, 1936, 365p.

BAHIA, V. G.; CURI, N.; CARMO, D. N. do; MARQUES, J. J. G. S. e M. Fundamentos de erosão do solo: tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25-31, 1992.

BARRETTO, A. G. de O.P.; LINO, J. S.; SPAROVEK, G. Bibliometria da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo: instituições, temas, espaço e cronologia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, p.1845-1854, 2009.

BARUQUI & FERNANDES. Práticas de conservação de solos. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 55 – 69. 1985.

PEÑALVA BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 235-244, 2010.

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

BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 29, n. 9, p. 1453-1458, 1994.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. do. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico alumínico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages, SC. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v. 26, p. 465-471, 2002.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VISENTIN, D.; COGO, N. P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v. 26, p. 455-464, 2002.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUADAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.133-142, 2007a.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F. L.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um Nitossolo Háplico Alumínico determinada em condições de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 541-549, 2007b.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 2 Ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

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

BEZDICEK, D. F.; PAPENDICK, R. I.; LAL, R. Introduction: importance of soil quality to health and sustainable land management. In: DORAN, J. W.; JONES, A.J. (Ed.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 1-8. (SSSA. Special publication, 49). 1996.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. *Catena*, v. 68, p. 73-86, 2006.

BOSCH, D. D.; ONSTAD, C. A. Surface seal hydraulic conductivity as affected by rainfall. *Transactions of the ASAE*, v. 31, p. 1120-1127, 1988.

BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. Análise de dados. Tradução de M. Pechel. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1980. 116p.

BRITO, L. T. de L. Avaliação de impactos das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Salitre - BA, e classificação das fontes hídricas. 2003. 184f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

BRITO, L. T. de L.; SILVA, A. de S.; SRINIVASAN, V. S.; GALVÃO, C. de O.; GHEYI, H. R. Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas subterrâneas da bacia hidrográfica do Salitre. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 36-44, 2006.

CABEDA, M. S. V. Computation of storm EI value. West Lafayette: Purdue University, USA, 1976. 6p. (não publicado).

CAMPOS FILHO, O. R. I. de; SILVA, F. da; ANDRADE, A. P. de; LEPRUN, J. C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, n. 9, p. 1363-1370, 1992.

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

CANTALICE, J. R. B.; MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, SP, v. 17, p. 275-281, 1993.

CARVALHO, D. F. de; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S. da; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002 b.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S. DA.; LANA, A. M. Q.; SILVA, W. A. Efeito da cobertura morta e do preparo do terreno nas perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-Amarelo. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 11, n. 1-4, p. 15-22, 2003.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo-RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 7-14, 2005.

CARVALHO, J. C. de; SALES, M.M.; MORTARY, D.; FÁZIO, J. A.; MOTTA, N. O. da; FRANCISCO, R. A. Processos erosivos. In: CARVALHO, J. C. de; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de; MELO, M. T. da S. (Org.). *Processos erosivos no Centro-Oeste*. Brasília: Finatec, p. 39-91. 2006.

CARVALHO, M. P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade dos solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 13, p. 237-242, 1989.

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

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

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

CASSOL, E.A.; REICHERT, J.M. Pesquisa em erosão do solo no Brasil. In: ARAÚJO, Q. R. (org). *500 anos de uso do solo no Brasil*. Ilhéus - BA: Editora UESC, p. 399-420. 2000.

CHAVES, H. M. L.; ORLOWSKI, E.; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 17, n.2, p. 141-147, 1993.

COGO, N.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 743-753, 2003.

COLODRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. de M. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 809-818, 2002.

COOK, H.L. The nature and controlling variables of the water erosion process. *Soil Science Society of America Proceedings*. v. 1, p. 60-64. 1936.

CROKE, J.; NETHERY, M. Modelling runoff and soil erosion in logged forests: Scope and application of some existing models, *Catena*, v. 67, p. 35–49, 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Divergência genética. In: CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. *Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, UFV: Imprensa Universitária, p. 287-323, 1994.

CRUZ, E. S. Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo. 2006. 58f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

DEDECEK, R. A. Capacidade erosiva das chuvas de Brasília – DF. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, CNPT/SNLCS-EMBRAPA, 1978. p. 157-161.

DENARDIN, J. E. Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 1990. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

DIAS, A. S. & SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I - Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno – 1ª aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p. 335-345, 2003.

DOWNES, R. G. A institucionalização da Conservação do Solo e da Água no Brasil. Brasília: MA/SNPA/SRN. Coordenadoria de Conservação do Solo e da Água. 1983. 52p.

DULEY, F. L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Science Society of America. Proceedings*, v. 4, p. 60-64, 1939.

ELLIOT, W. J., LEIBENOW, A. M.; LAFLEN, J. M.; KOHL, K. D. A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987 and 1988. West Lafayette. In: Ohio State University and USDA Agricultural Research Service Available from USDA-ARS. National Soil Erosion Research Laboratory (NSERL). Report n. 3. 1989. 316 p.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies - part II: soil detachment hazard by raindrop splash. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v. 28, n. 5, p. 197-201, 1947.

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; PASCOTINI, P. B. Potencial erosivo e características das chuvas de Encruzilhada do Sul, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n. 4, p. 331-337, 2011.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT. Perdas de solo e água em entessulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuvas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, p. 485-493, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, SCNPIS, 2006. 306p.

EVANGELISTA, A.W.P.; CARVALHO, L.G. de; DANTAS, A.A.A.D.; BERNARDINO, D.T. Potencial erosivo das chuvas em Lavras, MG: distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno, *Irriga*, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2006.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G.; BERNARDINO, D. T. Caracterização do padrão das chuvas ocorrentes em Lavras, MG. *Irriga*, v. 10, p. 306-317, 2005.

EVERRIT, B. Cluster analysis. Heinemann Education Books, London, 1974, 135p.

FERREIRA, J. C. Mapas mensais de precipitação máxima e erosividade para o Estado de São Paulo de interesse à Engenharia. 1999. 144p. (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

FERREIRA, L. Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados com a mineralogia e micromorfologia. 1992. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.

FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C. Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 31, p. 414-420, 1988.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T. (Ed.). *Hydrologic modeling of small watersheds*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p. 297-380. (ASAE Monograph, 5).

FOSTER, G. R. Sediment yield from farm fields: The Universal Soil Loss Equation and Onfarm 208 Plan Implementation. In: *Universal Soil Loss Equation: Past, Present and Future*, Soil Science Society of América, n. 8, p. 25-32. 1979.

FOSTER, G.R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G. & MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the Universal Soil Loss Equation the SI metric units. *Journal Soil Water Conservation*, v. 36, p. 355-359, 1981.

FOURNIER, F. The effect climatics on soil erosion estimates for solids transported in suspension in runoff. [S.L.], Association Hydrologig Int. Public., 1956. v. 38, 6p.

GOLDENEN SOFTWARE INC. Surfer version 8.0. Surface mapping system. Copyright 1993 – Colorado, 2002.

GONÇALVES, F. A. Erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. 2002. 90p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

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

GOTWAY, C.A.; FERGUSON, R.B.; HERGERT, G.W.; PETERSON, T.A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 60, n.4, p. 1237-1247, 1996.

GREEN, P. E. Analysing Multivariate Data. The Dryden press, Lliions, USA: 1978. 340p.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A. da; RAMOS, M. M & SILVA, D. D. Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, p. 397-405, 2005.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, G. M. (org.) Erosão e conservação dos solos – conceitos, temas e aplicações. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 17-55.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 149-199.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; De MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.

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

HORNER, W. W.; JENS, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. Trans. ASAE, v. 107, p. 1039-1117, 1941.

HUDSON, N. W. Soil conservation. 3. ed. Ames, Iowa State University Press, 1995. 391p.

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

INFORME AGROPECUÁRIO. As experiências de um conservacionista no Brasil. Belo Horizonte, n.128, p.77-79. 1985.

JENNY, H. The soil resource: Origin and behavior. Spring-Verlag: New York, (Ecological Studies, 37). 1980. 337p.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied Multivariate Statistical Analysis. 3ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1992. 642p.



KEMPER, W. D.; ROSENALU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, v. 1, p. 425-442. 1986.

KENDALL, M. G. A course in multivariate analysis. New York: Rafner Publishing Co., 1957. 186p.

KUHN, N. J.; BRYAN, R. B. Drying, soil surface condition and interrill erosion on two Ontario soils. *Catena*, v. 57, p. 113-133, 2004.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R., ed. Soil erosion research methods. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LAL, R. Soil conservation for C sequestration. In: STOTT D.E, MOHTAR R.H, STEINHARDT, G.C (eds). Proceedings of the 10<sup>th</sup> international soil conservation organization meeting, West Lafayette, p. 459–465. 2001.

LAL, R. Soil erosion on alfisols in western Nigeria. III. Effects of rainfall characteristics. *Geoderma*, Amsterdam, v.16, p.389-401, 1976.

LANDIM P. M. B. Análise estatística de dados geológicos multivariados. Lab. Geomatemática/ DGA/IGE/UNESP/Rio Claro, Texto didático 03, 128 p. 2000. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada.textodi.html>>. Acesso em: 21/08/2007.

LANE, L. J.; RENARD, K. G.; FOSTER, G. R. & LAFLEN, J. M. Development and application of modern soil erosion prediction technology. *Australian Journal Soil Research.*, v. 30, p. 893-912, 1992.

LATTANZI, A. R.; MEYER, L. D.; BAUMGARDNER, M. F. Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. *Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v. 38, n. 6, p. 946-950, 1974.

LEMOS, M. do S. da S.; BAHIA, V. G. Erosividade da chuva. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 32- 37, 1992.

LOCH, R. J. A method for measuring aggregate water stability. of dryland soils with relevance to surface seal development. *Australian Journal Soil Science*, Melbourne, v. 32, p. 687-700, 1994.

LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. 53p. (Tese de Mestrado), Purdue University, West Lafayette, 1977.

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

MAIA NETO, F. F. & CHAVES, I. B. Mapeamento da erosividade das chuvas da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, Rio de Janeiro, 1997. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

MANLY, B.F.J. Multivariate statistical methods: a primer. London: Chapman and Hall, 1986. 159p.

