

Uso do *software Estradas* para determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas do interior de Goiás¹

João Fonseca de Oliveira², Nori Paulo Griebeler³, Rafael A. Garvil⁴, Janaína de M. Oliveira⁵, Max W. de O. Rabelo⁴

RESUMO

Estradas não pavimentadas correspondem a aproximadamente 90% da malha rodoviária brasileira. Estas, na maioria das vezes, são construídas sem a realização de estudos prévios, estando sujeitas a vários tipos de problemas. Um dos principais fatores de deterioração dessas vias é a ineficiência do sistema de drenagem. Neste trabalho simulou-se o espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas, utilizando-se um *software* desenvolvido com base num modelo matemático de dimensionamento de sistemas de drenagem em estradas não pavimentadas. Utilizaram-se valores de erodibilidade, tensão crítica de cisalhamento e massa específica para diferentes solos de estradas, localizadas no Estado de Goiás. Simularam-se cenários considerando alterações na declividade (1, 5, 10 e 15%) e na seção transversal do canal com relações entre altura e largura de 1:1, 1:2, 1:5 e 1:10.

O modelo respondeu sensivelmente às alterações na declividade, na seção transversal do canal e nas de resistência do solo. Os espaçamentos obtidos indicaram que, estradas com declividades inferiores a 5%, mesmo com elevados valores de erodibilidade permitiram espaçamentos viáveis em aspectos construtivos. No entanto, para as declividades de 10 e 15%, os espaçamentos, na maioria dos casos, apresentaram dimensões reduzidas, tornando-se impraticáveis, sendo necessário, nestes casos, proteção do canal ou alteração de suas características hidráulicas.

Palavras-chave: Modelo hidrológico, erosão, estradas vicinais.

ABSTRACT

The use of *Estradas* software to define the unpaved roads ditch outlet spacing for Goiás State, Brazil

Unpaved roads correspond to approximately 90% of Brazilian's highway. In most cases they are built without previous studies should be subject to a many problems. In this work was simulated unpaved roads ditch outlet spacing, using a software to design roads drainage system. It was used erodibility, critical shear stress and density values for different soils of roads located in the state of Goiás, Brazil. Were simulated different scenarios considering changes in slope (1%, 5%, 10% and 15%) and in roads channel's cross section (1:1, 1:2, 1:5 and 1:10). The model answered favourably to slope and cross section of the channel and to soil resistance parameters. The spacing obtained indicated that roads with slopes of less than 5%, even high levels of erodibility allowed viable outlet spacing. However, 10% and 15% slopes presented reduced spacing turning them impractical, and so requiring channel protection or changes of the hydraulics features.

Key words: Hydrologic model, erosion, secondary roads.

Recebido para publicação em julho de 2009 e aprovado em novembro de 2010

¹ Parte da dissertação de mestrado apresentada à UFG pelo primeiro autor. Fonte financiadora: CNPq/UFG.

² Engenheiro Civil, Mestre. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solo e Água (PPGA/UFG) da Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia, C.P. 131, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil. jfonseca105@yahoo.com.br

³ Engenheiro Agrícola, Doutor. Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Setor de Engenharia Rural, Campus Samambaia, C.P. 131, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil. griebeler@yahoo.com.br;

⁴ Engenheiros-Agrônomos, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG, Campus Samambaia, C.P. 131, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil. rafa_itba@yahoo.com.br, maxrabelo@hotmail.com

⁵ Engenheira-Agrônoma. Mestre. Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia, C.P. 131, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil. janainamouraol@gmail.com

INTRODUÇÃO

Estradas não pavimentadas, em grande parte das vezes, são construídas sem um projeto geométrico de engenharia rodoviária, de dimensionamento transversal ou do sistema de drenagem. Estas, normalmente, possuem como pista de rolamento, o solo do próprio local, podendo, eventualmente, ter recebido revestimento primário. Essas estradas correspondem a aproximadamente 90% da malha rodoviária brasileira, apresentando, assim, uma importância fundamental em todos os aspectos, seja econômico, social ou cultural. São estradas que permitem acesso entre comunidades, ligação de rodovias e integração de distritos e municípios, entre outros.

