

RESPOSTA DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM FUNÇÃO DO MANEJO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

LUIZ SERGIO VANZELA¹, CAMILA FERNANDES FERREIRA APARECIDO²,
GISELE HERBST VAZQUEZ³

¹ Engenheiro Agrônomo, Professor Titular, Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade Camilo Castelo Branco – UNICASTELO, Fernandópolis - SP, (17) 3465-4200, luiz.vanzela@unicastelo.edu.br

² Engenheira Agrônoma, Professora, Departamento de Agronomia, Universidade Camilo Castelo Branco – UNICASTELO, Fernandópolis - SP

³ Engenheira Agrônoma, Professora Titular, Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade Camilo Castelo Branco – UNICASTELO, Fernandópolis - SP

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: Considerando que o manejo inadequado do solo nas bacias hidrográficas pode potencializar o carreamento de sedimentos durante o escoamento superficial, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do manejo de bacias hidrográficas na concentração de sólidos totais-CST, suspensos-CSS e dissolvidos-CSD em bacias localizadas no Triângulo Mineiro. Para isto foram monitoradas mensalmente a concentração destes sólidos na foz de 4 bacias de diferentes usos e ocupações do solo, do período de 20/10/2013 a 21/09/2014 (12 medições). Com os dados, realizou-se a análise de correlação cruzada e de regressão múltipla da CST, CSS e CSD em função dos percentuais de cada uso e ocupação do solo, do escoamento superficial-Es e da declividade média-D das bacias. A resposta da CST foi significativa em função do percentual de área urbana-AU e do Es ($CST=81,4683+2,0614*AU+4,7709*ES$; $r^2=0,2546^{**}$), observando-se um incremento na CST com o aumento de AU e ES. A CSD foi significativa em função de AU e D ($CSD=204,4919-19,8387*D+0,6343*AU$; $r^2=0,1816^{**}$), onde tende a ocorrer incremento de CSD com a redução de D e o aumento de AU. E a CSS foi significativa em função de Es ($CSS=20,6365+6,2391*ES$; $r^2=0,2565^{**}$), onde o incremento de CSS tende a ocorrer com o aumento de Es.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade de água, escoamento, recursos hídricos

RESPONSE OF THE CONCENTRATION OF SEDIMENTS IN FUNCTION OF THE SOIL MANAGEMENT IN WATERSHEDS

ABSTRACT: Considering that inadequate management of soil in watersheds can increase the sediments transport on runoff, this work evaluated the influence of watersheds management in concentration of total solids-CST, suspended solids-CSS and dissolved solids-CSD in watersheds located at Triângulo Mineiro. Considering that use and management of soils on the watersheds can increase the sediments transport on runoff, this work evaluated the influence of watersheds management in concentration of total solids-CST, suspended solids-CSS and dissolved solids-CSD in watersheds located at Triângulo Mineiro. For this, were monitored monthly the concentration of solids at outfall of the 4 watersheds with different use land, from 10/20/2013 to 09/21/2014 (12 measurements). With the data, was realized the cross-correlation analysis and multiple regression of the solids in function of the percentage of each use land, runoff-Es and slope-D of the watersheds. The CST response was significant with the percentage of urban area-AU and Es ($CST=81.4683+2.0614*AU+4.7709*ES$; $r^2=0.2546^{**}$), observing an increase in CST with the increase of AU and ES. The CSD was significant with AU and D ($CSD=204.4919-19.8387*D+0.6343*AU$; $r^2=0.1816^{**}$), which tends to occur CSD increase

with reducing of D and increasing of AU. The CSS was significant with Es ($CSS=20.6365+6.2391*ES$; $r^2=0.2565^{**}$), where the increase CSS tends to occur with increasing of Es.

KEYWORDS: water quality, runoff, water resources

INTRODUÇÃO

O aumento no consumo dos recursos hídricos em função do crescimento populacional associado as mudanças climáticas exigirão maiores esforços nos planejamentos sustentáveis das bacias hidrográficas. Segundo dados da United Nations (2007), a população humana mundial está em constante crescimento, com estimativas mínimas de aumentar em torno de 2 bilhões de habitantes até o ano de 2050, o que evidencia este cenário. Isso exigirá o desenvolvimento novas tecnologias, em todas as áreas do conhecimento, que maximizem o uso destes recursos.

