

## Mapeamento e análise multi-temporal da perda de solo por erosão na bacia de contribuição da represa do Rio Salinas, MG

Bárbara Mendes Oliveira <sup>1</sup>  
Ronaldo Medeiros dos Santos <sup>2</sup>  
Talita Moreira Câmara <sup>1</sup>  
Marcelo Rossi Vicente <sup>2</sup>  
Vinícius Orlandi Barbosa Lima <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Florestal pelo Instituto Federal Norte de Minas Gerais - IFNMG  
Faz. Varginha, Km 02 da rodovia MG 404. CEP. 39560-000 – Salinas – MG, Brasil  
barbara\_u2@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Federal Norte de Minas Gerais - IFNMG  
Faz. Varginha, Km 02 da rodovia MG 404. CEP. 39560-000 – Salinas – MG, Brasil  
ronaldo.medeiros@ifnmg.edu.br

**Abstract** - erosion is a natural process, but intensified by human activities, especially when enforces quick and/or disorderly changes in land cover natural patterns. Such changes alter the infiltration and runoff patterns, resulting, among other impacts, in the sediments inflow increase. In lakes, this process can result in serious consequences, such as loss of storage capacity, loss of the power generation potential and water quality degradation. The Salinas dam's lake well illustrates the presented scenario. Its watershed has been suffering a consistent land-use/land-cover change process. Although not having studies showing the changes speed and intensity, they are noticeable, resulting mainly from the waterfront occupation for small farms and agricultural activities. As the impacts generated by these activities have not yet been measured, there is an urgent need for pioneering studies, especially diagnostic and mapping. In this context, the present work aimed to map the temporal evolution of land-use/land-cover changes and soil loss due to laminar erosion, preliminarily analyzing the impact of such changes to the erosion processes in that region. The methodology is based on the multi-temporal land-use/land-cover mapping, by automatic classification of satellite images, and soil loss mapping, by Universal Soil Loss Equation - USLE applying. The major changes observed in the land-use/land-cover are related to natural areas - pastures conversion and, in general, soil loss in the study area was considered low. However, should be emphasized that the highest values concentrated in areas close to the upper reaches of the drainage net, setting a negative scenario for water resources conservation.

**Palavras-chave:** land-use/land-cover change, USLE, remote sensing, mudanças no uso/cobertura da terra, EUPS, sensoriamento remoto.

### 1. Introdução

Os processos erosivos são uma importante força modeladora do relevo. Este, por sua vez, exerce grande influência sobre o clima e, conseqüentemente, na distribuição espacial da vida ao longo das paisagens (Oliveira et al., 2008). Trata-se de uma relação circular, em que, por vezes, um processo tipicamente “agente” se torna em objeto da ação de um outro elemento. É o caso da água.

Ao mesmo tempo em que atua definindo a forma do relevo, em escala temporal geológica e humana, a água concentra ou agrega o resultado das ações, antrópicas ou naturais, que ocorrem ao longo da bacia hidrográfica, sendo a sua quantidade e qualidade o reflexo do estado de sanidade ambiental do meio em que circula (Frota e Nappo, 2012). Dentre os processos físicos, em nível de bacia hidrográfica, que mais atuam nesse sentido, encontra-se a erosão.

Desagregando camadas superficiais, intemperizando rochas expostas e carreando partículas, a erosão “destrói” os solos e transporta para rios e lagos uma grande quantidade e variedade de elementos físicos e químicos, fazendo com que os impactos também sejam variados. Segundo Guimarães e Santos (2007), poluição/contaminação, eutrofização e

assoreamento de fontes superficiais de água, estão entre os principais. Trata-se de um fenômeno natural, porém, intensificado pela ação do homem sobre o meio, sobretudo no processo de ocupação e transformação do espaço (Frota e Nappo, 2012).

