

PERDA DE SOLO ANTES E DEPOIS DA ADEQUAÇÃO EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS. Estudo de caso: trecho da PSP-428 de Presidente Prudente-SP

*Thiago Morais de Castro*¹; *André Luiz Martins Alamino*²; *Renata Ribeiro de Araújo*³; *João Osvaldo Rodrigues Nunes*⁴; *Célia Regina Granhen Tavares*⁵; *Paulo Fernando Soares*⁶; *Fabiana Bassani*⁷; *Thaise Moser Teixeira*⁸

RESUMO --- Cerca de 50 % do solo carreado aos corpos hídricos e 70 % dos processos erosivos existentes no estado de São Paulo ocorrem devido à inadequação de estradas não pavimentadas. Trabalhos de adequação e conservação de estradas não pavimentadas são importantes, pois implicam diretamente em melhorias sociais, econômicas e ambientais. No presente artigo estimou-se a perda de solo num trecho da estrada PSP-428, no Município de Presidente Prudente-SP, e sua consequente redução após obra de adequação. Para tanto foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) que leva em consideração a erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento de rampa e declive, cobertura vegetal e prática agrícola ou medidas de controle de erosão. Estimaram-se as perdas anuais de solo do trecho estudado, que equivale a 5.584,93 toneladas por ano, assim como a quantidade de solo que deixará de ser carreado após a obra de adequação, sendo esta de aproximadamente 3.909,45 toneladas. Assim, conclui-se que é importante a captação e disciplinamento das águas de escoamento favorecendo o abastecimento do lençol freático, eliminando ou reduzindo seu efeito na formação e potencialização do processo erosivo.

ABSTRACT --- Around 50% of the soil dragged by the flow to the sources and 70% of the existing erosion in Sao Paulo State are caused by inadequate rural roads. Adequacy and conservation work of the vicinity's land roads are important, because implying directly on the population's social, economic and environment enhancement. His article present project tried to determinate in quantity the soil loss in a track of the PSP-428 roads, within the roads network of Presidente Prudente Municipality and its consequently reduction after an adequacy work. To reach the current state, the Universal Soil Loss Equation (USLE) was used, which considers the rain erosivity, soil erodibility, the slope's length and inclination, the area vegetal covering and of the agriculturist practice or the methods of erosion controlling. It is estimated the annual soil loss in the studied track, which is equal to 5.584,93 ton per year, and also the quantity of soil that will not be dragged by the flow after the adequacy work, approximately 3.909,45 ton per year. So, it's concluded about the great importance of capturing and disciplining the low, encouraging the supply of groundwater, in order to dispose or reduce its effects in the erosive process formation and empowerment.

Palavras-chave: EUPS, erosão, estradas não pavimentadas

¹ Engenheiro Ambiental pela UNESP de Presidente Prudente, Mestrando em Engenharia Urbana pela UEM, Avenida Colombo, 5790 - Bloco C67 - 2º Andar, CEP 87020-900 – Maringá-PR. E-mail: thiagoeapp@yahoo.com.br

² Engenheiro Ambiental pela UNESP, Rua José Garrido, 75, CEP 19060-300 – Presidente Prudente-SP. E-mail: alaminoandre@yahoo.com.br

³ Professora Assistente Doutora da UNESP, Rua Roberto Simonsen, 305, CEP 19060-000 - Presidente Prudente-SP. E-mail: reribeiro@fct.unesp.br

⁴ Professor Assistente Doutor da UNESP, Rua Roberto Simonsen, 305, CEP 19060-000 - Presidente Prudente-SP. E-mail: joaosvaldo@fct.unesp.br

⁵ Professora Associado Doutora da UEM. Avenida Colombo, 5790, Zona 07 CEP 87020-900 – Maringá-PR. E-mail: celia@deq.uem.br

⁶ Professor Adjunto Doutor da UEM. Avenida Colombo, 5790, Zona 07 CEP 87020-900 – Maringá-PR. E-mail: paulofsoares@gmail.com

⁷ Tecnólogo Ambiental pela UTFPR de Campo Mourão, Mestranda em Engenharia Urbana pela UEM, Avenida Colombo, 5790 - Bloco C67 - 2º Andar, CEP 87020-900 – Maringá-PR. E-mail: fbassani86@gmail.com

⁸ Engenheira Ambiental pela UNIVALI, Mestranda em Engenharia Urbana pela UEM, Avenida Colombo, 5790 - Bloco C67 - 2º Andar, CEP 87020-900 – Maringá-PR. E-mail: thaise_teixeira@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A necessidade de consolidar novos modelos de desenvolvimento sustentável no país exige a construção de alternativas de utilização dos recursos naturais, hídricos, geológicos, pedológicos, atmosféricos e biológicos, orientadas por uma racionalidade e uma ética ambiental.

