

Estimativa de perda de solo distribuída em uma bacia hidrográfica de pequeno porte através de técnicas de geoprocessamento

Kassius Vinissius de Moraes Costa¹

Artênio Cabral Barreto¹

Sávio de Brito Fontenele¹

Luiz Alberto Ribeiro Mendonça¹

¹ Universidade Federal do Ceará – UFC

Av. Tenente Raimundo Rocha, S/N, Cidade Universitária - 63000-000 - Juazeiro do Norte - CE - Brasil

kassuis.morais@gmail.com; {art_barreto, savio.fontenele} @hotmail.com; larm@ufc.br

Abstract. This study estimated the annual loss of soil distributed on a catchment, located in Cariri, Ceará, using GIS and USLE quantitative model in an integrated form. Delimited to the catchment area of São José - BHSJ through the digital elevation model of the Shuttle Radar Topography Mission - SRTM using Arc Hydro® Tool Arc GIS® software. Soil losses were estimated by USLE. The maps generated for the parameters R, K, LS and C are obtained from data spatially. The factor P was admitted as 1.0 because there were no measures to control erosion. To evaluate the results of soil loss with susceptibility to erosion, the values obtained were classified according to levels of susceptibility to erosion. Most erosivity was calculated in EP3 (1,804 MJ mm ha⁻¹ yr⁻¹), due to higher rainfall recorded this season. The use and occupation of land presents undergrowth next to the beds of rivers due to intense exploitation of these areas for agriculture. The area of conurbation between Crato and Juazeiro shows the transformation of this growing rural urban basin. The geoprocessing tools to perform a fast parameterization allowed the factors of USLE. The use of SRTM for obtaining the topographic factor proved to be a good alternative, since obtaining such factor is time consuming manual way. Unprotected areas of vegetation and hillside areas with high slope present themselves as the most susceptible to erosion.

Palavras-chave: USLE, GIS, map algebra, Cariri cearense, EUPS, SIG, álgebra de mapas, Cariri cearense.

1. Introdução

A erosão é um processo natural que faz parte da evolução do relevo do planeta e consiste basicamente de três etapas: desagregação do solo, transporte de partículas desagregadas e depósito de partículas nas áreas mais baixas. Estudos sedimentológicos são importantes aos planos de conservação de solo e água (Melo et al., 2008).

Estimativas de perda de solo podem ser realizadas por meio de diversos modelos que permitem identificar processos erosivos mais acentuados, favorecendo a tomada de decisão e facilitando o planejamento da rede de monitoramento sedimentológico (Santos et al., 2001). O modelo empírico amplamente utilizado na predição de perdas de solo é a Equação Universal da Perda de Solo (acrônimo inglês, *USLE*), desenvolvida com base em dados de escoamento superficial e perda de solo em mais de 10.000 parcelas experimentais sob condições de chuva natural e simulada (Mamede, 2002; Amorim et al., 2009). Para estimativas espacializadas dos parâmetros da *USLE*, faz-se necessário a utilização de produtos da geotecnologia denominados Sistemas de Informações Geográficas – SIGs. Os SIGs permitem analisar e apontar áreas de maior vulnerabilidade a erosão em uma bacia hidrográfica de maneira rápida e dinâmica, minimizando custos e tempo (Silva e Marcola, 2011).

Este trabalho teve como objetivo estimar a perda de solo anual distribuída em uma bacia hidrográfica, localizada no Cariri cearense, utilizando o SIG e o modelo quantitativo USLE de forma integrada.

2. Metodologia do trabalho

2.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do São José – BHSJ está inserida no semiárido do nordeste brasileiro, região sul do Estado do Ceará, sub-bacia do Salgado, abrangendo uma área de aproximadamente 41 km², congregando áreas inerentes aos municípios integrantes da região metropolitana do Cariri (Barbalha, Crato e Juazeiro do Norte) (Figura 1).