As vias não pavimentadas são utilizadas para o deslocamento inicial de toda a produção agrícola brasileira, sendo fundamentais à economia do País. Também é por estas estradas que as populações rurais deslocam-se até os centros urbanos, seja com a finalidade de comércio, lazer, educação ou saúde.

Apesar de sua importância, é comum a veiculação de notícias relatando casos de estradas ruins ou intrafegáveis, o que acaba por dificultar ou impossibilitar o deslocamento de bens e pessoas. Esta condição é um dos fatores que eleva o custo dos produtos transportados por essas vias e interfere na qualidade de vida dos moradores.

Em estradas florestais, um dos principais problemas ambientais é o desencadeamento de processos erosivos, uma vez que essas funcionam como canais, transportando água e sedimentos, assoreando e poluindo mananciais (Corrêa *et al.*, 2006).

De acordo com Zoccal *et al.* (2007), no Estado de São Paulo, as estradas não pavimentadas contribuem com 50% do solo carregado aos mananciais e com 70% das erosões existentes.

A deterioração de estradas não pavimentadas passa pela falta de um sistema de drenagem adequado, provocando acúmulos de água no leito e nas margens, ou escoamento excessivo às condições de suporte do solo, destacando assim, a origem dos problemas na falta de projetos e estruturas próprias ou adequadas para essas vias. A falta desses cuidados tem provocado atoleiros, erosões nos canais e no leito da estrada, ou mesmo, em áreas marginais.

Para que esses problemas sejam reduzidos, a água da chuva precipitada sobre o leito da estrada deve ser rapidamente escoada para suas laterais e, então, conduzida para fora da plataforma de rolamento. Deverá ser evitado, também, que a água advinda de áreas externas adentre a estrada e venha a umedecer o leito ou escoar sobre ele.

Segundo Zoccal *et al.* (2007), o carregamento de solo para os mananciais ocorre principalmente devido a estradas rurais de terra mal conservadas. Após a ocorrência de uma forte chuva, o solo é carregado para o córrego, pela falta de conservação e adequação necessária. A largura e o comprimento do lançante contribuem para o transporte do solo para as nascentes e baixadas, assoreando, conseqüentemente, os mananciais.

Segundo Morais *et al.* (2004), o escoamento não controlado das águas pelas estradas provoca o surgimento de grandes erosões nas suas laterais, ou, mesmo, no seu leito, colocando em risco os usuários, deteriorando as estradas, provocando assoreamento, poluição e enchentes além da destruição de bueiros e pontes.

Para que seja possível controlar o escoamento pelas estradas não pavimentadas, é necessário que algumas medidas técnicas sejam tomadas, como o abaulamento do leito para a rápida remoção da água e a construção de canais de drenagem de modo que a água possa ser adequadamente conduzida para locais de acumulação ou deságue. A construção desses canais deve ser realizada, utilizando-se princípios de hidráulica de canais, tendo, como critérios, a vazão máxima de escoamento, para que não ocorram danos decorrentes da erosão.

A vazão máxima de escoamento deverá ser determinada em função da capacidade do solo do canal de resistir à erosão e da quantidade de água esperada, a qual é dependente da intensidade de precipitação, das áreas de contribuição e das características físico-hídricas do solo do local. Já a capacidade que o solo tem de resistir à erosão depende da tensão máxima que pode ocorrer sem que haja desprendimento de partículas (tensão crítica de cisalhamento) e da erodibilidade do solo, a qual indicará a taxa com que ocorrerá o desprendimento.

Dubé *et al.* (2004) desenvolveram um modelo para obtenção da média anual de erosão superficial em estradas e de sedimentos transportados pelos canais de forma normalizada. O modelo foi desenvolvido para estradas florestais no Estado de Washington (US) e pode ser aplicado para várias escalas, variando trechos individuais para todas as estradas com escoamento dentro ou em estradas planas.

