

Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático USLE para avaliação de processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Caceribu – RJ.

Alexandre da Silva Ferreira¹
Cristiane Nunes Fransisco²

¹ Universidade Federal Fluminense - UFF
Caixa postal – 107092 – Niterói – RJ, Brasil
alexfergeo@yahoo.com.br

² Universidade Federal Fluminense - UFF
Caixa postal – 107092 – Niterói – RJ, Brasil
crisns@vm.uff.br

Abstract: This study evaluated the rate of loss of soil and carry out a mapping of water erosion in the basin of the river Caceribu, located in the State of Rio de Janeiro, using modeling of environmental systems and techniques of GIS. We prepared the maps of the factors erodibility (K), erosivity (R), slope and length of the ramp (LS) and the use and management and conservation practices (CP), applied to the mathematical model Universal Soil loess Equation (USLE) in order to secure the map of loss of land. The average loss of soil was approximately 57,9 thousand t.ha⁻¹.ano⁻¹ and the values per hectare reached 600 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Areas with losses between 100 and 600 t.ha⁻¹.ano⁻¹ match to 56 hectare, totaling 19,6 thousand t.ha⁻¹.ano⁻¹. Areas with losses of 0 to 0,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹ match for 63,623 ha, totaling 15,9 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Both represent 73% of river basin Caceribu while the other classes represent only 37%, providing a total of 22,4 t.ha⁻¹.ano⁻¹. In areas of river-sea plains are lost up to 5,0 t.ha⁻¹.ano⁻¹, due to the low value of the factor LS, which did not exceed 3,4. The Argisols are predominant with the values of K factor of 0,0425 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹. The average value of the R factor was 6035 MJ mm ha⁻¹.h⁻¹.year⁻¹ with the regional average, and the type of soil use is the predominant pasture or agriculture. Thus, it was possible to observe the existence of small units of intense weakness to the phenomenon of water erosion.

Palavras-chave: water erosion. Loess of soil. Environmental modeling. GIS. Erosão hídrica. Perdas de solos. Modelagem ambiental. SIG.

1. Introdução

A perda de solo por erosão hídrica consiste num dos principais problemas gerados pela ação antrópica. A falta de manejo adequado debilita os solos em grandes áreas funcionais à agricultura e à ocupação urbana, oriunda da falta de planejamento (Guerra, 1994).

Enquanto um processo, por sua natureza, a erosão apresenta uma complexidade peculiar aos fenômenos naturais, uma vez que, depende diretamente dos fatores ligados às características dos solos, à intensidade das chuvas e à presença de cobertura vegetal (Bertoni e Lombardi Neto, 1999), variando sua intensidade de acordo com os fatores naturais, das práticas conservacionistas complementares, e da atividade humana (Eltz et. al., 1977).

A aplicação de modelagem matemática e de geoprocessamento na análise de sistemas ambientais são recursos desenvolvidos a muitas décadas, enquadrando-se como procedimentos teóricos no uso de uma abordagem holística, por meio de avaliações quantitativas e qualitativas. A compreensão sobre a interação entre modelagem e o uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG), parte da premissa de que os estudos das séries temporais e das análises espaciais devem acontecer conjuntamente (Christofolletti, 1999).

¹ Especialista em Análise Ambiental pelo Departamento de Geociências da Universidade Federal Fluminense.

² Professora Dra. do Departamento de Geociências da Universidade Federal Fluminense.

2. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Caceribu, está localizada em sua grande parte, no município de Itaboraí e numa pequena porção dos municípios de Niterói, Rio Bonito, São Gonçalo e Tanguá, situados no Estado do Rio de Janeiro. O Rio Caceribu é um dos mais importantes, entre os 55 canais, que drenam a bacia da Baía de Guanabara, localizada entre os paralelos $22^{\circ}24'S$ e $22^{\circ}57'S$ e entre os meridianos $42^{\circ}33'W$ e $43^{\circ}19'W$, abrangendo uma área continental de aproximadamente 4600 km^2 e 400 km^2 de espelho d'água (**Figura 1**).