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

MARCUS, L. Traditional morphometrics. In: ROHLF, F. J.; BOOKSTEIN, F. L. *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop. Special Publication n.2*, The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, Michigan. p. 77-122. 1990.

MARGOLIS, E.; SILVA, A. B. da; REIS, O. V. Controle da erosão com diferentes práticas conservacionistas num solo Litólico de Caruaru-PE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 9, p. 161-164, 1985.

MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P.; SILVA, M.L.N. 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*, Viçosa, v. 21, p. 427-434, 1997.

MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; NORTON, L. D.; FONSECA, S. Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the coastal plain of Espírito Santo, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 999-1004, 2010.

MATLAB. User's Guide, Natick: The Math Works Inc., 2000. 527p.

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

McGREGOR, K.C.; BINGER, R.L.; BOWIE, A.J. & FOSTER, G.R. Erosivity index values for northern Mississippi. *Transac. ASAE*, St. Joseph, v. 38, p. 1039-1047, 1995.

MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ, I. A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, p. 475-483, 2001.

MELLO, C. R de; SA, M. A. C. de; CURI, N.; MELLO, J. M. de; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. da. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MOITA NETO, J. M. Estatística univariada. Governo do Estado do Piauí. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí. Disponível em: <http://www.fapepi.pi.gov.br/novafapepi/ciencia/documentos/univariada.PDF>. Acessado em: 10/12/2008.

MONTEBELLER, C. A. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. 2005.103p (Dissertação de Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2005.

MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, D. F.; VIEIRA, S. R.; FRANCO, E. M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 27, p. 426-435, 2007.

MORAES, D.S.L.; QUINZANI-JORDÃO, B. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Revista de Saúde Pública, São Paulo*, v. 36, n. 3, p.370-374. 2002.

MORAIS, L. F. B.; MUTTI, L. S. M. & ELTZ, F. L. F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v. 12, p. 281-284, 1988.

MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E. & DURIGON, V. Índice EI<sub>30</sub> de chuva e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v.15, p. 339-444, 1991.

MORETI, D.; CARVALHO, M. P.; MANNIGEL, A. R.; MEDEIROS, L. R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 27, n. 4, p. 713-725, 2003a.

MORETI, D.; MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P. Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum: Agronomy, Maringá*, v. 25, n. 1, p.137-145. 2003b.

MOURA, A. R. B. & MEDEIROS, J. F. Determinação inicial da erosividade da chuva (fator R) em 1985, em Mossoró (RN). *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v. 11, p. 229-231, 1987.

NEARING, M. A.; LANE, L. J.; LOPES, V. L. Modeling soil erosion. In: Lal, R. (ed.). *Soil erosion research methods. Second edition. St. Lucie Press and Soil and Water Conservation Society, St Lucie, FL, USA*. p. 127-156, 1994.

NYAKATAWA E. Z, REDDY K. C, LEMUNYON J. L. Predicting soil erosion in conservation tillage cotton production systems using the revised universal soil loss equation. *Soil Till Research*, v. 57, p. 213–224. 2001.

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

OLIVEIRA JÚNIOR R. C. de. A erosividade das chuvas na parte leste do Estado do Pará. 1988. 52p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1988.

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

PETTA, R. A.; CUNHA, J. de A. da. O uso do SIG na gestão territorial do município de Serra Negra do Norte (RN). *Revista de Geologia*, v. 16, n. 1, p. 95-104, 2003.

PORTUGAL, A. F. Resiliência da estrutura em Argissolo sob diferentes usos, na Zona da Mata de Minas Gerais. 87p. (Dissertação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

PRUSKI, F. F. Processo físico de ocorrência da erosão hídrica. In: PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica (Ed.). Viçosa: Editora Viçosa, p. 25-40, 2006a.

PRUSKI, F. F. Fatores que interferem na erosão hídrica do solo. In: PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica (Ed.). Viçosa: Editora Viçosa, p. 41-74, 2006b.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n. 2, p. 301-307, 2001.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Editora Manole, 2004. 478p.

RENARD KG, FOSTER GR, WEESIES GA, McCOOL DK, YODER DC, Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook N°. 703, USDA-ARS. 1997. 404p.

RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. Journal of Hydrology, v.157, p.287-306, 1999.

RESENDE, M. N. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 3-18, 1985.

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. de P.; PRADO, R. de M. Fator Erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente da chuva. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 147-156, 2001.

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M. & MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná através da pluviometria: terceira aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, p. 439-444, 1993.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MASSAROTO, J. A.; MARQUES, J. J. G. S. M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 7, p. 691-699, 2004.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT software: changes and enhancements through release 6.12. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1997. 1167p.

SHEN, H. W.; LAI, J. S. Sustain reservoir useful life by flushing sediment. International Journal of Sediment Research, Beijing, v. 11, n. 3, p. 11-17, 1996.

SILVA, A. B. da; RESENDE, M.; SOUSA, A. R. de; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um Regossolo no Agreste de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, p. 299-307, 1999a.

SILVA, C. G.; ALVES SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. Atributos físicos, químicos e erosão hídrica entressulcos sob chuva simulada, em sistema de plantio direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 144-153, 2005.

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

SILVA, M. A da.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SANTOS, G. R dos; MARQUES, J. J. G. de S. e M.; MENEZES, M.D. de; LEITE, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, região centro-leste do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1029 – 1039, 2010.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n.12, p. 2287-2298, 1999b.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M. de; FERREIRA, M. M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, p. 1207-1220, 2000.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; LIMA, L. A.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M. Resistência ao salpico provocado por impacto de gotas de chuva simulada em Latossolos e sua relação com características químicas e mineralógicas. *Ciência e Prática*, Lavras, v. 19, n. 2, p. 176-182, 1995.

SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L. de; BLANCANEUX, P.; CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, p. 977-985, 1997.

SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. de S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico cultivado com café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 15-22, 2010.

SOUZA, J. A. de.; BAHIA, V. G. Seleção de práticas conservacionistas baseada em critérios pedológicos. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.19, n. 191, p. 19-27, 1998.

STOCKING, M. A. Rainfall erosivity in erosion: some problems and applications. *Research discussion paper*, 13, Edinburgh University/Geographe Dept, 1977. 29p.

STOCKING, M.A. Examination of the factors controlling gully growth on cohesive fine sands in Rhodesia. *University of East Anglia. Discussion Paper*, v. 39, 1983. 6p.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. *Canoco-reference manual and user's guide to canoco for windows: Software for canonical Community Ordination (Version 4)*. Microcomputer Power, 1998, 332p.

TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E. A.; BITTENCOURT, V. L.; ROSA FILHO, E. F. da. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na Bacia do Rio Anta Gorda (PR). *Estudos Geográficos*, Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 1-21, 2005.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: ABRH-EDUSP, 2000. 943p.

USDA-ARS – United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service. USLE History. Disponível em: [http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18093&pf=1&cg\\_id=0](http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18093&pf=1&cg_id=0). Acessado em 19/07/2011.

VARGAS, M. *Introdução a mecânica dos solos*. São Paulo, McGraw, Hill do Brasil, 1977. 509p.

VEIGA, M. da; CABEDA, M. S. V.; REICHERT, J. M. Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 17, n. 1, p. 289-298, 1993.

VERHAEGEN, T. H. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loamy soils: a study base on rainfall simulation experiments. *Earth Surface Processes and Landforms*, Sussex, v. 9, p. 499-507, 1984.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill, São Paulo. 1975. 245 p.

VOLK, L. B. da S.; COGO, N. P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 1713-1722, 2008.

WEI, J.; ZHOU, J.; TIAN, J.; XIUBIN, H.; TANG, K. The cost of soil erosion in vineyard fields in the Penede`s–Anoia Region (NE Spain). *Catena*, v. 68, n. 2-3, p. 10 – 15, 2006.

WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. San diego- CA: Academic Press, 1995, 467 p.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watershed. In: *Soil erosion: Prediction and control*. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1977. p. 217-225.

WISCHMEIER, W .H. & MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. *Process Soil Science*. Society American, v. 33, p. 131- 137, 1969.

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

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Science of American Proceedings*, Madison, v. 20, n. 3, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H. Use and misuse of the universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.31, n.1, p.5-9, 1976.

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

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. *Transactions of the American Geophysical Union, Washington*, v. 39, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington: USDA, 1965. 52p. *Agricultural Handbook*, 282.

YANG, Z. S. Soil erosion under different land use types and zones of Jinsha River basin in Yunnan Province, China. *Journal of Mountain Science*, v. 1, p. 46-56, 2004.

YOUNG, R. A. WIERSMA, J. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. *Water Resources Research*, Washington, v.9, n.6, p. 1629-1636, 1973.

ZHENG, F.; TANG, K.; ZHANG, K. L. Relationship of eco-environmental change and natural erosion and man-made accelerated erosion. *Journal of Ecology*, v. 15, n. 3, p. 251–258 (in Chinese, with English abstract), 1995.