Recurso natural é qualquer insumo de que os organismos, as populações e os ecossistemas precisam para a sua manutenção. Os problemas relacionados com a utilização e conservação dos recursos naturais têm alcançado um grande significado, gerando uma maior consciência da população e mobilizando o pensamento e a ação de dirigentes, empreendedores e grupos da sociedade civil organizada.

Um dos recursos naturais é o solo, que pode ser conceituado como a camada que recobre as rochas, sendo constituído de proporções e tipos variáveis de minerais (formados por intemperismo da rocha subjacente, a rocha-mãe) e de húmus (matéria orgânica decomposta por ação de organismos do solo).

As chuvas caindo sobre superfícies terrestres sem cobertura, em acentuados declives, formam enxurradas desenfreadas que aceleram o processo erosivo, o assoreamento dos corpos d'água, a destruição de casas, de estradas e de rodovias, etc.

Estima-se que cerca de 80% da área cultivada do Estado de São Paulo esteja sofrendo processo erosivo, causando uma perda de mais de 200 milhões de toneladas de solo por ano, sendo que 70% deste chegam aos mananciais em forma de sedimentos transportados pela água, causando assoreamento e poluição. O Estado de São Paulo tem cerca de 250 mil km de estradas, das quais aproximadamente 220 mil km não são pavimentadas, ou seja, são estradas vicinais rurais de terra. Estas estradas contribuem com 50 % do solo carreado aos mananciais e 70 % das erosões existentes (ZOCCAL, 2007).

A perda de solo pode ser estimada pela Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que leva em consideração os fatores de erosividade da precipitação, de erodibilidade do solo, de comprimento de encosta e declive, da cobertura vegetal e da prática agrícola ou de medidas de controle de erosão.

Neste contexto, uma das formas de se obter um melhor controle sobre a erosão, é estabelecer um plano de uso, manejo e conservação, que pode ser realizado da escala local para a global, ou da microbacia para a bacia hidrográfica.

O presente artigo tem como objetivo estimar quantitativamente a perda de solo, a partir da aplicação da EUPS, em um trecho da estrada PSP-428, integrante da malha viária do Município de

Presidente Prudente, estado de São Paulo e sua conseqüente redução após uma obra de adequação realizada pela Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo (CODASP).

As estradas rurais possuem relevante importância econômica, além de constituírem um fator fundamental à qualidade de vida das populações rurais. Sua adequação e conservação implicam diretamente em melhorias sociais, econômicas e ambientais das populações rurais. Com isso, um estudo direcionado ao ganho ambiental que esta obra acarreta por meio da diminuição do solo perdido, torna-se necessário e relevante, como forma de contribuição para outros estudos e novas reflexões quanto a este tema.

EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO

A perda de solo causada por processos erosivos pode ocorrer de forma natural ou acelerada. A erosão natural, própria da evolução da paisagem e cuja velocidade de desgaste do solo é equivalente à velocidade de sua formação (ODUM, 1988), dá lugar à erosão acelerada, primariamente causada como resultado da influência das atividades do homem ou, em alguns casos, de animais (ACIESP, 1987 apud SILVA et al., 2004).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999) equações capazes de avaliar a perda de solo de um terreno, vêm sendo desenvolvidas desde a década de 40 nos Estados Unidos. Desde então, foram realizados diversos aprimoramentos buscando superar dificuldades ocasionadas devido ao número de fatores que influenciam na perda de solo, chegando à atual equação que superou as restrições climáticas e geográficas próprias dos primeiros estudos. Devido a sua aplicação generalizada, o modelo aperfeiçoado passou a se chamar “Equação Universal de Perda de Solo” – EUPS (Universal Soil Loss Equation) proposta por Wischmeier & Smith, (1978) apud SILVA et al., (2004).