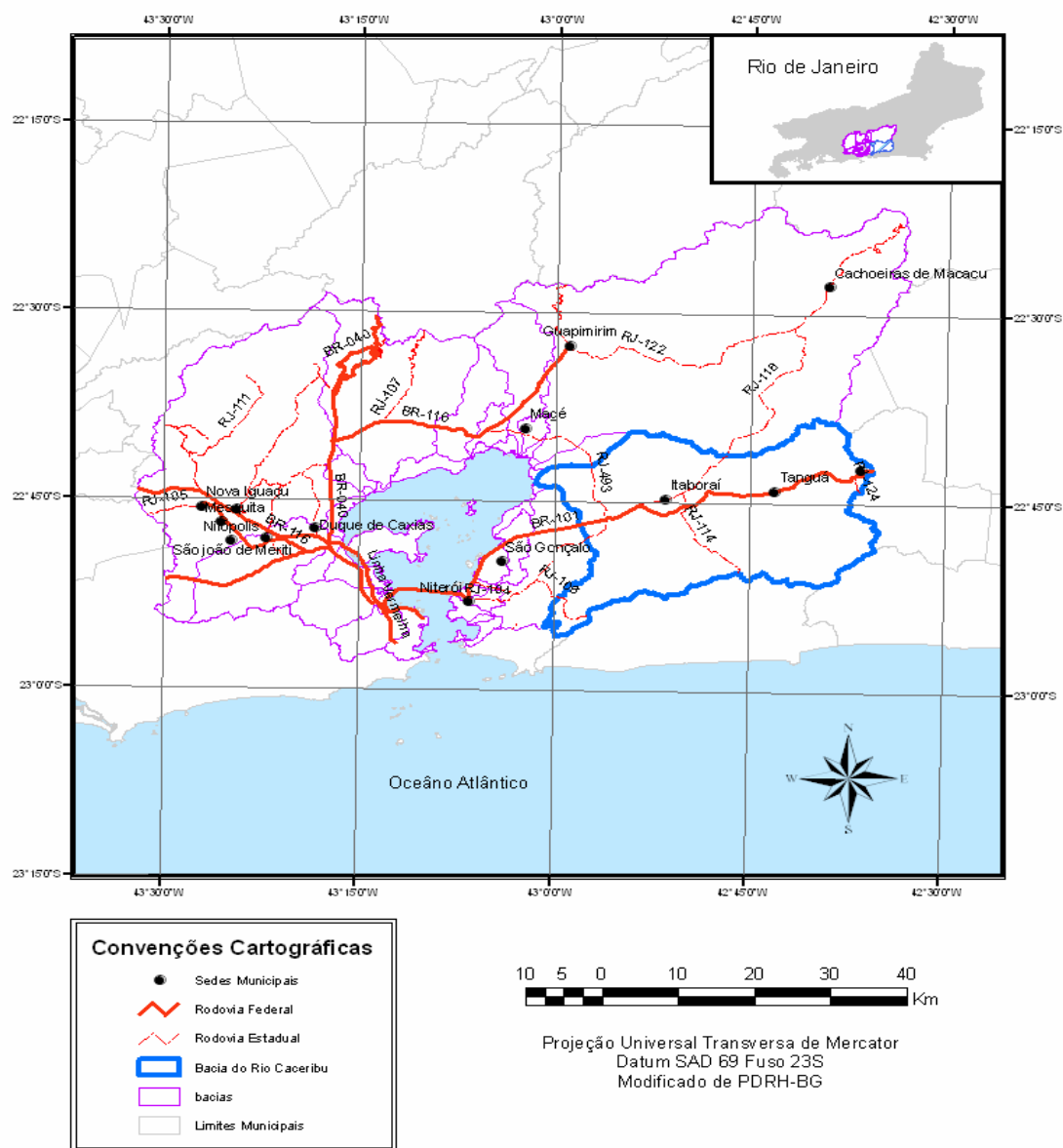


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: PDRH-BG, 2005.