Mudanças no uso/cobertura da terra alteram os padrões naturais de infiltração e escoamento superficial, resultando no aumento do aporte de sedimentos e na aceleração dos impactos anteriormente citados (Frota e Nappo, 2012). Os rios, por se consistirem em ambientes lóticos, onde as velocidades de escoamento são normalmente altas, têm maior capacidade de recuperação, pois, de certa forma, transferem o problema para jusante.

No caso de lagos, as conseqüências podem ser maiores e, até mesmo, irreversíveis. Perda da capacidade de armazenamento, do potencial de geração de energia elétrica e da qualidade da água para diferentes usos, são exemplos do que acontece nesse tipo de ambiente aquático; cuja resiliência é baixa, devido a baixas velocidades de escoamento ou inexistência de fluxos de saída ou descarga (Guimarães e Santos, 2007). O lago da represa de Salinas, resultante de um barramento sobre o rio de mesmo nome, bem ilustra o cenário ora apresentado.

Formado no início da década de 90, após a conclusão da represa, a bacia de contribuição da represa de Salinas tem sofrido um processo constante de mudanças nos padrões de cobertura/uso da terra. Apesar de não se ter, até o presente momento, estudos que comprovem a rapidez e a intensidade das mudanças, são notórias as alterações, advindas, sobretudo, da ocupação das margens por pequenas propriedades de lazer, como chácaras e sítios, e de atividades agropecuárias, impulsionadas com a disponibilidade de água gerada pelo lago.

Como os impactos gerados pelas referidas atividades ainda não foram mensurados, e há tendência de intensificação das mudanças, principalmente, devido à especulação imobiliária e valorização das terras na área, é urgente a necessidade de estudos que esclareçam a dinâmica, passada e presente, dos processos erosivos e de assoreamento a que está sujeita a principal reserva hídrica da cidade de Salinas, sob o risco de comprometimento da disponibilidade de água, seja em termos de quantidade ou de qualidade. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo mapear a evolução temporal das mudanças no uso/cobertura da terra e da perda de solo devido à erosão laminar, analisando preliminarmente o impacto de tais mudanças aos processos de erosão na referida área.

## **2. Metodologia de Trabalho**

A área de estudos abrangeu a bacia de contribuição da represa do Rio Salinas, localizada no município Salinas, região norte do estado de Minas Gerais (Figura 1). Encontra-se inserida na bacia do Rio Jequitinhonha, compreendendo uma superfície de aproximadamente 1.200Km<sup>2</sup>, situada entre os paralelos 15° e 16° de latitude sul e entre os meridianos 41° e 42° a oeste de Greenwich.

O clima característico da região é o semi-árido, predominantemente quente, com um longo período seco e estação chuvosa concentrada entre os meses de dezembro e março. O solo é considerado fértil e o relevo, de maneira geral, é montanhoso. A temperatura média no verão é de cerca de 33°C e a média de inverno em torno de 18°C. A precipitação média anual é da ordem de 855 mm (Mendes, 2010). Segundo Brasil (2003), a represa possui um lago com área superficial de aproximadamente 12,7 km e capacidade máxima de armazenamento de água de cerca de 85 km<sup>3</sup>.

O material utilizado consistiu em imagens orbitais CBERS e LANDSAT 5; séries históricas de precipitação pluviométrica na região; mapa de solos em formato digital; modelo digital de elevação; e softwares em sistemas de informações geográficas (Spring e ArcView), onde todas as análises espaciais foram executadas. A metodologia compreendeu as etapas de mapeamento do uso/cobertura da terra para diferentes épocas a partir da formação do lago (anos de 1992, 1999, 2005 e 2008), e de mapeamento multi-temporal da distribuição espacial da perda de solo devido à erosão, conforme detalhamento apresentado nos itens a seguir.