Além do uso direto dos recursos hídricos, a maioria das atividades geram resíduos na forma de sedimentos que são transportados em suspensão e/ou diluídos na água, podendo ser considerada poluição. Essa poluição pode alterar a disponibilidade e qualidade dos recursos superficiais e subterrâneos. Dentre estes, os recursos hídricos superficiais (córregos, rios, lagos, etc) são mais susceptíveis a degradação, porque recebem diretamente o escoamento superficial nas bacias hidrográficas, que carregam os poluentes de origem difusa.

Como na poluição difusa os sedimentos chegam aos cursos d'água de toda a superfície, o seu controle é mais complexo e difícil, pois exige técnicas que atuem em toda a bacia hidrográfica. Além disso, adoção dessas técnicas envolve todos os setores que utilizam os espaços e geram potenciais fontes de sedimentos. Os fatores que influenciam o aporte difusos de sedimentos em bacias hidrográficas são relevos, tipos de solos, climas e uso e ocupação dos solos (VANZELA et al., 2010), sendo que, dentre esses fatores, a cobertura do solo tem influência decisiva nas perdas de água e solo por erosão (SILVA et al., 2005).

Assim, a sustentabilidade no uso dos recursos hídricos depende do manejo racional do uso e ocupação dos solos, que preveja a minimização da concentração de sedimentos na água. Uma opção é o desenvolvimento de modelos matemáticos de resposta das variáveis hídricas relacionadas ao aporte de sedimentos em função do uso e ocupação dos solos, permitindo os gestores de bacias hidrográficas anteciparem os impactos e definirem planos sustentáveis de ocupação dos solos.

Considerando a importância do desenvolvimento destes modelos para o manejo das bacias hidrográficas, este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta da concentração de sedimentos em função do manejo do solo em bacias hidrográficas localizadas no Triângulo Mineiro, por meio de modelos matemáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em 4 bacias localizadas nos municípios de Iturama e Campina Verde, no Triângulo Mineiro (Figura 1), cujas características principais estão apresentadas na Tabela 1.

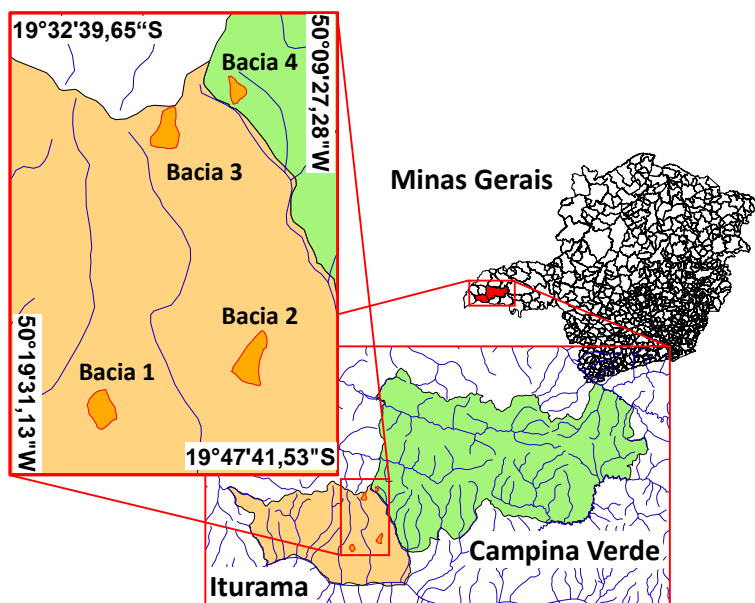


FIGURA 1. Localização das bacias hidrográficas de Iturama e Campina Verde - MG.

TABELA 1. Características das bacias hidrográficas de Iturama e Campina Verde - MG.

Bacia	Área (km ²)	Leito principal (km)
1	3,083	1,707
2	4,040	2,287
3	3,177	2,329
4	1,183	0,742

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é o Cwa, ou seja, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (SÁ JUNIOR, 2009). Os solos são classificados como Latossolo Vermelho distroférrico típico A moderado/proeminente textura argilosa, fase floresta subcaducifólia, relevo plano e suave ondulado (JACOMINE et al., 1976).

A avaliação da resposta do manejo do solo sobre a concentração de sedimentos foi realizada a partir da modelagem da resposta linear múltipla de variáveis dependentes (y) em função de uma ou mais variáveis independentes ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$). As variáveis dependentes modeladas foram concentração de sólidos totais, suspensos e dissolvidos. As variáveis independentes foram os percentuais de uso e ocupação do solo, declividade média e escoamento superficial nas bacias hidrográficas.