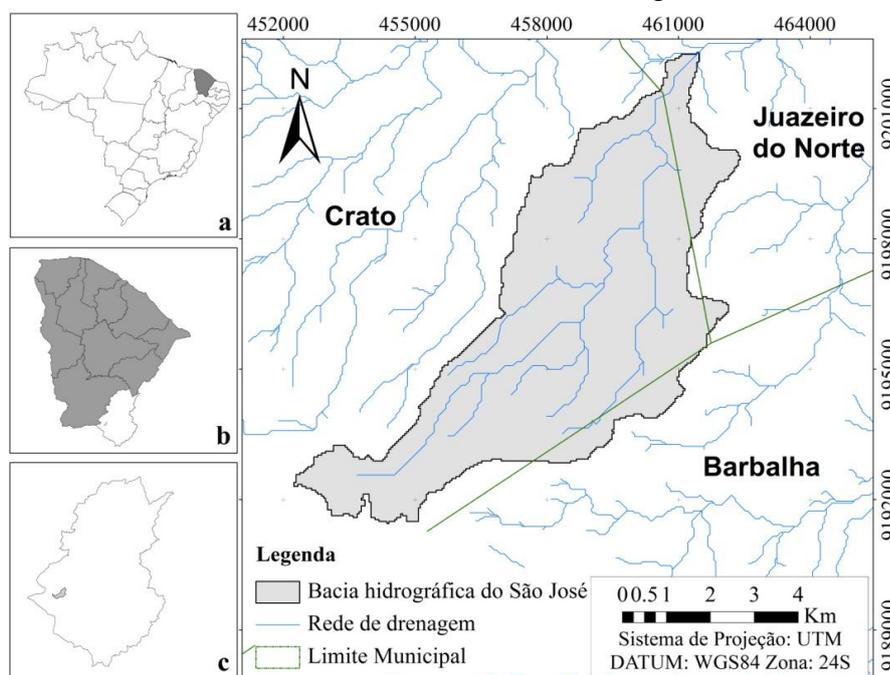


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do São José. Em ‘a’, o Estado do Ceará destacado no mapa do Brasil; em ‘b’, o Ceará em sub-bacias, com destaque para a Sub-bacia do Salgado, a Sudeste; e em ‘c’, a BHSJ exibida no interior da Sub-bacia do Salgado.

A BHSJ é formada por cursos d’água que surgem na encosta da chapada do Araripe (caracterizada por declividades elevadas em solo espesso e pouco permeável que condicionam a uma drenagem densa e ramificada) e são conduzidos ao vale do Cariri (caracterizado por extensas aluviões e relevos suaves e solos que variam de arenosos a argilosos) (COGERH, 2005; ACEP, 1999).

De acordo com o sistema de classificação climática de *Köppen*, a BHSJ localiza-se em uma área de clima tropical chuvoso (Aw’), com temperatura média de 25°C. As precipitações ocorrem em regime irregular. A precipitação média anual na área é superior a 800 mm, com 70% concentrada nos meses de janeiro a maio (DNPM, 1996). A evapotranspiração potencial apresenta média anual de aproximadamente 1.400 mm (COGERH, 2011).

2.2. Delimitação da bacia hidrográfica

Delimitou-se a BHSJ através do Modelo Digital de Elevação - MDE, obtido pela NASA, através da *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*. Estes dados foram reamostrados através de geoestatística para uma resolução espacial de 45 m (*pixel*), usando-se o Datum – WGS 84, Projeção UTM, Zona 24S.

A missão *SRTM* disponibiliza as cartas do MDE gratuitamente através do site: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3.

Para a definição da rede de drenagem foi utilizada a ferramenta *Arc Hydro®* do software *Arc Gis®*. No passo de definição dos cursos d’água (*stream definition*) utilizou-se um *threshold* de 45 células, que representa 0,09 km² como valor mínimo de área que origina um curso d’água.