Esta equação se tornou amplamente utilizada, pelo fato de ser capaz de abordar de forma dinâmica, de diferentes fatores responsáveis por influenciar quantitativamente a perda de solo. A EUPS procura ponderar os aspectos climatológicos, topográficos, de uso e manejo, além das características próprias do solo em questão.

O principal objetivo da EUPS é prever a médio e longo prazo, a perda de solo por erosão com intenção de promover o planejamento de práticas conservacionistas, baseando-se em longos períodos de coleta de dados, para reduzir as perdas de solo até níveis aceitáveis. (LARSON, 1997 apud SILVA et al., 2004). Outros estudos corroboram com esta afirmação (SILVA et al., 2004; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

Em princípio esta equação era aplicada apenas em terras cultivadas. Porém, atualmente a EUPS vem sendo aplicada em outros tipos de uso e ocupação de terras, como áreas de construção urbana, locais de recreação, construções e adequações de estradas entre outros. (RENARD, 1991 apud SILVA et al., 2004). Matematicamente a Equação Universal de Perda de Solo é expressa pela equação (1):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Em que:

A = perda de solo calculada por unidade de área, em $t.(ha.ano)^{-1}$;

R = fator chuva: índice de erosividade da chuva, em $MJ.mm.(ha.h.ano)^{-1}$ ou $t.(ha.ano)^{-1}$;

K = fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosividade da chuva, para um solo específico, que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25 metros, em $t.h.(MJ.mm)^{-1}$;

L = fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 metros para o mesmo solo e grau de declive, adimensional;

S = fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa, adimensional;

C = fator uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado, adimensional;

P = fator prática conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo, adimensional.

ÁREA DE ESTUDO

Seleção da área de estudo e localização geográfica

A área de estudo (**Figura 1**) é um trecho da estrada rural de terra PSP-428, localizada na região norte de Presidente Prudente, próxima ao Distrito de Floresta do Sul, estado de São Paulo, entre os paralelos $21^{\circ} 56' S - 21^{\circ} 58' S$ e os meridianos $51^{\circ} 18' W - 51^{\circ} 22' W$. O trecho estudado possui uma

extensão de 5,25 km e uma largura média de 11,68 metros e permite a ligação entre a Rodovia Vicinal Raimundo Maiolini (SPV 069) e a Rodovia Júlio Budisk (SP-501).

A estrada é responsável pela integração das propriedades lindeiras com o Município e é utilizada pelos proprietários e outros usuários para escoar a produção pecuária e sucroalcooleira da região, bastante significativa e com grande valor econômico regional. A **Figura 2** mostra o croqui da área de estudo. A **Figura 3** representa o mapa com a vetorização da estrada, da hidrografia local e parte do Distrito de Floresta do Sul.

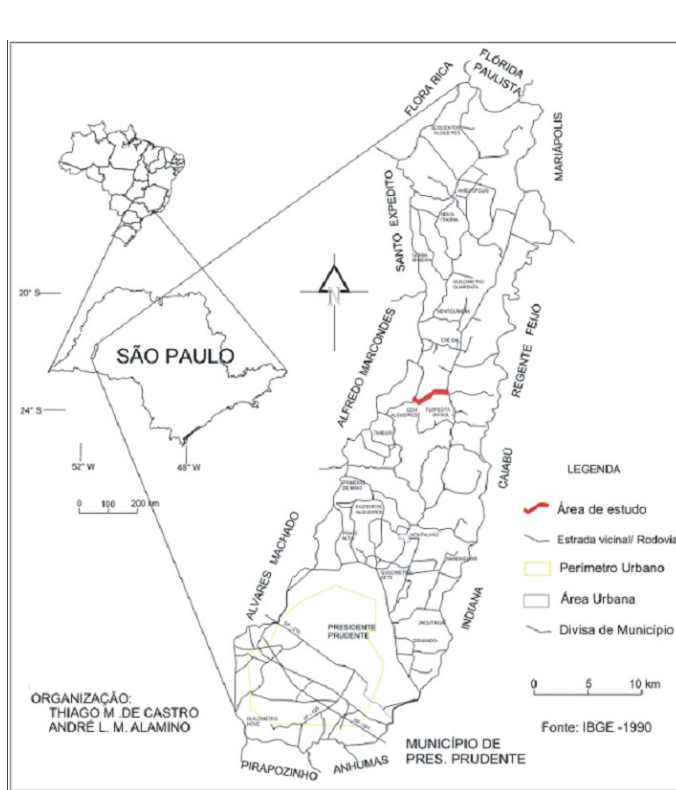


Figura 1 - Localização do Município de Presidente Prudente.