Para o levantamento das variáveis dependentes, foram selecionados nas bacias avaliadas, trechos de seções de pequenas dimensões (larguras médias próximas de 1 m e profundidades máximas de 40 cm), retilíneos (em torno de 6 m) e regulares, para a realização das amostragens de sedimentos. As variáveis hídricas foram monitoradas por meio de 12 levantamentos realizados em intervalos aproximados de 30 dias, do período de 20/10/2013 a 21/09/2014. Nestas datas e locais foram coletadas amostras, as quais foram levadas à Central de Laboratórios da Universidade Camilo Castelo Branco, Campus de Fernandópolis, para a análise da concentração de sólidos totais, suspensos e dissolvidos pelo método gravimétrico.

O levantamento do uso e ocupação dos solos (variáveis independentes), iniciou pela delimitação das bacias hidrográficas com o auxílio de imagem do satélite LANDSAT 8 (sensor OLI, resolução de 15 m, com data de 28 de janeiro de 2014) (USGS, 2014) e isolinhas altimétricas cotadas de 5 m, obtidas a partir de imagem do satélite ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (resolução de 30 m) (NASA, 2010).

Em seguida, pelo processo de digitalização manual, classificação visual e validação de

campo (na ocasião das medições das variáveis hídricas), digitalizaram-se os usos e ocupações do solo dentro do perímetro das 4 bacias, a partir do qual foi possível obter os percentuais de uso do solo (Figura 2). A declividade média das bacias (Figura 3) foi determinada a partir do modelo de elevação do terreno (MDE) do satélite ASTER, com resolução espacial de 30 m.

