

Luciana Elias de Sousa

SIMULAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS EM MONTES CLAROS E EM BELO HORIZONTE
– MG, COM O AUXÍLIO DO *SOFTWARE* ESTRADAS

Trabalho Final de Especialização apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para a obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gonçalves Oliveira

Montes Claros

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

Simulação do dimensionamento de sistema de drenagem em estradas não pavimentadas em Montes Claros e em Belo Horizonte - MG com auxílio do software estradas.

LUCIANA ELIAS DE SOUSA

Trabalho Final de Especialização submetido à Comissão de Avaliação designada pela Comissão de Coordenação do curso de Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais, como requisito para obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais.

Aprovado em 23 de setembro de 2020 pela comissão de avaliação constituída pelos membros:

Flávio Gonçalves Oliveira - Orientador(a)
ICA/UFMG

Flávio Pimenta de Figueiredo - Avaliador(a)
ICA/UFMG

Júlia Ferreira da Silva - Avaliador(a)
ICA/UFMG

Montes Claros, 24 de setembro de 2020.

Dalton Rocha Pereira
Coordenador de Pós-graduação *Lato Sensu*



Documento assinado eletronicamente por **Dalton Rocha Pereira, Professor Ensino Básico Técnico Tecnológico**, em 24/09/2020, às 18:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0273602** e o código CRC **DFAB64DE**.

RESUMO

O Brasil possui quase 80% de sua malha rodoviária composta por estradas não pavimentadas, cuja degradação é ocasionada principalmente pela erosão provocada pela água escoada no leito da via e em suas margens, além do próprio tráfego de veículos. Neste trabalho foi realizada a simulação do dimensionamento de sistemas de drenagem com bacias de acumulação em estradas não pavimentadas com o auxílio do *software* Estradas, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa. Para os dimensionamentos simulados foram utilizados os parâmetros de precipitação das cidades de Belo Horizonte/MG e de Montes Claros/MG, propriedades de solo argiloso e de solo arenoso, e variação das características físicas da estrada e de sua encosta, como por exemplo, a declividade e o coeficiente de rugosidade. Foi verificado que o resultado obtido tanto para o raio da bacia de acumulação quanto para a perda de solo calculados para a cidade de Belo Horizonte é menor que o mesmo resultado obtido para a cidade de Montes Claros, para o mesmo espaçamento entre desaguadouros.

ABSTRACT

Brazil has almost 80% of its road network composed of unpaved roads, whose degradation is caused mainly by the erosion caused by the water drained from the roadbed and its margins, in addition to the vehicle traffic itself. In this work, a simulation of the dimensioning of drainage systems with accumulation basins on unpaved roads was carried out with the aid of the Estradas software, developed by the Research Group on Water Resources at the Federal University of Viçosa. For the simulated dimensioning, was used precipitation parameters of the Belo Horizonte/MG city and Montes Claros/MG city, properties of clayey and sandy soil, and variation of the physical characteristics of the road and its slope, such as, for example, slope and roughness coefficient. It was found that the result obtained both for the radius of the accumulation basin and for the loss of soil calculated for the Belo Horizonte city is less than the same result obtained for the city of Montes Claros city, for the same spacing between water outlets.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Bacias de acumulação da Estrada para o Cardoso em Jaboticatubas/MG.....	10
Figura 2: Coeficientes de rugosidade do canal.....	14
Figura 3: Coeficientes de rugosidade do terreno (encosta).....	15
Figura 4: Saída de dados do software Plúvio para a cidade de Montes Claros/MG.....	16
Figura 5: Saída de dados do Software Plúvio para a cidade de Belo Horizonte/MG.....	17
Figura 6: Tipos de seção transversal da estrada.....	18
Figura 7: Seção transversal escolhida para a sarjeta.....	19
Figura 8: Seção transversal escolhida para o conduto.....	20
Figura 9: Declividades dos taludes do conduto.....	20
Figura 10: Geometria da bacia de acumulação.....	21
Figura 11: Saída do software Estradas - Cenário 1.....	26
Figura 12: Saída do software Estradas - Cenário 1 (continuação).....	27
Figura 13: Tela processamento do cálculo - Cenário 1.....	27
Figura 14: Saída do software Estradas - Cenário 2.....	28
Figura 15: Primeira mensagem de erro no cálculo - Cenário 3.....	29
Figura 16: Segunda mensagem de erro no cálculo - Cenário 3.....	29
Figura 17: Saída do software Estradas - Cenário 4.....	30
Figura 18: Simulação com outro valor de espaçamento - Cenário 1.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Erodibilidade (K) dos Solos Presentes na Bacia do Rio são Francisco.....	12
Tabela 2: Erodibilidade de diferentes tipos de Solos em Leitos de Estradas	12
Tabela 3: Tensão Crítica de Cisalhamento para Diferentes Tipos de Solos em Leitos de Estradas	13
Tabela 4: Parâmetros da equação IDF retornados pelo Plúvio.....	16
Tabela 5: Precipitação média máxima no período de retorno de 5 anos	17
Tabela 6: Precipitação total no tempo t, período de retorno de 5 anos	18
Tabela 7: Cenário 1	22
Tabela 8: Cenário 2	23
Tabela 9: Cenário 3	24
Tabela 10: Cenário 4	25
Tabela 11: Resumo dos dados de saída do software para os cenários 1 a 4.....	30
Tabela 12: Raio da bacia de acumulação e perda de solo para outros espaçamentos	32

LISTA DE ABREVIACÕES

CNT – Confederação Nacional do Transporte

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

GPRH – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos

IDF – Equação que relaciona intensidade, duração e frequência de chuvas

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

UFV – Universidade Federal de Viçosa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1. Processo Erosivo em Estradas Não Pavimentadas	9
2.2. Sistemas de Drenagem de Estradas Não Pavimentadas.....	9
2.2.1. Precipitação	11
2.2.2. Erodibilidade	11
2.2.3. Tensão Crítica de Cisalhamento	12
2.2.4. Massa Específica	13
2.2.5. Taxa de Infiltração.....	13
2.2.6. Rugosidade	14
3. METODOLOGIA	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	34
ANEXO A: Relatórios <i>Software</i> Estradas	36

1. INTRODUÇÃO

Os temas relacionados às estradas rurais são comumente pouco abordados nas grades curriculares dos cursos de graduação e pós-graduação no Brasil. Especialmente quanto à drenagem nas estradas não pavimentadas, o país ainda carece de literatura específica: são poucos os livros didáticos e outros tipos de publicações com contribuição a esse respeito.

Por outro lado, conforme o Anuário CNT do Transporte 2018, publicado pela Confederação Nacional do Transporte – CNT, o Brasil possuía 1.720.700,3 km de malha rodoviária, no ano de 2017, e desse total 1.349.938,5 km são estradas não pavimentadas, popularmente conhecidas como estradas de terra, o que equivale a cerca de 78% da malha.

Em Minas Gerais, segundo o anuário, a extensão das estradas não pavimentadas, no mesmo ano, era de 244.933,8 km, o que corresponde a 87% da malha rodoviária estadual, que totalizava 280.355,2 km.

Salomão (2009) destaca que a imprecisão dos projetos de drenagem, que geralmente não consideram as características relacionadas à suscetibilidade do solo à erosão, a falta de investimento em obras complementares de dissipação das águas escoadas superficialmente, e a falta também de manutenção adequada da própria via, constituem as principais causas de erosão por ravinas e voçorocas em estradas rurais (não pavimentadas).

Nesse cenário, merece destaque o trabalho do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos – GPRH da Universidade Federal de Viçosa – UFV, que desenvolveu alguns *softwares* que auxiliam no dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais das estradas não pavimentadas, como o Plúvio e o Estradas, disponíveis para *download* no sítio eletrônico do grupo (<http://www.gprh.ufv.br/>).

O *software* Plúvio, disponibilizado na versão 2.1, possibilita a obtenção da equação de chuvas intensas para qualquer localidade dos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Tocantins, e para os demais estados do Brasil, apenas para as localidades onde já existem as equações. Já o *software* Estradas, na versão 2.0, permite dimensionar sistemas de drenagem com bacias de acumulação em estradas não pavimentadas (GPRH, 2008).

Tendo em vista a disponibilização pública dos *softwares* citados, foi elaborado o presente trabalho com o objetivo de simular o dimensionamento de sistemas de drenagem com bacias de acumulação em estradas não pavimentadas por meio do Estradas, com variação de alguns dos parâmetros de cálculo, para comparação da correspondente variação da área das bacias de acumulação e do espaçamento entre os respectivos desaguadouros, com base nos parâmetros pluviométricos das cidades de Belo Horizonte e Montes Claros, ambas no estado de

Minas Gerais. Essas duas cidades foram escolhidas por apresentarem regimes de chuvas diferentes entre si, possibilitando ilustrar de forma mais clara o impacto da variação desse parâmetro nos dimensionamentos simulados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Processo Erosivo em Estradas Não Pavimentadas

Segundo Griebeler *et al* (2005), a água precipitada nos leitos das estradas não pavimentadas é escoada superficialmente, em quase sua totalidade, devido à baixa capacidade de infiltração do solo no local.

Conforme Silva (2009), um dos principais problemas observados nas estradas não pavimentadas é a ocorrência de processos erosivos provocados pelo escoamento superficial das águas pluviais, precipitadas tanto no leito da via quanto em regiões marginais a esta.

Na ausência de um sistema de drenagem adequado, além de ensejar a degradação da estrada pelos processos erosivos, o material carregado no escoamento superficial é depositado nas regiões do entorno da via, podendo causar impactos em áreas agrícolas ou florestais, ou transportado para os corpos hídricos próximos, provocando a poluição e o assoreamento dos mesmos.

Para Griebeler (2002), os problemas de erosão nas estradas não pavimentadas podem ser minimizados por meio da coleta da água escoada nas laterais da via e seu encaminhamento para os escoadouros naturais ou artificiais, bacias de acumulação ou outro sistema de retenção nas áreas marginais.

2.2. Sistemas de Drenagem de Estradas Não Pavimentadas

Silva (2009) lista como elementos do sistema de drenagem de estradas não pavimentadas:

- O abaulamento do leito da estrada: elevação do centro da seção transversal da via, de modo que a água da chuva seja drenada para as suas laterais.

- A superelevação do leito da estrada: alternativa ao abaulamento, que consiste na elevação de um dos cantos da via, de modo que a água seja drenada para a margem oposta, que possui canal de drenagem.

- Canais de escoamento ou sarjetas: canais construídos nas margens da estrada para coletar e conduzir a água escoada tanto no leito da via quanto na área de contribuição do entorno.

- Estruturas para retenção e infiltração da água drenada da estrada: canais desaguadouros desviam o volume escoado dos canais de escoamento ou sarjetas e conduzem a água para bacias de infiltração, também chamadas de bacias de acumulação ou bacias de retenção, ou para terraços, possibilitando a infiltração lenta no solo, de modo a prevenir a ocorrência dos processos erosivos.

Na Figura 1 são mostradas duas bacias de acumulação em estradas não pavimentadas.

Figura 1: Bacias de acumulação da Estrada para o Cardoso em Jaboticatubas/MG



Fonte: Da autora, 2019.

Para o dimensionamento do sistema de drenagem da estrada não pavimentada é necessário o levantamento de alguns parâmetros referentes às propriedades do solo, tais como erodibilidade, tensão crítica de cisalhamento, massa específica e taxa de infiltração, além de outras características do meio, como rugosidade e declividade, e ainda, do regime de chuvas do local (precipitação).