Considerado um rio de 5ª ordem, pela classificação de *Straller*, apresenta um segmento de canal torrencial com perda gradativa de energia, passando a meandrar por uma extensa área de

planície costeira sob constantes influências de marés nas partes próximas ao mar. É uma região fisiográfica sobre um compartimento tectônico rebaixado e coberto por sedimentos de idade cenozóica, limitado a leste pelas elevações das Serras do Sambé, Botija e de Rio Bonito. É ocupada pela Mata Atlântica e por extensas áreas de manguezais (APA de Guapimirim) nas desembocaduras dos rios com condições de clima quente e chuvoso, tipicamente tropical, com médias de chuvas anuais entre 1200 e 1600 mm (Amador, 1997).

Como parte integrante da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, apresenta uma concentração populacional que ultrapassa os 3000 hab./km², remanescente de um histórico ocupacional de intensa exploração econômica, voltados para o cultivo da cana-de-açúcar, do café e da extração de argilas para a produção de cerâmicas, estando atualmente voltada para agricultura e pastagem (Amador, 1997; Dias, 2003). Nesta região, também estão sendo implantadas as instalações do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ), promovendo rápido crescimento populacional e ocupação das extensas planícies costeiras.

3. Materiais e Métodos

A metodologia empregada consistiu na elaboração de um SIG referente aos fatores K, R, L, S, C e P, descritos no modelo matemático *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, aliadas às técnicas de geoprocessamento realizadas no software *Arcgis 9.2*.

O modelo *USLE*, desenvolvido por Wischmeier e Smith (1978), aparece representado na **Equação 1**.

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

Onde, A é a estimativa de perda de solo em t/ha/ano; R é o fator erosividade que discrimina o índice de erosão causado pela chuva em MJ/ha.mm/ha; K é o fator erodibilidade dos solos que relaciona a perda de solo sob diversos cultivos, num declive de 9% com comprimento de rampa de 25 m em t/ha/(MJ/ha.mm/ha); LS é o fator comprimento de rampa e inclinação da encosta que equaciona o comprimento da encosta em metros a um declive padrão de 9%; CP é o fator uso e conservação do solo que relaciona o tipo de cultura em áreas completamente ocupadas por vegetação à áreas com solos inteiramente expostos.

O fator erodibilidade dos solos (K) resultou da identificação das classes de solos na bacia do Rio Caceribu, levantados pelos relatórios do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (PDRH-BG, 2005), disponível na escala 1:250.000 pelo IBGE e pela Fundação CIDE. Em seguida foi elaborado um arquivo matricial contendo os valores já calculados de erodibilidade para cada classe de solo, obtidos do banco de dados para o Estado de São Paulo, construídos por Silva e Álvares (2005).

O fator erosividade das chuvas foi obtido segundo o método apresentado por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) e Bertoni e Lombardi Neto (1999), utilizando a **Equação 2**.

$$R = \Sigma EI = \Sigma \{ 67,355 * (p/P)^{0,85} \} \quad (2)$$

Onde, R é a erosividade anual da área (MJ.mm/ha.h.ano); EI é o índice médio de erosividade mensal (MJ.mm/ha.h.mês); p é a precipitação total média mensal (mm); P é a precipitação total média anual (mm). Os dados pluviométricos utilizados nos cálculos dos índices de erosividades foram obtidos no portal eletrônico da Agência Nacional de Águas (ANA), referentes a 11 estações pluviométricas, localizadas nos municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí, Niterói, Maricá, Rio de Janeiro, Rio Bonito, Saquarema e Tanguá, englobando toda a área de estudo. Em seguida foi elaborado um arquivo matricial com os

valores de erosividades obtidos por interpolação no software *Arcgis 9.2*, através do método *Spline*.