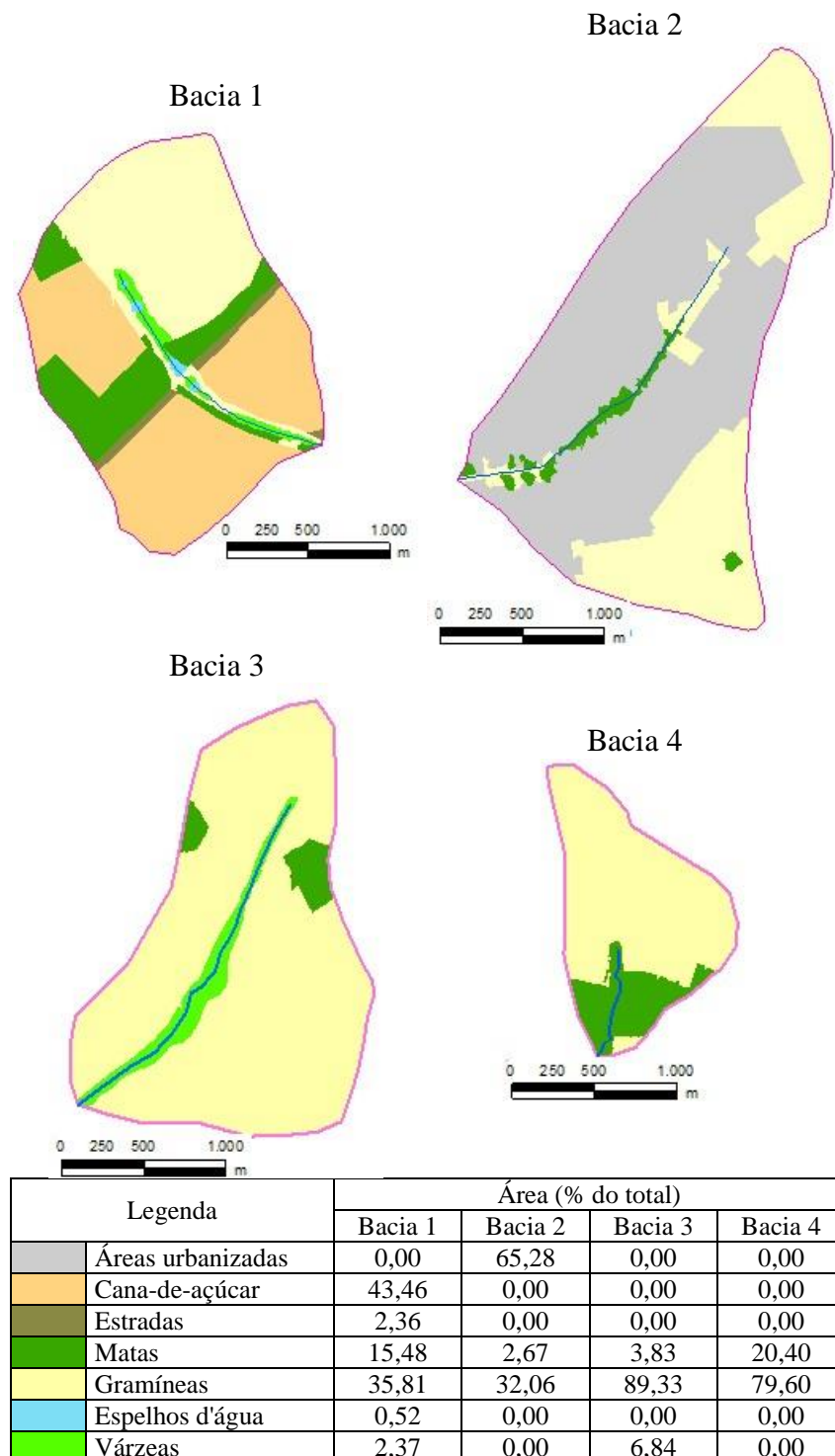
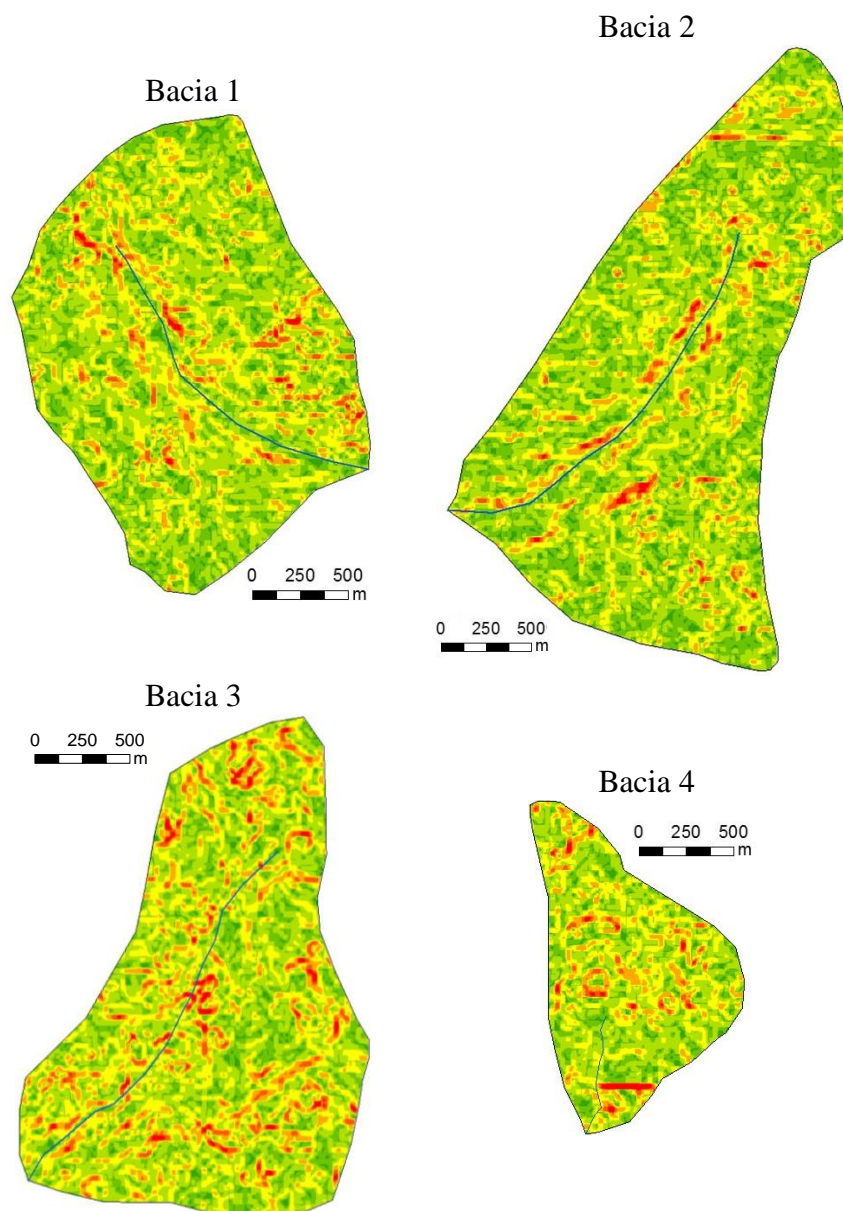


FIGURA 2. Percentuais de uso e ocupação das bacias 1, 2, 3 e 4.



