

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
MICRODRENAGEM DE ESTRADAS NÃO  
PAVIMENTADAS DO ECOCENTRO SOCIAL  
VILA DOS SONHOS**

**Raquel Heringer de Deus Rosa**

**Juiz de Fora**

**2014**

**SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
MICRODRENAGEM DE ESTRADAS NÃO  
PAVIMENTADAS DO ECOCENTRO SOCIAL VILA  
DOS SONHOS**

**Raquel Heringer de Deus Rosa**

**Raquel Heringer de Deus Rosa**

**SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
MICRODRENAGEM DE ESTRADAS NÃO  
PAVIMENTADAS DO ECOCENTRO SOCIAL VILA  
DOS SONHOS**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Área de concentração: Engenharia Ambiental

Linha de pesquisa: Engenharia de Água e Solo

Orientador: Jonathas Batista Gonçalves Silva

Coorientador: Otávio Eurico de Aquino Branco

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2014

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre estar ao meu lado.

À minha mãe Luzia, pelo incentivo e apoio. As palavras tornam-se insuficientes para agradecer e expressar a sua importância em minha vida.

À minha amada família, que sempre me estende a mão, obrigada pelo carinho e companheirismo.

Ao professor e orientador Jonathas, que me dedicou seu tempo, ensinando-me para além dos conhecimentos “displexos”, compartilhando comigo suas experiências e contribuindo para minha formação profissional.

Ao professor e amigo Luiz Evaristo, que me proporcionou as condições das quais eu necessitava para concluir minha graduação.

A todos os professores do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária pelo comprometimento com a qualidade do Curso e pela dedicação aos alunos.

Aos amigos da faculdade, pelo companheirismo, choros e alegrias, lágrimas e risos, por tornarem mais fáceis os momentos mais difíceis.

Aos amigos do Ecocentro Social Vila dos Sonhos por abrir as portas para a realização deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que estiveram presentes em minha trajetória acadêmica.

## RESUMO

A erosão provocada pelos escoamentos superficiais constitui-se um dos problemas relacionados às estradas não pavimentadas, a manutenção destas torna-se de fundamental importância para o desenvolvimento econômico e social. Tendo em vista a minimização desses problemas, este trabalho tem como objetivo simular um sistema de microdrenagem em estradas não pavimentadas no Ecocentro Social Vila dos Sonhos, situado em Santana do Deserto – MG. O *software* Estradas, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos de Viçosa, foi utilizado como ferramenta para calcular sarjetas, canais de condução, espaçamentos máximos entre os desaguadouros e bacias de acumulação em quatro trechos de estradas não pavimentadas. Nos trechos com contribuição de áreas externas foram realizadas simulações com a proposição de três cenários: sem cobertura vegetal, cobertura com milho e cobertura com mucuna. Com isso, verificou-se o comportamento da vazão do canal, o volume, vazão e dimensão da bacia de acumulação, e principalmente o espaçamento entre os desaguadouros em relação ao tipo de cobertura. Diante dos resultados obtidos observou-se que a utilização do *software* Estradas permitiu, satisfatoriamente, o cálculo das estruturas hidráulicas presentes em um sistema de microdrenagem, tais como: sarjetas, desaguadouros e bacias de acumulação. Verificou-se também que o tipo de cobertura do solo teve papel fundamental na produção de escoamento superficial, o que conseqüentemente afetou no volume de água que chegará no leito das estradas. Sendo assim, o solo vegetado com mucuna foi a situação que apresentou resultados mais favoráveis à redução do escoamento superficial e instalação de um sistema de microdrenagem no Ecocentro Social Vila dos Sonhos. Diante do dimensionamento realizado, verificou-se a necessidade de propor ao Ecocentro Social Vila dos Sonhos alternativas para a drenagem das áreas de contribuição externas às estradas. Sendo assim, propõe a instalação de sistema de terraços e canais captadores de água nas encostas, o que pode ser tema de trabalhos futuros.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1 Erosão .....	4
3.2 Estradas não pavimentadas .....	5
3.3 Práticas de controle de erosão em estradas não pavimentadas .....	7
3.4 <i>Software</i> Estradas.....	9
3.4.1 Dados requeridos pelo <i>Software</i> Estradas .....	11
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
4.1 Localização .....	15
4.2 Simulação do dimensionamento da Drenagem.....	17
4.2.1 Dados referentes à Estrada .....	20
4.2.1.1 Área externa ao leito .....	20
4.2.1.2 Leito da Estrada.....	25
4.2.1.3 Canal da estrada .....	26
4.2.1.4 Características do solo.....	30
4.2.2 Dados referentes à Bacia de acumulação .....	32
4.2.3 Dados referentes à Precipitação .....	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1 Análise do trecho 1 .....	36
5.2 Análise do trecho 2 .....	37
5.3 Análise do trecho 3 .....	39
5.4 Análise do trecho 4 .....	40
5.5 Comparação entre os trechos de 1 a 4.....	40
5.6 Recomendações finais.....	41

6 CONCLUSÕES .....	47
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
APÊNDICE .....	51

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Estruturas do microsistema de drenagem em estradas não pavimentadas	8
<b>Figura 2:</b>	Interface inicial do software Estradas	9
<b>Figura 3:</b>	Interface Estrada	12
<b>Figura 4:</b>	Interface da Bacia de acumulação.	12
<b>Figura 5:</b>	Interface Precipitação e software Plúvio	13
<b>Figura 6:</b>	Localização da área de estudo	16
<b>Figura 7:</b>	Imagem adaptada da caracterização dos solos em Minas Gerais.	17
<b>Figura 8:</b>	Imagem dos trechos estudados	18
<b>Figura 9:</b>	Estrada não pavimentada, trecho 1	18
<b>Figura 10:</b>	Estrada não pavimentada, trecho 2	19
<b>Figura 11:</b>	Estrada não pavimentada, trecho 3, próximo ao exutório	19
<b>Figura 12:</b>	Estrada não pavimentada, trecho 4	20
<b>Figura 13:</b>	Interface do formato da seção transversal com áreas de contribuição externas	21
<b>Figura 14:</b>	Parâmetros relativos a área externa	21
<b>Figura 15:</b>	Interface referente a cobertura vegetal	22
<b>Figura 16:</b>	Interface do banco de dados de valores de rugosidade do terreno	23
<b>Figura 17:</b>	Área de contribuição do trecho 2	24
<b>Figura 18:</b>	Área de contribuição do trecho 3	24
<b>Figura 19:</b>	Área de contribuição do trecho 4	24
<b>Figura 20:</b>	Áreas de contribuição dos três trechos	25
<b>Figura 21:</b>	Detalhe da interface correspondente ao leito da estrada	25
<b>Figura 22:</b>	Interface Estrada detalhando os parâmetros do Canal da estrada	27
<b>Figura 23:</b>	Medição da distância horizontal entre os pontos	28

<b>Figura 24:</b> Leitura de Ré do ponto	28
<b>Figura 25:</b> Tabela com valor da rugosidade do canal	29
<b>Figura 26:</b> Interface Estrada detalhando os parâmetros do Solo	30
<b>Figura 27:</b> Retirada do cilindro do solo	31
<b>Figura 28:</b> Amostras de solo secas, após secagem em estufa a 105°C, durante 24 horas.	32
<b>Figura 29:</b> Interface do canal de condução com tipo trapezoidal	33
<b>Figura 30:</b> Interface referente aos valores de Z	33
<b>Figura 31:</b> Interface de entrada de dados referente ao canal de condução	34
<b>Figura 32:</b> Interface referente ao <i>software</i> Plúvio para a precipitação local	35
<b>Figura 33:</b> Interface com os dados relativo a precipitação	35
<b>Figura 34:</b> Proposta de locação das bacias de acumulação do trecho1	37
<b>Figura 35:</b> Proposta de locação da bacia de acumulação no trecho 2	38
<b>Figura 36:</b> Áreas de contribuição dos trechos das estradas 2 (a), 3 (b) e 4 (c)	42
<b>Figura 37:</b> Exemplos de sistemas de terraceamento (a) e (b), características construtivas de um terraço (c)	43
<b>Figura 38:</b> Exemplos de caixas de captação do escoamento superficial	44
<b>Figura 39:</b> Interfaces dos softwares Canal (a) e Terraço 3.0 (b).	45

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b>	Valores da Rugosidade e Taxa de infiltração para diferentes cenários	23
<b>Tabela 2:</b>	Dados de entrada relativo a área externa	25
<b>Tabela 3:</b>	Dados referentes aos parâmetros do leito das estradas	26
<b>Tabela 4:</b>	Valores referentes ao Canal da estrada	29
<b>Tabela 5:</b>	Valores referentes as características do solo	32
<b>Tabela 6:</b>	Resultado do <i>software</i> Estradas para o trecho 1	36
<b>Tabela 7:</b>	Resultado do <i>software</i> Estradas para o trecho 2 com três cenários	37
<b>Tabela 8:</b>	Resultado do <i>software</i> Estradas para o trecho 3 com três cenários	39
<b>Tabela 9:</b>	Resultado do <i>software</i> Estradas para o trecho 4 com três cenários	40
<b>Tabela 10:</b>	Resultado do <i>software</i> Estradas para os trechos 2, 3 e 4, desconsiderando a contribuição de escoamento das áreas externa	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a, b, c, K:	Parâmetros empíricos da equação de chuvas intensas, adimensional
A:	Área da superfície do solo considerada para efeito de cálculo ( $\text{cm}^2$ )
AGETOP:	Agência Goiânia de transportes e Obras
$a_{pm}$ :	Aprofundamento máximo (cm)
CNT:	Confederação Nacional do Transporte
d%:	Declividade ( $\text{m m}^{-1}$ )
DH:	Distância Horizontal entre os pontos (m)
DN:	Leitura de Ré – Leitura de Vante, (m)
DNIT:	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
$D_s$ :	Massa específica ( $\text{g cm}^{-3}$ )
FEAM:	Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais
GPRH:	Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos
i:	Intensidade máxima de chuva ( $\text{mm.h}^{-1}$ )
IDF:	Intensidade-Duração-Frequencia
K:	Erodibilidade do solo ( $\text{g cm}^{-2} \text{min}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ )
$M_s$ :	Massa seca do solo (g)
ONG:	Organização Não Governamental
$P_{st}$ :	Perda de solo provocada pelo escoamento superficial (g)
S:	Declividade ( $\text{m m}^{-1}$ )
t:	Duração da chuva (min)
T:	Período de retorno (anos)
UFJF:	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFV:	Universidade Federal de Viçosa

$V_s$ :	Volume de solo a ser removido pela erosão ( $\text{cm}^3$ )
$V_t$ :	Volume de controle ( $\text{cm}^3$ )
$y$ :	Altura da lamina de água no canal (m)
$\gamma$ :	Peso específico da água ( $\text{Kgf m}^{-3}$ )
$P_s$ :	Massa específica do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )
$\tau_c$ :	Tensão crítica de cisalhamento do solo (Pa)
$\tau_m$ :	Tensão cisalhante máxima provocada pelo escoamento (Pa)
$\Delta t$ :	Intervalo de tempo (min)

## 1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo é designada como a desagregação e o arraste da partícula do solo, que pode ser provocado pela ação do vento, do gelo e, principalmente, da água. Esta última conhecida como erosão hídrica tem um significativo potencial erosivo devido ao escoamento superficial. Apesar de ser um processo natural pode ser intensificado pela ação antrópica e, conseqüentemente, ocasionar a perda ou redução das funções do solo, denominada degradação do solo (ROTTA, 2012).

Um dos principais problemas em estradas não pavimentadas está relacionando com a expressiva taxa de desprendimento e arraste das partículas do solo, provocado pelo escoamento superficial. Segundo a Confederação Nacional do Transporte – CNT (2013), cerca de 79,3% das estradas brasileiras não são pavimentadas, o que gera uma preocupação em relação à conservação dos solos em tais vias. A maioria dessas estradas não possui um adequado sistema de drenagem, por constituir um processo dispendioso, que geralmente são de responsabilidade dos municípios. Em Minas Gerais, de acordo com Silva (2009), 87,64% das rodovias municipais ainda se encontram em leito natural. Essas estradas ligam os polos agropecuários do interior do estado a rodovias estaduais e federais pavimentadas, onde há o escoamento das produções agropecuárias e abastecimento dos grandes centros consumidores.

É de suma importância a manutenção da qualidade das malhas viárias não pavimentadas, já que estas permitem o escoamento de safras, a locomoção dos usuários para o acesso a escolas, postos de saúde, áreas de lazer e centros comerciais maiores, além de reduzir a manutenção de veículos e economia de combustíveis (ALMEIDA, 2006).

No Brasil, em 1949, havia uma perda de solo de 500 milhões de ton.ano<sup>-1</sup> através de processos erosivos, conforme apresentado por Pruski (2009). Sendo que recentemente, em São Paulo essa a perda anual corresponde a 200 milhões de toneladas, onde 70% desse solo erodido são transportados até os mananciais (CASARIN E OLIVEIRA, 2009).

Pela falta de técnicas adequadas de conservação, um solo em condições de degradação por erosão pode ocasionar o aumento do potencial erosivo, o assoreamento dos corpos d'água, a perda de fertilidade do solo e o comprometimento das vias das estradas, desencadeando assim o desequilíbrio econômico, social e ambiental.

A redução dos problemas ocasionados pela erosão é alcançada com adoções de medidas de controle do escoamento superficial. Com isso, Rotta (2012), propõe a divisão em três principais práticas de conservação do solo e controle de erosão como: agrícola, manejo do solo e mecânicas ou físicas. Cada prática visa diferentes ações que variam de acordo com as necessidades locais e podem contribuir para a minimização do impacto do processo erosivo.

As práticas mecânicas ou físicas de conservação do solo têm como finalidade controlar o escoamento superficial e facilitar a infiltração, uma das metodologias é a introdução de um sistema de microdrenagem e/ou macrodrenagem nas vias, que consistem em técnicas de coleta e armazenamento das águas pluviais. Visando o desenvolvimento de uma ferramenta para o auxílio de controle da erosão, o Grupo de Pesquisa de Recursos Hídricos – GPRH da Universidade Federal de Viçosa - UFV desenvolveu um Software com a intenção de dimensionar sistemas de drenagem e bacias de acumulação em estradas não pavimentadas. Com o relatório final gerado através da inserção de parâmetros de entrada relativos ao solo, áreas externas de contribuição, canal da estrada, entre outros, é possível dimensionar o sistema de drenagem adequado à situação local.