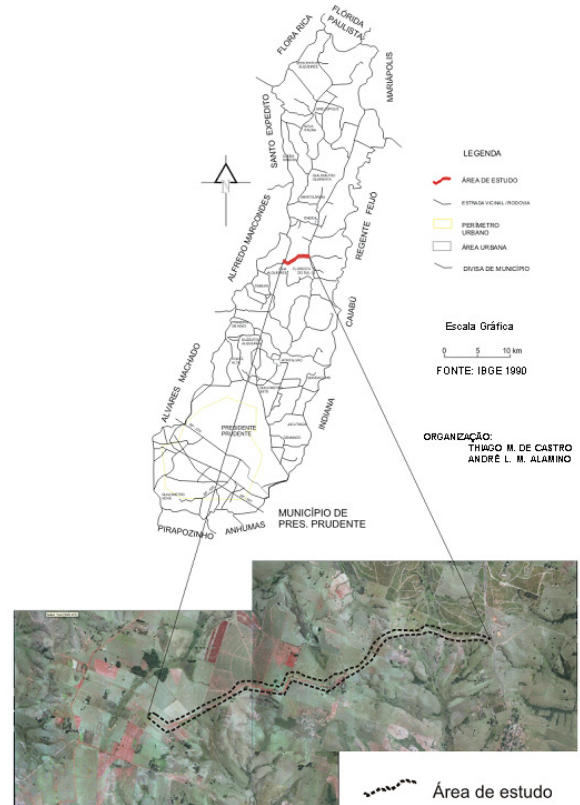


Figura 2 - Croqui da área de estudo

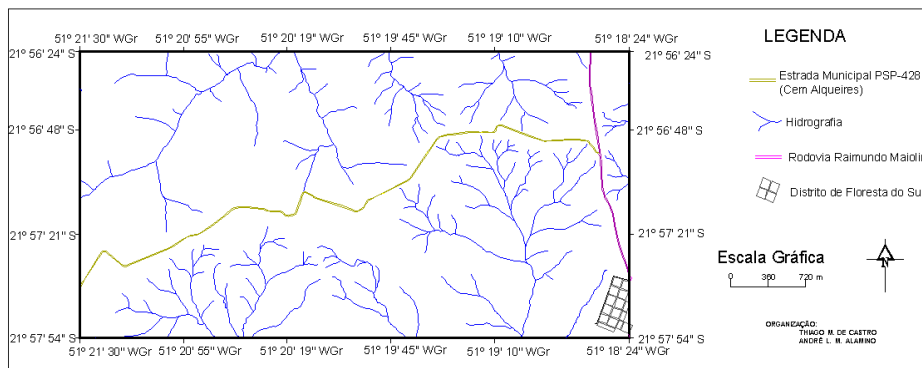


Figura 3 - Hidrografia e localização da área de estudo (Adaptado da Base Planoaltimétrica de Presidente Prudente).

Geomorfologia

De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981b) a área de estudo, encontra-se localizada no Planalto Ocidental Paulista, que segundo Nunes (2002) é caracterizado pela presença de formas de relevo levemente onduladas, com longas encostas e baixas declividades, representadas fundamentalmente, por colinas amplas e colinas médias com topos aplanados.

Na área de estudo, as formas de relevo dominantes são as colinas amplas. Estruturalmente, este relevo está associado à Formação Adamantina do Grupo Bauru, que compreende arenitos com cimentação carbonática (carbonato de cálcio – CaCO_3).

Geologia

Morfoestruturalmente a área de estudo pertence à Bacia Sedimentar do Paraná, a qual é constituída por rochas sedimentares e ígneas (idade Mesozóica) e por depósitos recentes (idade Cenozóica). (NUNES, 2002).