Legenda	Área (% do total)			
	Bacia 1	Bacia 2	Bacia 3	Bacia 4
0 a 2%	4,27	4,94	3,18	4,01
2 a 5%	20,96	24,65	16,24	17,58
5 a 10%	40,65	40,40	36,12	38,46
10 a 15%	23,70	21,41	27,16	25,47
15 a 20%	7,79	6,49	11,51	10,46
20 a 25%	2,14	1,67	4,35	2,61
25 a 50%	0,48	0,45	1,44	1,42
Média	8,57%	8,05%	9,93%	9,41%

FIGURA 3. Percentuais das classes de declividade nas bacias 1, 2, 3 e 4.

O escoamento superficial foi calculado para as 4 bacias hidrográficas, utilizando o método do SCS - Soil Conservation Service (PRUSKI et al., 2003), pela seguinte expressão:

$$ES = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)} \quad (1)$$

em que,

ES - Escoamento superficial (mm);

P - Precipitação acumulada em determinado intervalo de tempo (mm);
 S - Capacidade máxima de armazenamento do solo (mm).

Neste trabalho, o escoamento superficial (ES) considerado foi o acumulado de 7 dias anteriores aos períodos de avaliação das variáveis hídricas. Para isto, as variáveis “P” e “S” da equação 1 também foram os totais acumulados de precipitação e capacidade máxima de armazenamento do solo nos 7 dias anteriores aos períodos de avaliação das variáveis hídricas. Os dados de precipitação foram obtidos a partir da estação da Usina Coruripe localizada no município de Iturama –MG (dentro de uma distância média de 15 km das bacias). A capacidade máxima de armazenamento do solo foi determinada pela seguinte expressão:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

em que,

S – Capacidade máxima de armazenamento do solo (mm);

CN – Número da curva corrigido com a umidade antecedente do solo;

Os valores do número da curva corrigidos com a umidade antecedente do solo (CN) foram obtidos a partir das seguintes expressões:

a) $CN = 0,0077 CN_{II}^2 + 0,1694 CN_{II} + 2.1658$ ($r^2 = 0,9978$), para precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5d) inferior a 35,0 mm;

b) $CN = CN_{II}$, para precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5d) entre 35,0 e 52,5 mm;

c) $CN = -0,0067 CN_{II}^2 + 1,596 CN_{II} + 6,9307$ ($r^2 = 0,9000$), para precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5d) superior a 52,5 mm;

Os valores de CN_{II} foram atribuídos em função do uso e ocupação do solo, sendo os valores adotados apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Valores de número da curva (CN_{II}) atribuídos em função do uso e ocupação do solo.

Descrição	CN_{II}
Áreas urbanizadas	90
Cana-de-açúcar	84
Estradas	87
Matas	70
Gramíneas (pastagens)	81
Espelhos d'água	0
Várzeas	100

Os valores de escoamento superficial acumulados de 7 dias antes das medições, estimados para a bacia durante o período avaliado, estão na Figura 4.

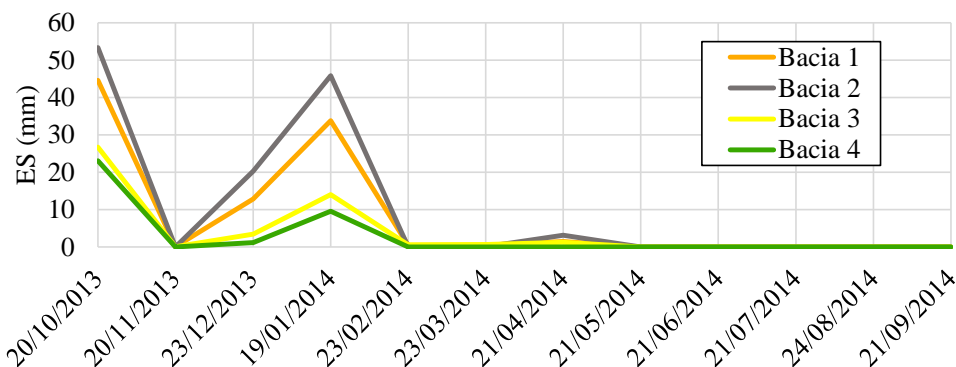


FIGURA 4. Variação do escoamento superficial - ES nas bacias durante o período avaliado.