Griebeler *et al.* (2005) desenvolveram um modelo que utiliza informações de precipitação, características geométricas e físico-hídricas das estradas e dos canais e, também, dados de resistência do solo, para realizar o dimensionamento de canais de drenagem em estradas não pavimentadas. O modelo se baseia na aplicação da equação de resistência e necessita de dados de tensão crítica de cisalhamento do solo e da sua erodibilidade. Pelo modelo, o comprimento máximo de um canal de drenagem é definido de modo que a vazão de escoamento

não provoque perdas excessivas de solos. Para facilitar sua aplicação, Griebeler *et al.* (2006) desenvolveram o *Software Estradas*, que permite, por meio de alterações em parâmetros de entrada, simular o espaçamento recomendado entre desaguadouros, de modo que a erosão seja reduzida.

Os parâmetros mais complexos a serem obtidos para utilização no modelo são a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento do solo dos canais das estradas. Neste sentido, Oliveira *et al.* (2009) utilizaram um simulador de escoamento e determinaram esses parâmetros em diferentes vias não pavimentadas do Estado de Goiás, obtendo, assim, critérios para o dimensionamento do sistema de drenagem para essas estradas.

Neste trabalho, teve-se por objetivo simular o espaçamento recomendado entre desaguadouros, verificando-se a viabilidade de construção dos canais e as alterações necessárias para que o sistema seja passível de implantação, utilizando-se o *Software Estradas*, baseado em características geométricas das estradas e parâmetros de resistência do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no laboratório de Geoprocessamento da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (LAGE).

Foram utilizados o *Software Estradas* e dados de erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento, determinados por Oliveira *et al.* (2009), para solos de seis diferentes estradas, localizadas em três municípios do Estado de Goiás.

Para cada estrada, foi simulado o espaçamento entre desaguadouros, variando-se a declividade e a inclinação das paredes do canal da estrada (taludes). As declividades longitudinais dos canais, consideradas nas simulações, foram de 1, 5, 10 e 15%, e as inclinações das paredes dos canais foram de 1:1, 1:2, 1:5 e 1:10. Foram mantidos constantes, para cada estrada, os valores de erodibilidade (k), a tensão crítica de cisalhamento do solo (τ_c), a largura da estrada e a área de contribuição, o abaulamento, a massa específica do solo (ρ_s) e a precipitação

esperada. Os valores de k e τ_c , ρ_s são apresentados na Tabela 1.

Para a determinação da vazão de escoamento a ser conduzida pelo canal, foram utilizadas as equações de IDF (Intensidade, Duração e Frequência), correspondentes aos municípios nos quais foram realizados os ensaios, com exceção do município de Doverlândia-GO, para o qual considerou-se a equação do município de Baliza-GO, por ser o Município mais próximo com equação de IDF (Intensidade, Duração e Frequência) disponível. Em todas as simulações, considerou-se período de retorno de precipitação igual a três anos, tomando-se este valor como um período crítico para a manutenção das estradas.

Foi considerado canal triangular, com as paredes simétricas, de inclinações variáveis, com coeficiente de rugosidade de Manning de 0,022 (Arcement & Schneider, 1996) e aprofundamento máximo de 5 cm, que corresponde a um valor máximo de aprofundamento do canal ao final do período de retorno utilizado. Para o leito da estrada, considerou-se largura de 7 m (3,5 m de contribuição – semilargura), abaulamento de 3%, rugosidade de Manning 0,020 (Arcement & Schneider, 1996) e taxa de infiltração de 1 mm h⁻¹. Não foi considerada área de contribuição externa à estrada.

Os resultados encontrados foram organizados em forma de tabelas e plotados em gráficos, para facilitar a visualização e a interpretação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentados os resultados obtidos com o uso do *software* e, na Figura 1, é apresentada a variação observada nos espaçamentos entre desaguadouros, considerando-se canais com declividades de 5% e diferentes seções transversais.