## 8. ANEXOS

**Anexo A:** Relação das estações e dados utilizados no preenchimento de falhas nas estações pluviométricas (continua)

Ano	Mês	Dado preenchido	Equação	R <sup>2</sup>	Estação utilizada para consistência dos dados	
<b>Barragem de Lages – Pirai – 02243211</b>						
1975	Outubro	132,0	$y = 0,6658 * 138 + 40,954$	0,79	Pirai – Pirai – 02243165.	
1975	Novembro	316,0	$y = 0,9329 * 321,3 + 16,277$	0,79		
1975	Dezembro	221,1	$y = 1,0187 * 209,3 + 7,8656$	0,82		
1976	Janeiro	293,2	$y = 0,9263 * 265,2 + 47,498$	0,71		
1976	Fevereiro	223,2	$y = 0,856 * 201,8 + 50,43$	0,72		
1976	Março	149,6	$y = 0,8876 * 148,9 + 17,398$	0,78		
1976	Abril	82,0	$y = 1,2356 * 54,9 + 14,195$	0,78		
1976	Mai	138,6	$y = 1,3634 * 97,2 + 6,0323$	0,78		
1976	Junho	70,4	$y = 0,9445 * 69 + 5,2575$	0,72		
1978	Julho	41,6	$y = 1,1923 * 32,2 + 3,2231$	0,79		
1978	Agosto	42,8	$y = 1,0462 * 34,9 + 6,3008$	0,78		
1978	Setembro	40,6	$y = 0,917 * 31,5 + 11,701$	0,80		
1978	Outubro	34,1	$y = 0,2931 * 77,4 + 11,386$	0,75		
1978	Novembro	201,4	$y = 0,7702 * 191,4 + 54,013$	0,75		
1978	Dezembro	120,3	$y = 1,0187 * 110,4 + 7,8659$	0,83		
1947	Agosto	48,7	$y = 1,0462 * 40,8 + 6,3008$	0,78		
<b>Quissamã – Macaé – 02241010</b>						
1949	Novembro	173,6	$y = 1,3603 * 196,4 - 93,542$	0,75	Macaé – Macaé – 02241016	
1962	Outubro	88,5	$y = 1,016 * 95,3 - 8,3192$	0,73		
1962	Novembro	33,5	$y = 1,3603 * 93,4 - 93,542$	0,75		
1968	Agosto	33,9	$y = 0,7321 * 40,8 + 4,0189$	0,72		
1968	Setembro	71,3	$y = 0,726 * 100,5 - 1,6869$	0,75		
1968	Outubro	175,5	$y = 1,016 * 180,9 - 8,3192$	0,73		
1975	Outubro	122,2	$y = 1,016 * 128,5 - 8,3192$	0,73		
<b>Manuel Duarte – Rio das Flores – 02243008</b>						
1942	Janeiro	150,1	$y = 0,8782 * 168,7 + 1,9442$	0,72	Rio das Flores – 02243007	
1942	Fevereiro	186,8	$y = 0,7122 * 210,6 + 36,794$	0,71		
1942	Março	87,7	$y = 0,772 * 95 + 14,335$	0,73		
1942	Abril	37,2	$y = 0,7319 * 31,7 + 13,968$	0,70		
1942	Mai	33,3	$y = 0,7233 * 37,7 + 6,0165$	0,76		
1942	Junho	13,3	$y = 0,7403 * 13,8 + 3,0801$	0,73		
1942	Julho	25,9	$y = 0,7859 * 29,1 + 3,0106$	0,75		
1992	Janeiro	359,2	$y = 0,8782 * 406,8 + 1,9442$	0,71		
1992	Fevereiro	103,9	$y = 0,7122 * 94,2 + 36,794$	0,71		
1992	Março	144,6	$y = 0,772 * 168,8 + 14,335$	0,73		
1992	Abril	65,1	$y = 0,7319 * 69,8 + 13,968$	0,70		
1992	Mai	41,5	$y = 0,7233 * 49 + 6,0165$	0,76		
1992	Junho	8,7	$y = 0,7403 * 7,6 + 3,0801$	0,73		
1992	Julho	15,0	$y = 0,7859 * 15,3 + 3,0106$	0,75		
<b>Pirai – Pirai – 02243165</b>						
1965	Fevereiro	151,5	$y = 0,6687 * 176,7 + 33,299$	0,84		
1967	Fevereiro	279,0	$y = 0,6687 * 367,4 + 33,299$	0,84		



Anexo A. Continuação					
1968	Abril	39,6	$y=0,4252*52,9 + 17,081$	0,80	Barragem de Lages – Piraí - 02243211
1969	Fevereiro	97,0	$y=0,6687*95,2 + 33,299$	0,84	
1970	Abril	44,5	$y=0,4252*64,6 + 17,081$	0,80	
1971	Fevereiro	204,9	$y=0,6687*256,6 + 33,299$	0,84	
1974	Fevereiro	112,1	$y=0,6687*117,8 + 33,299$	0,84	
Nhangapi – Resende – 02244030					
1979	Agosto	34,4	$y=0,8865*29,2 + 8,5128$	0,77	Resende – Resende – 02244032
Sta Isabel do Rio Preto – Valença – 02244033					
1997	Outubro	120,9	$y=0,9115*102,8 + 27,211$	0,70	Valença – Valença – 02243005
1998	Janeiro	181,4	$y=1,2035*137,4 + 16,076$	0,73	
Elevatória Santa Cecília - Barra do Piraí – 02243205					
1963	Outubro	91,8	$y=0,9962*90+2,1508$		Santa Cecília – Barra do Piraí – 02243215.
1964	Março	51,9	$y=1,0106*51+0,3657$		
Japuiba – Cachoeiras de Macacu – 02242014					
1967	Janeiro	435,9	$y=1,0044*439 - 5,0647$	0,70	Cachoeiras de Macacu - Cachoeiras de Macacu – 02242015
1967	Fevereiro	422,6	$y=0,9966*441 - 16,934$	0,90	
1967	Março	420	$y=0,9966*438,4 - 16,934$	0,90	
1967	Abril	220,1	$y=0,9966*237,8 - 16,934$	0,90	
1967	Maiο	54,8	$y=0,9966*75,6 - 16,934$	0,90	
1967	Junho	31,9	$y=0,9966*49 - 16,934$	0,90	
1967	Julho	82,9	$y=0,9966*100,2 - 16,934$	0,90	
Vargem (ralo coletor) – Rio Claro – 02244097					
1987	Agosto	29,4	$y=0,6739*39,9 + 4,5788$	0,80	Lídice – Rio Claro – 02244040
1995	Outubro	165,4	$y=0,7316*203,9 + 16,201$	0,74	
1947	Abril	82,2	$y=0,9958*97,3 - 14,732$	0,73	
1996	Abril	82,2	$y=0,9958*97,3 - 14,732$	0,73	
Vassouras – Vassouras – 02243151					
1965	Maiο	57,3	$y= 0,5291*91,2 + 9,025$	0,78	Barra do Piraí – 24430002
1965	Junho	20,8	$y=0,6103*31,2 + 1,772$	0,78	
1965	Julho	43,6	$y=1,3842*32 - 0,702$	0,84	
1969	Outubro	151,4	$y=0,372*129,4 + 103,270$	0,70	
1969	Novembro	135,1	$y=0,7652*130,8 + 35,026$	0,79	

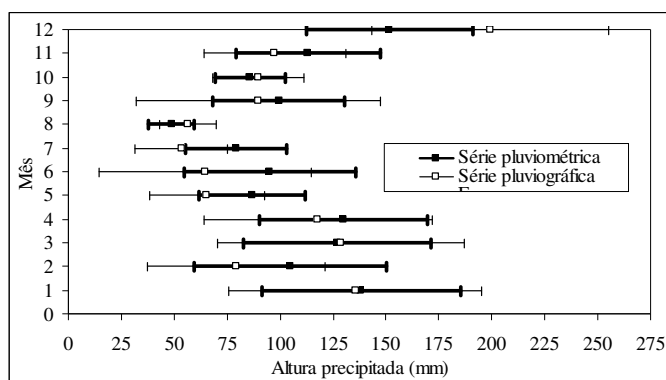
**Anexo B:** Equações de regressão ajustadas entre o EI<sub>30</sub> mensal médio e a precipitação mensal média (p) e coeficiente de chuva (Rc), para diferentes estações Meteorológicas no Estado do Rio de Janeiro

Estação	Entidade	P (mm)	R <sup>2</sup>	Rc	R <sup>2</sup>
Rio da cidade	ANA	Não ajustou satisfat.		Não ajustou satisfat.	
<b>Gonçalves (2002)</b>					
Manuel Duarte	ANA	EI <sub>30</sub> =4,3736p - 42,895	0,89	EI <sub>30</sub> = 20,704Rc + 112,54	0,82
Sta Isab. Rio Preto	ANA	EI <sub>30</sub> =4,8228p - 24,524	0,90	EI <sub>30</sub> = 27,744Rc + 194,08	0,82
Vila Mambucaba	ANA	EI <sub>30</sub> =8,5015p - 549,220	0,81	EI <sub>30</sub> = 44,611Rc + 73,205	0,84
Ilha dos Pombos	LIGHT	EI <sub>30</sub> =5,6957p - 9,7418	0,86	EI <sub>30</sub> = 21,003Rc + 223,87	0,72
Rib. das Lajes	LIGHT	EI <sub>30</sub> =4,6235p - 143,580	0,88	EI <sub>30</sub> = 22,691Rc + 95,401	0,82
Santa Cecília	LIGHT	EI <sub>30</sub> =4,4383p - 134,290	0,94	EI <sub>30</sub> = 24,530Rc + 50,359	0,96
Tocos	LIGHT	EI <sub>30</sub> =8,2444p - 256,930	0,99	EI <sub>30</sub> = 38,483Rc + 118,71	0,98
Cac. de Macacu	SERLA	EI <sub>30</sub> =6,9439p - 444,620	0,92	EI <sub>30</sub> = 37,899Rc + 39,859	0,91
Capela Mairynk	SERLA	EI <sub>30</sub> =9,4876p - 938,280	0,41	EI <sub>30</sub> = 53,311Rc + 76,268	0,40
Eletróbrás	SERLA	EI <sub>30</sub> =6,2822p - 300,130	0,77	EI <sub>30</sub> = 37,764Rc + 3,886	0,79
Escola União	SERLA	EI <sub>30</sub> =8,9721p - 537,380	0,91	EI <sub>30</sub> = 47,679Rc + 64,585	0,89
Posto Garrafão	SERLA	EI <sub>30</sub> =8,0101p - 689,410	0,72	EI <sub>30</sub> = 46,373Rc + 146,28	0,70
Rio Mole	SERLA	EI <sub>30</sub> =8,2939p - 411,500	0,65	EI <sub>30</sub> = 50,017Rc - 13,364	0,65
Tanguá	SERLA	EI <sub>30</sub> =6,2127p - 277,440	0,85	EI <sub>30</sub> = 35,134Rc + 38,484	0,81
<b>Montebeller (2005)</b>					
Campos	INMET	EI <sub>30</sub> = 4,2201p - 75,886	0,89	EI <sub>30</sub> = 20,838Rc + 104,58	0,85
Carmo	INMET	EI <sub>30</sub> = 6,0399p - 312,72	0,75	EI <sub>30</sub> = 23,309Rc + 105,53	0,80
Cordeiro	INMET	EI <sub>30</sub> = 5,5422p - 112,79	0,84	EI <sub>30</sub> = 25,419Rc + 227,07	0,77
Ecologia Agrícola	INMET	EI <sub>30</sub> = 7,171p + 211,82*	0,96*	EI <sub>30</sub> = 45,492Rc + 46,036	0,82
Ilha Guaíba	INMET	EI <sub>30</sub> = 4,0649p - 90,498	0,26	EI <sub>30</sub> = 16,766Rc + 257,85	0,17
Macaé	INMET	EI <sub>30</sub> = 4,2690p - 14,835	0,36	EI <sub>30</sub> = 23,170Rc + 199,66	0,38
Nova Friburgo	INMET	EI <sub>30</sub> = 7,3486p - 270,18	0,91	EI <sub>30</sub> = 36,607Rc + 56,320	0,90
Pirai	INMET	EI <sub>30</sub> = 5,5239p - 203,86	0,63	EI <sub>30</sub> = 29,937Rc + 82,334	0,65
Resende	INMET	EI <sub>30</sub> = 4,2792p + 155,89	0,69	EI <sub>30</sub> = 19,824Rc + 428,60	0,61
São Bento	INMET	EI <sub>30</sub> = 7,9666p - 395,51	0,84	EI <sub>30</sub> = 41,109Rc - 7,9623	0,94
Sta M <sup>a</sup> Madalena	INMET	EI <sub>30</sub> = 3,7701p - 44,129	0,69	EI <sub>30</sub> = 18,465Rc + 185,91	0,72
Vassouras	INMET	EI <sub>30</sub> = 6,8865p - 275,47	0,86	EI <sub>30</sub> = 33,547Rc + 78,651	0,84
Andorinhas	SERLA	EI <sub>30</sub> = 9,4922p - 677,95	0,89	EI <sub>30</sub> = 52,276Rc + 124,39	0,90
Fazenda Coqueiro	SERLA	EI <sub>30</sub> = 7,7898p - 458,9	0,91	EI <sub>30</sub> = 43,641Rc + 116,52	0,90
Faz. Sto Amaro	SERLA	EI <sub>30</sub> = 9,1382p - 701,17	0,90	EI <sub>30</sub> = 54,724Rc + 47,124	0,90
Japuíba	SERLA	EI <sub>30</sub> = 7,7444p - 377,1	0,93	EI <sub>30</sub> = 42,037Rc + 91,963	0,92
Sambaetiba	SERLA	EI <sub>30</sub> = 8,8125p - 351,7	0,85	EI <sub>30</sub> = 51,142Rc + 46,406	0,86
Xerém	SERLA	EI <sub>30</sub> = 5,5151p - 260,03	0,84	EI <sub>30</sub> = 31,356Rc + 127,33	0,81