Os dados de precipitação são utilizados juntamente com as características físicas e as propriedades do solo do leito da estrada e de seu entorno para a determinação do espaçamento entre desaguadouros e, a partir da quantificação da vazão e do volume pluvial escoado, também para o dimensionamento da bacia de acumulação ou dos terraços.

Conforme o relatório do GPRH (2008), o espaçamento entre desaguadouros é calculado a partir da associação do hidrograma de escoamento no canal com as características de resistência do solo local à erosão, para quantificação da perda desse solo durante o escoamento e sua comparação a uma perda limite tolerável, considerando a realização de

manutenções periódicas necessárias no leito da estrada e em suas margens, o que permitiria a recuperação de pequenos danos provocados pela erosão.

2.2.1. Precipitação

Conforme Silva *et al* (2006), a intensidade máxima média de precipitação na região de contribuição do local alvo do projeto de drenagem pode ser obtida por meio da Equação 1 que relaciona a intensidade, a duração e a frequência das chuvas (equação IDF).

$$i_m = \frac{k T^a}{(t+b^c)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

i_m = intensidade máxima média das precipitações, em mm/h;

T = período de retorno ou recorrência, em anos;

t = duração das precipitações, em minutos;

k, a, b e c = coeficientes determinados para a localidade específica.

Nesse caso, a precipitação total i , em mm, correspondente ao tempo t será dada pela Equação 2

$$i = \frac{i_m}{60} t \quad (\text{Equação 2})$$

Para todo o estado de Minas Gerais, além de diversas outras localidades do país, o *software* Plúvio fornece os valores dos coeficientes k, a, b e c, facilitando a determinação da precipitação de projeto dos sistemas de drenagem.

2.2.2. Erodibilidade

De acordo com Arraes, Bueno e Pissarra (2010), a erodibilidade é o efeito integrado dos processos que regulam o momento do contato da chuva com o solo e a resistência deste à desagregação e ao movimento de suas partículas, indicando seu grau de suscetibilidade à erosão, considerando suas propriedades características.

Maciel (2010) simplifica que a erodibilidade, sob condições de escoamento superficial, corresponde à quantidade de solo desprendido por unidade de área, tempo e tensão aplicada.

As características do solo que influenciam na erodibilidade são sua granulometria e constituição mineralógica e química, sua estrutura, permeabilidade, capacidade de infiltração e coesão entre suas partículas (NOGAMI E VILLIBOR, 1995 *apud* MACIEL, 2010).

Chaves (1994) apresenta o levantamento dos tipos de solo do vale do Rio São Francisco e os valores da erodibilidade (K) de cada um. Posteriormente, Amaral et al (2004) relacionaram as correspondências dos nomes antigos dos solos identificados no estado de Minas Gerais com as nomenclaturas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS.

Os valores de da erodibilidade (K) obtidos por Chaves (1994) para alguns dos tipos de solo presentes na Bacia do Rio São Francisco são relacionados na Tabela 1.

Tabela 1: Erodibilidade (K) dos Solos Presentes na Bacia do Rio São Francisco

Solo (nomenclatura antiga)	Solo (nomenclatura SiBCS)	K (t ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Areia Quartzosa	Neossolo quartzarênico	0,078
Cambissolo	Cambissolo Háptico	0,060
Latossolo vermelho amarelo	Latossolo vermelho amarelo	0,020
Latossolo vermelho escuro	Latossolo vermelho	0,013
Litólico	Neossolo litólico	0,035
Podzólico vermelho escuro	Argissolo vermelho	0,030

Fonte: Adaptada de Chaves (1994) e Amaral *et al* (2004)

De maneira geral, Griebeler (2002) apresenta os valores da erodibilidade de diferentes tipos de solo em condições de estrada, os quais são relacionados na Tabela 2, já convertidos para a unidade utilizada pelo *software* Estradas.

Tabela 2: Erodibilidade de diferentes tipos de Solos em Leitões de Estradas

Solo do Leito da Estrada	Argiloso	Siltoso	Arenoso	Argiloso Cascalhado	Arenoso Cascalhado
K (g cm ⁻² min ⁻¹ Pa ⁻¹)	0,0012	0,0036	0,0024	0,0018	0,0018

Fonte: Adaptada de Griebeler (2002)

2.2.3. Tensão Crítica de Cisalhamento

Conforme Oliveira *et al* (2009), a tensão crítica de cisalhamento (τ) do solo corresponde à máxima tensão resistida pelo solo sem que haja a remoção de suas partículas. Já Enriquez *et al* (2015) definem essa mesma tensão como a força hidráulica requerida para iniciar o desprendimento das partículas do solo.

Na Tabela 3, adaptada de Griebeler (2002), são apresentados os valores da tensão crítica de cisalhamento para diferentes tipos de solo em condições de estrada.

Tabela 3: Tensão Crítica de Cisalhamento para Diferentes Tipos de Solos em Leitos de Estradas

Solo do Leito da Estrada	Argiloso	Siltoso	Arenoso	Argiloso Cascalhado	Arenoso Cascalhado
τ (Pa)	1,5	1,8	2	1,8	2

Fonte: Adaptada de Griebeler (2002)

2.2.4. Massa Específica

Segundo Almeida (2005), a massa específica do solo (ρ), é a razão entre a massa seca e o volume deste, variando de 1,0 a 2,3 g.cm⁻³ para solos comuns; sendo também chamada de densidade por alguns autores.

Conforme Reinert e Reichert (2006), os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 a 1,9 gcm⁻³, enquanto para solos argilosos, de 0,9 a 1,7 gcm⁻³.

2.2.5. Taxa de Infiltração

A quantidade de água que irá escoar superficialmente no canal da estrada (sarjeta) será aquela recebida pela precipitação direta sobre a via somada àquela recebida pelo direcionamento da água escoada na área externa de contribuição daquele trecho (encostas), subtraída da quantidade infiltrada no próprio leito.

De acordo com Paz (2010), a taxa de infiltração em solos argilosos é inferior a 5,0 mmh⁻¹, em solos franco-argilosos varia de 5,0 a 10,0 mmh⁻¹, em solos francos varia de 10,0 a 20,0 mmh⁻¹, em solos franco-arenosos varia de 20,0 a 30,0 mmh⁻¹, e em solos arenosos é superior a 30,0 mmh⁻¹.

Já para os solos em leitos de estradas (solo natural compactado no processo de construção da via e pelo tráfego de veículos), de acordo com Cunha, Leal e Costa (2011) a taxa de infiltração da água em vias não encascalhadas é inferior a 1,0 mmh⁻¹, e para as estradas encascalhadas essa taxa fica em torno de 3,0 mmh⁻¹.

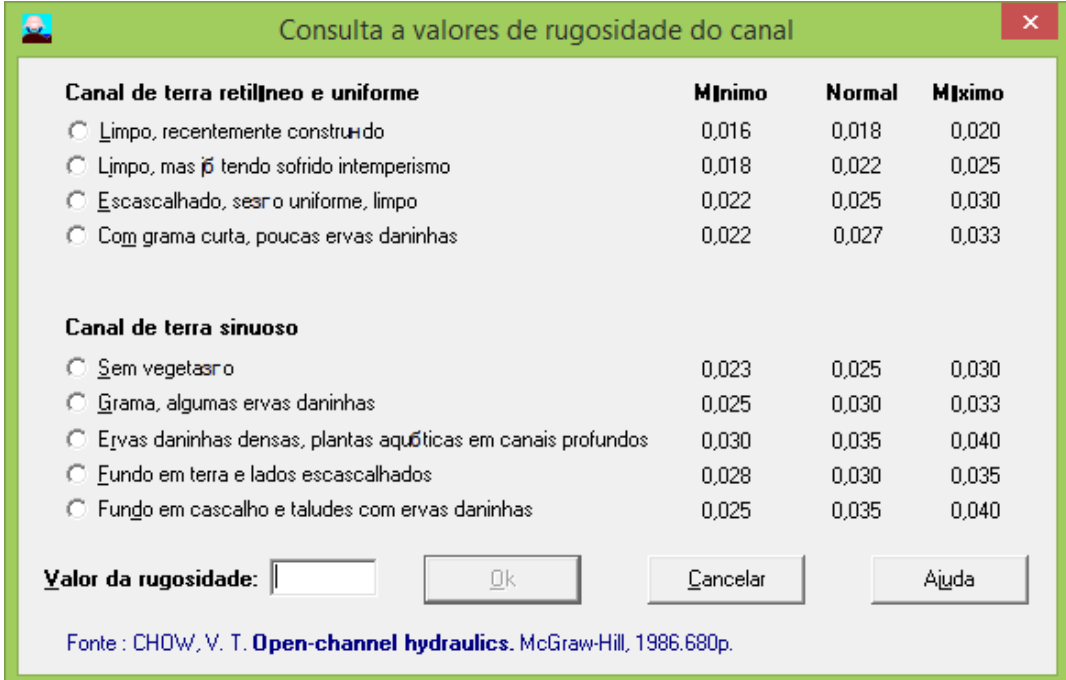
2.2.6. Rugosidade

A rugosidade da superfície do canal de escoamento constitui um dos parâmetros necessários para a determinação da vazão escoada, uma vez que o atrito da água com essa superfície interfere na velocidade do escoamento.

O coeficiente de rugosidade pode ser determinado ou estimado empiricamente por meio de ensaios e/ou medições de campo. Nesse último caso, a literatura já apresenta valores tabelados, compilados de trabalhos anteriores.

Nas Figura 2 e Figura 3 são mostradas as tabelas de valores de rugosidade do canal e da encosta propostos, respectivamente, por Chow (1959) e por Beasley e Huggins (1981), apresentadas pelo *software* Estradas.

Figura 2: Coeficientes de rugosidade do canal



Canal de terra retilíneo e uniforme	Mínimo	Normal	Máximo
<input type="radio"/> Limpo, recentemente construído	0,016	0,018	0,020
<input type="radio"/> Limpo, mas já tendo sofrido intemperismo	0,018	0,022	0,025
<input type="radio"/> Escascalhado, seixo uniforme, limpo	0,022	0,025	0,030
<input type="radio"/> Com grama curta, poucas ervas daninhas	0,022	0,027	0,033
Canal de terra sinuoso			
<input type="radio"/> Sem vegetação	0,023	0,025	0,030
<input type="radio"/> Grama, algumas ervas daninhas	0,025	0,030	0,033
<input type="radio"/> Ervas daninhas densas, plantas aquáticas em canais profundos	0,030	0,035	0,040
<input type="radio"/> Fundo em terra e lados escascalhados	0,028	0,030	0,035
<input type="radio"/> Fundo em cascalho e taludes com ervas daninhas	0,025	0,035	0,040

Valor da rugosidade:

Fonte: CHOW, V. T. **Open-channel hydraulics**. McGraw-Hill, 1986.680p.

Fonte: *Software* Estradas, 2019.