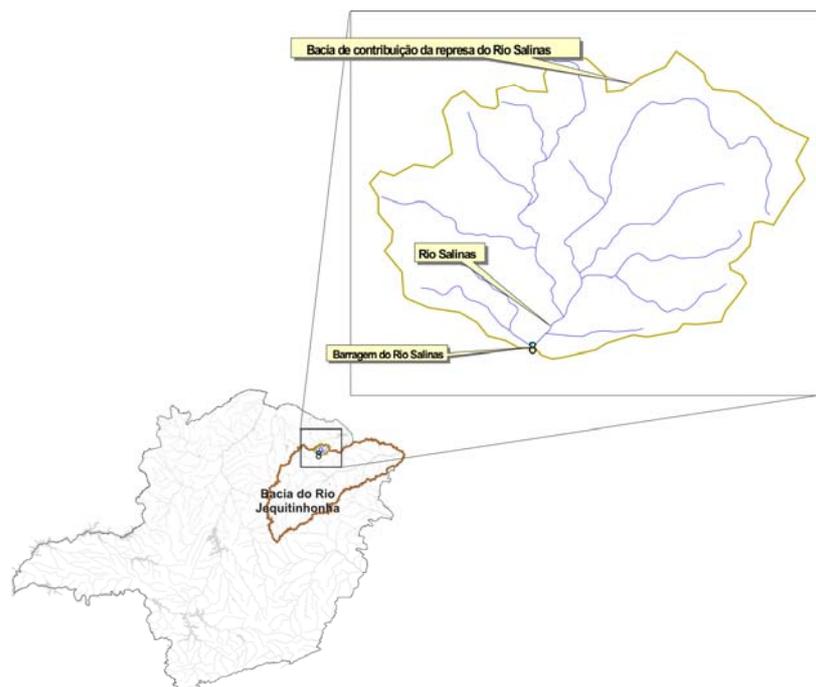


Figura 1 – Localização da área de estudos.

## 2.1. Mapeamento da evolução histórica das mudanças no uso/cobertura da terra na bacia de contribuição da represa do Rio Salinas

Nessa etapa, foram elaborados quatro mapas de uso/cobertura da terra para a área de estudo, referentes aos anos de 1992, 1999, 2005 e 2008. Tais mapas foram confeccionados a partir de técnicas de fotointepretação e de classificação automática de imagens orbitais, via *software* Spring, com a adoção de pontos de controle qualitativos, coletados e georreferenciados utilizando-se de receptores GNSS (GPS) de navegação. A função dos pontos de controle foi identificar e georreferenciar amostras das classes de uso/cobertura da terra presentes na área de estudos; procedimento indispensável à geração de mapeamentos precisos a partir de classificação automática.

Ao final do mapeamento, foram identificadas as classes principais de uso/cobertura e suas áreas foram tabuladas para cada período, por meio do que foi possível quantificar as alterações sofridas por cada classe ao longo do tempo analisado. Esse procedimento também foi efetuado com o auxílio do *software* Spring.

## 2.2. Mapeamento da evolução histórica da distribuição espacial da perda de solo devido à erosão na bacia de contribuição da represa do Rio Salinas

Para cada período temporal estabelecido na etapa anterior, foi elaborado um mapa da distribuição espacial da perda de solo devido à erosão. Para isso, foi adotada a Equação Universal de Perda de Solo – EUPS, na forma abaixo apresentada, estabelecida por Wischmeier e Smith (1978), e ainda largamente aplicada, como, por exemplo, nos trabalhos de Albuquerque et al. (2005), Simões et al. (2007) e Cogo et al. (2003).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Eq.1})$$

em que: A - perda de solo por unidade de área, t/ha; R - erosividade da chuva, MJ mm/ ha h; K - erodibilidade do solo, t h / MJ mm; L - comprimento de rampa, adimensional;

S - declividade de rampa, adimensional; C - fator de uso e manejo do solo, adimensional; P - índice relativo à prática conservacionista adotada, adimensional.

Os termos da referida equação são denominados “fatores” e foram estimados, numérica e espacialmente, a partir dos dados discriminados no início da seção “Metodologia de trabalho”. Nos itens abaixo, apresenta-se sucintamente o método de estimação e espacialização dos mesmos, segundo Valle Júnior (2010).