\*/ Carvalho et al. (2005).

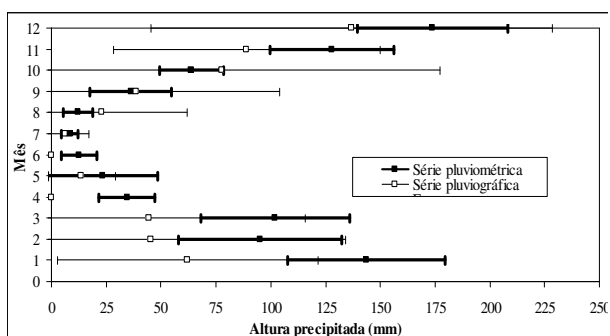
**Anexo C:** Estações pluviográficas que possuem equações de regressão ajustadas entre o índice de erosividade mensal médio (KE>25) e a precipitação mensal média (p) ou coeficiente de chuva (Rc)

Estação	Entidade	P (mm)	R <sup>2</sup>	Rc	R <sup>2</sup>
Rio da cidade	ANA	Não ajustou satisfat.		Não ajustou satisfat.	
<b>Gonçalves (2002)</b>					
Manuel Duarte	ANA	KE>25=0,0392p - 0,0984	0,72	KE>25=0,1802Rc + 1,3597	0,62
Sta Isab. Rio Preto	ANA	KE>25=0,0641p - 0,6583	0,87	KE>25=0,3322Rc + 2,1914	0,83
Vila Mambucaba	ANA	KE>25=0,0824p - 5,9329	0,70	KE>25=0,4368Rc + 0,0210	0,74
Ilha dos Pombos	LIGHT	KE>25=0,0701p + 0,1173	0,82	KE>25=0,2577Rc + 3,0054	0,68
Santa Cecília	LIGHT	KE>25=0,0567p - 1,8216	0,92	KE>25=0,3143Rc + 0,5190	0,94
Rib. das Lajes	LIGHT	KE>25=0,0596p - 2,0059	0,88	KE>25=0,2944Rc + 1,0443	0,83
Tocos	LIGHT	KE>25=0,1076p - 3,5300	0,97	KE>25=0,5045Rc + 1,3395	0,97
Cac. de Macacu	SERLA	KE>25=0,0857p - 5,8327	0,88	KE>25=0,4628Rc + 0,2337	0,86
Capela Mayrink	SERLA	KE>25=0,1086p - 12,8880	0,39	KE>25=0,6324Rc - 3,0142	0,30
Eletrobrás	SERLA	KE>25=0,0856p - 4,8745	0,76	KE>25=0,5167Rc - 0,7488	0,79
Escola União	SERLA	KE>25=0,1103p - 7,1484	0,90	KE>25=0,5862Rc + 0,2510	0,88
Posto Garrafão	SERLA	KE>25=0,0969p - 9,9489	0,69	KE>25=0,5683Rc - 0,0289	0,69
Rio Mole	SERLA	KE>25=0,0973p - 5,0241	0,61	KE>25=0,5852Rc - 0,3366	0,61
Tanguá	SERLA	KE>25=0,0800p - 4,0649	0,80	KE>25=0,4551Rc - 0,0268	0,77
<b>Montebeller (2005)</b>					
Campos	INMET	KE>25=0,0669p - 0,9367	0,58	KE>25=0,328Rc + 1,9485	0,55
Carmo	INMET	KE>25=0,0513p + 0,6016	0,59	KE>25=0,1839Rc + 4,4682	0,54
Cordeiro	INMET	KE>25=0,0765p - 0,2297	0,70	KE>25=0,3465Rc + 4,5258	0,63
Ecologia Agrícola	INMET	KE>25=0,1067p - 3,6882	0,72	KE>25=0,5212Rc + 1,7553	0,74
Ilha Guafba	INMET	KE>25=0,0371p - 0,8053	0,19	KE>25=0,1463Rc + 2,4641	0,12
Macaé	INMET	KE>25=0,0797p - 2,1306	0,34	KE>25=0,4271Rc + 1,9288	0,35
Nova Friburgo	INMET	KE>25=0,1054p - 3,6645	0,86	KE>25=0,5223Rc + 1,0524	0,84
Pirai	INMET	KE>25=0,1017p - 3,9876	0,77	KE>25=0,5541Rc + 1,2407	0,80
Resende	INMET	KE>25=0,0651p + 1,7144	0,68	KE>25=0,2831Rc + 6,1889	0,53
Santa M <sup>a</sup> Madalena	INMET	KE>25=0,0516p + 0,0144	0,55	KE>25=0,2492Rc + 3,2154	0,56
São Bento	INMET	KE>25= 0,123p - 5,9494	0,83	KE>25=0,6237Rc + 0,162	0,90
Vassouras	INMET	KE>25=0,1161p - 4,6824	0,86	KE>25=0,5742Rc + 1,1667	0,87
Andorinhas	SERLA	KE>25=0,1121p - 8,675	0,87	KE>25=0,6185Rc + 0,7779	0,88
Fazenda Coqueiro	SERLA	KE>25=0,0904p - 5,7097	0,89	KE>25=0,5037Rc + 1,0052	0,86
Faz. Sto Amaro	SERLA	KE>25=0,1025p - 8,8496	0,82	KE>25=0,6096Rc - 0,3797	0,81
Japuiba	SERLA	KE>25=0,1021p - 5,4156	0,90	KE>25=0,5534Rc + 0,7745	0,89
Sambaetiba	SERLA	KE>25=0,1158p - 5,1197	0,81	KE>25=0,6681Rc + 0,1583	0,80
Xerém	SERLA	KE>25=0,0669p - 3,9096	0,79	KE>25=0,3813Rc + 0,7801	0,76

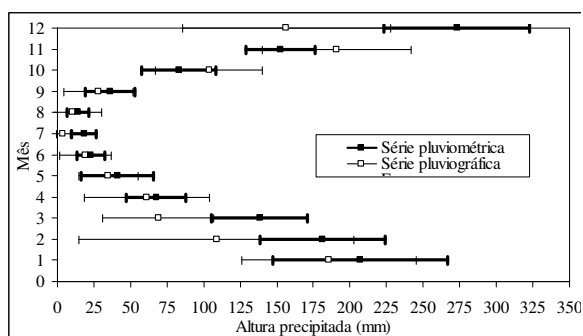


Rio Mole - Rio Mole (1979 a 1994) – SERLA

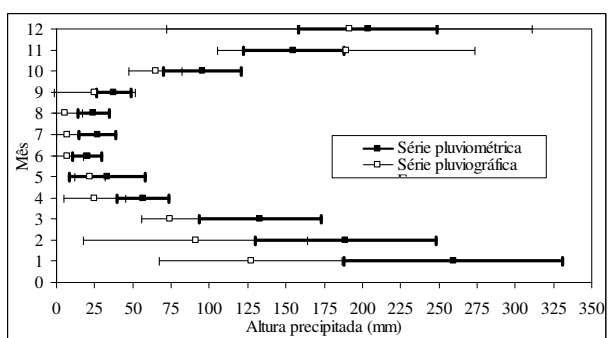
**Anexo D:** Médias e Intervalo de Confiança da precipitação pluvial anual obtidos entre séries pluviométrica e pluviográfica da Mesorregião Baixadas Litorâneas.