Figura 3: Coeficientes de rugosidade do terreno (encosta)

		Intervalo	Valor	
Cultura em linha	Preparo primário com aiveca	<input type="radio"/> Superfície plana	0,070-0,100	0,085
		<input type="radio"/> Superfície cultivada	0,090-0,120	0,110
	Escarificador	<input type="radio"/> Superfície plana	0,080-0,120	0,100
		<input type="radio"/> Superfície cultivada	0,100-0,140	0,120
Sem preparo		<input type="radio"/> Resíduo normal	0,100-0,150	0,120
		<input type="radio"/> Muito resíduo	0,130-0,170	0,150
Gramma ou pastagem		<input type="radio"/> Pouca cobertura	0,065-0,100	0,080
		<input type="radio"/> Cobertura média	0,090-0,120	0,100
		<input type="radio"/> Boa cobertura	0,100-0,140	0,120
Pequenos grãos		<input type="radio"/> Resíduos removidos	0,090-0,120	0,100
		<input type="radio"/> Resíduos incorporados	0,110-0,140	0,120
Florestas ou áreas de reflorestamento		<input type="radio"/> Brvores pequenas	0,120-0,180	0,150
		<input type="radio"/> Brvores grandes	0,150-0,250	0,200
Terra arada	Arado de aiveca	<input type="radio"/> Superfície plana	0,010-0,050	0,035
		<input type="radio"/> Superfície rugosa	0,250-0,500	0,350
	Escarificador	<input type="radio"/> Superfície plana	0,030-0,080	0,050
		<input type="radio"/> Superfície rugosa	0,150-0,500	0,250
	Arado de disco	<input type="radio"/> Superfície plana	0,030-0,070	0,040
		<input type="radio"/> Superfície rugosa	0,100-0,400	0,200

Valor da rugosidade:

Ok Cancelar Ajuda

Fonte : BEASLEY, D. B.; HUGGINS, L. F. *Answers: user's manual*. Chicago, United States Environmental Protection Agency, Region V, 1981. 51p.

Fonte: *Software Estradas*, 2019.

3. METODOLOGIA

Para a simulação proposta, de dimensionamento de sistemas de drenagem de estradas não pavimentadas com leito em solo natural (cascalhada, no caso do solo argiloso), foram realizados os cálculos por meio do *software* Estradas 2.0, com variação dos parâmetros relativos às propriedades do solo e às características físicas do local (topografia da área externa e geometria dos itens de configuração do sistema, por exemplo) e utilizando os dados de precipitação das cidades de Montes Claros e de Belo Horizonte, ambas no estado de Minas Gerais, porém com características climatológicas diferentes, com o objetivo de mensurar também a interferência da variação da precipitação no dimensionamento.

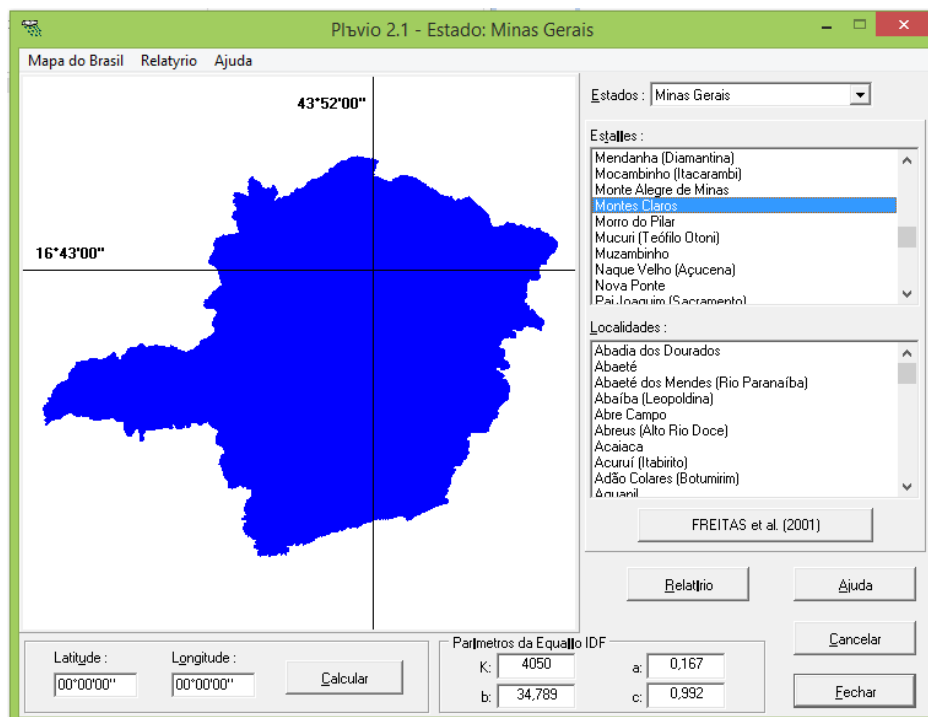
Para essas localidades, o *software* Plúvio 2.1 fornece os parâmetros k , a , b e c , da equação IDF, apresentados na Tabela 4

Tabela 4: Parâmetros da equação IDF retornados pelo Plúvio

Localidade	k	a	b	c
Belo Horizonte	682,874	0,169	3,993	0,671
Montes Claros	4050,000	0,167	34,789	0,992

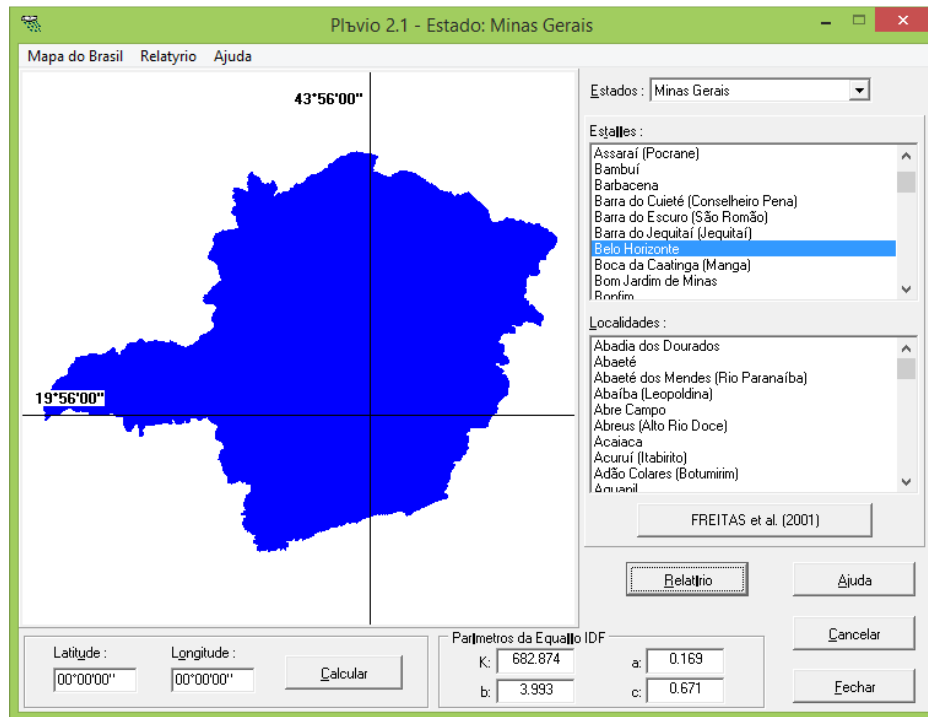
Nas Figura 4 e Figura 5 são apresentadas as saídas de dados do *software* Plúvio para as cidades de Montes Claros e de Belo Horizonte, respectivamente.

Figura 4: Saída de dados do software Plúvio para a cidade de Montes Claros/MG



Fonte: *Software* Plúvio, 2019.

Figura 5: Saída de dados do Software Plúvio para a cidade de Belo Horizonte/MG



Fonte: *Software Plúvio*, 2019.

O período de retorno ou recorrência para escoamentos superficiais, segundo determinação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2010), é de 05 a 10 anos, sendo que no presente estudo foi padronizado o uso do limite inferior recomendado, com espaçamento de um ano para manutenção da via e de seu sistema de drenagem.

Para o período de retorno T igual a 5 anos são apresentados na Tabela 5, os valores correspondentes da precipitação média máxima i_m no tempo t igual a 5, 10, 30 e 60 minutos, calculados com os parâmetros da equação IDF das localidades escolhidas.

A precipitação total no tempo t para as das duas localidades é listada na Tabela 6.

Tabela 5: Precipitação média máxima no período de retorno de 5 anos

Localidade	$i_{m,5min}$ (mm/h)	$i_{m,10min}$ (mm/h)	$i_{m,30min}$ (mm/h)	$i_{m,60min}$ (mm/h)
Belo Horizonte	119,002	71,523	27,552	14,334
Montes Claros	136,516	120,937	83,035	56,482

Tabela 6: Precipitação total no tempo t, período de retorno de 5 anos

Localidade	$i_{t=5\text{min}}$ (mm)	$i_{t=10\text{min}}$ (mm)	$i_{t=30\text{min}}$ (mm)	$i_{t=60\text{min}}$ (mm)
Belo Horizonte	9,917	11,920	13,776	14,334
Montes Claros	11,376	20,156	41,517	56,482

A partir dos dados da precipitação local e das características do leito da estrada e da área do entorno, o *software* Estradas retorna o valor do espaçamento máximo entre desaguadouros, apresentado como comprimento recomendado do canal de drenagem da estrada (sarjeta); do volume de água escoado e do raio da bacia de acumulação para a profundidade estabelecida.

No dimensionamento foram usados, respectivamente, os valores de erodibilidade de 0,0018 e de 0,0024 $\text{g cm}^{-2} \text{min}^{-1} \text{Pa}^{-1}$; e os valores de tensão crítica de cisalhamento de 1,8 e de 2,0 Pa, para as classes de solo argiloso (cascalhado) e arenoso, no cálculo da perda de solo no trecho simulado. A massa específica dos dois tipos de solo foi fixada em 1,5 g.cm^{-3} , considerando se tratar de solo compactado (leito de estrada).

Quanto à tipologia do leito da estrada, foi utilizada no dimensionamento a seção transversal com encostas, segundo tipo apresentado pelo *software* Estradas, como mostrado na Figura 6.

Figura 6: Tipos de seção transversal da estrada



Fonte: *Software* Estradas, 2019.

A semi-largura do leito da estrada foi fixada em 2,0 m para estradas mais estreitas (4,0 m de largura), e em 3,5 m para estradas mais largas (7,0 m de largura). Já a declividade transversal do leito foi fixada em 0,018 m.m^{-1} , considerando a baixa ou nula declividade observada in loco nas estradas rurais.

Cabe ressaltar que o dimensionamento do sistema de drenagem é individual para cada lado da via, razão pela qual o cálculo é feito com base na semi-largura do leito da estrada.

A taxa de infiltração do leito da estrada foi considerada em 0,7 mm.h^{-1} .

Com relação à área de contribuição da encosta, foram utilizadas para o dimensionamento encostas de 1,0 m e de 10,0 m de comprimento, considerando a diversificação

da topografia das áreas externas às estradas. Do mesmo modo, foram utilizados os valores da declividade da área, de $0,15 \text{ m.m}^{-1}$ e $0,40 \text{ m.m}^{-1}$.

Os valores da taxa de infiltração da encosta foram fixados em $4,0 \text{ mm.h}^{-1}$ para solo argiloso e em $35,0 \text{ mm.h}^{-1}$ para solo arenoso.

Para a escolha dos valores do coeficiente de rugosidade da encosta foram considerados a terra arada (coeficiente igual a $0,035$) e cobertura média com grama ou pastagem ou pequenos grãos com resíduos removidos (coeficiente igual a $0,100$).