- **Fator R:** estimado a partir do potencial erosivo das chuvas, medido pela energia cinética da mesma, por sua vez associada à intensidade (lâmina/unidade de tempo) das precipitações. Foram utilizadas as séries históricas de precipitação da estação meteorológica de Salinas. O valor desse fator foi considerado constante para toda a bacia;
- **Fator K:** estimado e espacializado a partir do mapa de solos e de suas características texturais, e a partir de consultas à literatura;
- **Fatores L e S (fatores topográficos):** estimados a partir do modelo digital de elevação. Foram delimitadas automaticamente todas as microbacias da área de estudo e, para cada uma delas, foi calculado o comprimento total da rede de drenagem. Dividindo-se a área (m<sup>2</sup>) de cada microbacia pelo comprimento total (m) da sua rede de drenagem, obteve-se o fator “L”. O fator “S”, por sua vez, foi mapeado automaticamente, a partir da função “declividade”, aplicada sobre o modelo digital de elevação. Por último a junção dos dois fatores foi efetuada por meio da equação “ $LS = 0,00984L^{0,63}S^{1,18}$ ”;
- **Fator CP (fatores de uso do solo e práticas conservacionistas):** estimados em conjunto, a partir de valores obtidos junto à literatura, e espacializados a partir dos mapas de uso/cobertura da terra.

Os mapas finais da distribuição espacial da perda de solos por erosão foram obtidos a partir da multiplicação dos mapas dos fatores, por meio da ferramenta “calculadora de mapas” de *software* Spring. Ao final dessa etapa, as perdas totais de solo foram computadas para cada período, podendo-se assim avaliar a sua evolução ao longo do tempo.

### 3. Resultados e Discussão

A partir da metodologia descrita na seção anterior, foram gerados os mapas de uso/cobertura da terra para os anos selecionados, apresentados na Figura 2. Foram mapeadas sete classes dentre os usos/coberturas de maior significância na bacia, sendo elas: Corpo d’Água; Pastagem; Eucalipto; Cerrado; Mata Seca; e Solo Exposto. Na Tabela 1 encontram-se apresentadas as áreas (hectares e porcentagem) abrangidas pelas classes mapeadas, bem como as mudanças percentuais sofridas pelas mesmas ao longo do tempo.

Em todas as classes foram observadas mudanças, com destaque para “Pastagem”, que apresentou os maiores percentuais em redução ou aumento de área. As áreas ocupadas por “Eucalipto” apresentaram aumento gradual ao longo do tempo, devido a implantação de maciços florestais na região. Quanto à classe “Solo Exposto”, observou-se flutuações drásticas ao longo do tempo, cuja causa mais provável pode estar associada ao fato de que, além do caráter dinâmico da atividade silvicultural, observa-se na área estudada uma forte alternância entre regenerações naturais de pastagens degradadas (redução dos solos expostos) e reinicialização da atividade pastoril (aumento dos solos expostos). É importante, no entanto, ressaltar que essas análises não são conclusivas, uma vez que ainda não se tem um completo conhecimento das classes presentes na área de estudo, bem como das suas variações, o que dificulta o processo de definição das amostras de treinamento e, conseqüentemente, a classificação automática.