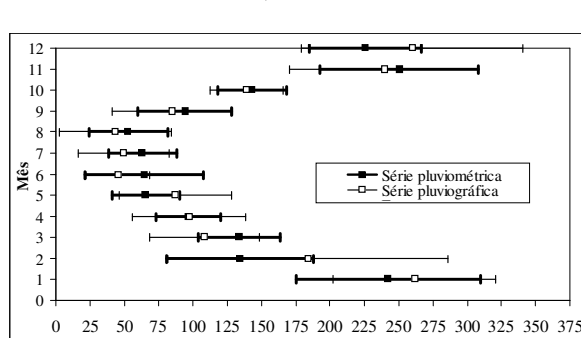
Carmo – Paquequer (1977 a 2006) - INMET



Cordeiro – Cordeiro (1947 a 1965) - INMET

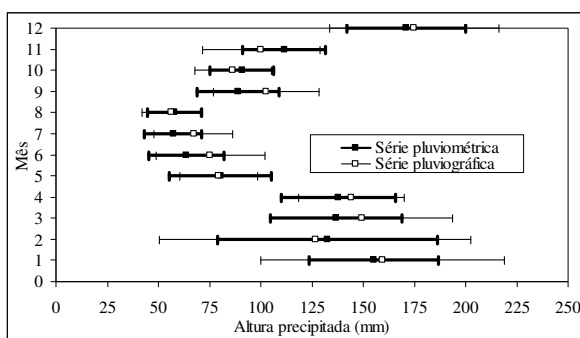


Nova Friburgo-Conselheiro Paulino (1960 a 1970) – INMET

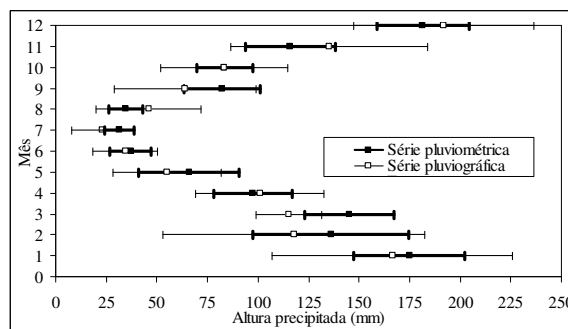


Sta Mª Mad. – Sta Mª Mad. (1966 a 1979) - INMET

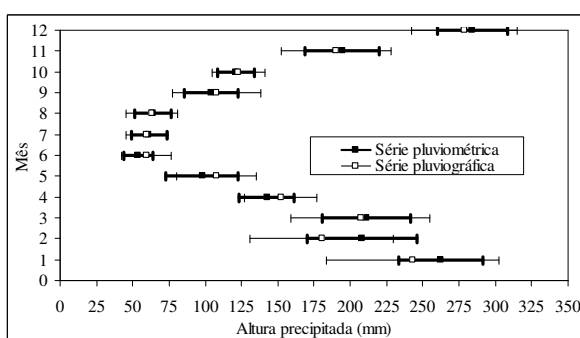
**Anexo E:** Médias e Intervalo de Confiança da precipitação pluvial anual obtidos entre séries pluviométrica e pluviográfica da Mesorregião Centro Fluminense.



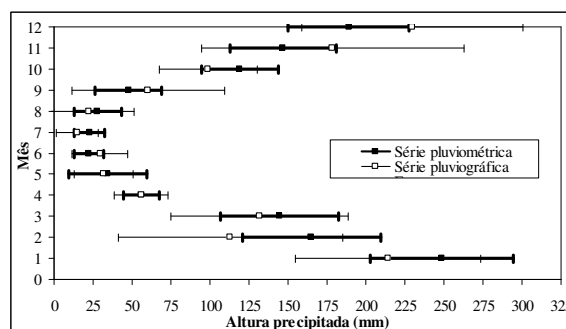
Eletrobrás-Eletrobrás (1969 a 1994) - SERLA



Ecol. Agrícola – Ecol. Agrícola (1973 a 2005) - INMET

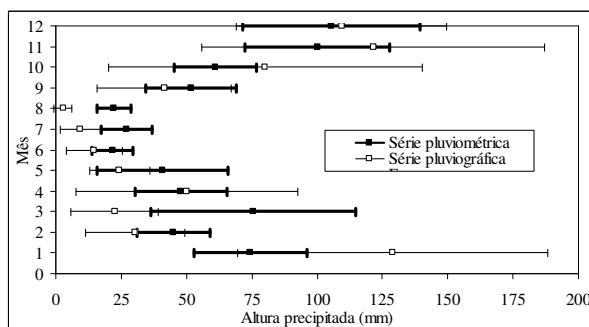


Japuíba-Japuíba / Cac. Macacu (1967 a 2005) - SERLA

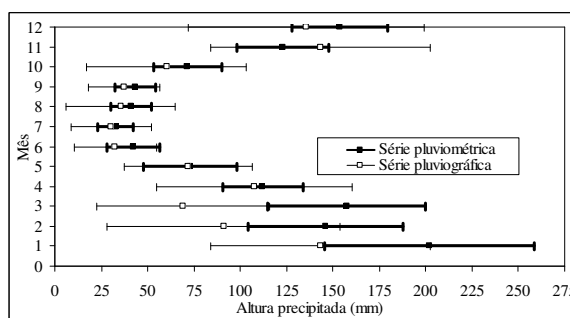


Vassouras – Vassouras (1961 a 1978) - INMET

**Anexo F.** Médias e Intervalo de Confiança da precipitação pluviométrica e pluviográfica da Mesorregião Metropolitana.

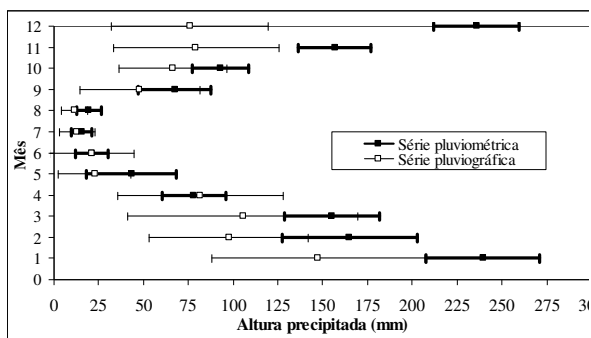


Campos - Farol de São Tomé (1991 a 2006) - INMET

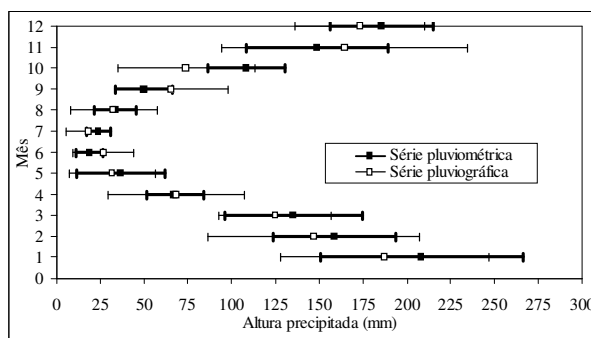


Macaé – Quiçamã (1945 a 1980 descontínua) - INMET

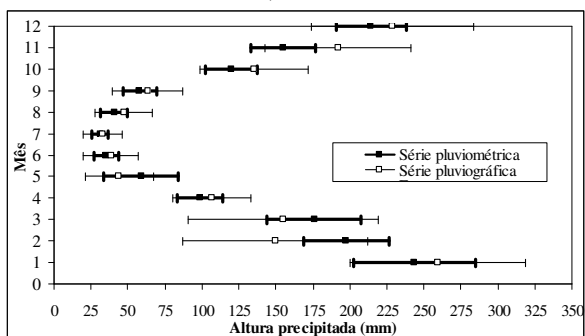
**Anexo G:** Médias e Intervalo de Confiança da precipitação pluviométrica e pluviográfica da Mesorregião Norte Fluminense.



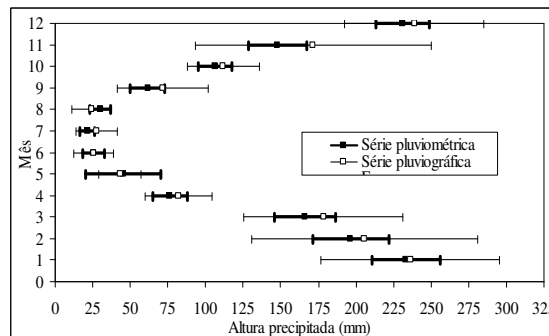
Manuel Duarte –Manuel Duarte (1977 a 2006) - ANA



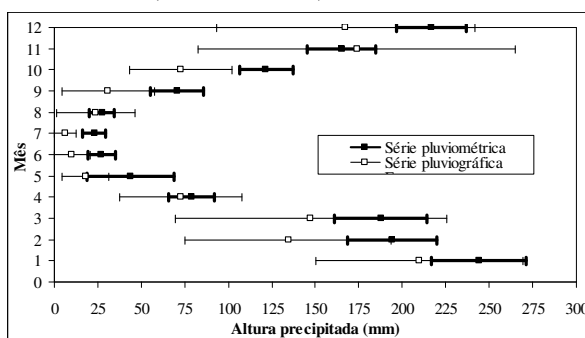
Piraí – Piraí (1961 a 1978) - INMET



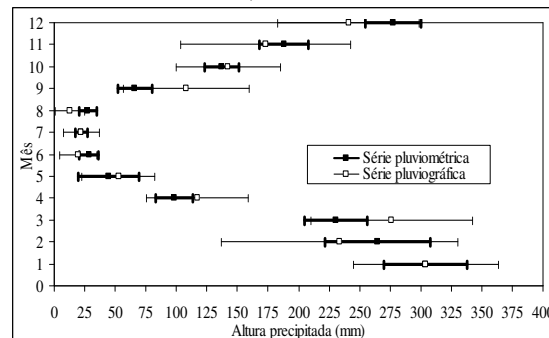
Ribeirão das Lajes - Barragem de Lajes (1942 a 1978) - LIGHT