2.3. USLE para estimativa das perdas de solo com o uso do SIG

As perdas de solo foram estimadas pela *USLE* proposta por Wischmeier e Smith (1978) (Equação 1):

$$E = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Em que, E é a perda de solo em $\text{ton ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$; R é o fator de erosividade da chuva, em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$; K é o fator de erodibilidade do solo, em $\text{ton h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$; LS é o fator topográfico (adimensional); C é o fator de uso e manejo do solo (adimensional) e P é o fator práticas conservacionistas, também adimensional.

Os valores dos parâmetros R , K , LS e C foram estimados a partir de dados espacializados e tratados com ferramentas de SIG para a geração de mapas temáticos elaborados.

Para a quantificação e espacialização das chuvas na BHSJ foram instalados três pluviômetros *Ville de Paris*: um próximo ao centro da BHSJ (EP2), outro próximo ao exutório (EP1) e o terceiro na encosta da chapada (EP3) (Figura 1).

A espacialização da chuva foi determinada por um modelo linear que correlaciona os valores de precipitação e a distância dos pluviômetros ao exutório, gerando as isolinhas de precipitação. Para a obtenção do fator erosividade da chuva (R), foi utilizado o método proposto por Silva Filho (2003) para o Ceará (Equação 2).

$$Ei = 13,951 \cdot \left(\frac{Pm^2}{P}\right)^{0,915} \quad (2)$$

Em que, Ei expressa a erosividade em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{mês}^{-1}$, Pm é a precipitação mensal em mm e P a precipitação anual média (mm).

Os valores de erodibilidade do solo K foram obtidos através de dados da literatura proposto por NOGUEIRA (2000) referente aos tipos de solo presentes na BHSJ.

O mapa temático do fator topográfico LS foi gerado empregando-se dados do MDE fornecidos pela *SRTM* na equação proposta por Chair (2005) (Equação 3).

$$LS = 1,6 \cdot \left(\frac{Fac \cdot Res}{22,1}\right)^{0,6} \cdot \left(\frac{Sen(s-0,01745)}{0,09}\right)^{1,4} \quad (3)$$

Em que, Fac é o acúmulo de fluxo superficial; Res é a base do *SRTM* com uma resolução espacial de 45 m e s representa a declividade das células.

Para a determinação do uso e ocupação do solo na BHSJ foi utilizada uma imagem pré-processada do satélite *Landsat 5 sensor TM (Thematic Mapper)*, com quantidade mínima de nuvens e registro no dia 29/09/2011. Essa imagem, composta por sete bandas e resolução espacial de 30 m, foi obtida gratuitamente pela Divisão de Geração de Imagens – DGI do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, no sítio <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>.

Essa determinação do uso e ocupação do solo foi realizada em três etapas distintas e subsequentes. Na primeira, realizou-se o pré-processamento da imagem orbital; na segunda, o reconhecimento em campo de cada uso do solo; e na terceira, a definição e o mapeamento das classes de uso e ocupação do solo.

Essa imagem foi segmentada utilizando-se o *software Spring 5.1*. Nesse procedimento, adotaram-se os parâmetros similaridade e área de respectivamente 15 e 20 *pixels*, conforme Quevedo et al. (2009). Essa segmentação divide a imagem digital em múltiplas regiões (conjunto de *pixels* de propriedades computacionais similares), com o objetivo de facilitar a análise. Após a segmentação, atribuiu-se o uso do solo com base em visitas de campo. As imagens de satélite foram classificadas através do algoritmo *Isoseg*, considerando um limiar de aceitação de 99% em cinco iterações. Nessa classificação, as regiões homogêneas foram

agrupadas em classes temáticas. Posteriormente, converteu-se cada classe do formato vetor (*shapefile*) para *raster*, utilizando a coluna do fator cobertura vegetal.

Para cada tipo de cobertura de solo definido na BHSJ foram adotadas médias de valores obtidos na literatura consultada (Creutzfeldt, 2006; Albuquerque et al., 2005; Martins et al., 2010; Silva, 2004).

O fator *P* de práticas conservacionistas foi admitido como 1,0 para toda a bacia, uma vez que não se observaram medidas de controle de processos erosivos na BHSJ.