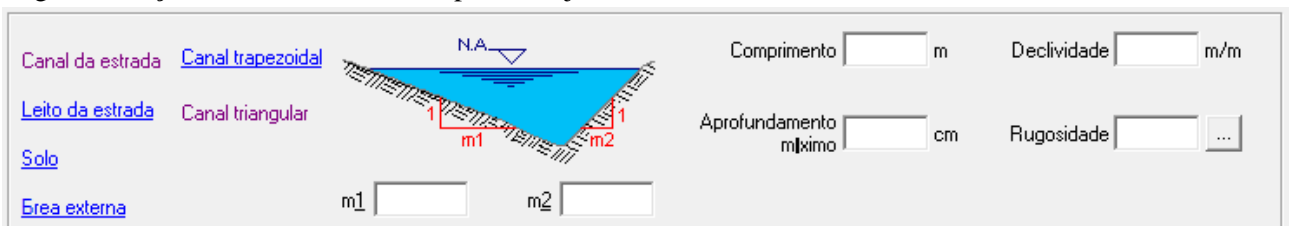
Para o canal da estrada, ou sarjeta, foi escolhida a seção transversal triangular, mais comumente observada nas estradas não pavimentadas. Pela mesma razão, foi escolhida a seção transversal trapezoidal para o canal de condução, ou conduto, da água para a bacia de acumulação.

O comprimento do trecho foi padronizado, em $400,00 \text{ m}$, para facilitar a comparação dos resultados obtidos com simulação do dimensionamento em cenários distintos.

A declividade longitudinal da sarjeta foi definida em $0,10 \text{ m.m}^{-1}$ e em $0,20 \text{ m.m}^{-1}$, considerando que geralmente o canal segue o traçado e a declividade da própria estrada. Por outro lado, a declividade do conduto foi padronizada em $0,10 \text{ m.m}^{-1}$, levando em conta a possibilidade de manutenção dessa medida com a variação do traçado e do comprimento do conduto, se necessário.

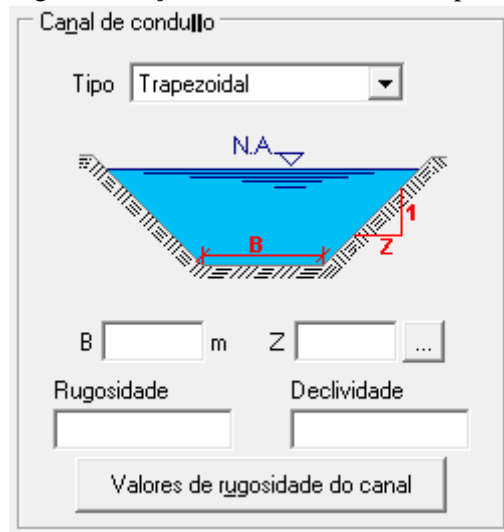
A Figura 7 e a Figura 8 mostram, respectivamente, as seções transversais escolhidas para a sarjeta e para o conduto, como apresentadas pelo *software* Estradas.

Figura 7: Seção transversal escolhida para a sarjeta



Fonte: *Software* Estradas, 2019.

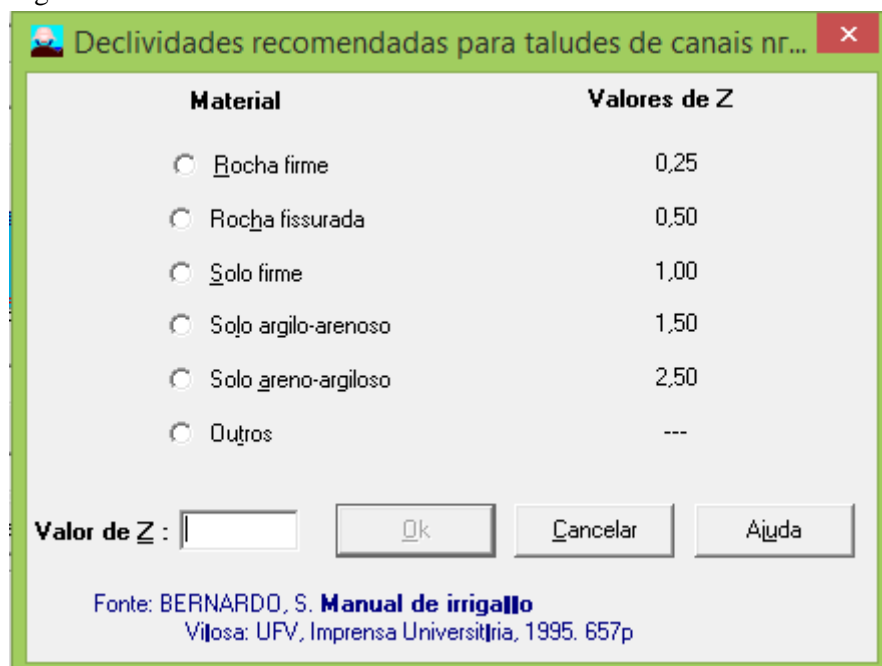
Figura 8: Seção transversal escolhida para o conduto



Fonte: *Software Estradas*, 2019.

As medidas da seção transversal da sarjeta também foram fixadas, ficando estabelecidos os valores de 1,5 para m_1 e de 1,0 para m_2 , relativos às declividades dos taludes laterais do canal. Já para o conduto, foi padronizado o valor de 0,10 m para a base B e estabelecidos os valores de 1,50 e de 2,50 para Z , relativos à declividade dos taludes laterais do conduto e correspondentes aos solos argilo-arenosos e areno-argilosos, respectivamente, conforme proposto por Bernardo (1995) e indicado pelo próprio *software Estradas*, como demonstrado na Figura 9.

Figura 9: Declividades dos taludes do conduto



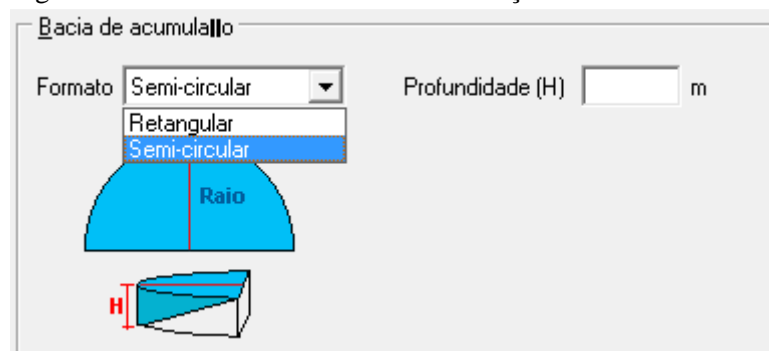
Fonte: *Software Estradas*, 2019.

Os coeficientes de rugosidade utilizados para o dimensionamento da sarjeta e do conduto da bacia de acumulação foram escolhidos considerando que geralmente sua construção em estradas não pavimentadas é realizada com o mesmo material da própria estrada, ou seja, somente com a escavação do solo natural (0,022) ou, ainda, com a deposição de cascalho caso a via também receba o mesmo tratamento, sendo observada, ainda, a possibilidade de crescimento de gramas ou pequenas ervas daninhas no canal (0,035). Já a rugosidade do leito da estrada foi fixada em 0,022 para o solo arenoso e em 0,025 para o solo argiloso cascalhado.

O aprofundamento máximo tolerável é aquele que não compromete o tráfego e que possibilita fácil correção por intermédio das operações periódicas de manutenção das estradas (GPRH, 2008). O valor foi padronizado em 0,03 m, tanto para o conduto quanto para a sarjeta, visando menor perda de solo nos canais.

Embora em campo tenha sido observada a predominância da implantação de bacias de acumulação no formato circular, tendo em vista que o software Estradas possibilita o dimensionamento desse item apenas nos formatos semicircular e retangular, como mostrado na Figura 10, foi escolhido o semicircular com profundidade (H) fixada em 1,5 m.

Figura 10: Geometria da bacia de acumulação



Fonte: *Software Estradas*, 2019.

Para a comparação dos resultados foi simulado o dimensionamento do sistema de drenagem em dois cenários com regime de chuvas de Belo Horizonte e em dois cenários com regime de chuvas de Montes Claros, considerando solos argilosos, cascalhados no leito da estrada, e arenosos, com variação também dos parâmetros relativos às características físicas da via e de seu entorno.

No cenário 1, detalhado na Tabela 7, foi utilizado o regime de chuvas de Belo Horizonte, propriedades de solo argiloso, cascalhado na estrada, e os parâmetros de menor valor relativos às características físicas da via e do entorno.

Tabela 7: Cenário 1

Precipitação	
Parâmetros da equação IDF:	k= 682,874 a= 0,169 b= 3,993 c = 0,671
Período de retorno, em anos:	5
Espaçamento, em anos:	1
Propriedades do solo	
Erodibilidade (K), em $\text{g.cm}^{-2}\text{min}^{-1}\text{Pa}^{-1}$:	0,0018
Tensão crítica de cisalhamento (τ), em Pa:	1,8
Massa específica (ρ), em g.cm^{-3} :	1,5
Características do leito da estrada	
Semi-largura, em m:	2,0
Declividade transversal, em m.m^{-1} :	0,018
Taxa de infiltração, em mm.h^{-1} :	0,7
Coefficiente de rugosidade:	0,025
Características da encosta	
Comprimento, em m:	1,0
Declividade, em m.m^{-1} :	0,15
Taxa de infiltração, em mm.h^{-1} :	4,0
Coefficiente de rugosidade:	0,035
Características do canal da estrada (sarjeta)	
Seção transversal:	Triangular
Comprimento, em m:	400
Declividade longitudinal, em m.m^{-1} :	0,10
Declividades dos taludes laterais:	$m_1=1,5$; $m_2=1,0$
Coefficiente de rugosidade:	0,022
Aprofundamento máximo, em cm:	3,0
Características do canal de condução (conduto)	
Seção transversal:	Trapezoidal
Declividade longitudinal, em m.m^{-1} :	0,10
Base da seção transversal (B), em m:	0,10
Declividades dos taludes laterais (Z):	1,50
Coefficiente de rugosidade:	0,022
Aprofundamento máximo, em cm:	3,0
Características da bacia de acumulação	
Formato:	Semicircular
Profundidade, em m:	1,5

No cenário 2, detalhado na Tabela 8, foi utilizado o regime de chuvas de Montes Claros, propriedades de solo argiloso, cascalhado na estrada, e os parâmetros de menor valor relativos às características físicas da via e do entorno.

Tabela 8: Cenário 2

Precipitação	
Parâmetros da equação IDF:	k= 4050,000 a= 0,167 b= 34,789 c = 0,992
Período de retorno, em anos:	5
Espaçamento, em anos:	1
Propriedades do solo	
Erodibilidade (K), em $\text{g.cm}^{-2}\text{min}^{-1}\text{Pa}^{-1}$:	0,0018
Tensão crítica de cisalhamento (τ), em Pa:	1,8
Massa específica (ρ), em g.cm^{-3} :	1,5
Características do leito da estrada	
Semi-largura, em m:	2,0
Declividade transversal, em m.m^{-1} :	0,018
Taxa de infiltração, em mm.h^{-1} :	0,7
Coefficiente de rugosidade:	0,025
Características da encosta	
Comprimento, em m:	1,0
Declividade, em m.m^{-1} :	0,15
Taxa de infiltração, em mm.h^{-1} :	4,0
Coefficiente de rugosidade:	0,035
Características do canal da estrada (sarjeta)	
Seção transversal:	Triangular
Comprimento, em m:	400
Declividade longitudinal, em m.m^{-1} :	0,10
Declividades dos taludes laterais:	$m_1=1,5; m_2=1,0$
Coefficiente de rugosidade:	0,022
Aprofundamento máximo, em cm:	3,0
Características do canal de condução (conduto)	
Seção transversal:	Trapezoidal
Declividade longitudinal, em m.m^{-1} :	0,10
Base da seção transversal (B), em m:	0,10
Declividades dos taludes laterais (Z):	1,50
Coefficiente de rugosidade:	0,022
Aprofundamento máximo, em cm:	3,0
Características da bacia de acumulação	
Formato:	Semicircular
Profundidade, em m:	1,5

No cenário 3, apresentado na Tabela 9, foi utilizado o regime de chuvas de Belo Horizonte, propriedades de solo arenoso e os parâmetros de maior valor relativos às características físicas da via e da encosta.