A formação geológica de maior expressão e representatividade que aflora na área de estudo do presente trabalho é a Formação Adamantina, que pertence ao Grupo Bauru. A coluna litoestratigráfica do IPT (1981a), explica que a Formação Adamantina é constituída por “...arenitos finos a muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilítios ocorrendo em bancos maciços, estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte”.

MATERIAL E MÉTODO

Para a concretização do trabalho foram obtidos materiais relacionados ao tema, para enriquecer o estudo e facilitar o entendimento dos problemas relacionados ao tema, documentos referentes a obra para auxílio na descrição, além do acompanhamento do trabalho de adequação da área de estudo.

Foram obtidas a base digital planoaltimétrica do Município de Presidente Prudente, e fotos aéreas da área de estudo para a elaboração de mapas, esboços e croqui para suporte ao estudo, além da obtenção, na Estação Meteorológica da FCT/UNESP de Presidente Prudente, da série histórica de 37 anos de dados de temperatura e precipitação da região para definição dos aspectos climáticos e base para os cálculos do fator R da EUPS.

A EUPS serviu como instrumento na obtenção do valor quantitativo final da perda de solo da estrada PSP-428. Para os cálculos do fator R (Erosividade da chuva) da EUPS foi utilizada a equação proposta por Tommaselli et al. (1999) e dados da série histórica de precipitação obtidos na Estação Meteorológica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, campus de Presidente Prudente (SP).

O fator K foi definido segundo o MMA (1997).

A equação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999) foi utilizada para a obtenção dos valores do fator topográfico LS. O grau de declividade utilizado nos cálculos foi a média dos intervalos gerados no mapa de declividade, assim como os comprimentos de rampa.

Para o fator C foi utilizado quadro elaborado por Mitchell & Bubenzer (1980) contendo valores para diferentes coberturas do solo. E para o fator prática conservacionista (P) foi adotado o valor **P = 0,8**. Para solo exposto, o valor de P deve ser igual a 1 (um).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diagnóstico da estrada PSP-428 anterior à obra de adequação

Antes da adequação, houve um estudo e um monitoramento para a elaboração de um diagnóstico, para identificar qual era a real situação que se encontrava a estrada. A estrada apresentava-se com pista irregular, com deformações ao longo da estrada decorrentes da deficiência na drenagem das águas de chuva, que provocava desconforto, bem como dificuldade de trânsito nos períodos de chuva. Em relação às áreas marginais a estrada recebia em vários pontos as águas das chuvas de propriedades lindeiras, que além de danificar o leito, provocavam erosão e assoreamento dos corpos d'água existentes à jusante, com graves prejuízos para o ambiente e com diminuição considerável da capacidade de escoamento dos córregos próximos existentes. Os lançantes eram muito extensos e a estrada se apresentava em vários pontos com barrancos de mais de 5 metros de altura (**Figura 4**), sem saídas das águas de chuva, o que acelerava acentuadamente o processo erosivo.



Figura 4 - Foto da estrada antes da obra de adequação totalmente encaixada e barrancos com aproximadamente 5 metros de altura (29/06/2007).

A seguir, nas **Figuras 5, 6, 7, 8 e 9** são apresentadas fotos de trechos antes do início da

adequação, as quais comprovam a inadequação da estrada estudada.



Figura 5 - Foto do dia 20/04/2007, durante o processo de cálculos para a realização das obras.



Figura 6 - Foto de um trecho da obra indicando que a estrada não possuía um sistema eficiente de captação de água e destinação adequado (20/04/2007).



Figura 7 - Barrancos muito altos, estrada larga e rampa comprida, facilitando o acúmulo de água e intensificando os processos erosivos (06/06/2007).



Figura 8 - Foto de um processo erosivo ocasionado pelo mau escoamento de águas pluviais que, a partir de uma propriedade rural, caem na estrada (29/06/2007).



Figura 9 - Trecho da estrada na qual verifica-se que a rampa possui uma alta declividade facilitando o aumento da velocidade das águas pluviais (29/06/2007).

Acompanhamento da obra de adequação da estrada PSP-428

Foram realizados levantamentos topográficos ao longo da estrada PSP-428 e projetados os terraços de captação e retenção, necessários em função do declive do terreno, tipo de solo e precipitação local. A seguir está descrito de forma objetiva o trabalho realizado em cada etapa da adequação da estrada não pavimentada estudada.