Visando avaliar os resultados obtidos de perda de solo com susceptibilidade à erosão, os valores obtidos foram classificados de acordo com os níveis de susceptibilidade a erosão proposta por FAO (1980).

3. Resultados e Discussão

3.1 Fator erosividade da chuva (*R*)

O posto EP3 (Figura 2), registrou cerca de 740 mm precipitados durante o período monitorado. A diferença da precipitação registrada na EP3 em relação a EP1 é de aproximadamente 165 mm. De acordo com IPECE (2007), o clima da BHSJ é caracterizado por duas zonas distintas, com predominância do clima Tropical quente semiárido brando (EP1 e EP2) e Tropical quente subúmido (EP3), justifica a discrepância entre os registros pluviométricos observados. Essa transição de tipos climáticos mostra a importância da chapada do Araripe no clima regional, funcionando como um barlavento, intensificando o efeito orográfico e o índice de precipitações em seu entorno (FUNCEME, 2006).

A erosividade anual (Figura 2) calculada em EP1 foi de 1.195 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹, na EP2 foi de 1.535 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹ e para EP3 foi de 1.804 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹. Isso ocorre devido ao maior regime pluviométrico registrado em EP3.

3.2 Fator erodibilidade do solo (*K*)

De acordo com FUNCEME (2006), a BHSJ apresenta litologia diversificada, com a ocorrência de cinco tipos de solo: Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico (Figura 3).

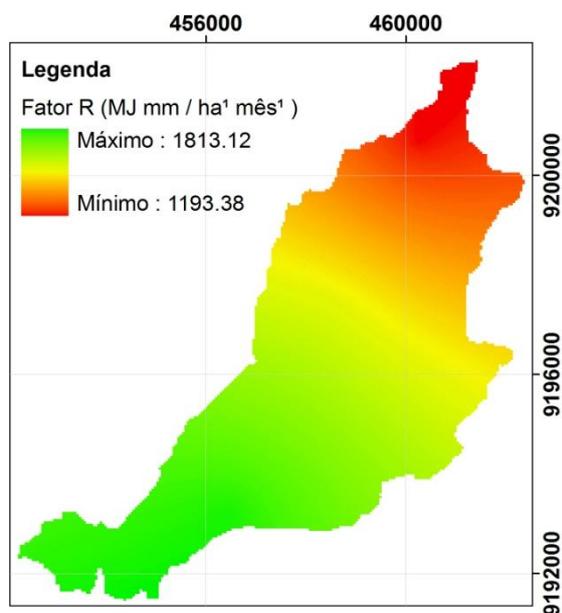


Figura 2. Espacialização do fator erosividade da chuva (*R*) na BHSJ.

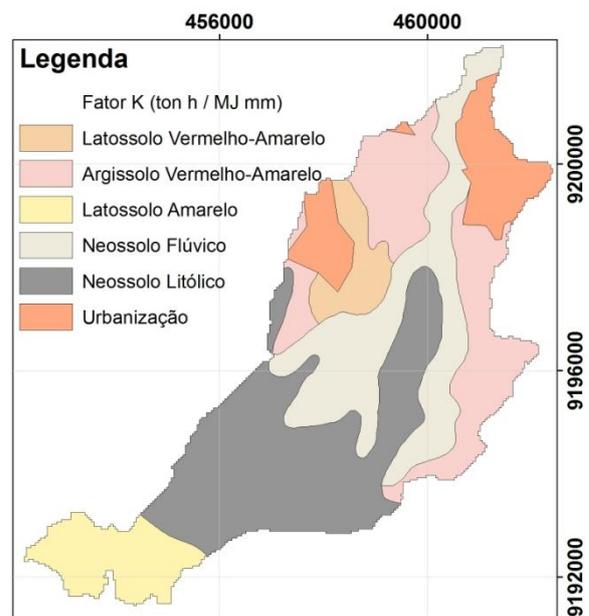


Figura 3. Mapa pedológico da BHSJ. Fonte: FUNCEME (2006).