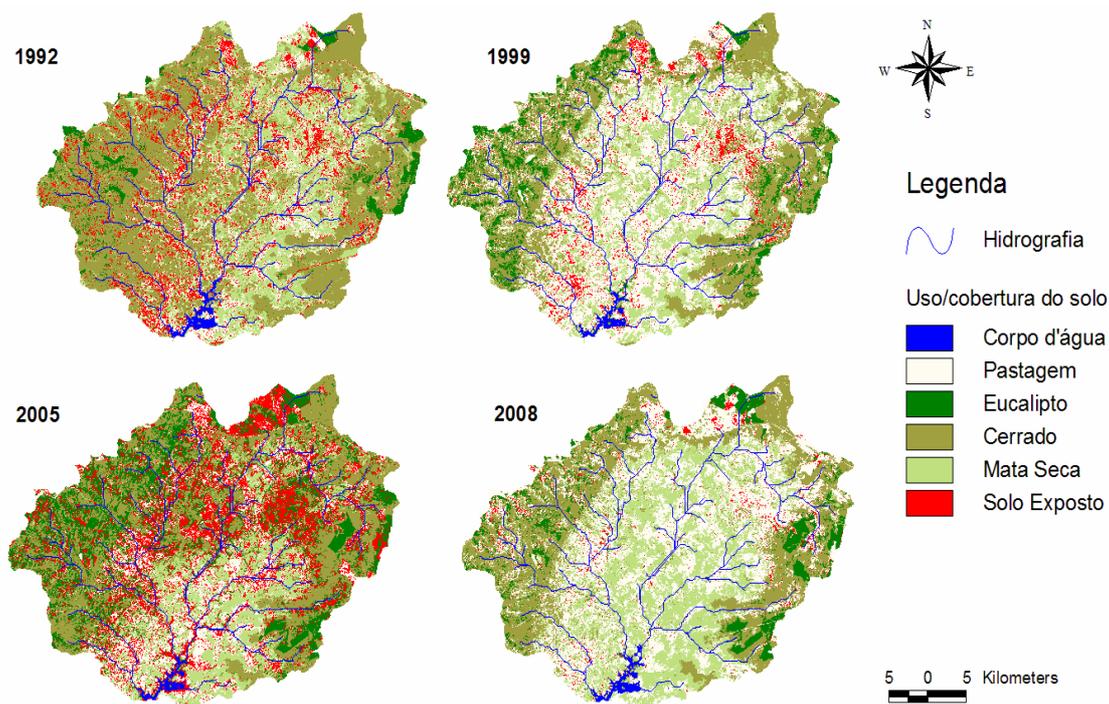


Figura 2 – Mapeamento multi-temporal do uso/cobertura da terra para a bacia de contribuição da represa do Rio Salinas, Minas Gerais.

Tabela 1 – Classes de uso/cobertura da terra – áreas ocupadas e análise multi-temporal das alterações.

| Uso/cobertura da terra | Área (ha) |          |          |          | Mudanças (%) |           |           |           |
|------------------------|-----------|----------|----------|----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                        | 1992      | 1999     | 2005     | 2008     | 1992/1999    | 1999/2005 | 2005/2008 | 1992/2008 |
| Corpo d'água           | 1063.20   | 735.12   | 645.08   | 909.62   | -30.86       | -12.25    | 41.01     | -14.45    |
| Pastagem               | 13790.09  | 46094.33 | 16119.74 | 43906.73 | 234.26       | -65.03    | 172.38    | 218.39    |
| Eucalipto              | 4407.43   | 8407.92  | 23890.42 | 7705.02  | 90.77        | 184.14    | -67.75    | 74.82     |
| Cerrado                | 54367.28  | 38803.88 | 35171.55 | 35604.91 | -28.63       | -9.36     | 1.23      | -34.51    |
| Mata Seca              | 32360.13  | 24157.03 | 19924.96 | 33369.89 | -25.35       | -17.52    | 67.48     | 3.12      |
| Solo Exposto           | 15460.13  | 6178.37  | 28624.91 | 2880.49  | -60.04       | 363.31    | -89.94    | -81.37    |

Quanto à perda de solo, observou-se que, entre os anos estudados, houve uma mudança perceptível, segundo os mapas, apresentados na Figura 3, e os valores apresentados na Tabela 2. Em termos percentuais a maior parte da área encontra-se dentro das menores classes, indicando que a bacia apresenta níveis baixos de perda de solo por erosão laminar. Ainda é possível notar que nos anos de 1992 e 2005 houve maior quantidade de perda de solo, que foi atribuída à maior presença de solos expostos nos referidos anos (foi adotado um valor médio do fator “R”, relacionado à chuva, da EUPS, para estudar a influência apenas dos fatores relacionados ao uso/cobertura do solo). As áreas de maior declividade, próximas aos trechos superiores da rede de drenagem, apresentaram os maiores valores de perda de solo, caracterizando um cenário desfavorável à conservação dos recursos hídricos. Parte dessa perda pode ser facilmente carregada pelo escoamento superficial direto, convertida em sedimentos e, por fim, contribuir para o aceleramento do assoreamento do lago.