Diante do exposto, no interesse de manter o equilíbrio e harmonia no Ecocentro Social Vila dos Sonhos, localizado no Município de Santana do Deserto, Minas Gerais, surge a necessidade de práticas de conservação das estradas não pavimentadas, de forma a não comprometer os interesses propostos pela Organização Não Governamental (ONG) Onda Solidária. Com isso, esse trabalho tem como justificativa a proposição de um projeto de redução de perda de solo por processos erosivos em trechos de estradas não pavimentadas no Ecocentro Social.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo propor um projeto para a redução da perda de solo por processos erosivos em trechos de estradas não pavimentadas no Ecocentro Social Vila dos Sonhos.

### **2.2 Objetivos específicos**

Simular o dimensionamento de um sistema de microdrenagem de cada trecho com o uso do *Software* Estradas;

Verificar o efeito da área externa das estradas no dimensionamento do sistema de microdrenagem;

Apresentar alternativas de estruturas hidráulicas para a contenção do escoamento superficial e erosão hídrica nas encostas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Erosão

A palavra erosão surgiu do latim, derivado do verbo *erodere*, que significa corroer, escavar. O termo erosão foi utilizado primeiramente na geologia para descrever formas de carregamento do solo através ação da água (PENCK, 1894 apud ZACHAR, 1982).

A erosão é definida como um processo mecânico, que consiste na desagregação, transporte e deposição das partículas do solo (ELISON, 1974 apud ROTTA, 2012). Zachar (1982) apresenta alguns agentes erosivos que contribuem para o desprendimento da partícula sólida como água, gelo, vento, variação de temperatura, organismos (plantas e animais) e o homem.

Rotta (2012) aborda duas formas de processos erosivos: erosão natural ou geológica, e erosão acelerada. A erosão natural se desenvolve em condições de equilíbrio para a formação do solo, constitui-se um processo lento e construtivo, não afeta o meio ambiente de forma negativa. Já a erosão acelerada, ocorre devido a ações antrópicas, em que as taxas de erosão excedem às de formação do solo, conseqüentemente, leva a degradação do solo.

A erosão hídrica é o principal agente erosivo em estradas não pavimentadas. Fernandes e Lima (2007) subdividem a erosão hídrica em quatro fases: o impacto, desagregação, transporte e deposição. Em situações em que a intensidade de chuvas é superior a capacidade de infiltração no solo tem-se a produção do escoamento superficial, que além de arrastar os materiais desagregados pelo impacto das gotas de chuva, provocam também o desprendimento de partículas do solo. Esta capacidade de desprendimento pelo escoamento superficial é proporcional ao aumento da profundidade de escoamento e da inclinação da encosta (KOETZ, 2003).

Rotta (2012) configura o processo de erosão hídrica em duas formas, a laminar - que ocorre o escoamento difuso das águas, que resulta na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo - e a linear - causada por concentrações do fluxo das águas de escoamento superficial em pequenos canais, podendo ser do tipo sulcos, ravinas ou voçorocas - no qual depende das condições superficiais e da forma de atuação do agente erosivo. Da mesma forma, Carvalho (2009) conceitua a erosão hídrica, porém o autor refere-se à primeira como erosão em entressulcos e a segunda como erosão em sulcos.

Estudos apontam que durante os últimos 40 anos, 1/3 do total de terras aráveis do mundo foi permanentemente danificada pela erosão, correspondente a 10 milhões de ha.ano<sup>-1</sup> (CARVALHO, 2009). Segundo o mesmo autor, em termos globais, a perda de solo anual é de aproximadamente 190 bilhões de tonelada. Casarin e Oliveira (2009) apontam que no estado de São Paulo, essas perdas anuais superam mais de 200 milhões de toneladas, em que 70% deste solo chegam aos mananciais em forma de sedimentos transportados pela água.

Com o transporte dos sedimentos para os mananciais, os cursos hídricos têm sua capacidade de armazenamento de água diminuída, que conseqüentemente leva a uma série de problemas, como: casos mais frequentes de inundações, desequilíbrio do balanço de oxigênio dissolvido na água, elevação da turbidez, elevação dos custos de tratamento de água, aumento com custo de drenagem do reservatório e principalmente, comprometimento das residências próximas ao recurso hídrico (SILVA, 2011).

No ecossistema florestal, o processo erosivo é extremamente prejudicial, já que partes dos nutrientes presentes na superfície do solo são carreadas com o escoamento superficial, conseqüentemente, terão maiores gastos com técnicas agrícolas, através da inserção de fertilizantes e adubos para que o solo tenha a mesmas funções de um solo conservado. O solo também tende a perder sua estabilidade, ficando propício a desmoronamentos de encosta.

### **3.2 Estradas não pavimentadas**

Estradas vicinais ou não pavimentadas são entendidas como elementos geográficos presentes nas paisagens rurais, que permitem a interligação entre regiões. Estas podem ser originadas de um caminho que se desenvolveu com o passar do tempo, ou projetadas e construídas de acordo com um projeto geométrico, seções transversais e um sistema de drenagem, sendo que a camada é o próprio solo natural (OLIVEIRA, 2012). Gallego et al apud Silva (2011) afirma que estradas não pavimentadas apresenta a característica de baixo tráfego de veículos, não ultrapassando uma média diária de 500 veículos, em que sua utilização esta relacionada com atividades agrícolas, pecuária e acessos a áreas florestais.

Oliveira (2012) aponta que em relação mundial o Brasil ocupa a quinta posição em área geográfica (8,5 milhões de km<sup>2</sup>) e a quarta posição em extensão rodoviária. Segundo os dados apresentados pela CNT em 2013, o Brasil possui 1.713.885 km de rodovia, sendo que 79,3% correspondem às estradas não pavimentadas. Conforme o mesmo relatório apresentado pela

CNT, além do país apresentar menor densidade da malha viária pavimentada, ainda possui uma infraestrutura reduzida se comparado com outros países de grandes dimensões como, Rússia, China, Estados Unidos, Canadá e Austrália.

Em Minas Gerais, de acordo com Silva (2009), 87,64% das rodovias municipais ainda se encontram em leito natural. Essas estradas ligam os polos agropecuários do interior do estado a rodovias estaduais e federais pavimentadas, onde há o escoamento das produções agropecuárias e abastecimento dos grandes centros consumidores.

A manutenção das boas condições da disponibilidade da malha rodoviária é importante para a garantia do avanço econômico e social do país. Segundo Silva (2011) no ponto de vista social, as estradas não pavimentadas consistem em uma infraestrutura essencial para as comunidades rurais, devidos aos benefícios proporcionados a elas, já que essas estradas oferecem acesso das pessoas à educação, ao trabalho e ao lazer, sendo muitas vezes o único caminho das comunidades rurais na busca por serviços essenciais disponíveis apenas nos centros urbanos.

As condições físicas das estradas não pavimentadas, segundo Júnior e Ferreira (2007), dependem de fatores específicos de cada região, tais como: tipo de solo, clima, topografia, tráfego e frequência da manutenção.

Segundo Koetz (2003) um dos problemas em estradas não pavimentadas é a drenagem deficiente, relacionados com o mau dimensionamento dos sistemas que envolvem a drenagem, como canais e desaguadouros, ou a utilização de dados hidrológicos ou do solo não condizentes com a realidade do local.

As estradas não pavimentadas são de grande importância para a economia brasileira, devido ao escoamento de produtos agrícolas. Porém, devido as más condições de trafegabilidade, faz com que parte dos produtos seja desperdiçada devido ao tempo que se leva para chegar ao destino final, refletindo no aumento dos encargos do produto final. Silva (2011) apresenta dados publicados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) que a cada R\$ 1,00 investido na melhoria das condições de tráfego das rodovias pode gerar uma economia de até R\$ 3,00 nos gastos operacionais dos veículos. Júnior e Ferreira (2007) apontam que em Goiás, segundo a Agência Goiânia de transportes e Obras (AGETOP), em 2007, o custo para a manutenção e conservação das estradas não pavimentadas eram mensalmente, R\$ 240,97 (duzentos e quarenta reais e noventa e sete centavos) por quilômetro.

O processo erosivo por escoamento superficial constitui um dos grandes problemas associados a estradas não pavimentadas, ocasionando perdas de solo e comprometimento das vias, como consequências diretas. Geralmente, são estradas que não possuem projetos adequados e falta de manutenção. Silva (2011) aponta alguns fatores responsáveis pela ocorrência da erosão e produção de sedimentos nas estradas não pavimentadas, dentre elas, pode-se citar a intensidade e duração das chuvas, características do material que compõe a superfície da estrada, características da estrada relacionadas à drenagem, declividade, tráfego, construção e manutenção das estradas e áreas externas que drenam para as estradas.

Uma estrada não pavimentada em boas condições deve apresentar resistência suficiente para suportar o tráfego das cargas. Para isso, é necessária a adoção de práticas, que segundo Silva (2011), devem ser preventivas e quando necessário a realização de manutenção, a fim de reduzir as taxas de perdas de solo.

### **3.3 Práticas de controle de erosão em estradas não pavimentadas**

As erosões em estradas não pavimentadas devem ser controladas através da adoção de medidas capazes de evitar que a água proveniente tanto das estradas como as das suas margens, se acumulem em seu leito, e sim seja drenada nas suas laterais e, encaminhadas até um corpo hídrico, ou até uma bacia de contenção em para que possa infiltrar no solo.

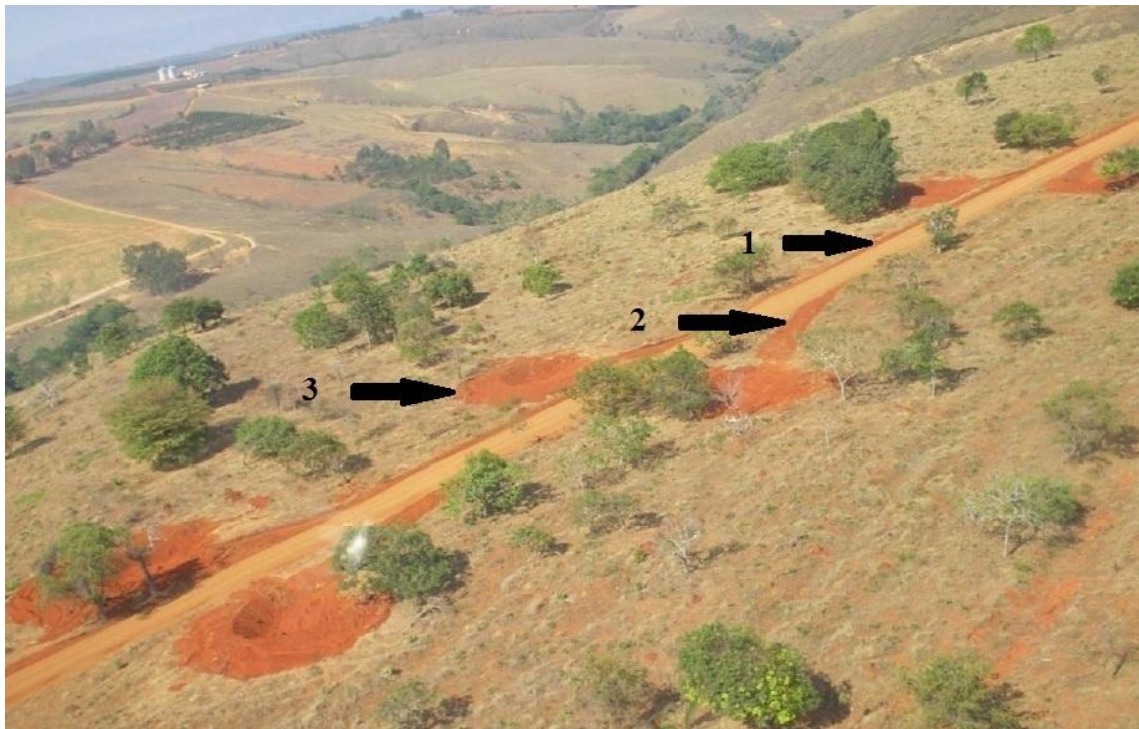
Segundo Silva (2009) para implementar um sistema de drenagem em estradas não pavimentadas, é preciso verificar o abaulamento do leito, criar canais de escoamento e instalar desaguadouros para a remoção do escoamento superficial para fora da estrada. O abaulamento está relacionado com a seção transversal do leito da estrada, tem a função de proporcionar o escoamento da água para fora da superfície de rolamento e direcionar até as margens. Sendo assim, o abaulamento evita que a água da chuva permaneça por muito tempo sobre o leito da estrada, evitando o escoamento longitudinal, o que reduz consequentemente a perda de solo da superfície. O abaulamento deve ser realizado de forma a atender as necessidades da drenagem e principalmente a comodidade e segurança do usuário. Com isso, Silva (2009) sugere que se tenha um valor médio de 4% de declividade. Valores superiores, dependendo da tipologia dos veículos que trafegam nas vias, poderá causar tombamento em curvas.

O canal de escoamento apresenta relevante interesse no sistema de drenagem, conhecido também como “sarjeta”, cuja função é coletar e conduzir as águas provenientes do

escoamento superficial da pista e das áreas externas localizadas às margens da estrada. Tal canal deve ser dimensionado de forma a captar o volume da água escoada ao longo da via e conduzi-la até os canais dos desaguadouros (SILVA, 2011). De acordo com Silva (2009) em trechos onde é inviável a instalação dos desaguadouros, é aconselhável a implantação de estruturas de dissipação de energia, como estacas de madeira ou pedra, até que seja possível a retirada adequada dessa água e seu escoamento para fora da estrada.

Para evitar que a água atinja energia suficiente capaz de degradar os canais longitudinais, são dimensionados estruturas de retenção e infiltração das águas drenadas, chamados de bacia de acumulação. As bacias de acumulação consistem na escavação do solo nas áreas marginais às estradas, permitindo assim a captação e armazenamento da água escoada, para posterior infiltração e retenção dos sedimentos.

Na Figura 1 apresentam-se as estruturas utilizadas em um microssistema de drenagem com sarjeta (1), canal de condução (2) e desaguadouro ou bacia de acumulação (3).