De acordo com NOGUEIRA (2000) a erodibilidade dos Latossolos é de $0,017 \text{ ton h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, para os Argissolos o fator K é de $0,03 \text{ ton h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, para os Neossolos Litólicos é de $0,04 \text{ ton h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ e para os Neossolos Flúvicos é de $0,06 \text{ ton h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Esse fator é influenciado por características que afetam a capacidade de infiltração, a permeabilidade do solo e a capacidade do mesmo resistir ao desprendimento e transporte de partículas (Lombardi Neto e Bertoni, 1975). Como os solos se apresentam como basicamente arenosos, essas partículas são caracterizadas por possuir maior resistência à remoção devido ao peso e tamanho (Resende e Almeida, 1985).

3.3 Fator Topográfico (*LS*)

A topografia do terreno, ou seja, a declividade e o comprimento de rampa exercem acentuada influência sobre a erosão. O fator *LS* (Figura 4) constitui um parâmetro de difícil avaliação devido a diversidade topográfica e de manejo do local (Bertoni e Lombardi Neto, 2005).

3.4 Fator uso e manejo do solo (*C*)

O mapa de uso e ocupação do solo da BHSJ é apresentado na Figura 5. Observa-se que a vegetação rasteira, se apresenta predominantemente no centro da BHSJ, cobrindo $17,80 \text{ km}^2$ (referente a 43,60% da bacia), próximo aos leitos de rios, devido a intensa exploração dessas áreas para a agricultura e pecuária. Uma área de $3,21 \text{ km}^2$ (7,88%), definida como agricultura irrigada, está localizada no centro da BHSJ, em áreas de baixa declividade, solos profundos e fontes hídricas subterrâneas. A área de conurbação entre Crato e Juazeiro ocorre predominante próximo ao exutório da BHSJ, mostrando a crescente transformação dessa bacia rural em uma bacia urbana. A urbanização já cobre $2,71 \text{ km}^2$, equivalente a 6,65% da área da BHSJ. Os solos expostos, gerados pelo abandono de antigas áreas utilizadas para práticas agropecuárias, cobrem uma área de $1,90 \text{ km}^2$ (4,66% da BHSJ). A floresta úmida, localizada nas altas declividades da encosta da chapada do Araripe, estende-se por $2,25 \text{ km}^2$, equivalente a 5,51% da BHSJ. Os cerrados estão localizados nas áreas planas do platô da chapada do Araripe, abrangendo $3,66 \text{ km}^2$ (8,97%) da bacia. Áreas de caatinga (vegetação nativa do vale do Cariri) estão espalhadas nas partes baixas da BHSJ, onde se conseguiu preservar essa vegetação em uma área de $9,26 \text{ km}^2$, equivalendo a 22,70% da BHSJ.

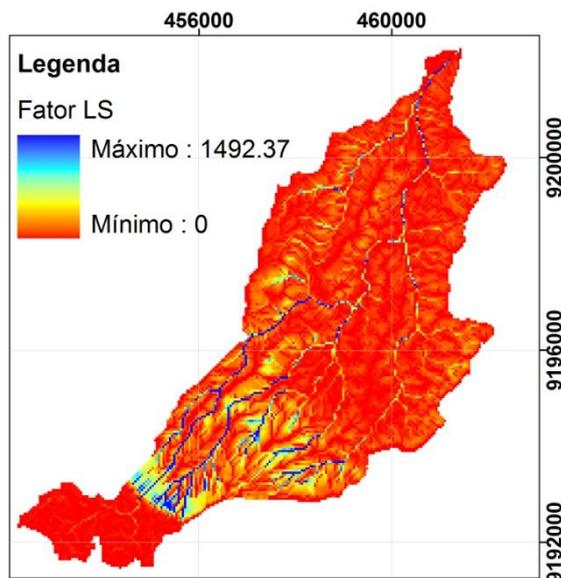


Figura 4. Mapa de espacialização do fator topográfico (*LS*).