De posse dos pares de dados, inicialmente realizou-se uma análise de correlação cruzada de Pearson entre variáveis dependentes e independentes. Para as correlações significativas ($p < 0,01$) prosseguiu-se para a análise de regressão linear múltipla das variáveis dependentes (concentração de sólidos totais, dissolvidos e suspensos) em função das independentes (percentuais de cada uso e ocupação do solo, declividade média e escoamento superficial acumulado de 7 dias). Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software SPSS 16 (SPSS Inc., 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resposta da concentração de sólidos totais foi significativa ($p < 0,01$) em função das variáveis percentual de áreas urbanizadas e escoamento superficial (Figura 5a).

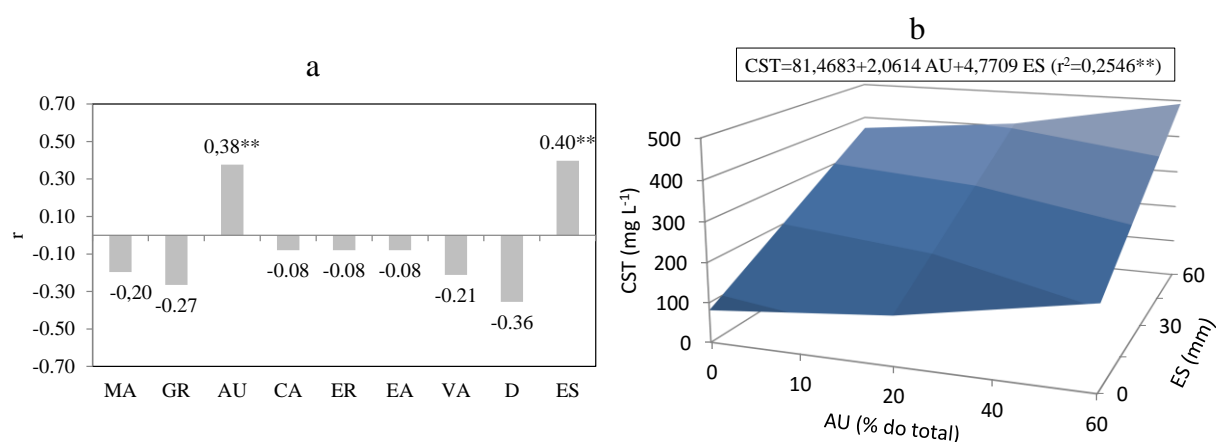


FIGURA 5. Correlação cruzada (a) da concentração de sólidos totais - CST com as variáveis independentes (sendo matas - MA, gramíneas - GR, área urbanas - AU, culturas anuais - CA, estradas rurais - ER, espelhos d'água - EA, várzeas - VA, declividade média - D e escoamento superficial - ES) e a superfície de resposta do modelo linear múltiplo (b).

A correlação positiva demonstra que o aumento do percentual de áreas urbanizadas associadas ao aumento do escoamento superficial, favorece o incremento na concentração de sólidos totais na água. Este comportamento já é esperado devido a maior impermeabilização favorecer maiores volumes escoados em superfície, propiciando maior potencial de carreamento de sedimentos (SILVA et al., 2005). Além disso, a área urbana possui diversas peculiaridades como loteamentos em construção, resíduos sólidos descartados em superfície, etc, que se constituem em significativas fontes de sedimentos. De acordo com Ramos (1995) as bacias urbanas podem proporcionar aumentos na produção de sedimentos de até 50 vezes em relação da bacia original.

Como pode ser observado na Figura 5b, dentro das variações encontradas de área urbana (0 a 60% do total) e de escoamento superficial (0 a 60 mm), as concentrações de sólidos totais esperadas variam de 81 a 491 $mg L^{-1}$. De acordo com o modelo existe um incremento de 2 $mg L^{-1}$ de sólidos totais para cada 1 mm de incremento de escoamento superficial e de 5 $mg L^{-1}$ para cada percentual de aumento de área urbana.

A correlação da concentração de sólidos dissolvidos foi significativa ($p < 0,01$) em função das variáveis percentual de declividade e de áreas urbanizadas (Figura 6a).