Tabela 9: Cenário 3

Precipitação	
Parâmetros da equação IDF:	k= 682,874 a= 0,169 b= 3,993 c = 0,671
Período de retorno, em anos:	5
Espaçamento, em anos:	1
Propriedades do solo	
Erodibilidade (K), em $\text{g.cm}^{-2}\text{min}^{-1}\text{Pa}^{-1}$:	0,0024
Tensão crítica de cisalhamento (τ), em Pa:	2,0
Massa específica (ρ), em g.cm^{-3} :	1,5
Características do leito da estrada	
Semi-largura, em m:	3,5
Declividade transversal, em m.m^{-1} :	0,018
Taxa de infiltração, em mm.h^{-1} :	0,7
Coefficiente de rugosidade:	0,022
Características da encosta	
Comprimento, em m:	10,0
Declividade, em m.m^{-1} :	0,40
Taxa de infiltração, em mm.h^{-1} :	35,0
Coefficiente de rugosidade:	0,100
Características do canal da estrada (sarjeta)	
Seção transversal:	Triangular
Comprimento, em m:	400
Declividade longitudinal, em m.m^{-1} :	0,20
Declividades dos taludes laterais:	$m_1=1,5; m_2=1,0$
Coefficiente de rugosidade:	0,035
Aprofundamento máximo, em cm:	3,0
Características do canal de condução (conduto)	
Seção transversal:	Trapezoidal
Declividade longitudinal, em m.m^{-1} :	0,10
Base da seção transversal (B), em m:	0,10
Declividades dos taludes laterais (Z):	2,50
Coefficiente de rugosidade:	0,035
Aprofundamento máximo, em cm:	3,0
Características da bacia de acumulação	
Formato:	Semicircular
Profundidade, em m:	1,5

No Cenário 4, detalhado na Tabela 10, foi utilizado o regime de chuvas de Montes Claros, propriedades de solo arenoso e os parâmetros de maior valor relativos às características físicas da via e do entorno.

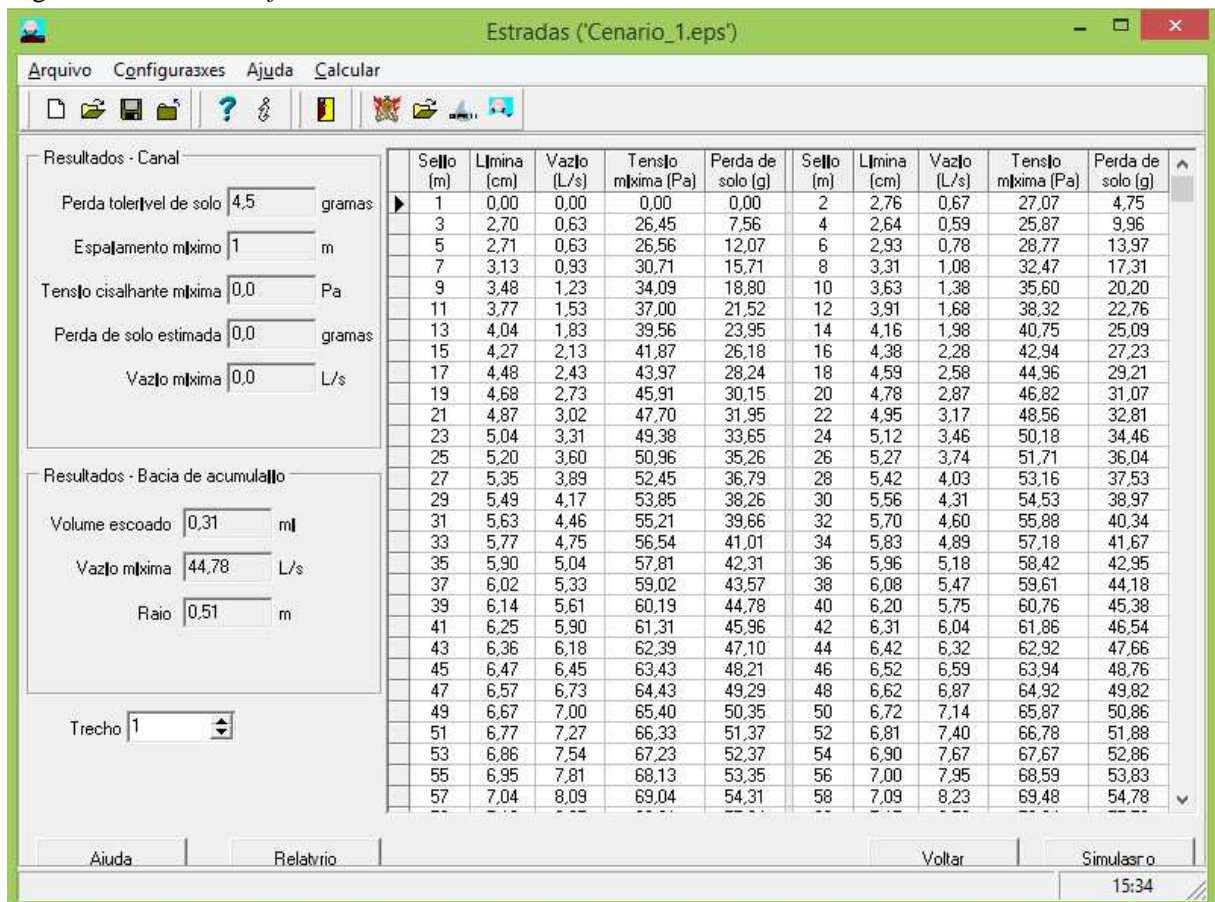
Tabela 10: Cenário 4

Precipitação	
Parâmetros da equação IDF:	k= 4050,000 a= 0,167 b= 34,789 c = 0,992
Período de retorno, em anos:	5
Espaçamento, em anos:	1
Propriedades do solo	
Erodibilidade (K), em $\text{g.cm}^{-2}\text{min}^{-1}\text{Pa}^{-1}$:	0,0024
Tensão crítica de cisalhamento (τ), em Pa:	2,0
Massa específica (ρ), em g.cm^{-3} :	1,5
Características do leito da estrada	
Semi-largura, em m:	3,5
Declividade transversal, em m.m^{-1} :	0,018
Taxa de infiltração, em mm.h^{-1} :	0,7
Coefficiente de rugosidade:	0,025
Características da encosta	
Comprimento, em m:	10,0
Declividade, em m.m^{-1} :	0,40
Taxa de infiltração, em mm.h^{-1} :	35,0
Coefficiente de rugosidade:	0,100
Características do canal da estrada (sarjeta)	
Seção transversal:	Triangular
Comprimento, em m:	400
Declividade longitudinal, em m.m^{-1} :	0,20
Declividades dos taludes laterais:	m1=1,5; m2=1,0
Coefficiente de rugosidade:	0,035
Aprofundamento máximo, em cm:	3,0
Características do canal de condução (conduto)	
Seção transversal:	Trapezoidal
Declividade longitudinal, em m.m^{-1} :	0,10
Base da seção transversal (B), em m:	0,10
Declividades dos taludes laterais (Z):	1,50
Coefficiente de rugosidade:	0,035
Aprofundamento máximo, em cm:	3,0
Características da bacia de acumulação	
Formato:	Semicircular
Profundidade, em m:	1,5

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cálculo relativo ao cenário 1, o *software* Estradas retornou a perda de solo tolerável de 4,5 g, o volume escoado de 0,31 m³, a vazão máxima de 44,78 L/s, o raio da bacia de acumulação de 0,51 m e o espaçamento máximo entre desaguadouros de 1 m apenas, conforme Figura 11.

Figura 11: Saída do *software* Estradas - Cenário 1



Fonte: *Software* Estradas, 2019.

Como pode ser observado nas Figura 12 e Figura 13, o volume escoado de 0,31 m³ e a vazão máxima de 44,78 L/s, retornados pelo *software*, são relativos ao comprimento total do trecho e não ao seguimento entre desaguadouros.

Figura 12: Saída do *software* Estradas - Cenário 1 (continuação)

Sello (m)	Limina (cm)	Vazão (L/s)	Tensão máxima (Pa)	Perda de solo (g)	Sello (m)	Limina (cm)	Vazão (L/s)	Tensão máxima (Pa)	Perda de solo (g)
349	12,85	40,19	125,94	124,63	350	12,86	40,28	126,05	124,79
351	12,87	40,37	126,15	124,94	352	12,88	40,46	126,25	125,09
353	12,89	40,55	126,36	125,25	354	12,90	40,64	126,46	125,40
355	12,91	40,73	126,56	125,55	356	12,92	40,81	126,67	125,70
357	12,93	40,90	126,77	125,86	358	12,94	40,99	126,87	126,01
359	12,95	41,07	126,97	126,16	360	12,96	41,16	127,07	126,31
361	12,97	41,26	127,18	126,46	362	12,98	41,35	127,29	126,61
363	12,99	41,45	127,40	126,76	364	13,01	41,54	127,51	126,91
365	13,02	41,64	127,62	127,06	366	13,03	41,74	127,73	127,21
367	13,04	41,83	127,84	127,36	368	13,05	41,93	127,95	127,51
369	13,06	42,02	128,05	127,66	370	13,07	42,11	128,16	127,81
371	13,08	42,21	128,27	127,96	372	13,09	42,30	128,37	128,11
373	13,10	42,39	128,48	128,25	374	13,12	42,48	128,58	128,40
375	13,13	42,58	128,69	128,55	376	13,14	42,67	128,79	128,70
377	13,15	42,76	128,89	128,84	378	13,16	42,85	129,00	128,99
379	13,17	42,94	129,10	129,14	380	13,18	43,03	129,20	129,28
381	13,19	43,12	129,30	129,43	382	13,20	43,21	129,40	129,57
383	13,21	43,29	129,50	129,72	384	13,22	43,38	129,60	129,87
385	13,23	43,47	129,69	130,01	386	13,24	43,56	129,79	130,16
387	13,25	43,64	129,89	130,30	388	13,26	43,73	129,98	130,44
389	13,27	43,81	130,08	130,59	390	13,28	43,90	130,17	130,73
391	13,29	43,98	130,27	130,88	392	13,30	44,07	130,36	131,02
393	13,31	44,15	130,45	131,16	394	13,32	44,24	130,55	131,31
395	13,33	44,32	130,64	131,45	396	13,33	44,40	130,73	131,59
397	13,35	44,50	130,84	131,73	398	13,36	44,59	130,94	131,88
399	13,37	44,69	131,04	132,02	400	13,38	44,78	131,15	132,16