**Figura 1:** Estruturas do microssistema de drenagem em estradas não pavimentadas.  
Fonte: adaptado de Silva, 2009.

### 3.4 Software Estradas

Na Figura 2 é apresentada a interface inicial do *software* com a informação a respeito do objetivo do *software* bem como o grupo de pesquisa responsável pelo seu desenvolvimento.



**Figura 2:** Interface inicial do *software* Estradas.

O *software* Estradas foi desenvolvido para auxiliar no dimensionamento de estruturas de microdrenagem para estradas não pavimentadas. Este *software* usa um modelo para a determinação do espaçamento máximo entre os desaguadouros das sarjetas, considerando que a perda máxima de solo provocada pelo escoamento superficial seja igual à perda tolerável (GPRH, 2008).

A determinação da perda de solo provocada pelo escoamento superficial, segundo GPRH (2008) é feita tomando-se a diferença entre a tensão cisalhante associada a cada intervalo de tempo e a tensão crítica de cisalhamento do solo, conforme Equação 1.

$$P_{se} = \sum [(\tau_m - \tau_c) \cdot \Delta t \cdot K \cdot A]$$

**Equação 1**

Em que,

$P_{se}$  – perda de solo provocada pelo escoamento superficial (g);

$\tau_m$  – tensão cisalhante máxima provocada pelo escoamento (Pa);

$\tau_c$  – tensão crítica de cisalhamento do solo (Pa);

$\Delta t$  – intervalo de tempo (min);

$K$  – erodibilidade do solo ( $\text{g cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ );

A – área da superfície do solo considerada para efeito de cálculo ( $\text{cm}^2$ ).

A tensão cisalhante máxima associada ao escoamento é calculada pela equação da resistência (GPRH, 2008), expressa por:

$$\tau_m = \frac{\gamma \cdot y \cdot S}{0,102}$$

**Equação 2**

Em que,

$\tau_m$  – tensão cisalhante máxima provocada pelo escoamento (Pa);

$\gamma$  – peso específico da água ( $\text{Kgf m}^{-3}$ );

$y$  – altura da lamina de água no canal (m);

$S$  – declividade ( $\text{m m}^{-1}$ ).

Para que não ocorra erosão no canal, a tensão provocada pelo escoamento deve ser inferior ou, no máximo, igual àquela que o solo é capaz de resistir. Neste *software* considera-se a possibilidade de ocorrência de perdas de solo em limites considerados toleráveis, ou seja, que não representem comprometimento ao tráfego na estrada ao final do intervalo considerado para a realização de manutenção.

Visando a determinação de limites para os quais as perdas de solo devidas à erosão possam ser consideradas toleráveis sob o ponto de vista de trafegabilidade da estrada, estabelece-se um aprofundamento máximo ( $a_{pm}$ ) tolerável para o canal de drenagem na seção correspondente ao comprimento máximo. O aprofundamento considerado tolerável é aquele que não compromete o tráfego e que possibilita fácil correção, por intermédio das operações periódicas de manutenção das estradas. A perda de solo correspondente ao  $a_{pm}$  é determinada pela Equação 3, conforme GPRH (2008).

$$P_{st} = V_s \cdot \rho_s$$

**Equação 3**

Em que,

$P_{st}$  – perda de solo tolerável (g);

$V_s$  – volume de solo a ser removido pela erosão ( $\text{cm}^3$ );

$\rho_s$  – massa específica do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

### 3.4.1 Dados requeridos pelo *Software* Estradas

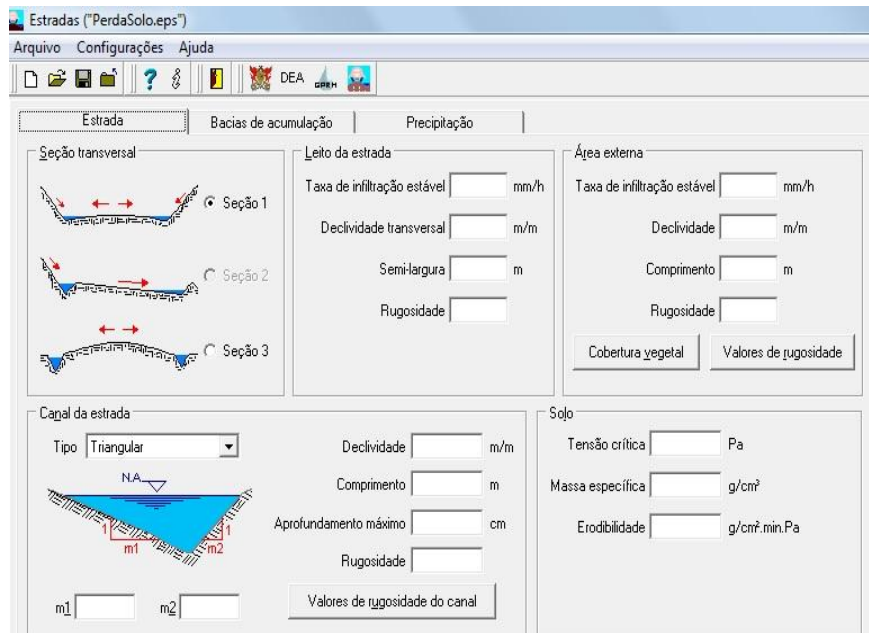
As informações requeridas pelo *software* para a realização das simulações são aquelas referentes às condições da precipitação, obtidas com o auxílio do *software* Plúvio, desenvolvido pelo mesmo grupo de pesquisa. Também são requeridas pelo *software* características pertinentes ao leito da estrada, tais como densidade do solo, largura do leito, erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento do solo, coeficiente de rugosidade do solo do leito da estrada e da área externa, declividade e etc.

Para obter os espaçamentos entre os desaguadouros, é necessário inicialmente determinar as condições de escoamento no canal de drenagem da estrada e, posteriormente, a capacidade do solo em resistir ao desprendimento de partículas provocado pelo escoamento superficial. Com o espaçamento máximo entre os desaguadouros e com o volume escoado é determinando o sistema para acumulação da água.

O *software* determina o espaçamento entre os desaguadouros através da geração de um hidrograma de escoamento do canal, obtido com a acumulação dos hidrogramas de escoamento nas encostas referente à estrada e a área de contribuição externa. Associando o hidrograma do canal com as características de resistência do solo à erosão, com a tensão crítica de cisalhamento e erodibilidade do solo, são quantificados as perdas de solo no canal e comparado com a perda máxima aceitável de solo.

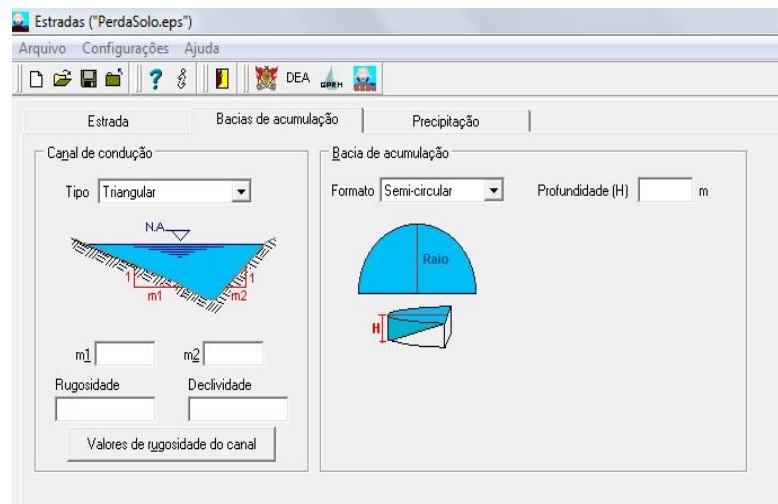
Além da determinação do espaçamento entre desaguadouros, o *software* permite a quantificação da vazão e do volume escoado, possibilitando o dimensionamento do canal e do sistema de acumulação de água.

Na interface do *software* Estrada são inseridas as características do leito da estrada, do canal da estrada, das características do solo e quando necessário, as características das áreas externa que drena o leito da estrada, conforme apresentado na Figura 3.



**Figura 3:** Interface Estrada.

Na Figura 4 ilustra-se a interface relativa à Bacia de acumulação. O dimensionamento das bacias é feito a partir do volume de água conduzido até elas. O usuário deverá fornecer o tipo de canal e os parâmetros referentes aos tipos escolhidos, e a escolha do formato e parâmetros da bacia de acumulação.



**Figura 4:** Interface da Bacia de acumulação.

Conforme apresentado na Figura 5, os dados requeridos são referentes à precipitação local, onde o *software* utiliza a chuva máxima esperada para um período de retorno determinado, conforme apresentado na Equação 4.

$$i = \frac{K \cdot T^a}{(b+t)^c}$$

**Equação 4**

em que,

$i$  = intensidade máxima de chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

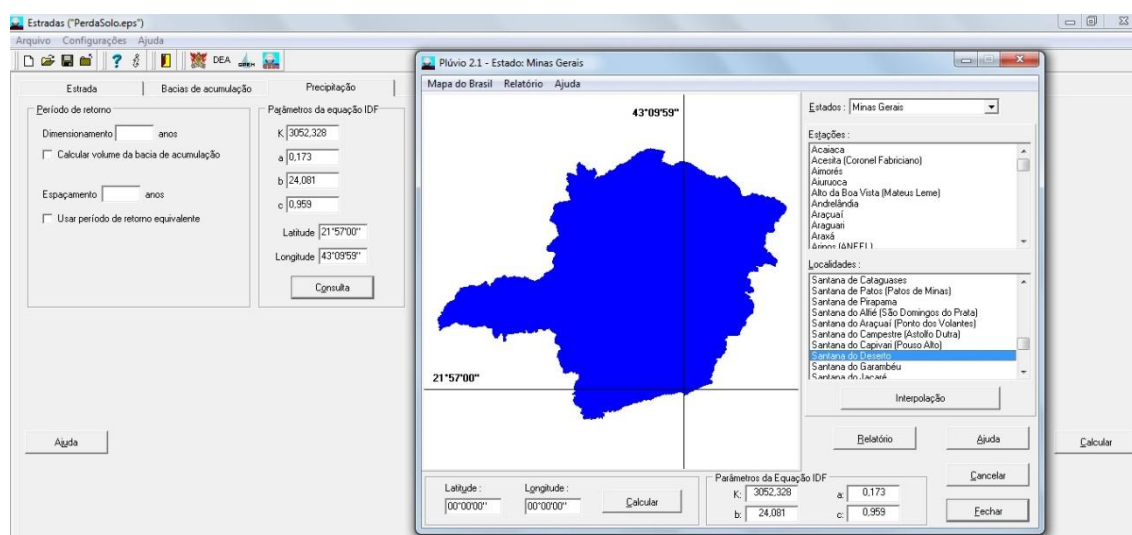
$t$  = duração da chuva (min);

$T$  = período de retorno (anos);

$K$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  = são parâmetros empíricos, adimensionais.

O período de retorno corresponde o inverso da probabilidade de um determinado evento hidrológico ser igualado ou excedido em um ano qualquer. Segundo as Diretrizes propostas pela Superintendência de projetos e de Obras de São Paulo em 1999, para se determinar o período de retorno  $T$  em anos, para uma dada vazão, assume-se o grau de proteção conferido à população, com objetivo de evitar danos provocado por um evento hidrológico durante a vida útil de uma obra (SÃO PAULO, 1999).

Para a determinação dos parâmetros empíricos da Equação 4, é utilizado o *software* Plúvio, que pode ser acessado diretamente pelo *software* Estradas, ao clicar o botão “Consulta”, sendo necessário somente a inserção da duração da chuva e o tempo de retorno, conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5:** Interface Precipitação e software Plúvio.

Após a inserção de todos os dados, o software realizará o cálculo, gerando ao final um relatório com os resultados referentes ao Canal, à Bacia de acumulação e uma tabela com a

descrição de cada seção, incluindo a lâmina de água no canal, vazão máxima, tensão máxima e perda de solo.

Segundo Silva (2011), o *software* Estradas se adequou as condições brasileiras, se comparado com outros modelos que atendem os mesmos objetivos, já que a aplicação desses modelos é restrita às condições nas quais estes foram concebidos (modelos empíricos), ou exigem uma minuciosa calibração dos parâmetros (modelos baseados em processos físicos). Este *software* possibilita a simulação de vários cenários através da mudança de seus parâmetros de entrada, o que facilita a escolha do melhor dimensionamento de sistema de drenagem em estradas não pavimentadas.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

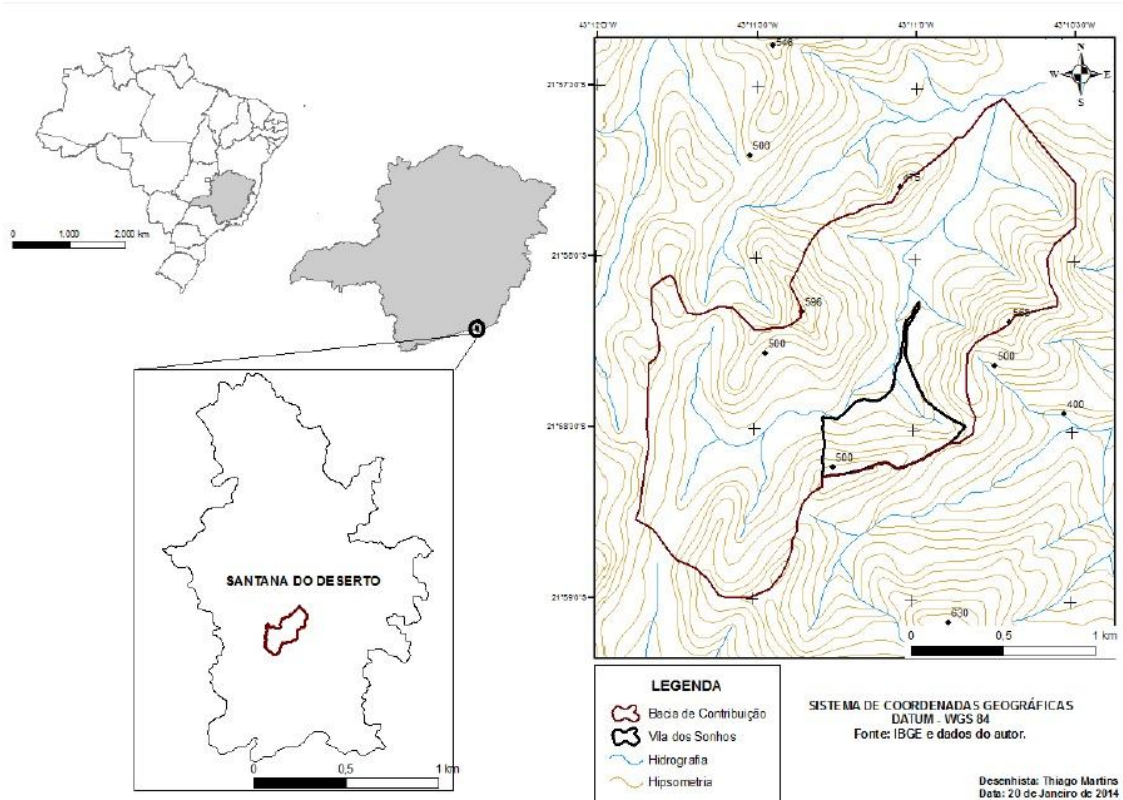
O desenvolvimento deste trabalho envolveu duas etapas, a de escritório e a de campo. Na etapa de escritório foram desenvolvidas as seguintes atividades: referência bibliográfica, levantamento de dados secundários, dimensionamento e redação do presente estudo.