Os dados utilizados para o cálculo do fator topográfico (LS) foram extraídos do MDE da imagem SRTM editada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), referente à cobertura da Folha SF-23-Z-B, disponível gratuitamente em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/index.htm>. Foram criados os mapas de declividade e orientação de vertentes. Em seguida, foram reclassificados em intervalos de 0 a 3% (plano), 3 a 6% (plano a suave-ondulado), 6 a 12% (suave-ondulado a ondulado), 12 a 20% (ondulado a forte ondulado), 20 a 40% (forte ondulado a montanhoso) e maior que 40% (montanhoso). O mesmo procedimento foi adotado para a criação do mapa de orientação de vertentes com oito intervalos de 45°, a partir do azimute (norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste), onde o valor zero (0) foi atribuído às áreas planas. O mapa de comprimento de rampas (fator C) foi gerado utilizando a **Equação 3** proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999).

$$C = h / \text{sen } \alpha \quad (3)$$

Onde, C é o comprimento de rampa em metros (m); h é a diferença de altura da rampa em metros (m); α é a declividade média do polígono em graus (°). O mapa do fator LS (topográfico) foi gerado fazendo uso da **Equação 4** criada por Bertoni e Lombardi Neto (1999), que estima os fatores L e S de forma combinada.

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} D^{1,18} \quad (4)$$

Onde, LS é o fator topográfico (adimensional); C é o comprimento de rampa em metros (m); D é o grau de declive em porcentagem (%).

Para determinação do fator (C) uso e manejo dos solos e fator (P) práticas conservacionistas, também foram utilizados os arquivos disponibilizados pelo PDRH-BG (2005) em escala 1:250.000. Para cada tipo de uso do solo e de prática de conservação foram atribuídos valores que variaram de 0 a 1 obtidos em trabalhos voltados para determinação das influências dos usos dos solos sobre as perdas por erosão.

4. Resultados e Discussão

Na **Figura 2** podemos observar a existência de uma extensa área com valores atingindo $5,0 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, correspondendo a aproximadamente 78% da área da bacia do Caceribu. As perdas de solos entre $0,5$ até $100,0 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, foram identificadas em 20% da área desta bacia hidrográfica, enquanto as perdas entre 100 e $600 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ corresponderam a pouco menos 1%. Dos 81,4 hectares da bacia do Rio Caceribu, excetuando os 1.260 hectare correspondentes aos rios e lagos, as maiores perdas solos provêm das áreas classificadas entre 100 até $600,0 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ com um total anual de 19,6 mil $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e das áreas classificadas entre 0 até $0,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ com um total de 15,9 $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Enquanto a primeira área apresenta apenas 56 hectares, a segunda tem 63.623 ha, representando 73% da área da bacia do Caceribu. As demais classes representam 37% desta bacia hidrográfica fornecendo uma média de $22,4 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Isto indica a existência de pequenas unidades de intensa fragilidade ao fenômeno da erosão hídrica. Na **Tabela 1** podemos observar que os valores médios anuais de perdas de solos da bacia do rio Caceribu foram de 57,9 mil Toneladas para uma área total de 81,4 mil hectares. Segundo os valores de perdas mínimas de solos, temos uma média de 0,228 Toneladas para cada um hectare da área de estudo ao ano, enquanto são perdidos, no

máximo, 1,19 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Também podemos notar que os totais médios anuais oscilaram entre o mínimo de 303,75 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e o máximo de 19.561,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹, indicando uma grande variabilidade do fenômeno da erosão hídrica na área de estudo.