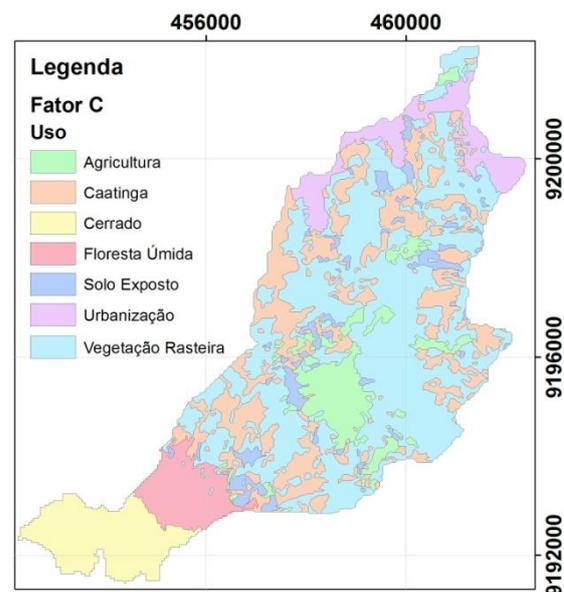


Figura 5. Mapa de uso e ocupação do solo da BHSJ.

3.5 USLE

O mapa de perda de solo mostra que 39,8% da área apresenta perda de solo baixa, menor que 10 ton ano⁻¹; 24,1% da área com perda de solo moderada, entre 10 e 50 ton ano⁻¹; 18,5% da área com de perda de solo alta, entre 50 e 200 ton ano⁻¹; e 17,6% da área com perda de solo muito alta, maiores que 200 ton ano⁻¹ (Figura 6).

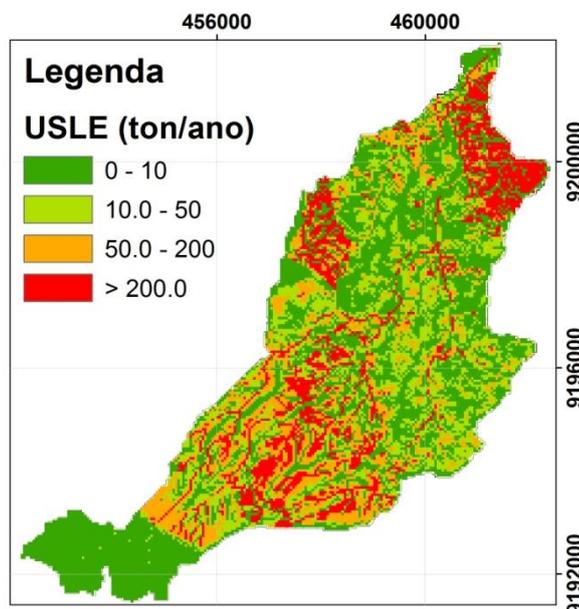


Figura 6. Estimativa de perda de solo distribuída na BHSJ, de acordo com a *USLE*.

4. Conclusões

A ferramenta de SIG mostrou-se adequada para a estimativa distribuída da perda de solo através do uso da equação universal de perda de solo – USLE, uma vez que permitiu realizar uma rápida parametrização dos fatores da equação citada.

A cobertura do solo da BHSJ é predominantemente de vegetação rasteira, mostrando que o uso potencial da bacia tanto pode ser para agricultura como para a pecuária.

O uso de dados SRTM para a obtenção do fator topográfico mostrou ser uma boa alternativa e muito viável, pois a obtenção desse fator de maneira manual é morosa.

Áreas desprotegidas de vegetação e áreas de encosta com declividade elevada apresentam-se como as mais susceptíveis a erosão.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor, ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro através do processo n° 483270/2010-5 e a UFC (Universidade Federal do Ceará) pelo apoio à realização deste estudo.

Referências Bibliográficas

ACEP. *Tecnologias agrícolas e de conservação ambiental para o topo da Chapada do Araripe*. Fortaleza: FINEP-BNB, 1999.

ALBUQUERQUE, A.W.; 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. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Amb.*, v.9, n.2, p. 153-160. 2005.