Os resultados encontrados evidenciam que o modelo é sensível a todos os parâmetros alterados (declividade, seção transversal do canal, k e τ_c). Observa-se, na Tabela 2, que, para canais com declividade de 1%, o espaçamento entre desaguadouros foi satisfatório, mesmo com altos valores para k , como no caso da estrada E3. Essa situação, no entanto, evidencia uma estrada em um terreno praticamente plano, no qual a velocidade de escoamento é muito baixa, situação em que os riscos de erosão são também reduzidos. Entretanto, quando a declividade do canal passa para 5%, alguns valores já se tornam impraticáveis, chegando a valores inferiores a 1 m. Para esta declividade, deve-se levar em consideração a seção transversal do canal, para que os espaçamentos tornem-se passíveis de implantação.

Acompanhando este raciocínio, observa-se que a simples existência deste canal não é suficiente para evitar a ocorrência de erosão, devendo o mesmo estar adequado às condições de escoamento. Em todas as estradas ob-

Tabela 1. Valores de erodibilidade (k g cm⁻² m⁻² s⁻¹) e tensão crítica de cisalhamento (τ_c , Pa), massa específica (ρ_s , g cm⁻³) em estradas de diferentes localidades do Estado de Goiás

Estrada*	k	τ_c	ρ_s
E1 Goiânia	0,0036	2,03	1,58
E2 Baliza	0,0098	2,08	1,64
E3 Doverlândia	0,0582	3,93	1,53
E4 Morrinhos	0,0073	3,78	1,41
E5 Morrinhos	0,0039	4,87	1,63
E6 Morrinhos	0,0054	3,74	1,60

serva-se que, à medida que o canal apresenta taludes mais suaves, o espaçamento entre desaguadouros aumenta. Para canais com taludes mais íngremes, os espaçamentos calculados foram menores, mesmo para solos com menores valores de k .

Em todas as simulações realizadas, pode-se visualizar esta situação, como por exemplo, na estrada E1, para declividade de 5%. Quando a inclinação considerada para as paredes do canal foi de 1:1 (100%), o espaçamento máximo recomendado foi de 8 m, o que é inviável em termos práticos, visto que deveriam existir estruturas de acumulação ou de recepção deste escoamento em distâncias mais curtas. Já para taludes de 1:10 (10%) o espaçamento passou para 95 m, tornando possível a implantação dos desaguadouros. Estes valores reforçam o fato de que, além dos projetos do leito, devem também existir projetos para o sistema de drenagem, uma vez que o dimensionamento incorreto deste pode levar a degradação da estrada.

No modelo, isso está relacionado com a maior área de contato entre o escoamento e a base do canal, alterando o raio hidráulico e proporcionando menor profundidade de escoamento. Quando o canal apresenta-se com paredes

mais íngremes, ocorre uma concentração do escoamento superficial, elevando a tensão cisalhante provocada por este, e os riscos de erosão são maiores. Assim, o uso de canais de máxima eficiência ou com seções que provoquem elevação na lâmina d'água não é recomendado, a menos que o material construtivo do canal apresente elevada resistência, o que não acontece em canais de estradas não pavimentadas.

Quanto aos acréscimos nos valores de tensão crítica de cisalhamento e de erodibilidade, observa-se que o modelo apresenta elevada sensibilidade. Na Figura 2, visualiza-se que, quando a erodibilidade aumenta, o espaçamento entre desaguadouros é reduzido. A relação entre k e τ_c é compensada em alguns casos, como pode ser visualizado, quando se comparam as estradas E1 e E5, as quais apresentam valores de k bastante próximos.

Observa-se, nestas estradas, que, para uma mesma seção transversal de canal, o espaçamento na estrada E5 mostrou-se bem maior, o que se deve ao fato de a tensão crítica de cisalhamento ser mais elevada nesta. O mesmo acontece com E6, que, apesar de apresentar erodibilidade sensivelmente maior do que E1, apresentou espaçamentos maiores, compensados pela maior resistência do solo ao

Tabela 2. Espaçamento entre desaguadouros (m) em estradas de terra para canais com diferentes declividades e inclinação de taludes