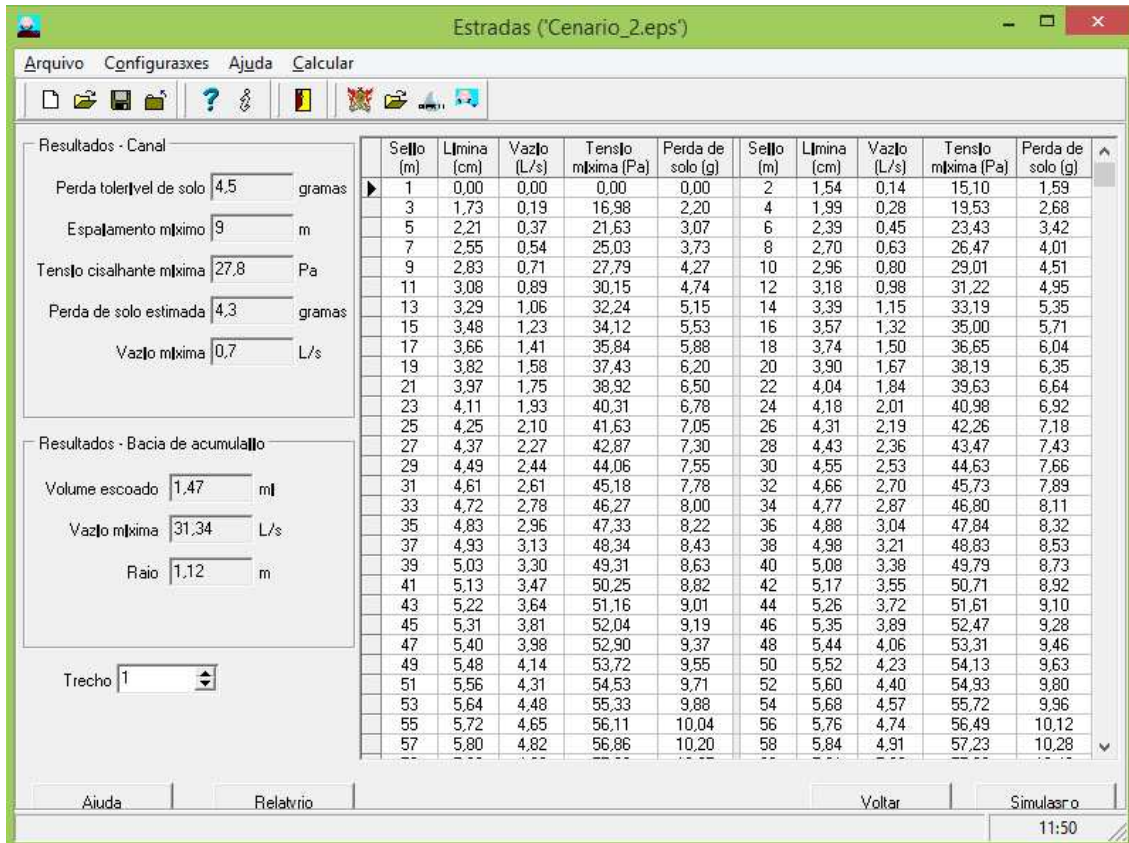
Fonte: *Software* Estradas, 2019.

Figura 13: Tela processamento do cálculo - Cenário 1

Fonte: *Software* Estradas, 2019.

Na Figura 14 é mostrada a saída do *software* Estradas para o cenário 2, com espaçamento máximo entre desaguadouros de 9 m.

Figura 14: Saída do software Estradas - Cenário 2

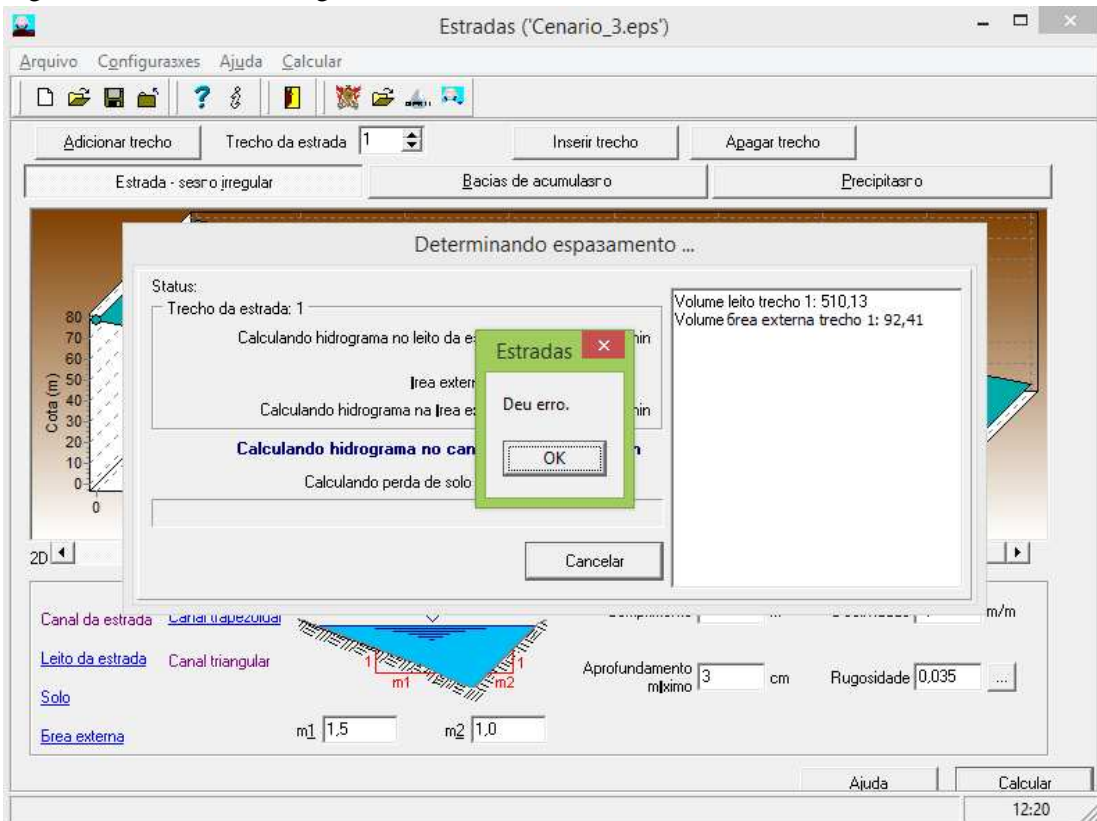


Fonte: *Software* Estradas, 2020.

No cálculo do cenário 3 o *software* Estradas retornou erro, conforme demonstrado nas Figura 15 e Figura 16. Inicialmente o programa retorna a mensagem “deu erro” e, na sequência ao clicar em “OK”, a mensagem “Invalid floating point operation.”, o que leva ao entendimento de que o volume escoado é superior ao volume máximo suportado pelo canal no trecho simulado.

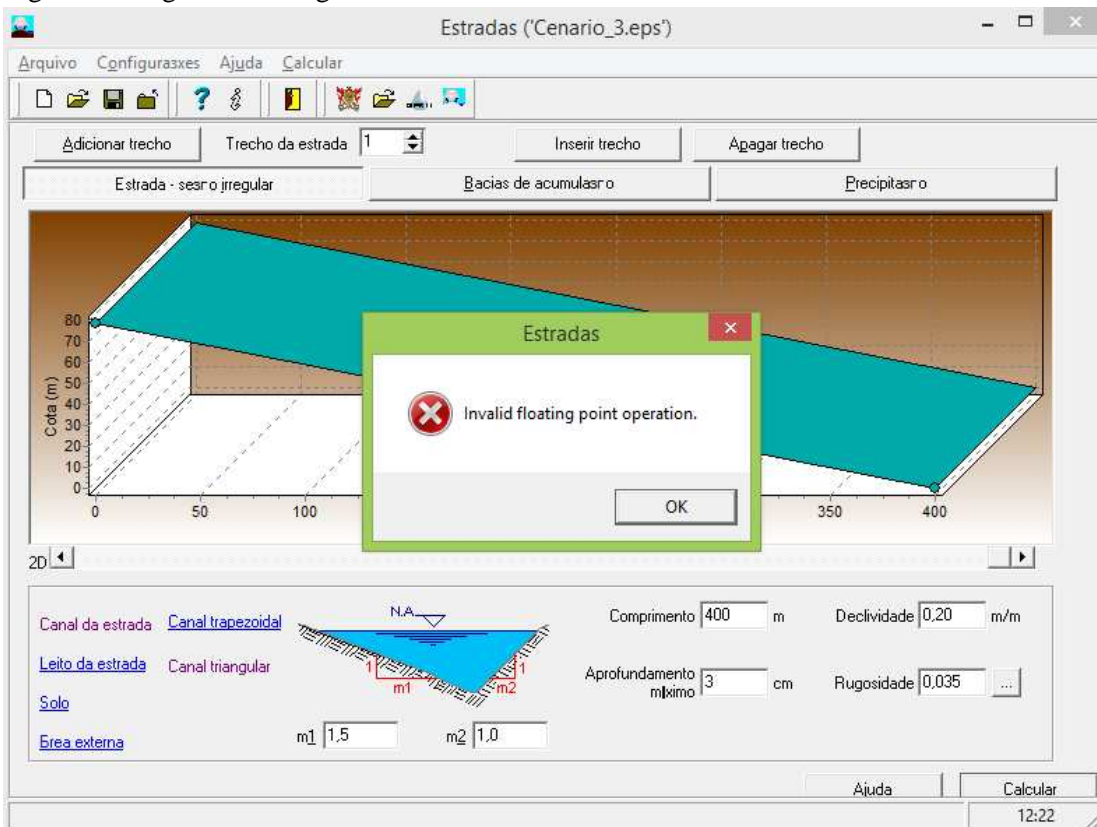
Na Figura 15 pode ser observado que o volume total calculado (volume do leito mais volume da área externa), escoado no trecho, é de 602,54 L ou 0,60 m³.

Figura 15: Primeira mensagem de erro no cálculo - Cenário 3



Fonte: *Software* Estradas, 2020.