Já na etapa de campo foram realizadas coletas dos dados primários, tais como, levantamento altimétrico, comprimento e largura das estradas e coleta de amostra de solo para a determinação da massa específica do solo. Esta etapa foi realizada no Ecocentro Social Vila dos Sonhos, no município de Santana do Deserto.

Este trabalho foi realizado no período de 10 meses, de Março de 2014 com a proposta do tema a Dezembro de 2014 com a concepção final deste.

### **4.1 Localização**

Os trechos de estradas não pavimentadas em estudo localizam-se no Ecocentro Social Vila dos Sonhos, situado na zona rural do município de Santana do Deserto – MG, a uma altitude média corresponde a 300 m, com coordenadas geográficas de 21°58'26.67" S latitude e 43°11'4.18" O de longitude (GOOGLE EARTH, 2014). Na Figura 6 está a localização da área de estudo.



**Figura 6:** Localização da área de estudo.  
Fonte: Vieira, 2014.

O município de Santana do Deserto apresenta um clima quente e temperado, com chuvas mais intensas no verão. A classificação do clima é Cwa, que corresponde a um clima temperado úmido com inverno seco e verão quente. A temperatura média do município é de 21,4°C. A temperatura média do mês de fevereiro é de 24,5°C, sendo o mês mais quente do ano. O mês de julho possui a temperatura média mais baixa do ano, com 17,6°C. A média anual de pluviosidade é de 1.520 mm, sendo o mês de julho o mais seco, com 21 mm, e o mês de janeiro o mais chuvoso, com 284 mm (VIEIRA, 2014).

Na Figura 7 apresenta-se o mapa de caracterização dos Solos do Estado de Minas Gerais, disponibilizado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais - FEAM. Nota-se que em Santana do Deserto o tipo de solo é LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico.





Ilustração:

— Trecho 1 — Trecho 2 — Trecho 3 — Trecho 4

**Figura 8:** Imagem dos trechos estudados.  
 Fonte: Adaptado GOOGLE EARTH, 2014.

O trecho 1 (Figura 9), corresponde a estrada de entrada do Ecocentro. Essa estrada não possui área de contribuição externa, pois criaram um sistema de coleta lateral à estrada, que drena as águas advindas do talude.



**Figura 9:** Estrada não pavimentada, trecho 1  
 Fonte: Acervo do autor.

O trecho 2 começa no final do trecho 1 até o início do córrego. Esta estrada dá acesso a cozinha e a horta do local, há uma extensa área de contribuição externa que contribui para o

sistema de drenagem desta estrada, conforme a Figura 10. Verifica-se ainda na Figura 10 a formação de sulcos no leito da estrada.



**Figura 10:** Estrada não pavimentada, trecho 2.  
Fonte: Acervo do autor.

O Trecho 3 começa próximo ao exutório do lago e termina na entrada da futura quadra poliesportiva (Figura 11). Este trecho possui uma pequena área de contribuição externa.



**Figura 11:** Estrada não pavimentada, trecho 3, próximo ao exutório.  
Fonte: Acervo do autor.

O trecho 4 começa no final do trecho 3, próximo a futura quadra poliesportiva e termina na divisa com a estrada que dá acesso a fazenda acima do Ecocentro, nesse trecho há contribuição de escoamento superficial da área externa (Figura 12).



**Figura 12:** Estrada não pavimentada, trecho 4.  
Fonte: Acervo do autor.

As estruturas hidráulicas dimensionadas neste trabalho foram: sarjeta, canal de condução e bacia de acumulação. No dimensionamento, inclui-se o abaulamento do leito das estradas, a fim de evitar o acúmulo de águas sobre a superfície das vias.

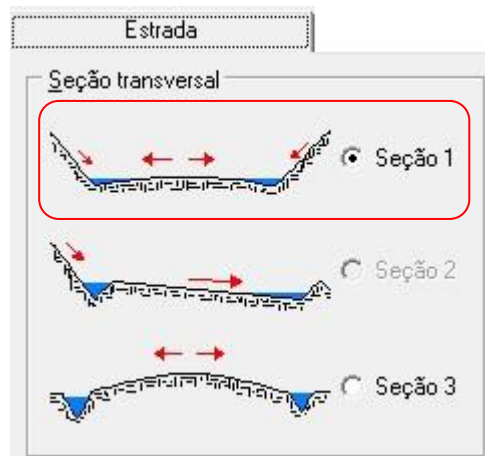
#### **4.2.1 Dados referentes à Estrada**

Os dados de entrada do *software* referente à estrada podem ser divididos em quatro segmentos: Área externa ao leito, leito da estrada, canal da estrada e características do solo.

##### **4.2.1.1 Área externa ao leito**

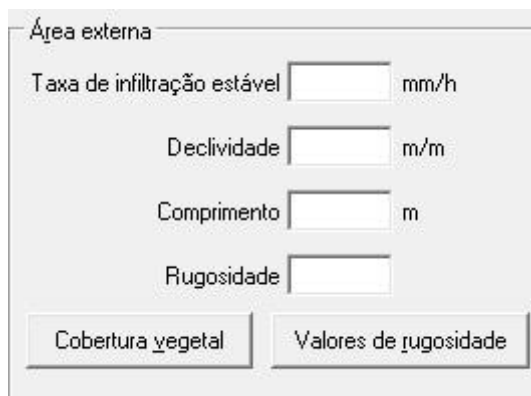
Na primeira visita ao local, no dia 15 de maio de 2014, observou-se a existência de áreas externas que contribuem com escoamento superficial às estradas nos trechos 2, 3 e 4, com isso, baseou-se a escolha da seção transversal seção 1. No entanto, o trecho 1 não possui contribuição de contribuição externa, logo a seção transversal selecionada do *software* foi a 3. A contribuição da área é um dado relevante ao dimensionamento, já que as águas são drenadas para as estradas, contribuindo para o volume total escoado nas margens das estradas.

A Figura 13, retirada do *software* Estradas, ilustra o formato da seção da estrada escolhida, representado os trechos 2, 3 e 4.



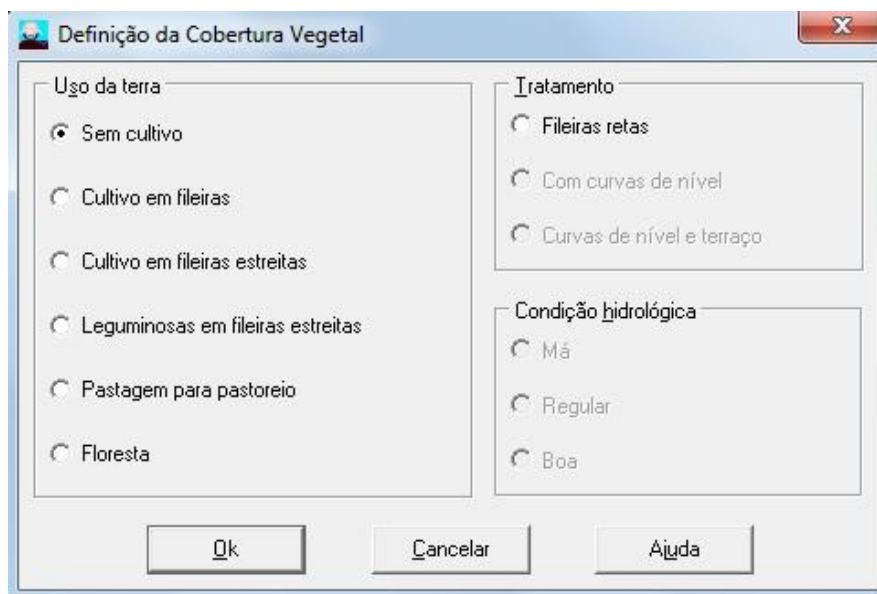
**Figura 13:** Interface do formato da seção transversal com áreas de contribuição externas.

Com a escolha da seção, os parâmetros relativos a área externa ficaram habilitados, conforme a Figura 14.

O formulário 'Área externa' contém os seguintes campos e botões: 'Taxa de infiltração estável' com unidade 'mm/h', 'Declividade' com unidade 'm/m', 'Comprimento' com unidade 'm', e 'Rugosidade'. Abaixo desses campos, há dois botões: 'Cobertura vegetal' e 'Valores de rugosidade'.

**Figura 14:** Parâmetros relativos a área externa.

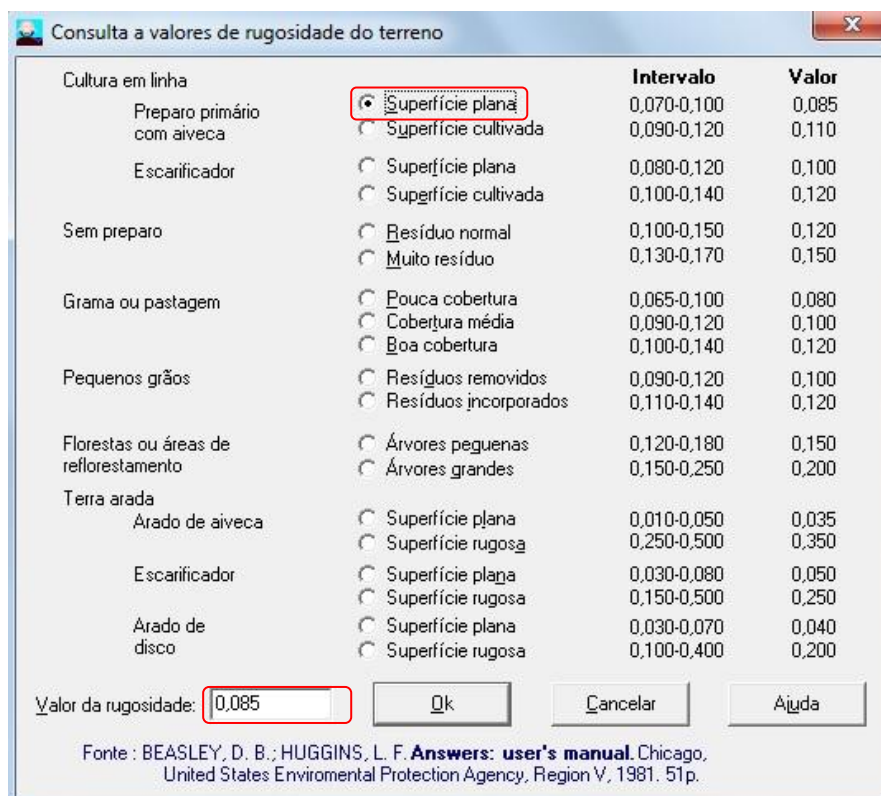
Neste estudo, foi realizada a simulação quanto a influência da cobertura vegetal das áreas de contribuição, com o intuito de verificar a interferência causada com a introdução de diferentes cenários de uso da terra, e quando necessário ao tratamento da área e as condições hidrológicas (Figura 15).



**Figura 15:** Interface referente a cobertura vegetal.

Ressalta-se que ao alterar a cobertura do solo, os parâmetros de entrada do software Estradas, tais como Taxa de infiltração e Rugosidade, serão alterados. Os cenários adotados foram solo sem cultura, com milho e com mucuna. A mucuna é uma planta da família das leguminosas que tem sua origem na China, exibe razoável tolerância a estresses abióticos, incluindo seca, baixa fertilidade e alta acidez do solo (ONZI, 2006). É uma cultura utilizada em áreas que foram degradadas e onde se deseja fazer a recomposição florestal, esta planta proporciona a incorporação de nitrogênio no solo, aumento a fertilidade do mesmo e favorecendo o surgimento de outras espécies. A escolha desses cenários foi devido a utilização de estudos realizados por Brandão et al. (2004) para a determinação da taxa de infiltração estável para essas três situações utilizando as mesmas condições, tais como tipo de solo, conforme apresentado na Tabela 1.

A rugosidade da superfície do solo é um parâmetro fornecido pelo próprio *software*, que permite a escolha do valor para diferentes tipos e condições das áreas externas. A rugosidade variou entre os cenários, de acordo com o tipo de cobertura utilizada. No cenário 1, sem cobertura vegetal, a escolha da rugosidade foi grama ou pastagem, com pouca cobertura. Para o cenário 2, cultura com milho, foi escolhido a cultura em linha, utilizando o escarificador para a superfície cultivada. No cenário 3, cultura com mucuna, apesar de apresentar o mesmo valor de rugosidade do cenário 2, o tipo modo de cultura diferenciou-se por ser grama ou pastagem, com boa cobertura. Na Figura 16 estão os valores da rugosidade para cada tipo de preparo do solo.



**Figura 16:** Interface do banco de dados de valores de rugosidade do terreno.

Na tabela 1 estão apresentados os valores da rugosidade e taxa de infiltração para os três cenários propostos.