Primeiramente foi realizada a locação da faixa de corte/trabalho, que é área ao longo da estrada que sofrerá as intervenções necessárias durante as operações. Faz-se cálculos necessários, para delimitar uma faixa a ser trabalhada pelas máquinas, evitando a movimentação de solo em excesso ou em volumes inferiores aos necessários.

Depois de calculadas as faixas deu-se início ao processo de limpeza da área de corte/trabalho. O processo de limpeza diz respeito à remoção de cercas, de todo material vegetal, juntamente com a camada de solo superficial, horizonte O. A camada de solo superficial equivale a uma camada aproximada de 20 centímetros de profundidade da superfície do solo, durante o processo de limpeza a camada ficou reservada em uma área além da área de manobra dos equipamentos, para que posteriormente fosse devolvida sobre as áreas de solos expostas, contribuindo assim com o processo de revegetação nas áreas terraplenadas. A remoção indispensável de vegetação de médio e grande porte localizadas na faixa de intervenção para a adequação da estrada foi requerida e autorizada junto ao Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN), por meio de um Termo de Compromisso de Recuperação Ambiental. Na área de estudo foi necessário o corte ou supressão de 79 (setenta e nove) árvores isoladas.

A próxima etapa está relacionada com o bota-fora, que é a remoção para fora da faixa de corte/trabalho, materiais existentes ou gerados pela obra, como por exemplo, tocos, solo, rochas e outros. Na área de estudo não foi necessário nenhum tipo de obra referente a instalação de tubulações para a drenagem de águas, pelo fato da estrada estar localizada praticamente sobre o divisor de águas. Ela não “cruza” nenhum corpo d’água e também não foi necessária intervenção em Áreas de Preservação Permanente (APP’s).

Após as etapas descritas anteriormente, deu-se início a adequação de taludes e leito, que trata do conjunto de operações adotadas em relação aos taludes, especialmente os de corte de barrancos (**Figura 10**) e elevação do leito da estrada, em que leva-se em consideração as características técnicas e construtivas desejáveis, as quais são previamente definidas no memorial descritivo da obra.



Figura 10 – Foto do corte do barranco (Data 06/06/2007).

A plataforma foi definida como parte da estrada compreendida entre os bordos dos acostamentos externos, mais as larguras das sarjetas e/ou as larguras adicionais. O procedimento para locação da plataforma foi realizado tendo como base o eixo da estrada, locando-se dois pontos perpendiculares ao eixo, definindo a pista de rolamento. O abaulamento, outro aspecto importante, foi definido conforme a declividade da rampa, **Quadro 1**:

Declividade da Rampa	Abaulamento Mínimo	Abaulamento Máximo
0 – 5%	3	10
5 – 10%	3	8
10 – 15%	3	6
15 – 20%	3	4

Quadro 1 – Abaulamento de acordo com a declividade da rampa.

O próximo passo está relacionado com a compactação e tem o objetivo, por meio de processo manual ou mecânico, reduzir o volume de vazios do solo, melhorando as suas características de resistência, deformabilidade e permeabilidade, visando minimizar processos erosivos e desgaste da pista, durante os trabalhos de adequação de estradas.

Após os processos descritos deu-se início à locação e construção de lombadas, que depois de construídas, permitirão que as águas pluviais sejam encaminhadas às estruturas de armazenamento e infiltração. Servem principalmente para a integração do sistema conservacionista das áreas agrícolas lindeiras com a estrada rural. O **Quadro 2** mostra quais são os espaçamentos máximos entre lombadas de acordo com a declividade da rampa. Na obra da área de estudo foram construídas 25 lombadas.

Declividade da rampa (%)	Espaçamento horizontal entre lombadas (em metros)
	Máximo
00 – 05	120
05 – 10	100
10 – 15	80
15 – 20	60

Quadro 2 – Espaçamento para lombadas.

Fonte: Adaptado de Boletim Técnico CATI nº. 207 – Bellinazzi et al. 1989.

permitem que as águas pluviais drenadas sejam armazenadas, possibilitando sua infiltração no lençol freático. As bacias de captação são construídas quando a área disponível para a construção dos terraços for insuficiente. Na adequação da estrada PSP-428 não foi necessária a locação e construção de bacias de captação.