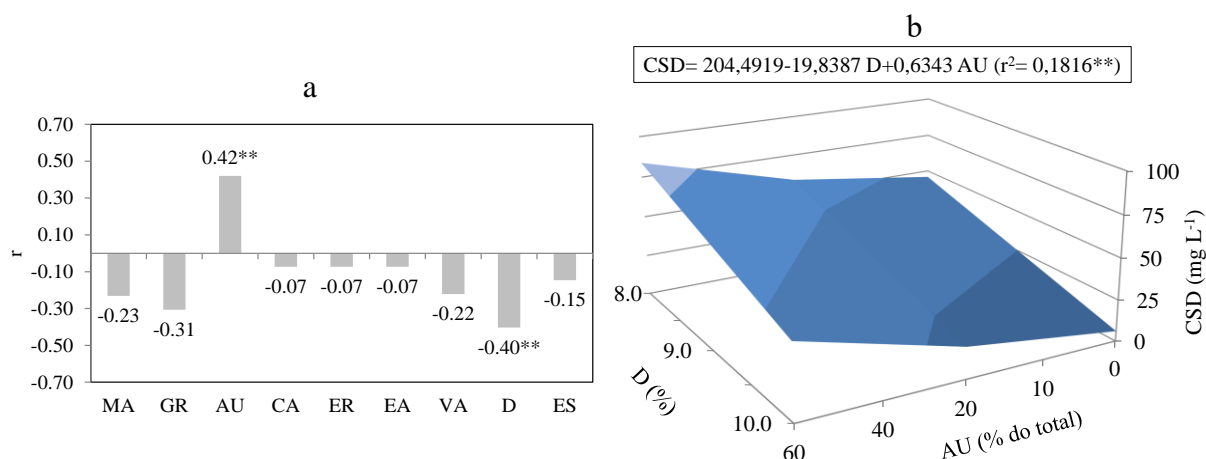


FIGURA 6. Correlação cruzada (a) da concentração de sólidos dissolvidos - CSD com as variáveis independentes (sendo matas - MA, gramíneas - GR, área urbanas - AU, culturas anuais - CA, estradas rurais - ER, espelhos d'água - EA, várzeas - VA, declividade média - D e escoamento superficial - ES) e a superfície de resposta do modelo linear múltiplo (b).

Observa-se que a correlação foi negativa com declividade e positiva com a área urbana. Estes resultados, demonstram que quanto maior a declividade menor a concentração de sólidos dissolvidos esperada na água. Este resultado pode estar associado ao fato das áreas de maior declividade estarem ocupadas por áreas de matas nativas, pois normalmente, a maior declividade favorece o aumento da velocidade de escoamento superficial, proporcionando maior potencial de transporte de sedimentos e perda de solo (GENOVEZ, 2001). Com a variável área urbanizada a correlação foi positiva, indicando aumento da concentração de sólidos dissolvidos com essas áreas, onde os motivos podem ser atribuídos aos mesmos fatores já mencionados para a concentração de sólidos totais.

Considerando o modelo da Figura 6b, dentro das variações observadas de declividade média (8 a 10%) e área urbana (0 a 60% do total) nas bacias, esperam-se concentrações de sólidos dissolvidos variando de 6 a 84 mg L⁻¹. Nesta variável é esperada, em média, um incremento de 0,6 mg L⁻¹ de sólidos dissolvidos para cada percentual de aumento de áreas urbanas.

A resposta da concentração de sólidos suspensos em função das variáveis independentes foi significativa ($p < 0,01$) somente com a quantidade de escoamento superficial (Figura 7a). A correlação foi positiva com o escoamento superficial, indicando que o aumento dessa variável provoca o incremento da concentração de sólidos suspensos na água. Este resultado demonstra que, independente do uso e ocupação do solo, o transporte desse tipo de sedimento está fortemente relacionado com a quantidade de escoamento superficial gerado na bacia. Resultados similares já foram observados por Vanzela et al. (2014), que observaram alta correlação entre a concentração de sedimentos na área e o total semanal acumulado de precipitação.

Dentro das variações observadas no escoamento superficial (0 a 60 mm) nas bacias, esperam-se concentrações de sólidos suspensos variando de 21 a 395 mg L⁻¹, com um incremento de 6 mg L⁻¹ de sólidos suspensos para cada 1 mm de escoamento superficial.