**Tabela 1** – Valores da Rugosidade e Taxa de infiltração para diferentes cenários.

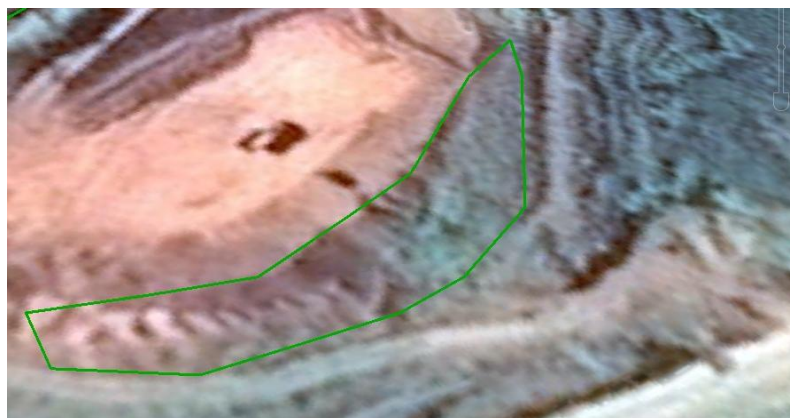
Parâmetro	Valor de entrada		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>Rugosidade</b> ( $s\ m^{-1/3}$ ) <sup>2</sup> (Software Estradas)	0,08	0,12	0,12
<b>Taxa de infiltração</b> ( $mm\ h^{-1}$ ) <sup>2</sup> (Brandão et al., 2004)	27,5	32,5	45,7

<sup>2</sup> Dados secundários obtidos em literatura.

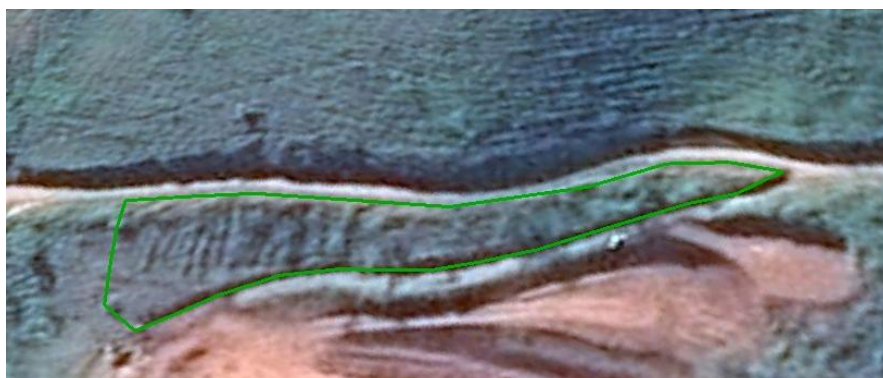
A declividade e o comprimento dos três trechos de estrada foram obtidos com o auxílio das imagens de satélites do Google Earth, conforme as Figuras 17, 18, 19 e 20.



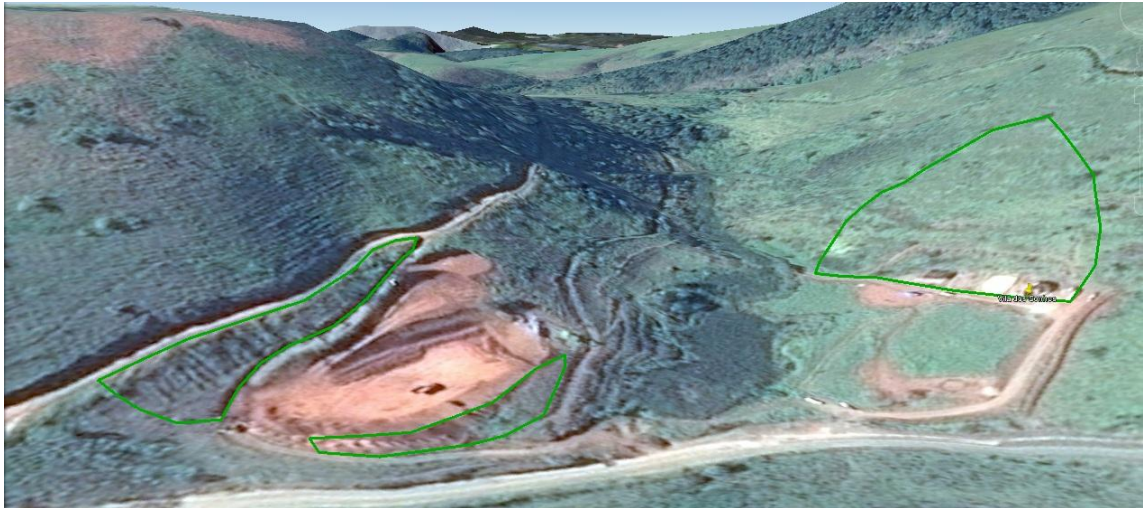
**Figura 17:** Área de contribuição do trecho 2.  
Fonte: Adaptado GOOGLE EARTH, 2014.



**Figura 18:** Área de contribuição do trecho 3.  
Fonte: Adaptado GOOGLE EARTH, 2014.



**Figura 19:** Área de contribuição do trecho 4.  
Fonte: Adaptado GOOGLE EARTH, 2014.



**Figura 20:** Áreas de contribuição dos três trechos.  
 Fonte: Adaptado GOOGLE EARTH, 2014.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores dos dados referentes às áreas externas dos leitos das estradas.

**Tabela 2** – Dados de entrada relativo a área externa.

Parâmetro	Valores de entrada		
	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4
<b>Declividade (<math>m\ m^{-1}</math>)<sup>2</sup></b> (Google Earth, 2014)	0,44	0,17	0,47
<b>Comprimento (m)<sup>2</sup></b> (Google Earth, 2014)	112,78	89,40	104,10

<sup>2</sup> Dados secundários obtidos em literatura.

#### 4.2.1.2 Leito da Estrada

Os parâmetros relativos ao leito da estrada (Figura 21) são a Taxa de infiltração do solo, Declividade transversal, Semi-largura e Rugosidade.

**Leito da estrada**

Taxa de infiltração estável  mm/h

Declividade transversal  m/m

Semi-largura  m

Rugosidade

**Figura 21:** Detalhe da interface correspondente ao leito da estrada

Para a determinação da taxa de infiltração foram consultados valores para o tipo de solo referente à área de estudo. Pelo fato dos leitos de estrada não pavimentadas apresentarem maior grau de compactação do solo, o valor mais indicado, segundo Silva (2011), para a taxa de infiltração estável é  $1 \text{ mm h}^{-1}$ .

Com o abaulamento, a água não permanece por muito tempo no leito, sendo direcionada para a sarjeta, local onde a água é transportada longitudinalmente. Com isso, Silva (2011) sugere o valor de 4% de declividade transversal do leito.

A semi-largura do leito foi medida em campo utilizando uma trena. A medição se deu no início, no meio e no final da estrada, e a semi-largura correspondeu à média entre os três pontos. Nesse caso, considerou-se a semi-largura como a largura total da estrada, já que o abaulamento será realizado na largura total, que contribuirá para o canal de drenagem do leito.

No que se refere a rugosidade, o leito das estradas não pavimentadas apresentam características semelhantes aos canais, com isso, adotou-se um valor de  $0,022 \text{ s m}^{-1/3}$  para canal limpo, mas tendo sofrido intemperismo, conforme o banco de dados do *software* Estradas. Na Tabela 3 estão os dados referentes aos parâmetros de entrada para o Leito das estradas.

**Tabela 3** - Dados referentes aos parâmetros do leito das estradas.

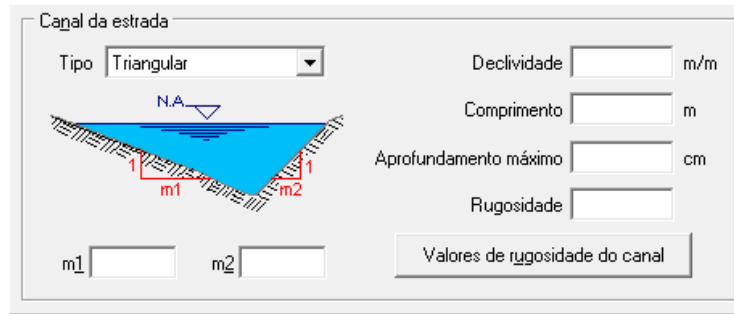
Parâmetro	Valor de entrada			
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4
<b>Taxa de infiltração estável (<math>\text{mm h}^{-1}</math>)</b> <sup>2</sup> (Silva, 2011)	1	1	1	1
<b>Declividade transversal (<math>\text{m m}^{-1}</math>)</b> <sup>2</sup> (Silva, 2011)	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>Semi-largura (m)</b> <sup>1</sup>	3,6	3,0	3,4	3,4
<b>Rugosidade (<math>\text{s m}^{-1/3}</math>)</b> <sup>2</sup> ( <i>Software</i> Estradas)	0,022	0,022	0,022	0,022

<sup>1</sup> Dados primários obtidos em campo.

<sup>2</sup> Dados secundários obtidos em literatura.

#### 4.2.1.3 Canal da estrada

Na Figura 22 apresentam-se os parâmetros solicitados para o dimensionamento das sarjetas.



**Figura 22:** Interface Estrada detalhando os parâmetros do Canal da estrada.

A declividade do canal foi determinada em levantamento de campo, através da utilização de aparelho ótico destinado a determinar os desníveis entre os pontos topográficos, conhecido como nível. Com a obtenção da diferença de nível entre os pontos com leitura de ré e leitura de vante, e a distância horizontal entre os pontos, foi possível calcular a declividade com a Equação 5,

$$d\% = \frac{DN}{DH} 100$$

**Equação 5**

em que,

d% = declividade;

DN = leitura de Ré – leitura de Vante, ambos determinados com leitura do fio médio;

DH = distância horizontal entre os pontos.

Foram determinados os quatro trechos de estradas não pavimentadas, os valores utilizados como declividades em cada trecho é a média das declividades entre os pontos. As Figuras 23 e 24 ilustram a medição da distância horizontal e a leitura de Ré de um dos pontos no trecho 1, respectivamente.



**Figura 23:** Medição da distância horizontal entre os pontos.  
Fonte: Acervo do autor.

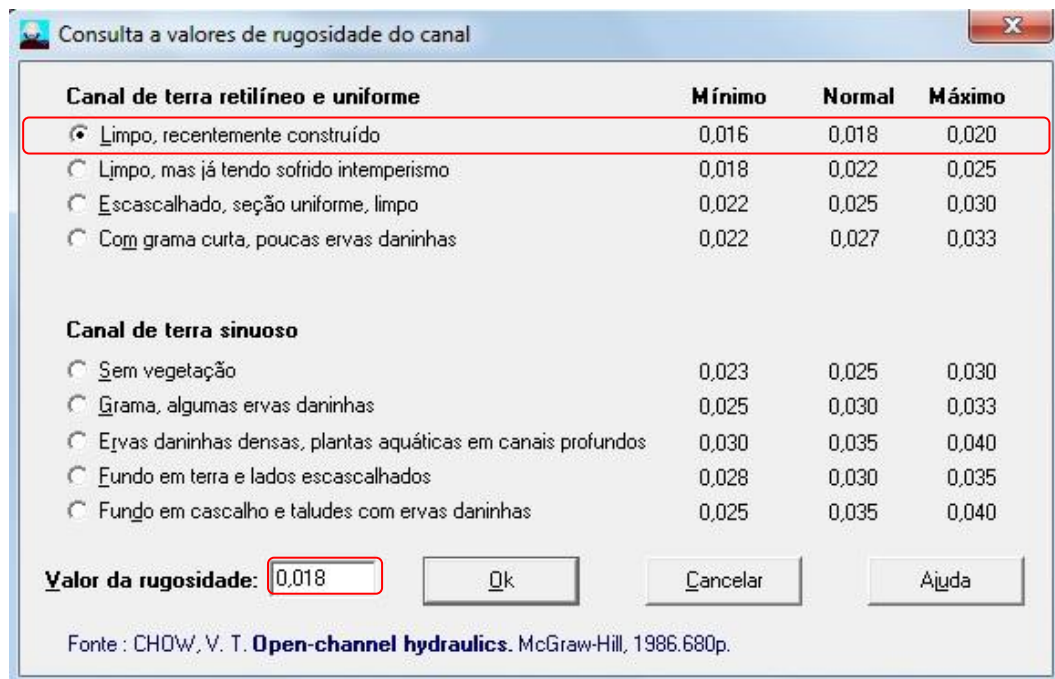


**Figura 24:** Leitura de Ré do ponto.  
Fonte: Acervo do autor.

A seção do canal escolhida foi do tipo triangular, devido a facilidade do maquinário em realizar o corte. Os valores de  $m_1$  e  $m_2$  representam os deslocamentos horizontais considerando um desnível unitário da parede do canal, foram adotados os valores 5 e 1, respectivamente, conforme adotado por Maciel (2010).

O aprofundamento máximo tolerável ( $a_{pm}$ ) do canal visa determinar os limites para as perdas de solo devido ao processo erosivo no canal, com intuito de não prejudicar o tráfego e possibilitar facilidade na correção quando realizado a manutenção. De acordo com Silva (2011) o valor para o aprofundamento máximo é de 10 cm.

Na determinação do valor da rugosidade do canal utilizou-se a tabela informada pelo próprio *software* Estradas. A escolha da rugosidade foi baseada em um canal limpo recentemente construído, logo, o valor fornecido foi de  $0,018 \text{ s m}^{-1/3}$ , conforme a Figura 25.



**Figura 25:** Tabela com valor da rugosidade do canal.

As medições do comprimento do canal foram realizadas em campo com o auxílio de uma trena, os valores estão representados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Valores referentes aos canais da estrada (sarjetas).

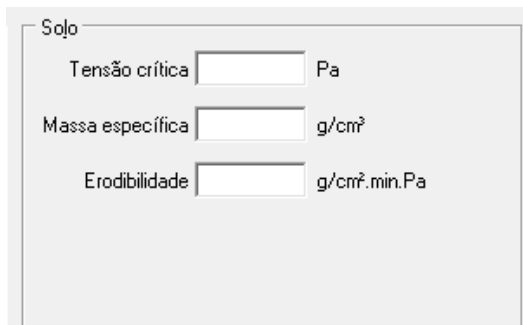
Parâmetro	Valor de entrada			
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4
<b>Declividade do canal (<math>\text{m.m}^{-1}</math>)</b> <sup>2</sup>	0,155	0,09	0,12	0,18
<b>Aprofundamento máximo (cm)</b> <sup>1</sup> (Silva, 2011)	10	10	10	10
<b>Rugosidade (<math>\text{s m}^{-1/3}</math>)</b> <sup>1</sup> ( <i>Software</i> Estradas)	0,018	0,018	0,018	0,018
<b>Comprimento do canal (m)</b> <sup>2</sup>	98,7	87	107,4	101

<sup>1</sup> Dados secundários obtidos em literatura.