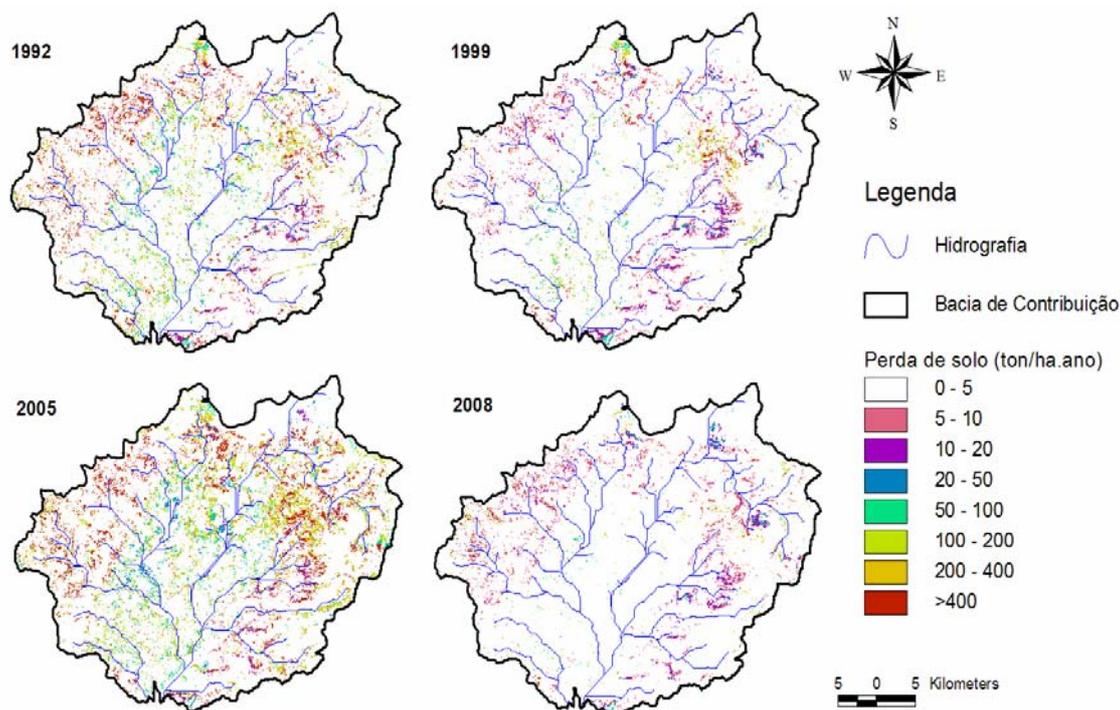


Figura 3 – Mapeamento multi-temporal da perda de solo para bacia de contribuição da represa do Rio Salinas, Minas Gerais.