Com o objetivo de minimizar o carreamento do solo e conseqüente erosão nos canais de drenagem, além de promover a contenção e estabilização dos taludes, os mesmos foram revestidos por espécies vegetais compatíveis com a exploração agrícola lindeira, destacando-se as gramíneas.

Nas etapas finais da obra, deu-se início ao reforço do sub-leito. Esta obra é necessária quando o trecho da estrada se desenvolve sobre um terreno natural, com baixa capacidade de suporte e requer uma camada de reforço. O reforço do sub-leito tem como objetivo, ainda, diminuir a espessura de revestimento primário ou oferecer melhores condições para a execução do agulhamento. O procedimento desta etapa se deu da seguinte forma:

- 1) Regularizou-se o sub-leito com motoniveladora;
- 2) Realizou-se o lançamento com caminhão basculante e espalhamento do material granular grosseiro e/ou argiloso com motoniveladora, numa camada aproximada de 0,2 metros de camada já compactada;
- 3) Quando necessário procedeu-se umedecimento do leito;
- 4) Procedeu-se a compactação com o rolo compactador;

Após as etapas anteriores realizou-se o revestimento primário, em que uma camada de mistura homogeneizada foi colocada diretamente sobre o sub-leito ou sobre o reforço executado, regularizando a superfície de rolamento. Para isso foi utilizado material argiloso, juntamente com material granulado (**Figura 13**). A espessura recomendada para a camada é de 5 a 20 centímetros e tem como objetivo a melhoria das condições de rolamento e aderência das estradas de terra.



Figura 13 – Foto da colocação de revestimento primário utilizado na estrada PSP-428.

Depois de realizado o revestimento primário iniciou-se o agulhamento, que consistiu na cravação, por compactação de material granular grosseiro diretamente no subleito, se este for argiloso. O agulhamento objetiva a melhoria das condições de rolamento e aderência nas estradas de terra, em que a execução do revestimento primário se mostre problemática ou muito onerosa.

A última etapa refere-se à estabilização química da pista de rolamento, mediante incorporação de agentes estabilizantes específicos, com o objetivo de melhorar as propriedades geomecânicas, aumentar a resistência aos esforços de cisalhamento e diminuir a permeabilidade do solo. Nas **Figuras 14.a, 14.b, 15.a, 15.b, 16.a e 16.b** são mostradas algumas fotos referentes ao mesmo local na estrada ilustrando a situação antes e depois da obra de adequação.



Figura 14.a – Foto de entrada de uma propriedade, antes das obras de adequação (29/06/2007).



Figura 14.b – Foto de entrada de uma propriedade, após as obras de adequação (31/08/2007).



Figura 15.a – Foto de um trecho da estrada PSP-428, antes das obras de adequação (29/06/2007).



Figura 15.b – Foto de um trecho da estrada PSP-428, após as obras de adequação (31/08/2007).



Figura 15 – Foto do trecho onde há presença de bambu, antes das obras de adequação (29/06/2007).



Figura 16.b – Foto do trecho onde há presença de bambu, após as obras de adequação (31/08/2007).

Geração do modelo numérico do terreno (TIN)

A declividade foi gerada por uma triangulação TIN (*triangular irregular network*) sobre pontos cotados e curvas de níveis com equidistância de 10 (dez) metros. Com as curvas hipsométricas de 10 em 10 metros e pontos cotados dispersos sobre a área de estudo, foi gerado um modelo numérico de terreno (MNT).

A partir do cálculo da inclinação das faces dos triângulos, a partir do TIN, computam-se os valores de declividades numa grade regular, com valores dados em porcentagem. A grade regular foi “fatiada” em intervalos de declividades, sendo elas definidas entre: 0-3%, 3-8%, 8-20%, 20-45% e maior que 45%. A representação final está apresentada na **Figura 17**, com as respectivas classes de declividades.