<sup>2</sup> Dados primários obtidos em campo.

#### 4.2.1.4 Características do solo

Na Figura 26 apresentam-se os parâmetros referentes às características do solo.



Sojo

Tensão crítica  Pa

Massa específica  g/cm<sup>3</sup>

Erodibilidade  g/cm<sup>3</sup>.min.Pa

**Figura 26:** Interface Estrada detalhando os parâmetros do Solo.

As características requeridas pelo *software* Estradas como parâmetro de entrada são: tensão crítica de cisalhamento, massa específica e erodibilidade.

A erodibilidade e a tensão crítica são parâmetros utilizados para calcular a capacidade de resistência do solo a erosão, e seus valores variam de local para local (ENRIQUEZ, 2012). Oliveira et al. (2009) define a tensão crítica de cisalhamento como a máxima tensão que pode ser aplicada ao solo sem que haja desagregação e remoção de suas partículas. Existem métodos diretos e indiretos para determinar este parâmetro, ambos necessitam de estudos mais detalhados do solo e demanda tempo. Por isso, o valor da taxa foi obtido na literatura, tendo optado por valores referentes às estradas com características do solo próximas aos trechos de estrada em estudo. O valor da tensão crítica foi adotado segundo o valor apresentado por Silva (2011).

Segundo Koetz (2003) a erodibilidade do solo, sob condições de escoamento superficial, corresponde a quantidade de solo desprendido por unidade de área, tempo e tensão aplicada, que depende das características e propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo, como a granulometria e constituição mineralógica e química do solo, da estrutura, permeabilidade, capacidade de infiltração e coesão entre as partículas (MACIEL, 2010). Segundo Oliveira et al. (2009) a erodibilidade é considerado um dos fatores mais importante para a escolha do projeto adequado para o controle de erosão nas estradas não pavimentadas.

A erodibilidade do solo é variável em estradas não pavimentadas, pois depende do escoamento, logo, a erodibilidade real considerada é obtida após o material solto ser removido

(KOETZ, 2003). O valor da erodibilidade foi obtido em literatura, de acordo com o que fora apresentado por Silva (2011).

Amostras de solo foram coletadas para a obtenção da massa específica, o processo de coleta do material consistiu em cravar um cilindro de volume conhecido no solo. A retirada do cilindro do solo foi realizada de forma a não interferir no volume coletado, conforme a Figura 27.



**Figura 27:** Retirada do cilindro do solo.  
Fonte: Acervo do autor.

Após a retirada do cilindro, a amostra foi levada ao laboratório para a secagem em estufa por 24 horas, e posterior pesagem do material seco (Figura 28). Com o valor do peso e o volume do cilindro foi possível determinar a massa específica do solo com a Equação 6, disponibilizado por Carvalho, 2012.



**Figura 28:** Amostras de solo secas, após secagem em estufa a 105°C, durante 24 horas.

$$D_s = \frac{M_s}{V_t}$$

**Equação 6**

em que,

$D_s$  = Massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$M_s$  = Massa seca do solo (g);

$V_t$  = Volume de controle ( $\text{cm}^3$ ).

Os valores dos parâmetros referente as características do solo estão na Tabela 5.

**Tabela 5** – Valores referentes as características do solo.

Parâmetro	Valor de entrada			
	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4
<b>Erodibilidade (<math>\text{g cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ Pa}^{-1}</math>)</b> <sup>2</sup> (Silva, 2011)	0,0044	0,0044	0,0044	0,0044
<b>Tensão crítica de cisalhamento (Pa)</b> <sup>2</sup> (Silva, 2011)	7,61	7,61	7,61	7,61
<b>Massa específica do solo (<math>\text{g cm}^{-3}</math>)</b> <sup>1</sup>	1,29	1,26	1,34	1,18

<sup>1</sup> Dados primários obtidos em campo.

<sup>2</sup> Dados secundários obtidos em literatura.

#### 4.2.2 Dados referentes à Bacia de acumulação

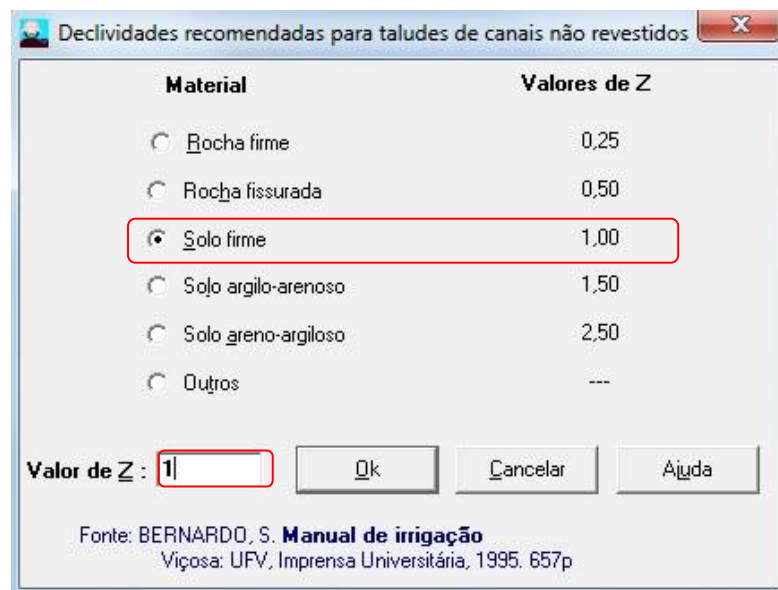
As bacias de acumulação ou caixas de contenção tem a função de armazenar a água advinda dos canais de drenagem, com objetivo de reduzir a velocidade de escoamento da água e aumentar a infiltração de água no solo, abastecendo o lençol freático (MACIEL, 2010).

As informações solicitadas neste campo incluem o tipo do canal, declividade, rugosidade, parâmetros referentes ao tipo do canal, além do formato das bacias de acumulação e profundidade.

Conforme exposto por Maciel (2010), o tipo de canal de condução mais observado nas estradas não pavimentadas corresponde ao tipo trapezoidal (Figura 29). Diante disso, os valores para a base do trapézio (B) foi 0,60 m, e para o Z, que representa os deslocamentos horizontais considerando um desnível unitário das paredes do trapézio, o valor foi de 1,0, levando em consideração material de solo firme (Figura 30).



**Figura 29:** Interface do canal de condução com tipo trapezoidal.



**Figura 30:** Interface referente aos valores de Z.

Maciel (2010) determinou a declividade com medições realizadas em canais de condução, o valor definido foi de  $0,05 \text{ m m}^{-1}$ . O valor da rugosidade adotado foi referente a canais limpos recentemente construídos, que corresponde a  $0,018 \text{ s m}^{-1/3}$  (Figura 31).

	Mínimo	Normal	Máximo
<b>Canal de terra retilíneo e uniforme</b>			
<input checked="" 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, seção uniforme, limpo	0,022	0,025	0,030
<input type="radio"/> Com grama curta, poucas ervas daninhas	0,022	0,027	0,033
<b>Canal de terra sinuoso</b>			
<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:

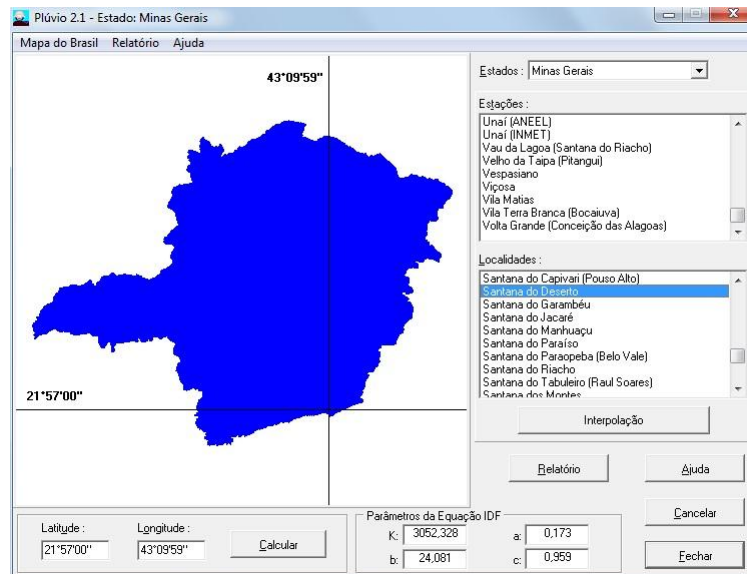
Fonte: CHOW, V. T. **Open-channel hydraulics**. McGraw-Hill, 1986. 680p.

**Figura 31:** Interface de entrada de dados referente ao canal de condução.

O formato escolhido da bacia de acumulação foi semi-circular, adotando-se uma profundidade de 1,5 m, valor sugerido por Silva (2011).

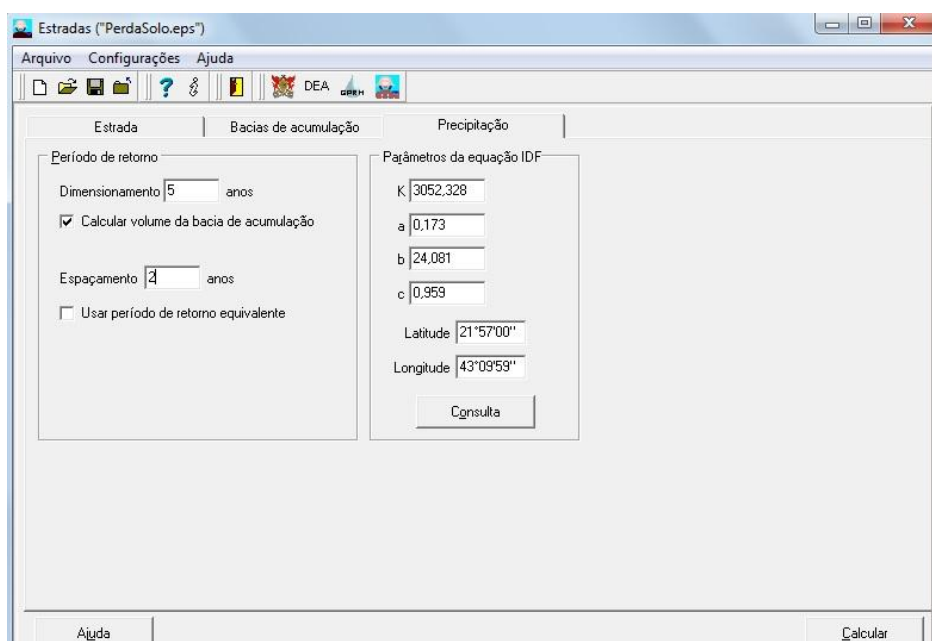
#### 4.2.3 Dados referentes à Precipitação

Na interface de Precipitação, o *software* Estradas utiliza os dados da equação de Intensidade-Duração-Frequencia - IDF do local de estudo, disponibilizado pelo *software* Plúvio. Foi utilizada a localidade de Santana do Deserto – MG, conforme a Figura 32.



**Figura 32:** Interface referente ao *software* Plúvio para a precipitação local.

A escolha do período de retorno para o dimensionamento do microsistema de drenagem foi consultado na literatura. As diretrizes de projeto para estudos hidrológicos, emitido pela Superintendência de Projetos e de Obras de São Paulo de 1999 (SÃO PAULO, 1999), determinou o período de retorno em função do tipo e importância da mesma para a população que utiliza, e em função da sua localização e do seu entorno. Logo, adotamos para o período de manutenção das estradas não pavimentadas de 2 anos, e o dimensionamento de 5 anos. Na Figura 33, estão apresentados os valores requeridos na interface da precipitação.



**Figura 33:** Interface com os dados relativo a precipitação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando-se os distintos cenários para a simulação do sistema de microdrenagem nos trechos de estradas na Ecocentro Social Vila dos Sonhos, utilizando o *software* Estradas, foi possível estimar as perdas de solos, vazão máxima, espaçamento máximo entre os canais, o volume escoado e o raio da bacia de acumulação. Os relatórios completos dos dimensionamentos se encontram no apêndice no final deste relatório.

### 5.1 Análise do trecho 1

No trecho 1 a simulação foi realizada para um cenário em que não há contribuição de áreas externas para o leito da estrada, por isso foi utilizado a seção 3 do *software* Estradas. Os resultados estão descritos na Tabela 6.

**Tabela 6** – Resultado do *software* Estradas para o trecho 1.

<b>Resultado</b>	
<b>Canal</b>	
<b>Perda tolerável de solo (g)</b>	12,9
<b>Espaçamento máximo (m)</b>	38,0
<b>Tensão cisalhante máxima (Pa)</b>	55,4
<b>Perda de solo estimada (g)</b>	12,8
<b>Vazão máxima (L/s)</b>	5,7
<b>Bacia de acumulação</b>	
<b>Volume escoado (m<sup>3</sup>)</b>	10,9
<b>Vazão máxima (L/s)</b>	6,7
<b>Profundidade do canal (cm)</b>	1,5
<b>Espaçamento máximo (m)</b>	38,0
<b>Raio (m)</b>	3,0

Com os resultados obtidos a partir do dimensionamento, calculou-se uma perda máxima de solo de 12,9 g no canal e um espaçamento entre os desaguadouros de 38 metros. Como o trecho possui o comprimento de 98,7 m, serão necessárias três bacias de acumulação, com o formato semicircular de 1,5 m de profundidade e 3 m de raio, para o volume de 10,9 m<sup>3</sup>.

Próximo ao trecho 1, localiza-se uma área de pastejo, onde pode ser construídas as duas primeiras bacias de acumulação sugeridas para este trecho. Sugere-se ainda que, ao invés de construir a última bacia de acumulação para o trecho 1, fosse utilizado o próprio lago existente no Ecocentro Social para receber o volume coletado pelas sarjetas (Figura 34).



**Figura 34:** Proposta de locação das bacias de acumulação do trecho1.

No entanto, para este caso, sugere-se a instalação de uma caixa de areia no final deste canal, a fim de evitar o transporte de sólidos para o lago.