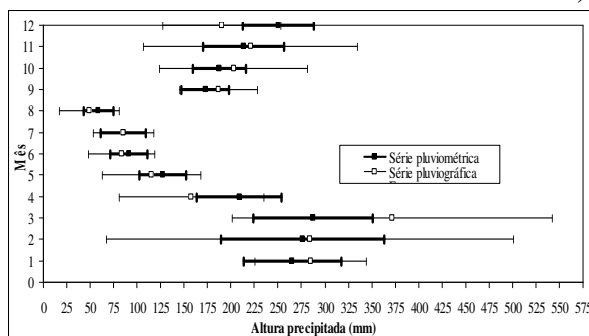
Santa Cecília – Elev.Santa Cecília (1933 a 2003) - LIGHT



Resende – Nhangapi (1957 a 2005) - INMET



Sta Iz. Rio Preto–Sta Iz. Rio Preto (1973 a 2006) - ANA



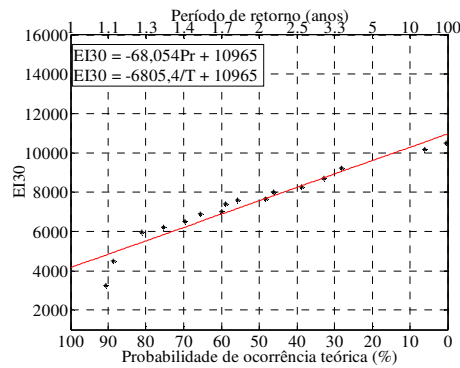
Vila Mambucaba - Vila Mambucaba (1983 a 2006) - ANA

**Anexo H:** Médias e Intervalo de Confiança da precipitação pluvial anual obtidos entre séries pluviométrica e pluviográfica da Mesorregião Sul Fluminense.

**Anexo I:** Equações de regressão usadas na estimativa do EI<sub>30</sub> e KE>25 em função do período de retorno (T) (continua)

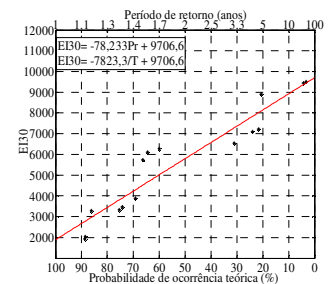
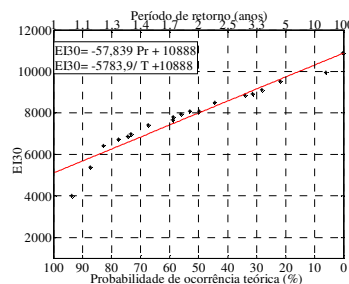
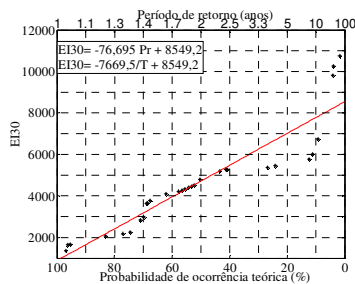
Estação	EI <sub>30</sub>	R <sup>2</sup>	KE>25	R <sup>2</sup>
Mesorregião Baixadas Litorâneas				
Rio Mole	$EI_{30} = -6805,4/T + 10965$	0,92	$KE>25 = -77,93/T + 125,25$	0,92
Mesorregião Centro Fluminense				
Carmo/Paquequer	$EI_{30} = -7669,5/T + 8549,2$	0,85	$KE>25 = -148,27/T + 153,51$	0,71
Cordeiro	$EI_{30} = -5783,9/T + 10888$	0,92	$KE>25 = -76,22/T + 132,42$	0,90
Ilha dos Pombos	$EI_{30} = -7823,3/T + 9706,6$	0,90	$KE>25 = -112/T + 131,27$	0,94
Nova Friburgo / Conselheiro Paulino	$EI_{30} = -8843,4/T + 13672$	0,70	$KE>25 = -124,42/T + 197,1$	0,68
Sta M <sup>a</sup> Madalena	$EI_{30} = -3142,8/T + 7623,6$	0,90	$KE>25 = -045,7/T + 113,07$	0,93
Mesorregião Metropolitana				
Andorinhas	$EI_{30} = -22107/T + 25461$	0,90	$KE>25 = -237,62/T + 282,79$	0,86
Cac. de Macacu	$EI_{30} = -8759,3/T + 12592$	0,91	$KE>25 = -97,5/T + 145,68$	0,90
Capela Mayrink	$EI_{30} = -13469/T + 16285$	0,92	$KE>25 = -137,91/T + 153,11$	0,93
Ecologia Agrícola	$EI_{30} = -4222,5/T + 8106,6$	0,88	$KE>25 = -76,12/T + 137,88$	0,92
Eletrobrás	$EI_{30} = -4997,1/T + 8426,7$	0,72	$KE>25 = -72,36/T + 125,63$	0,73
Escola União	$EI_{30} = -174,77/T + 18970$	0,80	$KE>25 = -172,47/T + 205,37$	0,86
Fazenda Coqueiro	$EI_{30} = -103,26/T + 15854$	0,85	$KE>25 = -88,11/T + 162,87$	0,60
Faz. Santo Amaro	$EI_{30} = -167,27/T + 22297$	0,68	$KE>25 = -186,22/T + 235,05$	0,80
Japuíba	$EI_{30} = -5107,6/T + 12044$	0,95	$KE>25 = -65,18/T + 152,36$	0,95
Posto Garrafão	$EI_{30} = -17492/T + 24553$	0,94	$KE>25 = -181,75/T + 264,79$	0,90
Sambaetiba	$EI_{30} = -7611,1/T + 9947,8$	0,80	$KE>25 = -116,03/T + 135,94$	0,89
Tanguá	$EI_{30} = -5045,1/T + 7851,6$	0,96	$KE>25 = -59,9/T + 93,407$	0,90
Vassouras	$EI_{30} = -6321/T + 10590$	0,84	$KE>25 = -107,04/T + 178,46$	0,84
Xerém	$EI_{30} = -12925/T + 13210$	0,82	$KE>25 = -139,09/T + 147,51$	0,82
Mesorregião Norte Fluminense				
Campos/Farol de São Tomé	$EI_{30} = -1494,5/T + 2670,5$	0,84	$KE>25 = -25,27/T + 46,265$	0,82
Macaé	$EI_{30} = -5881,2/T + 9156,7$	0,80	$KE>25 = -92,78/T + 139,75$	0,76
Mesorregião Sul Fluminense				
Manuel Duarte	$EI_{30} = -3064/T + 6631,9$	0,90	$KE>25 = -29,41/T + 63,769$	0,88
Piraí	$EI_{30} = -6644,7/T + 9229,8$	0,92	$KE>25 = -119,42/T + 165,48$	0,90
Resende	$EI_{30} = -5964,8/T + 12011$	0,87	$KE>25 = -65,43/T + 146,96$	0,93
Ribeirão das Lajes	$EI_{30} = -3408,7/T + 6536,5$	0,84	$KE>25 = -53,52/T + 95,163$	0,79
Santa Cecília	$EI_{30} = -4159,3/T + 7489,3$	0,91	$KE>25 = -52,85/T + 94,236$	0,92

Sta Isabel Rio Preto	$EI_{30} = -4323,2/T + 9760,3$	0,93	$KE>25 = -55,38/T + 124,74$	0,94
Tocos	$EI_{30} = -10961/T + 14519$	0,86	$KE>25 = -116,65/T + 174,75$	0,87
Vila Mambucaba	$EI_{30} = -11496/T + 18553$	0,93	$KE>25 = -109,89/T + 171,98$	0,92



### Rio Mole – SERLA

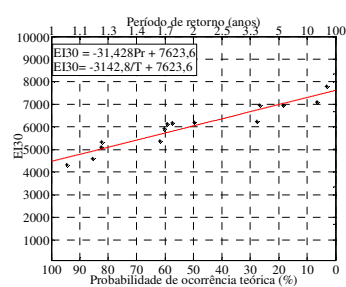
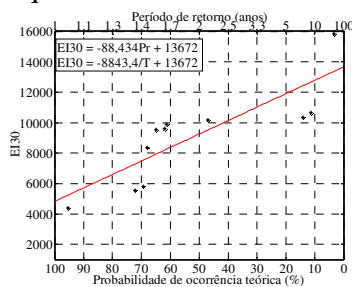
**Anexo J:** Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas, por meio do índice  $EI_{30}$  para as estações da Mesorregião Baixadas Litorâneas.



### Carmo/Paquequer- INMET

### Cordeiro- INMET

### Ilha dos Pombos - LIGTH.

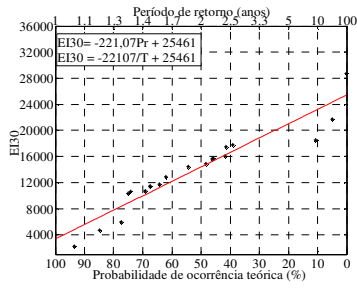


### Nova Friburgo/ Conselheiro Paulino – INMET

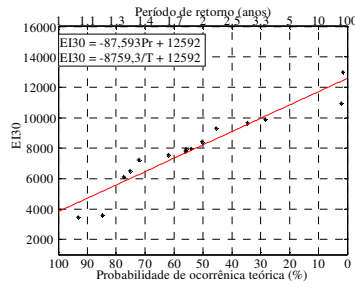
### Sta Mª Madalena - INMET

**Anexo K:** Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas, por meio do índice  $EI_{30}$  para as estações localizadas na Mesorregião Centro Fluminense.