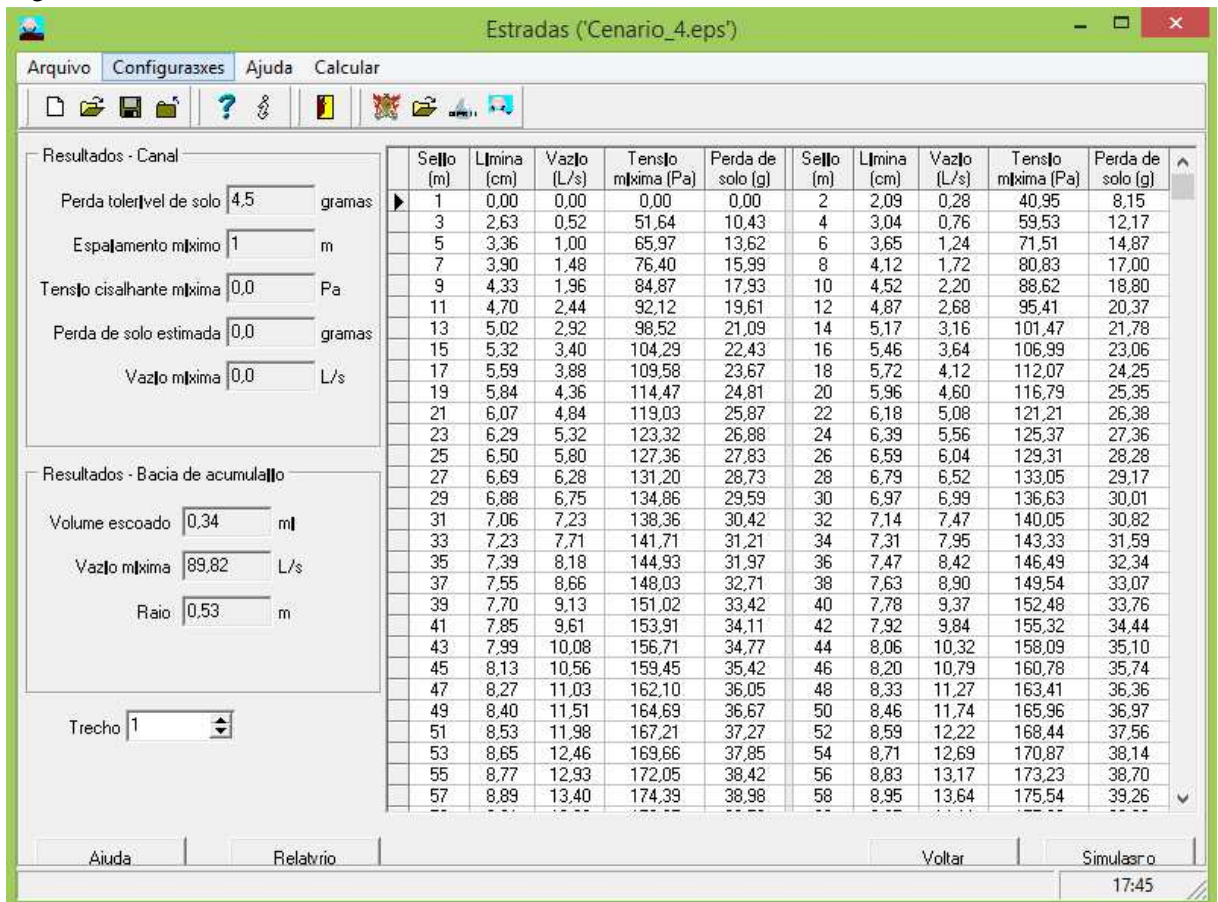
Figura 16: Segunda mensagem de erro no cálculo - Cenário 3



Fonte: *Software* Estradas, 2020.

A saída do *software* Estradas para o cenário 4 é mostrada na Figura 17.

Figura 17: Saída do software Estradas - Cenário 4



Fonte: *Software* Estradas, 2020.

O resumo dos dados de saída do *software* Estradas para os cenários é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11: Resumo dos dados de saída do *software* para os cenários 1 a 4

Cenário	Perda de solo tolerável (g)	Volume escoado (m ³)	Vazão máxima (L s ⁻¹)	Raio da bacia acumulação (m)	Espaçamento recomendado (m)
Cenário 1	4,5	0,31	44,78	0,51	1,0
Cenário 2	4,5	1,47	31,34	1,12	9,0
Cenário 3	Não calculado	0,60	Não calculado	Não calculado	Não calculado
Cenário 4	4,5	0,34	89,82	0,53	1,0

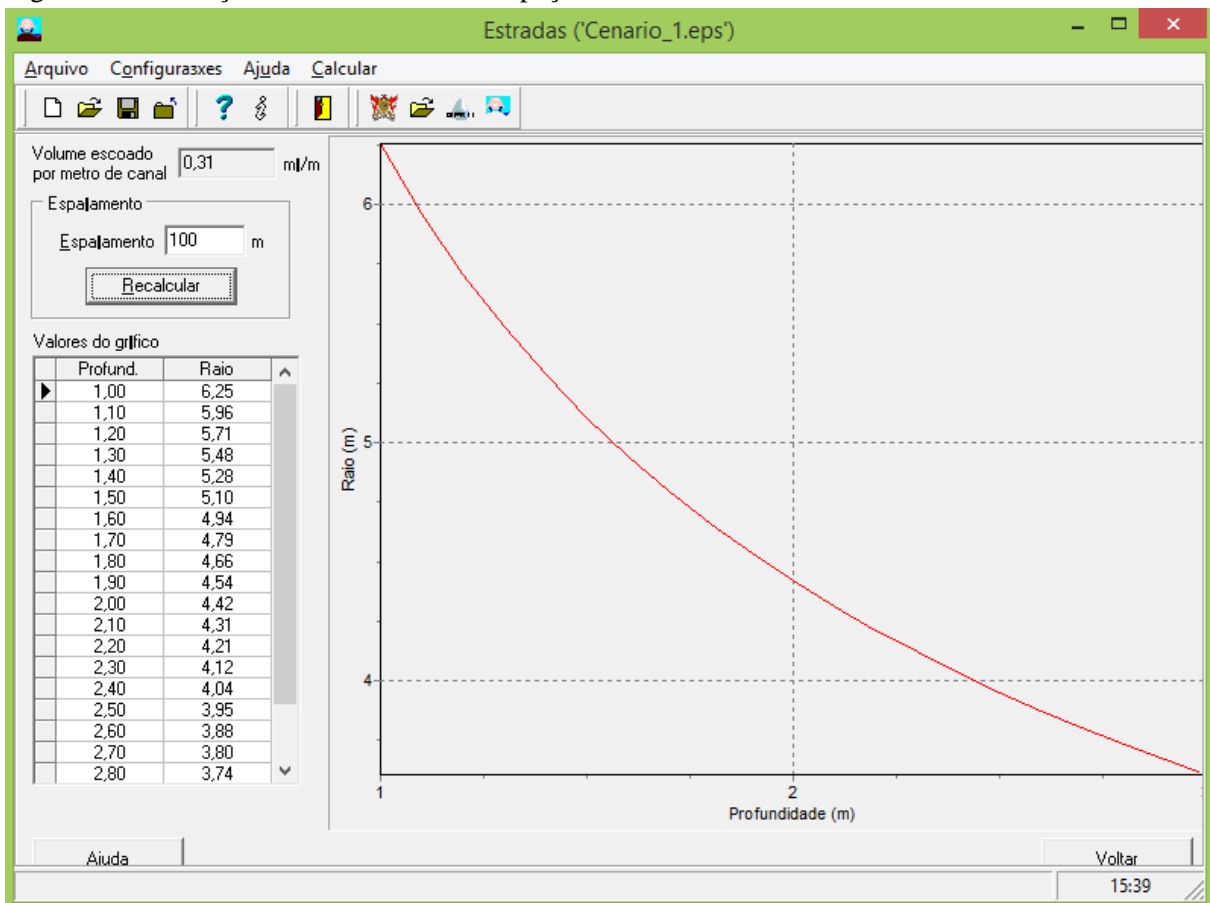
Por apresentar maior área de contribuição externa (encosta de 10 m) o volume escoado no cenário 2 é bem maior que o volume escoado nos cenários 1 e 4 (encostas de 1 m cada).

O cenário 3 também possui encosta de 10 metros, mas foi calculado com regime de chuvas de Belo Horizonte, ao contrário do cenário 2, calculado com regime de chuvas de Montes Claros.

A perda de solo tolerável é determinada levando-se em conta o aprofundamento máximo dos canais considerado no dimensionamento e do espaçamento de manutenção da via, que foram mantidos constantes para todos os cenários.

Considerando a inviabilidade técnica e econômica da execução de uma bacia de acumulação a cada 1 ou 9 metros da estrada, foi realizada a simulação de espaçamentos maiores para os cenários 1, 2 e 4, como exemplificado na Figura 18, porém, cabe ressaltar que a perda de solo será bastante elevada em relação à tolerável, o que implica na provável ocorrência de erosão do canal da estrada e necessidade de manutenções com maior frequência.

Figura 18: Simulação com outro valor de espaçamento - Cenário 1



Fonte: *Software* Estradas, 2019.

Os resultados retornados pelo *software* relativos ao raio da bacia de acumulação e à perda de solo para os espaçamentos entre desaguadouros simulados em 100, 200, 300 e 400 metros são relacionados na Tabela 12.

Tabela 12: Raio da bacia de acumulação e perda de solo para outros espaçamentos

Cenário	Espaçamento: 100 m		Espaçamento: 200 m		Espaçamento: 300 m		Espaçamento: 400 m	
	Raio da bacia (m)	Perda de solo (g)	Raio da bacia (m)	Perda de solo (g)	Raio da bacia (m)	Perda de solo (g)	Raio da bacia (m)	Perda de solo (g)
Cenário 1	5,10	71,20	7,22	97,68	8,84	116,73	10,21	132,16
Cenário 2	3,72	12,99	5,27	17,39	6,45	20,60	7,45	23,22
Cenário 4	5,34	48,85	7,55	64,41	9,24	75,73	10,67	84,99

O raio da bacia de acumulação e a perda de solo foram menores no cenário 2, com precipitação de Belo Horizonte, do que nos cenários 1 e 4, com precipitação de Montes Claros.

Cabe ressaltar que mantendo a profundidade máxima de 1,5 m, o raio será a metade do calculado caso se opte pela bacia circular, ao invés da semicircular utilizada na simulação do dimensionamento pelo *software*.

Os relatórios emitidos pelo *software* Estradas para o dimensionamento do sistema de drenagem dos cenários 1, 2 e 4 são apresentados no ANEXO A. Nesses relatórios, emitidos com data do ano de 2006 sem possibilidade de alteração, no campo destinado à semi-largura da estrada a informação apresentada é, na verdade, o comprimento do trecho; e no campo destinado ao tipo de seção do leito da estrada, independentemente do tipo de seção escolhida, o relatório mostra apenas a seção sem encostas.

Os relatórios apresentam, também, a profundidade do conduto da bacia de acumulação de 160 centímetros para o cenário 1 e de 140 centímetros para o cenário 3, o que se mostra tecnicamente inviável por se tratar de canal em solo natural. Já profundidade do conduto calculada para o cenário 4 foi de 43,5 centímetros.

5. CONCLUSÃO

O *software* Estradas facilita o dimensionamento de sistemas de drenagem com bacias de acumulação em estradas não pavimentadas, conferindo agilidade nos cálculos e na apresentação do resultado obtido.

Essa agilidade pôde ser percebida especialmente na medida em que o programa permitiu a alteração dos parâmetros de entrada e efetuou o recálculo em poucos minutos. Além disso, permitiu também a simulação rápida de comprimentos de trechos diversos entre as bacias

de acumulação, fornecendo a relação entre cada comprimento e a perda de solo e o raio da bacia correspondentes, o que facilita a escolha da configuração mais adequada para cada sistema dimensionado.

O *software* fornece como resultado o dimensionamento de todos os itens da configuração do sistema de drenagem: o comprimento do canal de drenagem (sarjeta), que corresponde ao espaçamento entre desaguadouros; a projeção do volume de água pluvial escoada, da vazão máxima e da perda de solo no trecho; e o raio da bacia de acumulação, a profundidade de seu conduto e sua capacidade de acumulação (volume máximo).