## 5.2 Análise do trecho 2

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados da simulação do dimensionamento do sistema de microdrenagem do trecho 2. Esta estrada possui área de contribuição externa, sendo assim, foi realizado o dimensionamento considerando três cenários de uso do solo da área externa (sem cobertura, milho e mucuna, respectivamente), a fim de verificar o efeito a cobertura do solo no sistema de drenagem.

**Tabela 7** - Resultado do *software* Estradas para o trecho 2 com três cenários.

Resultado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>Canal</b>			
Perda tolerável de solo (g)	12,6	12,6	12,6
Espaçamento máximo (m)	37,0	45,0	75,0
Tensão cisalhante máxima (Pa)	104,2	102,4	101,1
Perda de solo estimada (g)	12,6	12,5	12,5
Vazão máxima (L/s)	100,2	95,5	92,3
<b>Bacia de acumulação</b>			
Volume escoado (m <sup>3</sup> )	127,6	127,2	125,9
Vazão máxima (L/s)	125,9	125,9	142,6
Profundidade do canal (cm)	8,7	8,7	9,3
Espaçamento máximo (m)	37,0	45,0	75,0
Raio (m)	10,4	10,4	10,3

O cenário 3 apresentou o maior valor de espaçamento entre os desaguadouros e os menores valores para a tensão cisalhante máxima, vazão máxima e volume escoado. Este resultado está associado ao tipo de uso do solo utilizada nesta simulação. A cobertura vegetal possui grande influência na taxa de infiltração de um solo, contribuindo para o aumento deste parâmetro. A vegetação é responsável por dissipar a energia cinética das chuvas e também favorece o processo de infiltração, junto a sua zona radicular.

O mesmo comportamento foi observado por GPRH (2008), pois verificaram que em um solo sem cobertura toda a energia cinética da precipitação é dissipada sobre a superfície do solo, no entanto, em solos com cobertura a energia foi absorvida em parte pela vegetação.

A variação do tipo de cobertura da área externa interferiu principalmente no espaçamento máximo entre as bacias de acumulação. Para o cenário 1, sem nenhum tipo de cobertura vegetal, serão necessárias três bacias de acumulação. No cenário 2 e 3, serão necessárias somente duas bacias de acumulação, porém como o cenário 3 possui o espaçamento entre as bacias próximo ao comprimento do trecho da estrada, é possível fazer uma bacia de acumulação, e os outros 12 m restantes serem lançados diretamente no lago que se localiza ao final do trecho 2 (Figura 35).



**Figura 35:** Proposta de locação da bacia de acumulação no trecho 2.

Pode-se observar a tendência da tensão cisalhante máxima, da vazão máxima do canal e do volume escoado, diminuir do cenário 1 para o cenário 3, já que, quanto melhor a cobertura vegetal, como a mucuna, maior será a taxa de infiltração e menor a taxa de escoamento.

### 5.3 Análise do trecho 3

Os resultados da simulação do trecho 3 estão apresentados na Tabela 8. O trecho 3 também possui áreas de contribuição externa, logo, foi realizado o dimensionamento do sistema de microdrenagem levando-se em consideração três cenários de uso do solo das áreas de contribuição externa (sem cobertura, milho e mucuna).

**Tabela 8** - Resultado do *software* Estradas para o trecho 3 com três cenários.

<b>Resultado</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>Canal</b>			
<b>Perda tolerável de solo (g)</b>	13,4	13,4	13,4
<b>Espaçamento máximo (m)</b>	25,0	31,0	49,0
<b>Tensão cisalhante máxima (Pa)</b>	102,5	101,0	96,9
<b>Perda de solo estimada (g)</b>	13,1	13,3	13,4
<b>Vazão máxima (L/s)</b>	51,3	49,4	44,2
<b>Bacia de acumulação</b>			
<b>Volume escoado (m<sup>3</sup>)</b>	68,0	69,4	65,9
<b>Vazão máxima (L/s)</b>	64,7	65,5	69,6
<b>Profundidade do canal (cm)</b>	5,8	6,0	6,1
<b>Espaçamento máximo (m)</b>	25,0	31,0	49,0
<b>Raio (m)</b>	7,6	7,7	7,5

O espaçamento máximo proposto pelo *software* foi de 25 metros para o cenário 1, logo serão necessárias quatro bacias de acumulação para o comprimento de 107,1 metros de estrada. Esse trecho não possui áreas disponíveis para a construção de quatro bacias, o que torna o cenário 1 inviável. O mesmo acontece com o cenário 2, que seriam necessárias quatro bacias de acumulação. O dimensionamento realizado a partir do cenário 3 é aquele que fornece dados construtivos possíveis de serem executados no Ecocentro Social Vila dos Sonhos para o trecho 3. Neste caso seria necessária a construção de apenas duas bacias de acumulação. Outra sugestão é utilizar o lago para receber o volume de água coletado pelas sarjetas no final deste trecho, sendo assim seria necessária a construção de apenas uma bacia de acumulação. Mesmo assim, ressalta-se a dificuldade de instalação de bacias no trecho 3 em razão do relevo da área.

#### 5.4 Análise do trecho 4

O trecho 4 também possui área de contribuição externa, com isso, utilizou-se os mesmos três cenários dos trechos 2 e 3 para simulação do dimensionamento do sistema de microdrenagem. Os resultados obtidos com o software estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9** - Resultado do *software* Estradas para o trecho 4 com três cenários.

<b>Resultado</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>Canal</b>			
<b>Perda tolerável de solo (g)</b>	11,8	11,8	11,8
<b>Espaçamento máximo (m)</b>	8,0	10,0	16,0
<b>Tensão cisalhante máxima (Pa)</b>	97,2	97,5	96,3
<b>Perda de solo estimada (g)</b>	11,4	11,6	11,6
<b>Vazão máxima (L/s)</b>	18,5	18,7	18,1
<b>Bacia de acumulação</b>			
<b>Volume escoado (m<sup>3</sup>)</b>	23,2	24,3	24,0
<b>Vazão máxima (L/s)</b>	23,2	24,5	27,6
<b>Profundidade do canal (cm)</b>	3,1	3,3	3,5
<b>Espaçamento máximo (m)</b>	8,0	10,0	16,0
<b>Raio (m)</b>	4,4	4,5	4,5

A declividade é um parâmetro que influencia diretamente no espaçamento entre as bacias de acumulação. Como o trecho 4 possui uma declividade maior se comparado com os outros trechos, pode-se observar que em todos os cenários os espaçamentos foram menores. Seriam necessárias 13, 10 e 6 bacias de acumulação, para os cenários 1, 2 e 3, respectivamente.

O trecho 4 possui um agravante por não apresentar áreas disponíveis para alocação das bacias de acumulação, logo, o cenário 3 apresenta a melhor opção para as bacias de acumulação.

#### 5.5 Comparação entre os trechos de 1 a 4

Ao comparar os resultados das simulações entre os trechos de estradas estudados, pode-se observar que o parâmetro que apresentou maior variação foi o espaçamento máximo entre os canais desaguadouros.

O trecho 2 foi aquele que apresentou a maior distância entre os desaguadouros, quando comparado com as demais estradas do Ecocentro Social Vila dos Sonhos. Tal comportamento pode estar associado ao fato deste trecho possui a menor declividade (9%). Maciel (2010)

realizou simulações com o mesmo *software* para quatro trechos, variando as declividades em 2%, 6% e 12%. O espaçamento obtido nos trechos de declividade igual a 2% foi maior quando comparado com as outras declividades. De acordo com o autor, o aumento da perda de solo tem uma relação direta com aumento da declividade.

O trecho 1 foi aquele com menor vazão no canal, conseqüentemente, menor vazão máxima e volume escoado na bacia de acumulação. Ao comparar a vazão máxima do trecho 1 com o trecho 2 (trecho de maior vazão), a diferença foi de aproximadamente 17 vezes. Com esse resultado, é possível verificar o quanto a contribuição de área externa interfere na vazão do canal, na vazão e volume da bacia de acumulação.

Observando o raio da bacia de acumulação, somente o trecho 1 apresentou um valor praticável, com 3 m, os outros trechos tiveram valores superiores a esse, tornando inviável a instalação destas estruturas, uma vez que iriam ocupar grandes áreas.

Na simulação realizada por Silva (2011) para um trecho com as seguintes características: sem contribuição de área externa, 300 m de comprimento, declividade de 7,5%, no município de Viçosa, os resultados foram: 12,4 g para a perda máxima de solo, o espaçamento máximo entre os desaguadouros de 148 m, o volume da bacia de 119,72 m<sup>3</sup> e com raio da bacia de 7,08 m. Maciel (2010) analisou quatro trechos de estradas não pavimentadas, um dos trechos sem contribuição de área externa, com 12% declividade e os resultados foram: 6,65 g para a perda de solo, o espaçamento máximo de 26 m, a tensão máxima cisalhante máxima de 36,92 Pa, volume escoado de 6,387 m<sup>3</sup>, e vazão do canal e da bacia de 2,43 e 2,28 L/s, respectivamente. Logo, pode-se observar uma coerência entre os resultados encontrados na simulação do trecho 1, sem contribuição de área externa, com os dados encontrados na literatura.

## **5.6 Recomendações finais**

Conforme observado nas simulações, verificou-se a necessidade de instalação de vários desaguadouros e bacias de acumulação nas estradas do Ecocentro Social Vila dos Sonhos. A instalação destas estruturas hidráulicas seria onerosa, uma vez que estas demandam grandes áreas para o seu perfeito funcionamento, o que acarretaria em elevadas despesas com maquinário e mão de obra. Sendo assim, apresenta-se neste tópico propostas alternativas de

controle do volume gerado pelas chuvas e que escoam superficialmente pelas encostas até chegarem ao leito das estradas.

Nas áreas externas de contribuição dos trechos 2, 3 e 4 (Figura 36, a, b e c), faz-se a proposta da construção de um sistema de terraços em nível e/ou caixas de captação do volume escoado. Estas estruturas seriam responsáveis pela captação do escoamento superficial gerado pelas precipitações, contribuindo desta forma para uma maior infiltração e aporte de água para o sistema radicular das culturas e lençol freático. Outra consequência seria a drástica redução do volume de água que chegaria ao leito das estradas.



(a)



(b)



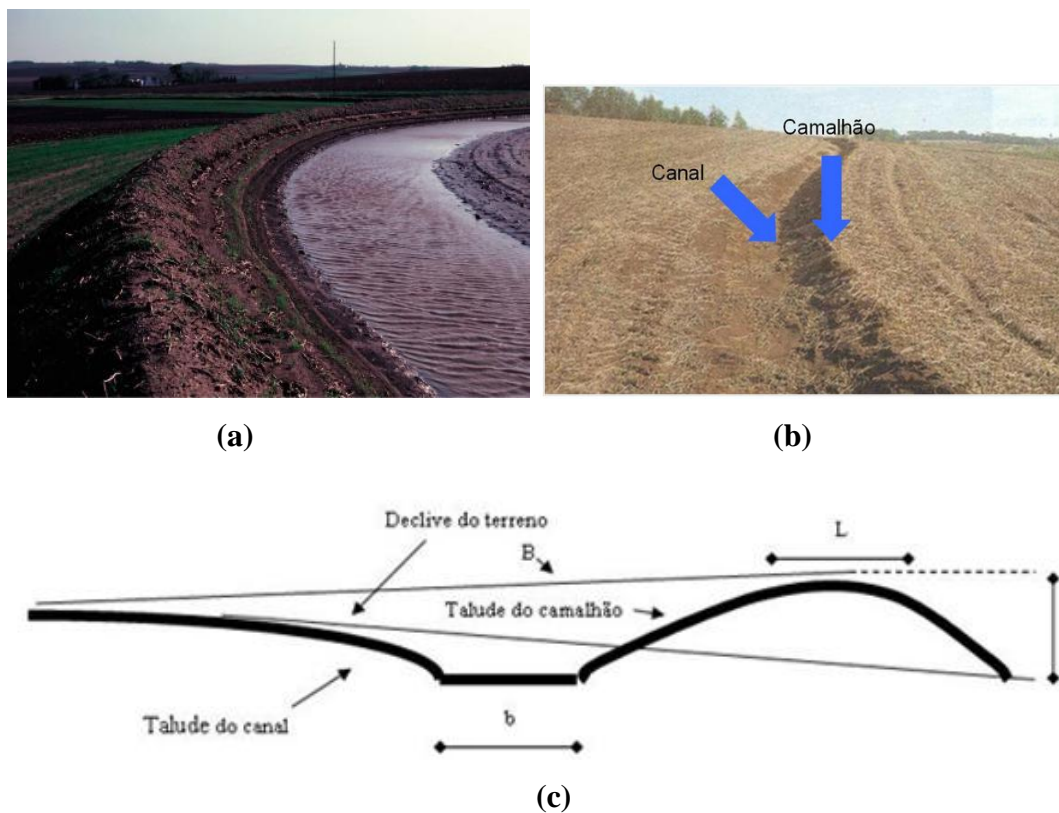
(c)

**Figura 36:** Áreas de contribuição dos trechos das estradas 2 (a), 3 (b) e 4 (c).

Fonte: Acervo do autor.