Estrada*	D	Talude do Canal			
	(%)	1:1	1:2	1:5	1:10
E1 – Goiânia (long. 49°16'51") (Lat. 16°35'33")	1	245	557	1374	2517
	5	8	18	48	95
	10	-	4	11	21
	15	-	2	4	9
E2 – Baliza (long. 52°23'54") (Lat. 16°29'35")	1	63	148	382	741
	5	2	5	12	24
	10	-	-	3	5
	15	-	-	-	2
E3 – Doverlândia (long. 52°20'05") (Lat. 16°42'37,5")	1	26	60	160	322
	5	-	3	5	10
	10	-	-	-	1
	15	-	-	-	-
E4 - Morrinhos (long. 49°07'23,9") (Lat. 17°41'59,5")	1	176	405	1025	1938
	5	6	13	34	69
	10	-	3	8	15
	15	-	-	3	6
E5 – Morrinhos (long. 49°06'24,9") (Lat. 17°41'24,9")	1	641	1432	3418	6132
	5	21	48	127	254
	10	5	11	29	58
	15	2	5	12	24
E6 – Morrinhos (long. 49°06'49,7") (Lat. 17°41'24,9")	1	303	690	1706	3146
	5	10	22	59	119
	10	2	5	13	27
	15	1	2	6	11

início do desprendimento, representado pela maior tensão crítica de cisalhamento. Já nas estradas E4 e E6, os valores de tensão crítica são bastante próximos e a menor erodibilidade da estrada E6 proporcionou maiores espaçamentos.

Pelas simulações é possível observar que, para elevadas declividades, mesmo alterando a seção transversal do canal, os valores de espaçamento tornam-se muito pequenos e impraticáveis. Isso ocorre mesmo para as estradas com os menores valores de erodibilidade (E1 e E5), ou as maiores tensões críticas de cisalhamento (E3 e E5). Para estes casos, devem ser estudadas alternativas construtivas para evitar a ocorrência de erosão e degradação da estrada. Como alternativas, pode-se deslocar o traçado da estrada para condições de menor declividade, realizar o revestimento da superfície dos canais com material

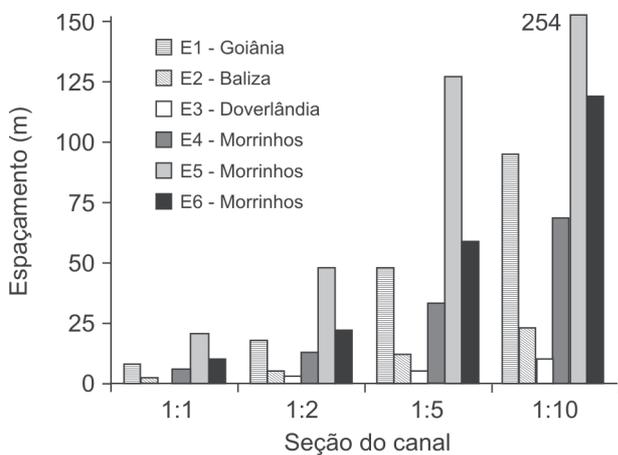


Figura 1. Espaçamento entre desaguadouros, para declividade de 5%, considerando diferentes seções transversais dos canais de drenagem.

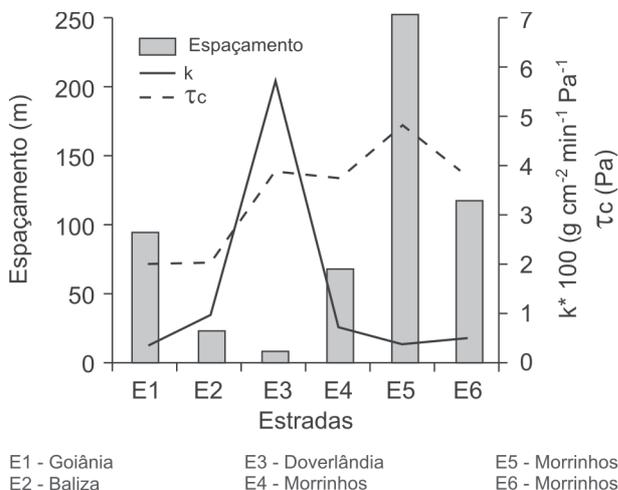


Figura 2. Comportamento do espaçamento entre desaguadouros, erodibilidade do solo (k) e tensão crítica de cisalhamento (τ_c) considerando canal de drenagem com declividade de 5% e seção transversal simétrica de 1:10.

de maior resistência, como solos mais coesos ou mesmo concreto ou, ainda, realizar o plantio de espécies vegetais com sistema radicular agressivo e adaptado às condições do solo do local. Nestes casos, devem ser tomados cuidados com a espécie vegetal utilizada, uma vez que o desenvolvimento excessivo da vegetação poderá induzir o assoreamento do canal e deslocar a água de escoamento para o leito da estrada, prejudicando assim a condição da pista.