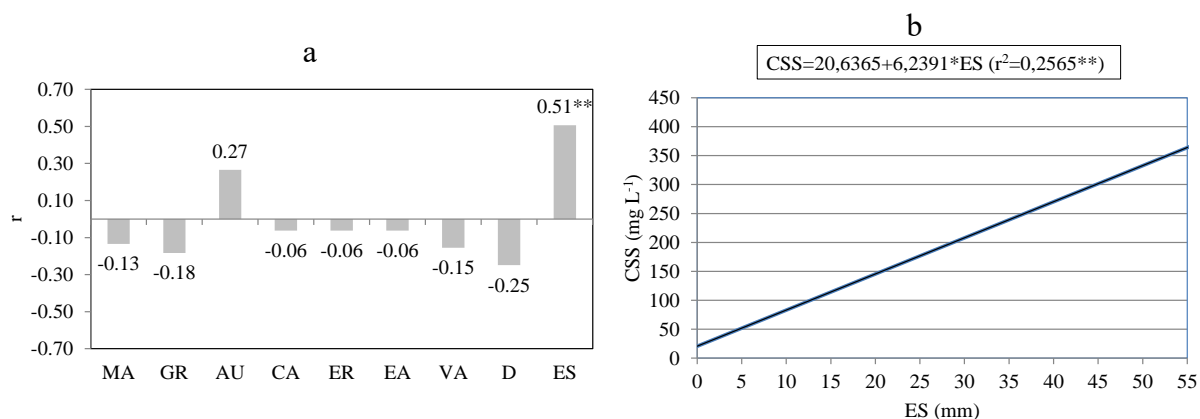


FIGURA 7. Correlação cruzada (a) da concentração de sólidos suspensos - CSS com as variáveis independentes (sendo matas - MA, gramíneas - GR, área urbanas - AU, culturas anuais - CA, estradas rurais - ER, espelhos d'água - EA, várzeas - VA, declividade média - D e escoamento superficial - ES) e a resposta do modelo linear (b).

Estes resultados comprovam que o manejo das bacias hidrográficas visando a sustentabilidade dos recursos hídricos, considerando a concentração de sedimentos, deve considerar o planejamento da ocupação do solo com foco no aumento da permeabilidade do solo e redução do escoamento superficial, já que como também observado por Chaves & Piau (2008) o uso e ocupação interfere no escoamento superficial e no aporte de sedimentos.

Também, o planejamento dos perímetros urbanos visando o aumento da infiltração de água no solo deve ser prioritário na manutenção da qualidade hídrica nas bacias. E a restauração de matas nativas sobretudo nas áreas de maior declividade é fundamental para o controle do transporte de sedimentos, sendo por isso, uma ação primordial no manejo sustentável das bacias.

CONCLUSÕES

A resposta da concentração de sólidos totais - CST foi significativa em função do percentual de área urbana - AU e do escoamento superficial - ES ($CST = 81,4683 + 2,0614AU + 4,7709ES$; $r^2 = 0,2546^{**}$), observando-se um incremento nos sólidos totais com o aumento do percentual de área urbana e do escoamento superficial.

A concentração de sólidos dissolvidos - CSD foi significativa em função do percentual de área urbana - AU e da declividade - D ($CSD = 204,4919 - 19,8387 * D + 0,6343 * AU$; $r^2 = 0,1816^{**}$), onde tende a ocorrer incremento de sólidos dissolvidos com a redução da declividade e com o aumento do percentual de área urbana.

E a concentração de sólidos suspensos - CSS foi significativa em função do escoamento superficial - ES ($CSS = 20,6365 + 6,2391 * ES$; $r^2 = 0,2565^{**}$), onde o incremento dos sólidos suspensos tende a ocorrer com o aumento do escoamento superficial.

REFERÊNCIAS

CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do distrito federal. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, p.333-343, 2008.

GENOVEZ, A. M. Vazões Máximas. In: PAIVA, P. (org.). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001, cap.3, p. 33-112.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, J. O.; BURGOS, N.; MÉLO FILHO, H. F. R. de; FORMIGA, R. A. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem esquerda do rio São Francisco, estudo da Bahia. Recife: EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1976. 404p.

NASA – UNITED STATES NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. ASTER Global Digital Elevation Map Announcement. Pasadena: NASA, 2010. Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>>. Acesso em: 16 ago. 2013.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. escoamento superficial. Viçosa: UFV, 2003. 88p.

RAMOS, C. L. Erosão urbana e produção de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, 1995, cap.2, p.241-275.

SÁ JUNIOR, A. de. Aplicação da classificação de Koppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais. 2009. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

SPSS Inc. SPSS Statistics for Windows, Version 17.0. Chicago: SPSS Inc., 2008.

UNITED NATIONS. The world population prospects: the 2006 revision. New York: Department Social and Economics Affairs, Population Division, 2007. Disponível em: <http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2006/wpp2006.htm>. Acesso em: 05 abr 2013.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. LANDSAT 8 product information. Reston, VA: U.S.G.S., 2013. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>. Acesso em: 10 jan 2014.

VANZELA, L. S.; GRECCO, D. L. G.; COSTA NETO, J. N. da; SANTOS, G. O. Evaluation of sediment production and siltation in a small earth dam in Fernandópolis, SP. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.34, n.5, p.912-924, 2014.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.14, n.1, p.55-64, 2010.