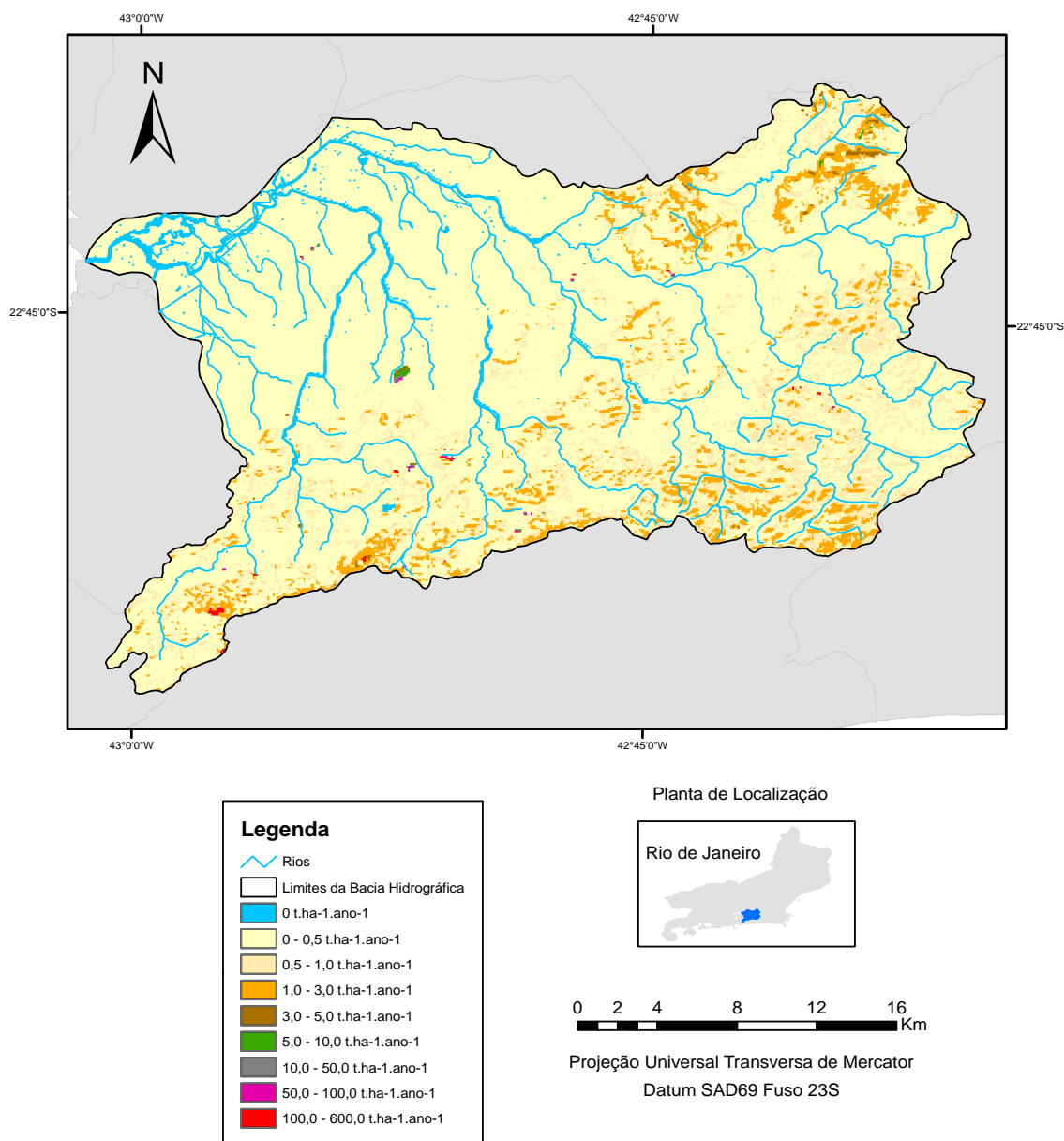


Figura 2. Mapa de perda de solo anual da bacia do Rio Caceribu.

A classe dos Argissolos é predominante na bacia do Rio Caceribu, ocupando, aproximadamente, 69% de sua área total, com valores de erodibilidade de 0,0425 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹. As classes dos Latossolos e dos Planossolos representam 17% desta área. Os valores de erodibilidade dos Latossolos foi de 0,0162 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ e dos Planossolos de 0,0097 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹. Os Argissolos e os Latossolos, quando combinados ao relevo plano ou suave ondulado, apresentam baixos índices de erosão por manterem boas taxas de drenabilidade, enquanto os Planossolos sempre são comuns às planícies de inundações dos rios, pouco contribuindo em erosão.