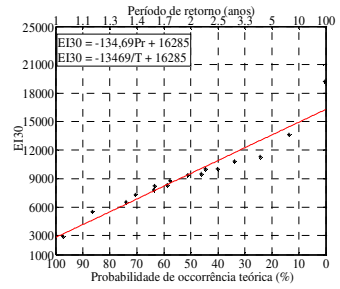




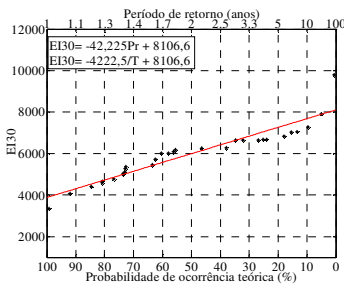
Andorinhas – SERLA



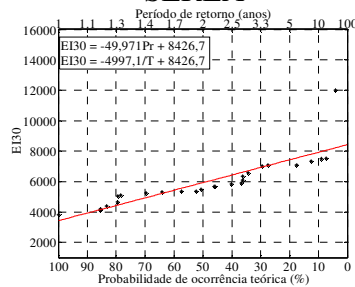
Cachoeiras de Macacu -  
SERLA



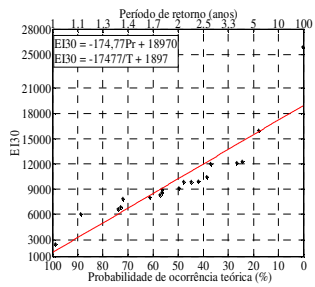
Capela Mayrink - SERLA



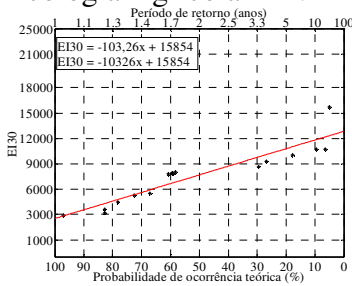
Ecologia Agrícola – INMET



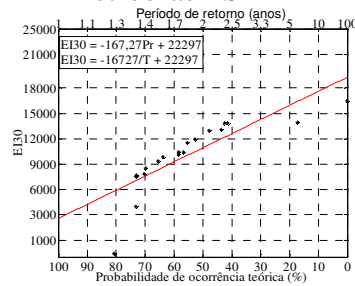
Eletrobrás - SERLA



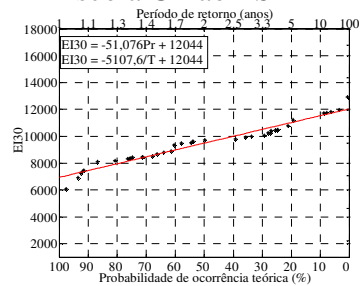
Escola União - SERLA



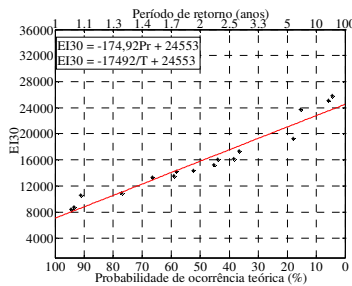
Fazenda Coqueiro – SERLA



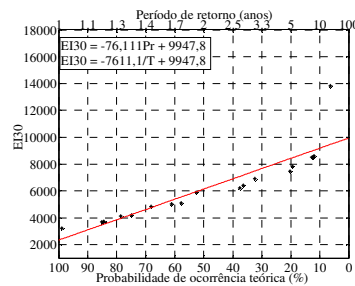
Fazenda Santo Amaro -  
SERLA



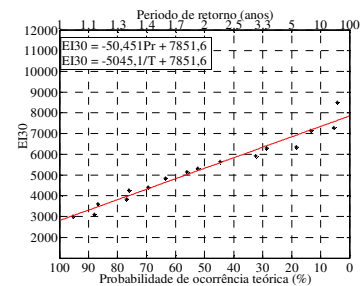
Japuiba – SERLA



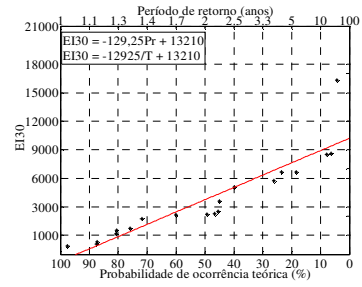
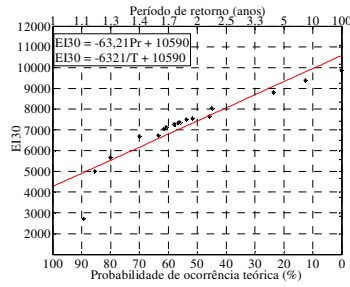
Posto Garrafão – SERLA



Sambaetiba - SERLA



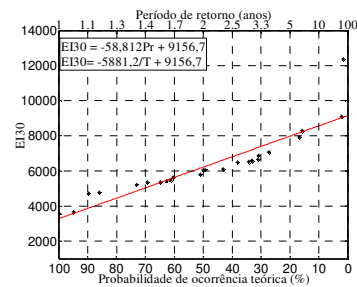
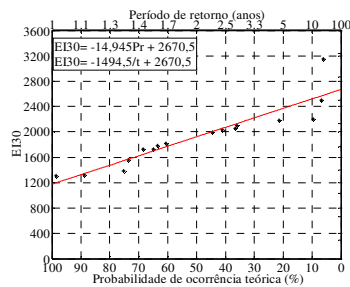
Tanguá - SERLA



Vassouras- INMET

Xerém - SERLA

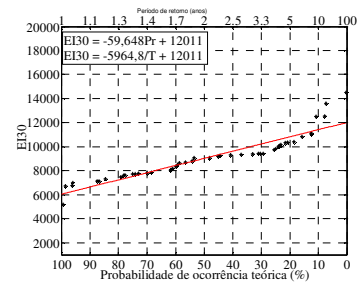
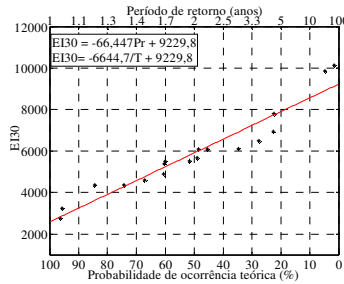
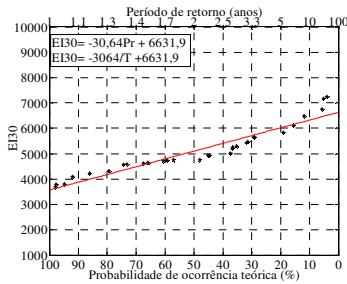
**Anexo L:** Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas, pelo índice  $EI_{30}$  para as estações localizadas na Mesorregião Metropolitana.



Campos/Farol de São Tomé – INMET

Macaé - INMET

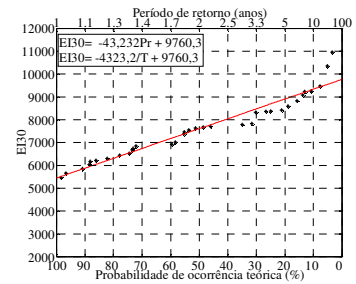
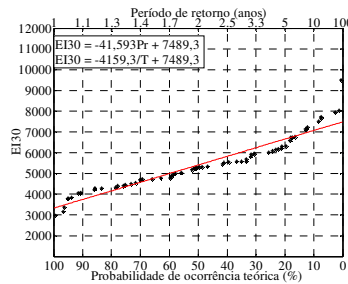
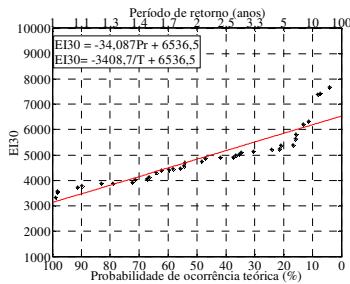
**Anexo M:** Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas, pelo índice  $EI_{30}$  para as estações localizadas na Mesorregião Norte Fluminense.



Manuel Duarte

Piraí - INMET

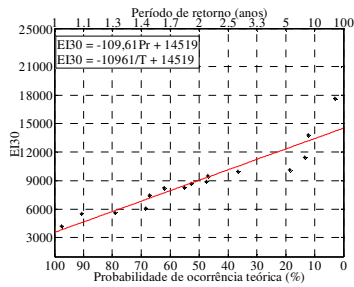
Resende – INMET



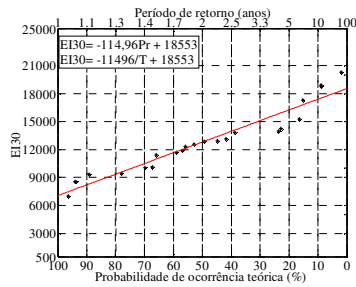
Ribeirão das Lajes - LIGTH.

E. Santa Cecília - LIGTH.

Santa Isabel do Rio Preto

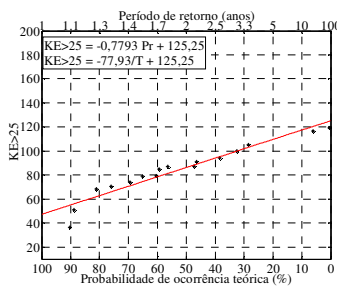


Tocos – LIGTH



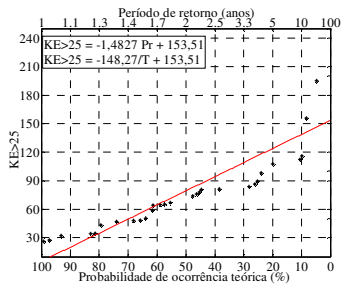
Vila Mambucaba

**Anexo N:** Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas, pelo índice EI<sub>30</sub> para as estações localizadas na Mesorregião Sul Fluminense.

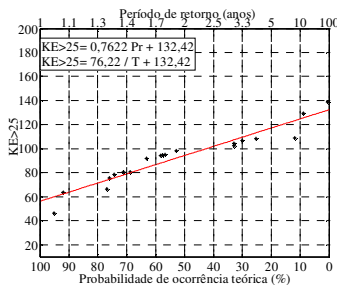


Rio Mole – SERLA

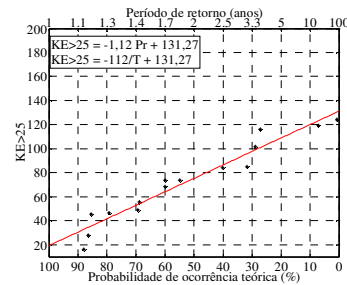
**Anexo O:** Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas por meio do índice KE>25 na Mesorregião Baixadas Litorâneas.