Com base nos resultados observados nas simulações, percebe-se que o modelo responde às variações na resistência do solo, à geometria dos canais e à topografia do terreno. Também é possível perceber que os valores de resistência do solo são variáveis, o que proporcionou resultados diferentes. Isso indica que a construção de estradas sem considerar esses fatores, como é comum ocorrer, implica em um elevado risco de ocorrência de erosão e consequente deterioração das estradas. Isto é evidenciado, anualmente, durante o período chuvoso, em que boa parte das estradas não pavimentadas apresenta problemas de trafegabilidade.

A análise, considerando-se os diferentes cenários, permitirá que as estradas sejam implantadas de maneira mais correta, com menores riscos de ocorrência de erosão. Em alguns casos, principalmente em solos de alta susceptibilidade à erosão, o espaçamento entre desaguadouros poderá ser viabilizado por meio de alterações em outras características, como a forma do canal.

Para situações nas quais esta alternativa não leve a resultados práticos ou possíveis de serem aplicados, devem ser buscadas outras alternativas. Mesmo assim, o dimensionamento e a implantação das estradas estariam sendo realizados de modo que os pontos críticos seriam conhecidos e medidas preventivas poderiam ser tomadas.

CONCLUSÕES

O modelo mostrou-se sensível à declividade, à seção geométrica do canal, à erodibilidade do solo e à tensão crítica de cisalhamento.

Para declividades de 1%, os espaçamentos entre desaguadouros calculados foram elevados, mesmo com altos valores de erodibilidade.

O espaçamento entre desaguadouros foi aumentado com a alteração na seção do canal.

Para declividades acima de 5%, os valores de espaçamento tornaram-se viáveis somente para canais com taludes suaves.

Para declividades acima de 10% devem ser utilizadas alternativas para reduzir a energia do escoamento ou aumentar a resistência do solo à erosão.

REFERÊNCIAS

- Arcement GJJr, Schneider VR & USGS (1996) Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. In: United States Geological Survey Water-supply. Paper 2339. 67p.
- Corrêa CMCC, Malinovski JR & Roloff G (2006) Bases para planejamento de rede viária em reflorestamento no Sul do Brasil. *Floresta*, 36:277-283.
- Dubé K, Megahan W & Mccalmon M (2004) Washington Road Surface Erosion Model. Washington, Departamento of Natural Resources.
- Griebeler NP, Pruski FF, Silva JM, Silva DD & Mehl HU (2006) Sistema para dimensionamento de redes de drenagem e bacias de acumulação em estradas não pavimentadas. In: Pruski FF Silva DD Teixeira AF Cecílio RA & Griebeler NP (Orgs.) *HIDROS: Dimensionamento de sistemas hidroagrícolas*. Viçosa. Editora da UFV. p.187-224.
- Griebeler NP, Pruski FF, Silva JMA, Ramos MM & Silva DD (2005) Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguedouros em estradas não pavimentadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:397-405.
- Morais O, Mendes BR, Bublitz U, Barras V & Loyola PG (2004) Adequação de estradas rurais integradas aos sistemas conservacionistas. Curitiba, Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. 74p.
- Oliveira JF de, Griebeler NP, Correchel V & Silva VC da (2009) Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:955-960.
- Zoccal JC, Brandão HF da, Silva JR da & Matheus NO (2007) Adequação de erosões: causas, consequências e controle da erosão rural. São Paulo, CODASP, 62p. (Soluções: Cadernos de estudos em conservação de solo e água, v.1, n.1)