O sistema de terraceamento é uma prática de combate à erosão fundamentada na construção de terraços com o propósito de disciplinar o volume de escoamento das águas das chuvas (MACHADO, WADT, 2011). A função do terraço é a de reduzir o comprimento da rampa, área contínua por onde há escoamento das águas das chuvas, e, com isso, diminuir a

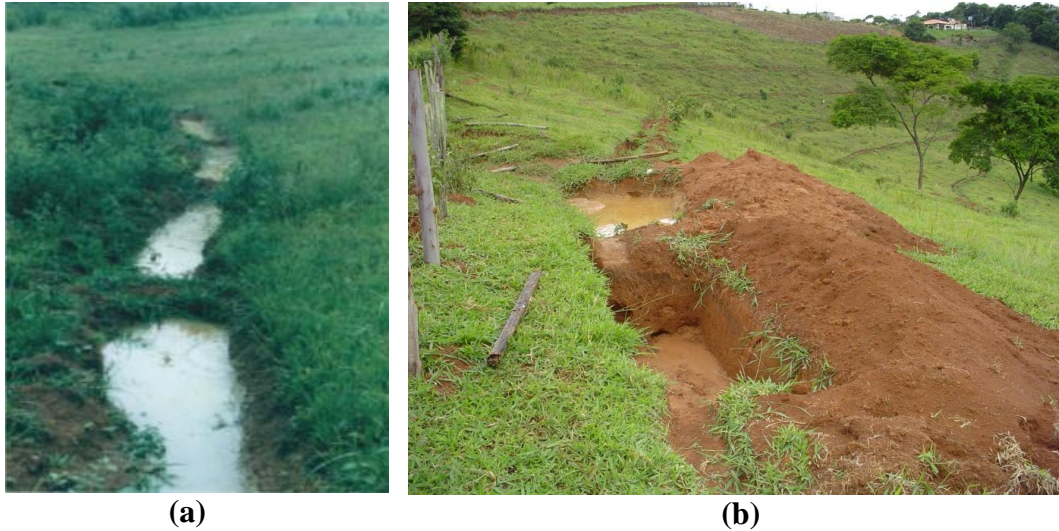
velocidade de escoamento da água superficial (MACHADO, WADT, 2011). O terraceamento consiste na construção de uma estrutura transversal ao sentido do maior declive do terreno. Esta estrutura é composta de um dique e um canal e tem a finalidade de reter e infiltrar, nos terraços em nível, ou escoar lentamente para áreas adjacentes, nos terraços em desnível ou com gradiente, as águas das chuvas. Segundo Valente (2014), seis terraços com as dimensões de 30 cm de largura e 25 cm de profundidade, em área de um hectare, conseguem reter, e posteriormente infiltrar no solo, 45.000 litros de água em uma chuva forte. Na Figura 37 (a, b e c) apresenta-se exemplos de sistemas de terraços.



**Figura 37:** Exemplos de sistemas de terraceamento (a) e (b), características construtivas de um terraço (c).

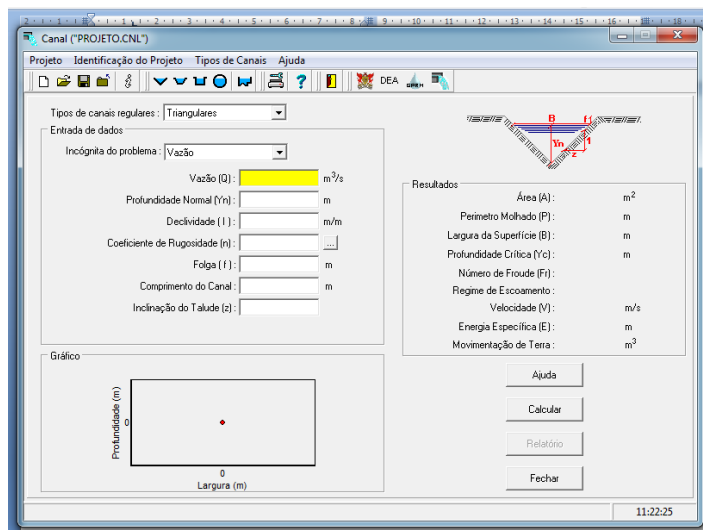
Fonte: MACHADO, WADT, 2011.

As caixas de captação do volume escoado são valas abertas transversalmente ao fluxo superficial e de tamanhos variados, de acordo com a situação topográfica da área (VALENTE, 2014). Segundo o mesmo autor, podem ser, por exemplo, de 1,5 m de largura, 1,0 m de profundidade e 3,0 m de comprimento, tendo capacidade de retenção de 4.500 L cada uma. A Figura 38 (a e b) mostra duas caixas conjugadas, com volume retido em uma delas.

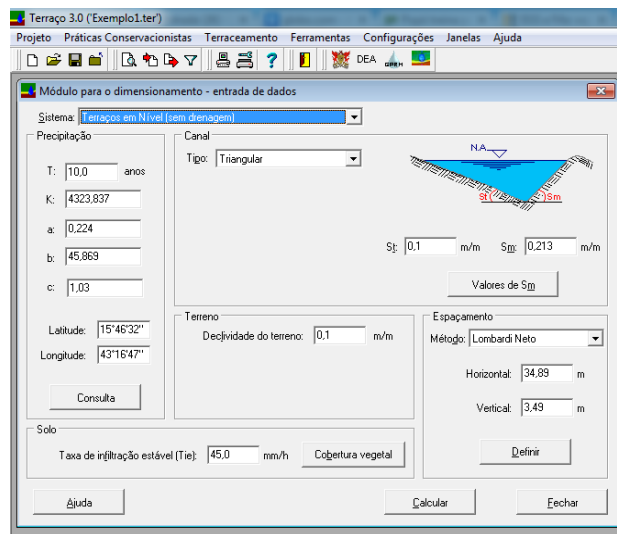


**Figura 38:** Exemplos de caixas de captação do escoamento superficial.  
 Fonte: VALENTE, 2014.

Como recomendação para trabalhos futuros, propõe-se então o dimensionamento destas estruturas nas áreas de contribuição das estradas da ONG Onda Solidária. Para facilitar o dimensionamento orienta-se a utilização dos *softwares* Canais e Terraço 3.0, ambos desenvolvidos pelo GPRH. Na Figura 39 (a e b) apresenta-se as interfaces dos softwares acima citados.



**(a)**



(b)

**Figura 39:** Interfaces dos softwares Canal (a) e Terraço 3.0 (b).

Seguindo estas orientações, as áreas externas dos trechos 2, 3 e 4 deixarão de contribuir com escoamento no leito das estradas. Sendo assim, o dimensionamento do sistema de microdrenagem para estes trechos podem ser realizados desconsiderando a contribuição de água das áreas externas. Na Tabela 10 apresentam-se os dados do dimensionamento do sistema de microdrenagem para os trechos 2,3 e 4, desconsiderando a contribuição externa.

**Tabela 10** - Resultado do *software* Estradas para os trechos 2, 3 e 4, desconsiderando a contribuição de escoamento das áreas externa.

<b>Resultado</b>	<b>Trecho 2</b>	<b>Trecho 3</b>	<b>Trecho 4</b>
<b>Canal</b>			
<b>Perda tolerável de solo (g)</b>	50,5	53,6	47,3
<b>Espaçamento máximo (m)</b>	87,0	107,0	101,0
<b>Tensão cisalhante máxima (Pa)</b>	37,42	51,04	69,68
<b>Perda de solo estimada (g)</b>	6,19	11,24	18,82
<b>Vazão máxima (L/s)</b>	6,52	8,0	7,62
<b>Bacia de acumulação</b>			
<b>Volume escoado (m<sup>3</sup>)</b>	-	-	-
<b>Vazão máxima (L/s)</b>	-	-	-
<b>Profundidade do canal (cm)</b>	-	-	-
<b>Espaçamento máximo (m)</b>	-	-	-
<b>Raio (m)</b>	-	-	-

Observou-se que nesta situação que não há necessidade de construir desaguadouros ao longo dos trechos das estradas. Sendo assim, orienta-se que no final de cada trecho o volume de água coletado pelas sarjetas, seja conduzido até o lago existente na área da Vila dos Sonhos. Orienta-se também que, sempre no final destes canais seja construída uma caixa de areia com a finalidade de deposição de sedimentos.

Em trabalhos futuros podem ser realizados estudos com a variação de outros parâmetros do *software* Estradas. Com intuito de dar continuidade ao presente trabalho, a fim de buscar melhorias nas estradas não pavimentadas no Ecocentro Social Vila dos Sonhos, sugere-se realizar a simulação da variação da declividade do leito da estrada, conforme estudo realizado por Maciel (2010). Pode-se também realizar um estudo mais aprofundado da erodibilidade e tensão crítica cisalhante do solo, e a variação da profundidade da bacia de acumulação conforme o estudo de Silva (2011), que verificou a sensibilidade do *software* Estrada em relação às principais variáveis de entrada.

## 6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a utilização do *software* Estradas permitiu, satisfatoriamente, o cálculo das estruturas hidráulicas presentes em um sistema de microdrenagem, tais como: sarjetas, desaguadouros e bacias de acumulação;
- o tipo de cobertura do solo tem papel fundamental na produção de escoamento superficial, o que conseqüentemente afetará no volume de água que chegará no leito das estradas. Sendo assim, o solo vegetado com mucuna foi a situação que apresentou resultados mais favoráveis redução do escoamento superficial e instalação de um sistema de microdrenagem no Ecocentro Social Vila dos Sonhos;
- diante do dimensionamento realizado, verificou-se a necessidade de propor ao Ecocentro Social Vila dos Sonhos alternativas para a drenagem das áreas de contribuição externas às estradas. Sendo assim, propõe a instalação de sistema de terraços e canais captadores de água nas encostas, o que pode ser tema de trabalhos futuros.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Ricardo V. de O. **Concepção de modelos de avaliações de condições de rolamento e indicação de priorização de vias como etapas de um sistema de gerência de vias não pavimentadas**. 2006. 178f. Dissertação (Programa de Mestrado em Engenharias de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

BEZERRA, S. A. et al. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um cambissolo do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Sergipe, PE, v.34, p.1325-1332, 2010.

BRANDÃO, V. S. et al. Fatores que Intervêm na Infiltração. In: \_\_\_\_\_. **Infiltração da Água no Solo**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. p. 16-20.

CARVALHO, D. F. de. et al. Característica da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.13, n.1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, Daniel F. de Carvalho; OLIVEIRA, Luiz Fernando C. de. Água e solo. In: CARVALHO, Daniel F. de Carvalho; OLIVEIRA, Luiz Fernando C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa – MG: Ed. UFV, 2012. p. 11-64.

CASARIN, R. D. **Controle de erosão em estradas rurais não pavimentadas, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação**. 2008. 85f. Dissertação (Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

CASARIN, R. D; OLIVEIRA, E.L. de. Controle de erosão em estradas rurais não pavimentadas, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação. **Revista Irriga**. Botucatu, v.14, n.4, p.548-563, out-dez, 2009.

Conselho Nacional de Transito – CNT. SEST – SENAI. Pesquisa CNT de rodovias 2013: Relatório gerencial, Brasolia, 2013. P. 389. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relGeral.aspx>. Acesso em: 24 de Setembro de 2014.

ENRIQUEZ, A. G. **Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento no canal de uma estrada não pavimentada situada em um Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2012. Dissertação ( Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2012.

FERNANDES FILHO, E.I. (Coord). Mapas de solos do Estado de Minas Gerais: Legenda expandida. Universidade Federal de Viçosa; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual de Meio Ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

FERNANDES, A.R.; LIMA, H.V. DE. **Erosão do solo**. Disciplina manejo e conservação do solo e da água. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA. Instituto de Ciências Agrária. Belém, PA, 2007.

GOOGLE EARTH – MAPAS. Image©2014 CNES/Astrium, (31/07/2013). Acesso em : 22 de Julho de 2014.

GRIEBELER, Nori Paulo, et al. Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas. **Revista Bras. Ci. Solo**. v. 29, p. 397-405, 2005.

Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos – GPRH. **Modelo físico-matemático para o controle da erosão hídrica nas condições edafoclimáticas brasileiras**. 2008. Viçosa, Minas Gerais. Disponível em: [http://www.gprh.ufv.br/docs/plugin-Relatorio\\_CNPq\\_EditalMCTCNPqCT-HIDROn132005.pdf](http://www.gprh.ufv.br/docs/plugin-Relatorio_CNPq_EditalMCTCNPqCT-HIDROn132005.pdf). Acesso em 07 de Outubro de 2014.

JÚNIOR, H. H. S.; FERREIRA, O. M. **Processo Erosivo e perda de solo em estradas vicinais**. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. 2007. Goiânia, GO.

KOETZ, M. **Métodos para a determinação da erodibilidade e da tensão crítica de cisalhamento do solo em estradas não pavimentadas**. Tese (Pós-Graduação em Engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

MACIEL, C. B. **Análises geotécnicas e hidrossedimentológicas de estradas não pavimentadas**: estudo de caso da Fazenda Cerro Azul – Planalto norte catarinense. 2010. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

MACHADO, P.L.O.A; WADT, P.G.S. Terraceamento. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – ageitec, (2011). Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fohgb6cq02wyiv8065610dfrst1ws.html>. Acesso em: 04 de Dezembro de 2014.

OLIVEIRA, J. F. de. **Caracterização físico-hídrica de bacias de acumulação e infiltração e estimativa de perda de solo em estradas não pavimentadas**. 2012. Tese (Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2012.

ONZI, I. **EFEITO DA COBERTURA VEGETAL COM MUCUNA PRETA...** 2006. Trabalho de Final de Curso (Tecnologia em Viticultura e Enologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Bento Gonçalves, Bento Gonçalves, 2006.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água**. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2º Ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. p. 279.

ROTTA, Cláudia M. dos Santos. **Estudo da recuperação de áreas degradadas por processos erosivos: procedimento e eficiência dos métodos.** 2012. 180f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo , SP, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Prefeitura do Município de São Paulo. **Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos** – período de retorno, São Paulo. 1999. 12p.

SILVA, D. P da. **Modelo de dimensionamento de bacia de acumulação para estradas.** 2009. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SILVA, D. P da. **Modelo para dimensionamento de sistemas de drenagem de superfície em estradas não pavimentadas.** 2011. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

VIEIRA, P.H.A. **Saneamento Ambiental do Ecocentro Social Vila dos Sonhos, Santana do Deserto/MG: diagnóstico preliminar dos mananciais superficiais.** 2014. Trabalho de Final de Curso (Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora – MG, 2014.

ZACHAR, D. Soil erosion. New York. Elsevier Scientific. Developments in Soil Science 10. 1982. 528p.

VALENTE, O. F. UTI ambiental: práticas de manejo de bacias hidrográficas II. EcoDebate Cidadania & Meio Ambiente. 2014. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2014/03/12/uti-ambiental-praticas-de-manejo-de-bacias-hidrograficas-ii-artigo-de-osvaldo-ferreira-valente/>. Acesso em: 04 de Dezembro de 2014.

# APÊNDICE

Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 1**.





Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 2 – Cenário 1**.





Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 2 – Cenário 2**.





Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 2 – Cenário 3**.





Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 3 – Cenário 1**.





Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 3 – Cenário 2**.





Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 3 – Cenário 3**.





Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 4 – Cenário 1**.





Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 4 – Cenário 2**.





Relatório gerado pelo *software* Estrada com o dimensionamento do **Trecho 4 – Cenário 3**.