Tabela 2 - Classes de perda de solo e áreas ocupadas pelas mesmas

| Classes<br>(t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) | Área (ha)<br>1992 | Área (%)<br>1992 | Área (ha)<br>1999 | Área (%)<br>1999 | Área (ha)<br>2005 | Área (%)<br>2005 | Área (ha)<br>2008 | Área (%)<br>2008 |
|---|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 0-5   | 110125.00         | 89.63            | 112529.80         | 91.59            | 103285.01         | 84.06            | 114710.12         | 93.36            |
| 5-10  | 1609.88           | 1.31             | 4489.70           | 3.65             | 1322.67           | 1.08             | 4195.88           | 3.41             |
| 10-20   | 876.93            | 0.71             | 1743.28           | 1.42             | 899.70            | 0.73             | 1681.30           | 1.37             |
| 20-50   | 816.09            | 0.66             | 689.68            | 0.56             | 1274.49           | 1.04             | 634.03            | 0.52             |
| 50-100  | 1348.37           | 1.10             | 573.38            | 0.47             | 2228.60           | 1.81             | 221.36            | 0.18             |
| 100-200   | 2433.99           | 1.98             | 948.35            | 0.77             | 4144.39           | 3.37             | 362.32            | 0.29             |
| 200-400   | 2404.99           | 1.96             | 951.47            | 0.77             | 4415.45           | 3.59             | 432.04            | 0.35             |
| >400  | 3523.20           | 2.65             | 942.78            | 0.77             | 5298.14           | 4.31             | 631.39            | 0.51             |

### 3. Conclusões

Levando-se em consideração a metodologia aplicada e as discussões efetuadas sobre os resultados alcançados, chegou-se às seguintes conclusões:

- Os níveis de mudança de uso/cobertura do solo variaram entre os anos e ao longo do período considerado, sendo que as classes que mais apresentaram alterações foram “Pastagem”, “Eucalipto” e “Solo Exposto”;
- De um modo geral, a bacia apresenta um baixo nível de perda de solo, devendo-se atentar para o fato de que variações na área de solos expostos foram os maiores responsáveis pelas variações temporais da taxa de erosão;
- As maiores perdas de solo devido à erosão laminar ocorreram nos anos de 1992 e 2005, concentrando-se especialmente nas áreas de maior declividade, próximas aos trechos superiores da rede de drenagem. Tais áreas devem ser prioritárias à ações ou medidas conservacionistas, por serem, provavelmente, responsáveis por boa parte do aporte de sedimentos ao lago da represa do rio Salinas.

## **Agradecimentos**

À FAPEMIG e ao IFNMG – Campus Salinas, pela concessão da bolsa de iniciação científica.

## **Referências Bibliográficas**

- 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.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.2, p.153-160, 2005.
- BRASIL, Ministério dos Transportes. **Resumo informativo da barragem de Salinas-MG.** Brasília: Banco de Informações e Mapas de Transportes, 2003.
- Cogo, N.P; 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.** R. Brasileira de Ciências do Solo, 27:743-753, 2003.
- FROTA, P.V; NAPPO, M.E. **Processo erosivo e a retirada da vegetação na bacia hidrográfica do açude Orós-CE.** Revista Geonorte, v.4, n.4, p.1472-1481. 2012.
- Guimarães, L.J.R; Santos, L.J.C. **Levantamento das áreas potenciais à erosão laminar como suporte à detecção das áreas fonte ao assoreamento na barragem Piraquara.** Revista Eletrônica Geografar, v.2, n.2, p.172-188, jul./dez. 2007.
- Mendes, A.F. **Contextualização e interdisciplinaridade na utilização da matemática no estudo de fenômenos climáticos e meteorológicos.** 2010. 61p. Dissertação (mestrado em ciências) UFRRJ, Seropédica, 2010.
- Oliveira, P.C.A; Rodrigues, G.S.S.; Rodrigues, S.C. **Fragilidade ambiental e uso do solo na bacia hidrográfica do córrego Pindaíba, Uberlândia, MG, Brasil.** Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v.3, n.1, p.54-67, 2008.
- Simões, S.J.C; Bernardes, G.P; Nunes, C.M.F; March, T.C. **Variabilidade espacial do potencial de erosão e seus efeitos na sedimentação de um pequeno reservatório – A bacia dos Mottas, sudeste do Brasil.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.12, n.3, p.177-187, jul./set. 2007.
- Valle Júnior, R.F; Galbiatti, J. A.; Martins Filho, M. V.; Pissarra, T. C. T. **Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba.** Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.5, p.897-908, set./out. 2010.
- WISCHMEIER, W.H.E.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA, 1978. 58 p.