Tabela 1. Taxa média e total anual de perdas de solos da bacia do rio Caceribu.

Classes de perdas de solos (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Área (ha)	Área Relativa (%)	Perdas médias (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
0	1260	1,5	0
0,1 - 0,5	63623	78,2	15905
0,5 - 1,0	11011	13,5	8258
1 - 3,0	5130	6,3	10261
3 - 5,0	144	0,18	579
5 - 10,0	40	0,05	303
10 - 50,0	29	0,04	874
50 - 100,0	28	0,03	2126
100 - 600,0	55	0,07	19561
Total	81324	100	57871

Nas áreas de manguezais (APA de Guapimirim) ou em áreas sob constante alagamento marinho ou fluvial, aparecem os Gleissolos e os solos indiscriminados de mangue, correspondendo, respectivamente, a 5% e 3% da área de estudo. Os Gleissolos apresentam baixos valores de erodibilidade (0,0361 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹), enquanto nos solos indiscriminados de mangues são incomuns as perdas de materiais particulados por erosão.

Na bacia do rio Caceribu foram identificadas duas áreas distintas concernentes ao processo erosivo: as planícies flúvio-marinhas, onde os valores de erosão não ultrapassaram os 0,5 t. ha⁻¹.ano⁻¹ e as áreas de relevo forte-ondulado a montanhoso onde chegaram até 600 t. ha⁻¹. ano⁻¹. As áreas de manguezais pertencentes à APA de Guapimirim mantiveram valores de erosão muito baixos, inferiores a 0,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Os reduzidos valores de perdas de solos foram atribuídos aos baixos índices de inclinação do relevo, ficando no geral, abaixo dos 20%. Estes reduzidos valores de declividade refletiram na diminuição do Fator LS, o qual alcançou o valor de 3,4.

Na **Tabela 2** encontram-se os dados pluviométricos e os valores anuais médios de erosividade de chuva das 11 estações pluviométricas utilizadas na interpolação do Fator R. O índice médio de erosividade foi de 6.035 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, com grande parte da área de estudo posicionada numa faixa de erosividade variando de 5.231 até 5.766 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Os dados de erosividade mantiveram-se dentro das médias encontradas por Franco et al. (2004), Gonçalves et al. (2006) e Montebeller et al. (2007) para o Estado Rio de Janeiro, variando de 4000 até 16.000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

Na **Tabela 3** estão relacionados os valores do Fator CP adotados, onde se pode observar que a bacia do Rio Caceribu, mantém 70 % da sua área utilizada para pastagem ou algum tipo de agricultura.

Tabela 2. Dados das estações pluviométricas e dos dados de chuvas coletados para elaboração do fator R.

Estação	Período (anos)	Índice pluviométrico médio (mm)	Índice IE30 (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano)
Estação Imunana	1968-2006	1418	6422
Itaboraí	1967-1977	1195	5452
Japuiba	1968-2005	1791	7944
Japuiba (P-37R)	1977-1994	1696	7475
Manual Ribeiro	1968-2005	1321	5478
Niterói	1955-1970	1209	5622
Paquetá	1966-1980	1199	5642
Rio Bonito	1942-1953	1103	5202
Sambaetiba	1978-1994	1474	6592
Saquarema	1980-1994	1006	4379
Tanguá	1977-1994	1383	6175
Média		1345	6035

O uso urbano ocupa um total de 12% da bacia do Rio Caceribu, enquanto 15% desta área correspondem a áreas de alagados, manguezais, rios, lagos, florestas e reflorestamento. Desta maneira, podemos observar uma baixa concentração populacional na área de estudo, o que de certa forma, não minimiza os efeitos antrópicos sobre o meio ambiente.

Tabela 3. Usos dos solos da bacia do Rio Caceribu.