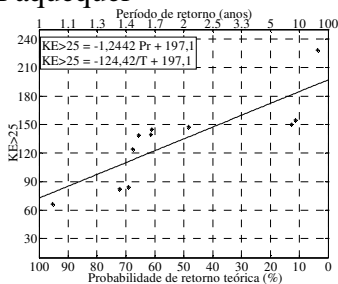
Carmo/Paquequer



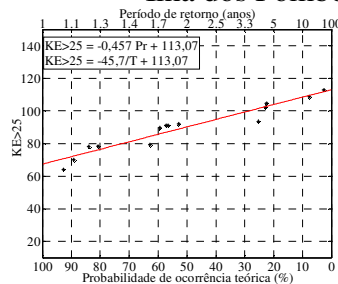
Cordeiro



Ilha dos Pombos - LIGTH

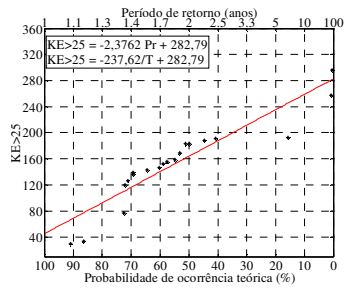


Nova Friburgo / Conselheiro Paulino – INMET

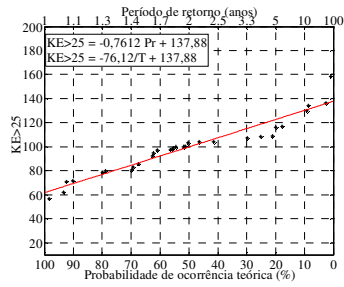


Sta Mª Madalena - INMET

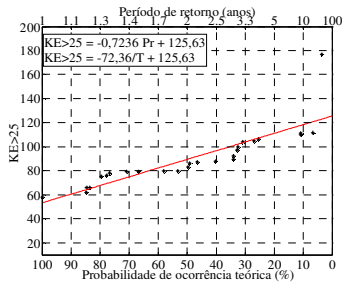
**Anexo P:** Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas, medidos pelo índice KE>25, para estações Localizadas na Mesorregião Centro Fluminense.



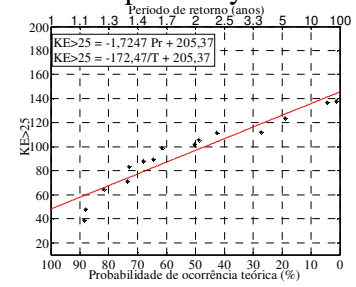
Andorinhas



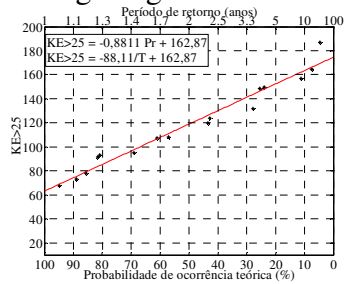
Cachoeiras de Macacu



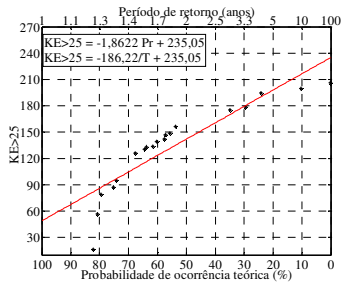
Capela Mayrink



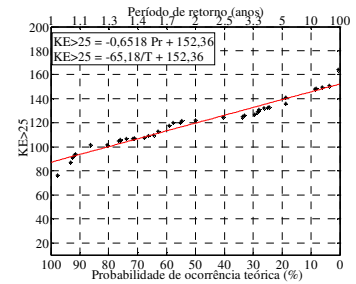
Ecologia Agrícola - INMET



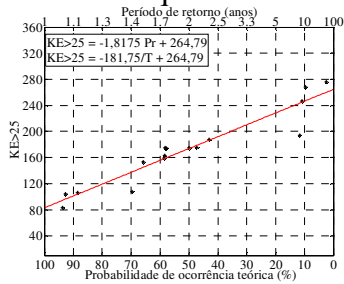
Eletrobrás - SERLA



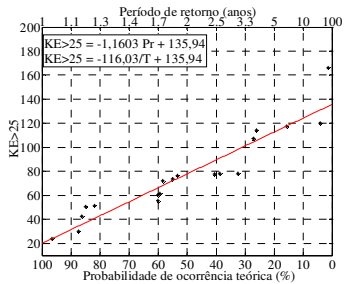
Escola União - SERLA



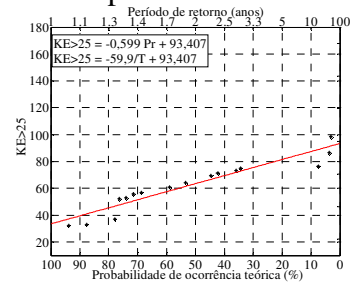
Fazenda Coqueiro - SERLA



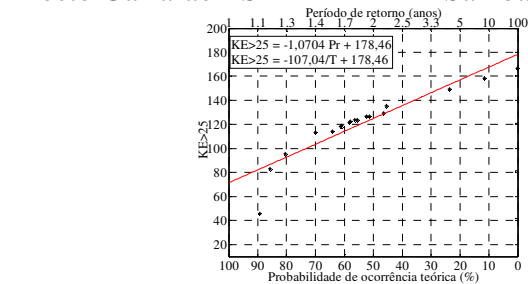
Faz. Santo Amaro - SERLA



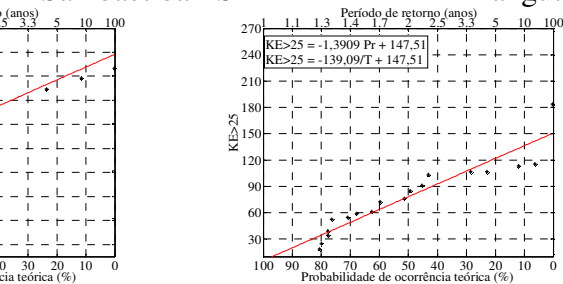
Japaíba - SERLA



Posto Garrafão - SERLA



Sambaetiba - SERLA

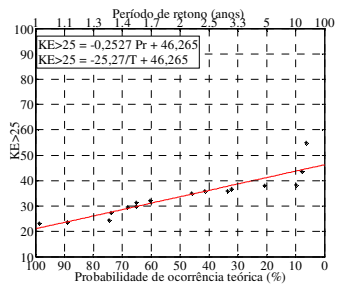


Tanguá - SERLA

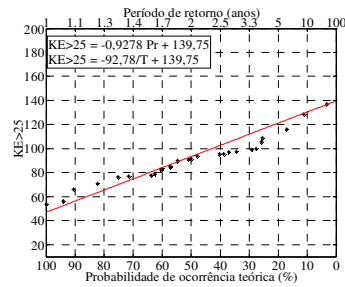
Vassouras - INMET

Xerém - SERLA

**Anexo Q:** Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas, medidos pelo índice  $KE>25$ , para estações Localizadas na Mesorregião Metropolitana.

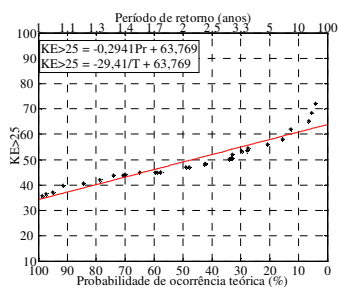


Campos/Farol de São Tomé

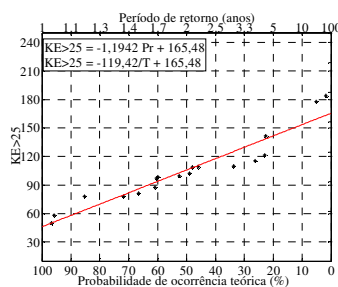


Macaé - INMET

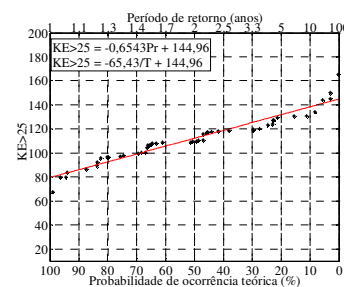
**Anexo R: Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas, medidos pelo índice KE>25, para estações Localizadas na Mesorregião Norte Fluminense.**



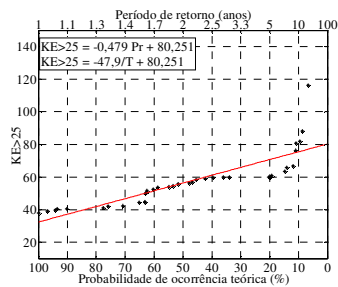
Manuel Duarte - ANA



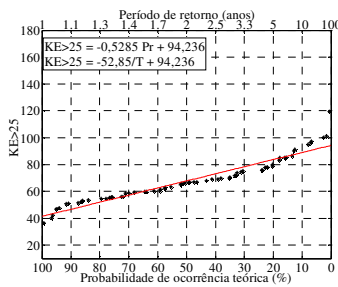
Piraí - INMET



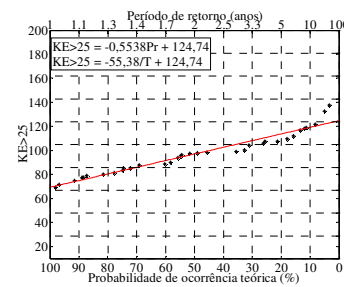
Resende - INMET



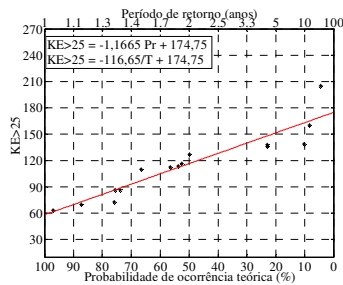
Ribeirão das Lajes - LIGTH



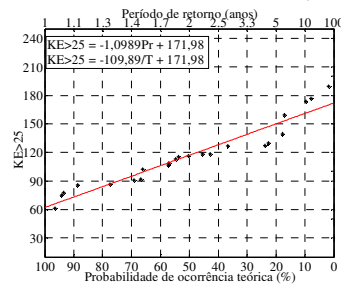
E. Santa Cecília - LIGTH



Santa Isabel do Rio Preto - ANA



Tocos - LIGTH



Vila Mambucaba - ANA

**Anexo S: Distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas, medidos pelo índice KE>25, para estações Localizadas no Sul Fluminense.**