Amorim, R. S. S.; Silva, D. D.; Pruski, 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**. Editora UFV: Viçosa – MG, 2 ed. 2009. p.74-107.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (2005) *Conservação do solo*. 5. ed. São Paulo: Ícone Editora, 355 p.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. (2011) Modelagem matemática hidrogeológica do Aquífero Médio e do Aquífero Mauriti da região do Cariri, no Estado do Ceará. Relatório final do projeto. Fortaleza, 2011.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. (2005). Implantação do sistema de monitoramento/gestão de uma área piloto do aquífero Missão Velha, na Bacia Sedimentar do Araripe. Relatório final do projeto. Fortaleza, 2005.

Chair, L. Z. **Soil erosion modeling using the revised universal soil loss equation (rusle) in a drainage basin in eastern Mexico**. 2005. Disponível no site: <http://www.utexas.edu/depts/grg/hudson/grg360g/EGIS/labs_04/Lab9/lab9_soil_erosion_05.htm>. Acesso em: 15 out. 2012.

CREUTZFELDT, B. N. A. **Remote sensing based characterization of land cover and terrain properties for hydrological modeling in the semi-arid Northeast of Brazil**, 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Potsdam, Potsdam, abril. 104 p. 2006.

DNPM - *Departamento Nacional de Produção Mineral*. (1996). Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Recife. 101 p.

FAO. **Metodologia provisional para evaluation de la degradacion de los suelos**. FAO/PNUMA. UNEP. UNESCO. Roma. 1980. 86 p.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2006). Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará – Parte II: Mesoregião do Sul Cearense. Fortaleza: FUNCEME, 2006. 128 p.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. (2007). Ceará em Mapas. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acessado em: 29/05/2012.

Lombardi Neto, F.; Bertoni, J. (1975). “*Erodibilidade de solos paulistas*”. Campinas: Instituto Agrônomo, Boletim Técnico. n° 27. 12p.

Mamede, G. L. **Modelagem hidrossedimentológica com vistas a cenários de mudança global**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área de concentração Recursos Hídricos) Universidade Federal do Ceará. 2002. 90 p.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. **Rev. Scient. Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 517-526, 2010.

Melo, R. O. de; Cantalice, J. R. B.; Araújo, A. M.; Cunha Filho, M. Produção de sedimento suspenso de uma típica bacia hidrográfica semiárida. **Anais...** Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 8, Gravatá-PE, 2008.

NOGUEIRA, F. P. Uso agrícola sustentado das terras do município de Vera Cruz, SP: Proposta metodológica. Tese – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UEP – Rio Claro.

Quevedo, E. R.; Stefanos, M.; Paranhos Filho, A. C.; Quevedo, J. R.; Copatti, A. Aplicação da segmentação (*SPRING*) de imagens para avaliação ambiental multitemporal da bacia do Córrego Ceroula – MS, no período 1985 -2007. **Anais...** Simpósio de Sensoriamento Remoto, 14. 25-30 abr. 2009 Natal – RN. p. 1481-1488.

Santos, I.; Fill, H. D.; Sugai, M. R. S.; Buba, H.; Kishi, R. T.; Marone, E.; Lautert, L. F. C. **Hidrometria Aplicada**. LACTEC-Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 372p. 2001.

Silva, G. J. F.; Marcola, M. B. Avaliação espaço-temporal da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Miriri-PB. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, Curitiba PR. abr./maio 2011, INPE, p. 1803-1810.

Silva, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do rio Paracatu (MG / GO / DF). **Pesq. Agropec.Trop.** v. 34, n. 3, p. 147-159. 2004.

Resende, M.; Almeida, J. R. (1985). "*Modelos de Predição de Perdas de Solo: Uma ferramenta para Manejo e Conservação do Solo*". In Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v. 128, p. 38-54, 1985.

Silva Filho, A.V. **Equação de erosividade de chuva para o Estado do Ceará**. 2003. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC.

Wischmeier e Smith (1978) "Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning". Washington, USDA, 58p.