Classe	Área Relativa (%)	Fator CP
Afloramento Rochoso	0,07	0,0001
Agricultura/Pastagem	73,16	0,005
Área de Mangue	2,33	0,0001
Área Urbana	11,92	0,0001
Campo Inundável	0,43	0,0001
Corpos Hídricos	0,91	0,000
Floresta	10,96	0,001
Reflorestamento	0,21	0,004
Solo Exposto	0,01	1,000
Total	100	

5. Conclusões

O uso do modelo *USLE* aliado às técnicas de geoprocessamento apresentam importantes aplicações na análise ambiental em áreas extensas como bacias hidrográficas.

A variação das perdas de solos na bacia do Rio Caceribu variaram de 0 até 600 t.ha⁻¹.ano⁻¹, com um valor médio total de 57,9 mil Toneladas por ano. Os valores de erodibilidade foram

de 0,0425 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ em 69% da bacia do rio Caceribu, devido o predomínio da classe dos Argissolos. Os índices médios de erosividade foram de 6.035 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ano⁻¹, ficando dentro da média obtida por outros pesquisadores, tais como Franco et al. (2004), Gonçalves et al. (2006) e Montebeller et al. (2007). O fator LS, inferior a 3,4, foi determinante para a redução das perdas de solos devido à baixa inclinação do terreno, raramente ultrapassando 20%, caracterizando uma vasta área de planície.

6. Referências Bibliográficas

- AMADOR, E. S. **Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: homem e natureza**. Tese de Doutorado. PPGG – Instituto de Geociências/UFRJ, Ed. Reproarte Gráfica e Editora, 1997. 539 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos solos**. 4ª edição. São Paulo: Ícone, 1999, 335 p.;
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo. 1999. 236 p.;
- CONSÓRCIO ECOLOGUS AGRAR. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Baía de Guanabara**, Rio de Janeiro – out. 2005 Relatório Final – Síntese;
- DIAS, O. **Pesquisas Arqueológicas do Projeto SAGAS e Seu Contexto Histórico**. Instituto de Arqueologia Brasileira – Séries Monografias. Nº 3. Rio de Janeiro, p.48 – 82. 2003;
- ELTZ, F. L. P.; COGO, N. P.; MIELNICZUK, J.; Perdas por Erosão em Diferentes Manejos de Solo e Coberturas Vegetais em Solo Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico (São Jerônimo). I. Resultados do primeiro ano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.1, p. 123 – 127, 1977;
- FRANCO, E. M.; MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; VALCARCEL, R.; CEDDIA, M. B. (2004) Índices de Erosividade EI30 e KE>25 para o Estado do Rio de Janeiro – 2ª aproximação. *In*: Reunião Brasileira de Manejo de Conservação do Solo e da Água, XV. **Resumo expandido...** UFSM. Santa Maria, RS. 2004. V1. p.5-8. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 02 de agosto de 2008;
- 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 Agricultura Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 269 – 279, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/>>. Acesso em: 02 de agosto de 2008;
- GUERRA, A. J. T.; DA CUNHA, S. B. (org.); **Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93 – 199, 1994;
- LOMBARDI NETO, F. MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da Chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Conservação dos Solos**. Bragantia, Campinas – São Paulo. 1992. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 02 de agosto de 2008;
- MONTEBELLER, A. C.; 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, n.2, p.426-435, maio/ago. 2007; Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/>> Acesso em: 02 de agosto de 2008;
- SILVA, A. M. & ALVARES C. A. Levantamento de Informações e Estruturação de Um Banco de Dados Sobre a Erodibilidade de Classes de Solos no Estado de São Paulo. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 24, n .1 p. 33 – 41, 2003. Disponível em:<<http://petro.rc.unesp.br/revistageociencias/>>. Acesso em: 02 de agosto de 2008.
- WISCHMEIER W. H., Smith, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to Conservation Planning**. Washington: USDA/ARS (Agricultural Handbook nº 537), 1978. 58p. Disponível em: <<http://www.nal.usda.gov/ref/USDApubs/aghdbk.htm>>. Acesso em: 18 de março de 2008.