Embora Belo Horizonte e Montes Claros possuam regimes de chuva diferentes entre si, foi demonstrado no resultado dos dimensionamentos de sistemas de drenagem simulados que, para o mesmo espaçamento entre desaguadouros e para o mesmo tipo de solo e mesma topografia nas duas localidades, o raio da bacia de acumulação necessário para o armazenamento da água escoada é ligeiramente menor para a primeira cidade mencionada.

Uma oportunidade de melhoria observada para incremento no *software* Estradas é a exportação das tabelas de saída do programa, o que facilitaria a análise do dimensionamento e revisões posteriores. Além disso, o erro apresentado pelo *software* no dimensionamento do Cenário 4 indica a necessidade de validação do resultado por meio do cálculo sem o auxílio do programa.

Independentemente do uso do *software* Estradas, caso os parâmetros de cálculo específicos da localidade do sistema de drenagem em dimensionamento não sejam conhecidos, deverão ser obtidos por meio de ensaios técnicos, de modo a não comprometer o resultado em decorrência de incorreção nas variáveis.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização física e classificação dos solos**. Juiz de Fora: UFJF, 2005. 145 p. Disponível em <<http://ufrrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads>>. Acesso em: 27 jul. 2019.
- AMARAL, F. C. S. *et al.* **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos - Boletim de pesquisa e desenvolvimento n. 63, 2004. 95 p. Disponível em <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 15 mai. 2019.
- ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, dez-2010.
- BEASLEY, D. B.; HUGGINS, L. F. **Answers: user's manual**. Chicago: United States Environmental Protection Agency, Region V, 1981. 51p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Vicoso: Imprensa Universitaria da UFV, 1995. 655p. Citado no *software* Estradas.
- CHAVES, H. M. L. **Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco: relatório final de consultoria**. Brasília: CODEVASF, 1994. 35 p.
- CHOW, V. T. **Open-channel hydraulics**. New York: McGraw-Hill; Tokyo: Kogakusha, 1959. 680p. Citado no *software* Estradas.
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT do Transporte: Estatísticas Consolidadas 2018**. Brasília: CNT, 2018. 229 p. Disponível em <<http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2018/Inicial>>. Acesso em: 28 set. 2018.
- CUNHA, F. F.; LEAL, A. J. F.; COSTA, A. F. V. Implantação de uma estrada não-pavimentada na microbacia hidrográfica de Palmital. **Revista de Ciência e Tecnologia do Vale do Mucuri**, v. 3, n. 3, p. 89-105, 2011. Disponível em <<https://www.researchgate.net/directory/publications>>. Acesso em: 13 ago. 2019.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários: Instruções Para Acompanhamento e Análise**. Rio de Janeiro: IPR, 2010. 564 p. Disponível em <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/739_diretrizes_basicas-instrucoes_para_acompanhamento.pdf>. Acesso em: 3 mai. 2019.
- ENRIQUEZ, A. G. *et al.* Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento no canal de drenagem de estrada rural não pavimentada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.2, p.160-165, 2015. Disponível em <www.agriambi.com.br>. Acesso em: 05 jun. 2019.
- GPRH – GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS. **Modelo Físico-Matemático para o Controle da Erosão Hídrica nas Condições Edafoclimáticas Brasileiras**. Viçosa: UFV, 2008. 78 p. Disponível em <http://www.gprh.ufv.br/?area=modelo_fisico_matematico>. Acesso em: 27 set. 2018.

GRIEBELER, N. P. **Modelo para o dimensionamento de redes de drenagem e de bacias de acumulação de água em estradas não pavimentadas**. 2002. 121p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002. Disponível em <<http://www.locus.ufv.br>>. Acesso em: 4 mai. 2019.

GRIEBELER, N. P. *et al.* Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p 397- 405, 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 4 mai. 2019.

MACIEL, C. B. **Análises geotécnicas e hidrossedimentológicas de estradas não pavimentadas**: estudo de caso da Fazenda Cerro Azul – Planalto norte catarinense. 2010. 144p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo, 1995. 213p. *apud* MACIEL, C. B. **Análises geotécnicas e hidrossedimentológicas de estradas não pavimentadas**: estudo de caso da Fazenda Cerro Azul – Planalto norte catarinense. 2010. 144p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

OLIVEIRA, J. F. *et al.* Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13 (suplemento), p. 955- 960, 2009. Disponível em <www.agriambi.com.br>. Acesso em: 05 jun. 2019.

PAZ; V. P. S. **Infiltração da água no solo**. Cruz das Almas: UFRB, 2010. 39 p. Disponível em <<https://www.ufrb.edu.br/neas/documento/category/5-cca-039-irrigacao-e-drenagem?download=22>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

REINERT, D. J.; REICHERT J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: UFSM, 2006. 18 p. Disponível em <https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2019.

ROCHA, W. W. *et al.* Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p 297-303, 2002. Disponível em <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 229-267.

SILVA, D. P. **Modelo de dimensionamento de bacia de acumulação para estradas**. 2009. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em <<http://www.locus.ufv.br>>. Acesso em: 3 mai. 2019.

SILVA, J. M. A. *et al.* Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em encostas e canais. Parte I: desenvolvimento e avaliação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.695-703. 2006. Disponível em <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

ANEXO A: Relatórios *Software* Estradas



RELATÓRIO DE ESTRADAS

A. Dados de entrada

1. Parâmetros da equação de chuvas intensas

Estado:		Localidade:	
Latitude:		Longitude:	
Parâmetros:	K: 682,874	a: 0,169	b: 3,993 c: 0,671
Períodos de retorno (anos)		Dimensionamento: 5,0	Espaçamento: 1,0

2. Canal

Seção	Declividade ($m\ m^{-1}$)	Rugosidade
 Triangular $m1 = 1,5$ e $m2 = 1,0$	0,1	0,022

3. Solo

Tensão crítica de cisalhamento (Pa)	Erodibilidade ($g\ m^{-2}\ Pa^{-1}\ min^{-1}$)	Densidade aparente ($g\ cm^{-3}$)	Aprofundamento máximo (cm)
1,8	0,002	1,5	3,0

4. Estrada

Semi-largura (m)	Taxa de infiltração estável ($mm\ h^{-1}$)	Rugosidade ($s\ m^{-1/3}$)	Seção
400	0,7	0,025	

5. Seção de corte

Seção da estrada	Comprimento (m)	Taxa de infiltr. estável ($mm\ h^{-1}$)	Declividade ($m\ m^{-1}$)	Rugosidade ($s\ m^{-1/3}$)	Cobertura vegetal
01	1	4,0	0,15	0,035	Sem cultivo

6. Bacia de acumulação

Profundidade (m)	Formato	Canal de aproximação		
		Seção	Declividade	Rugosidade
1,5	Circular	 Trapezoidal $B = 0,1\ Z = 1,5$	0,1	0,022

B. Resultados

1. Canais de drenagem

Tensão cisalhante máxima na seção crítica (Pa)	Perda de solo permissível (g)	Volume escoado (m ³)	Comprimento recomendado (m)	Perda de solo provocada (g)	Vazão máxima (L s ⁻¹)
0,0	4,5	0,3	1,0	0,0	0,0

2. Bacias de acumulação

Profundidade (m)	Capacidade de acumulação (m ³)	Dimensão	Profundidade do canal (cm)
1,5	0,3	Raio = 0,5 m	160,3



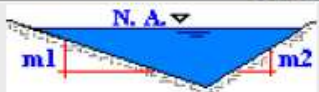
RELATÓRIO DE ESTRADAS

A. Dados de entrada

1. Parâmetros da equação de chuvas intensas

Estado: _____ **Localidade:** _____
Latitude: _____ **Longitude:** _____
Parâmetros: **K:** 4.050,0 **a:** 0,167 **b:** 34,789 **c:** 0,992
Períodos de retorno (anos) **Dimensionamento:** 5,0 **Espaçamento:** 1,0

2. Canal

Seção	Declividade (m m ⁻¹)	Rugosidade
 Triangular m1 = 1,5 e m2 = 1,0	0,1	0,022

3. Solo

Tensão crítica de cisalhamento (Pa)	Erodibilidade (g m ⁻² Pa ⁻¹ min ⁻¹)	Densidade aparente (g cm ⁻³)	Aprofundamento máximo (cm)
1,8	0,002	1,5	3,0

4. Estrada

Semi-largura (m)	Taxa de infiltração estável (mm h ⁻¹)	Rugosidade (s m ^{-1/3})	Seção
400	0,7	0,025	

5. Seção de corte

Seção da estrada	Comprimento (m)	Taxa de infiltr. estável (mm h ⁻¹)	Declividade (m m ⁻¹)	Rugosidade (s m ^{-1/3})	Cobertura vegetal
01	1	4,0	0,15	0,035	Sem cultivo

6. Bacia de acumulação

Profundidade (m)	Formato	Canal de aproximação		
		Seção	Declividade	Rugosidade
1,5	Circular	 Trapezoidal B = 0,1 Z = 1,5	0,1	0,022

B. Resultados

1. Canais de drenagem

Tensão cisalhante máxima na seção crítica (Pa)	Perda de solo permissível (g)	Volume escoado (m ³)	Comprimento recomendado (m)	Perda de solo provocada (g)	Vazão máxima (L s ⁻¹)
27,8	4,5	1,5	9,0	4,3	0,7

2. Bacias de acumulação

Profundidade (m)	Capacidade de acumulação (m ³)	Dimensão	Profundidade do canal (cm)
1,5	1,5	Raio = 1,1 m	139,8



RELATÓRIO DE ESTRADAS

A. Dados de entrada

1. Parâmetros da equação de chuvas intensas

Estado: _____ **Localidade:** _____
Latitude: _____ **Longitude:** _____
Parâmetros: **K:** 4.050,0 **a:** 0,167 **b:** 34,789 **c:** 0,992
Períodos de retorno (anos): _____ **Dimensionamento:** 5,0 **Espaçamento:** 1,0

2. Canal

Seção	Declividade ($m m^{-1}$)	Rugosidade
 Triangular $m1 = 1,5$ e $m2 = 1,0$	0,2	0,035

3. Solo

Tensão crítica de cisalhamento (Pa)	Erodibilidade ($g m^{-2} Pa^{-1} min^{-1}$)	Densidade aparente ($g cm^{-3}$)	Aprofundamento máximo (cm)
2,0	0,002	1,5	3,0

4. Estrada

Semi-largura (m)	Taxa de infiltração estável ($mm h^{-1}$)	Rugosidade ($s m^{-1/3}$)	Seção
400	0,7	0,025	

5. Seção de corte

Seção da estrada	Comprimento (m)	Taxa de infiltr. estável ($mm h^{-1}$)	Declividade ($m m^{-1}$)	Rugosidade ($s m^{-1/3}$)	Cobertura vegetal
01	10	35,0	0,4	0,1	Sem cultivo

6. Bacia de acumulação

Profundidade (m)	Formato	Canal de aproximação		
		Seção	Declividade	Rugosidade
1,5	Circular	 Trapezoidal $B = 0,1$ $Z = 1,5$	0,1	0,035

B. Resultados

1. Canais de drenagem

Tensão cisalhante máxima na seção crítica (Pa)	Perda de solo permissível (g)	Volume escoado (m ³)	Comprimento recomendado (m)	Perda de solo provocada (g)	Vazão máxima (L s ⁻¹)
0,0	4,5	0,3	1,0	0,0	0,0

2. Bacias de acumulação

Profundidade (m)	Capacidade de acumulação (m ³)	Dimensão	Profundidade do canal (cm)
1,5	0,3	Raio = 7,5 m	43,5