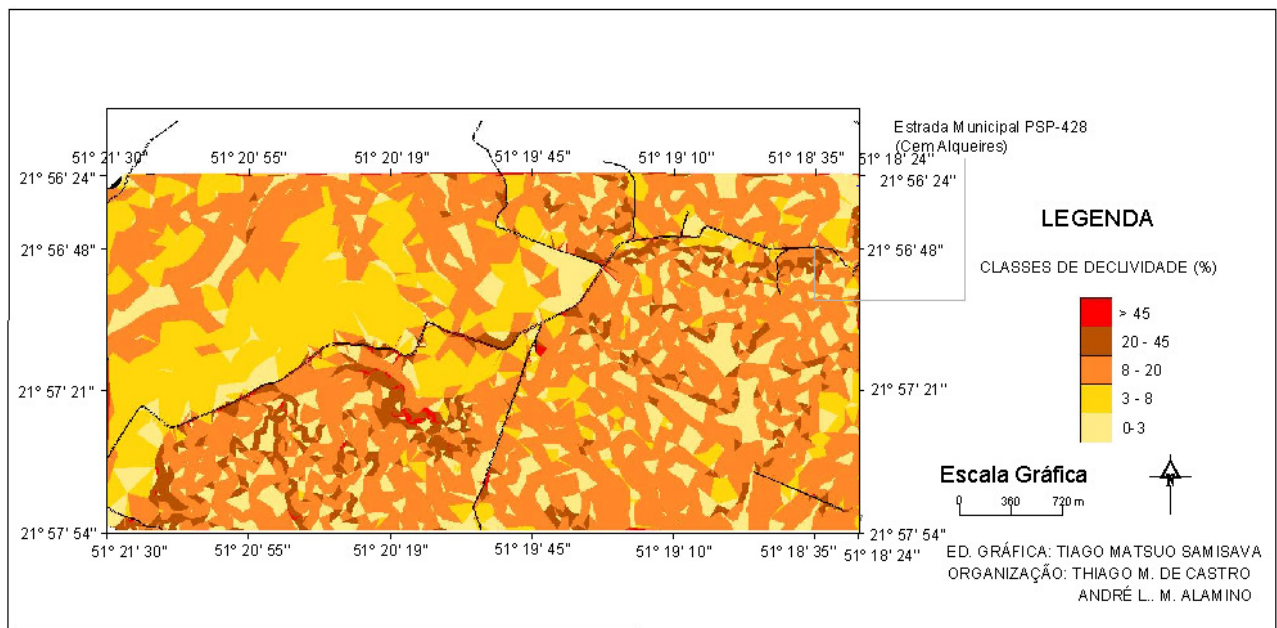


Figura 17 – Mapa de declividade da estrada PSP-428 do Município de Presidente Prudente – SP e seu entorno.

Neste trabalho, a área de estudo foi classificada de acordo com o recomendado pela EMBRAPA (1999), obtendo-se a composição para o relevo de acordo com a **Tabela 1**.

Tabela 1 - Distribuição dos intervalos estabelecidos para o relevo da área de estudo

RELEVO DA ÁREA DE ESTUDO		
Faixa de declividade (%)	Área em m ²	Percentual da área
0 – 3 Plano	15.616	25,76 %
3 – 8 Suave ondulado	26.188	42,80 %
8 – 20 Ondulado	19.524	31,44 %
20 – 45 Forte ondulado	0	0,00 %
> 45 Montanhoso	0	0,00 %

Após a elaboração do mapa de declividade da área de estudo, foram medidos os comprimentos de rampa de acordo com os intervalos de declividade pré-estabelecidos. Esses valores serviram de suporte para os cálculos do fator topográfico (LS) da EUPS.

Obtenção dos fatores da EUPS

Para o presente artigo foi utilizada a equação proposta por Tommaselli et al. (1999) para o cálculo da erosividade da chuva (R), pois esta foi desenvolvida a partir de dados de séries históricas da Estação Meteorológica da UNESP de Presidente Prudente, sendo, portanto, a equação que melhor se aproxima dos valores da área de estudo. O fator R é expresso matematicamente pela equação (2):

$$EI_{30} = 105,3 \times (r_c)^{0,752} \quad (2)$$

Em que r_c é o coeficiente de chuva, calculado pela equação (3), extraída de PEREIRA (1983 apud TOMMASELLI et al., 1999):

$$r_c = \frac{p^2}{P} \quad (3)$$

Em que p é a precipitação média mensal (mm) e P é a precipitação média anual (mm).

Os resultados obtidos para a erosividade da chuva na área de estudo podem ser observadas na

Tabela 2.

Tabela 2 - Índice de erosividade EI_{30} média da área de estudo, calculados para o período de 1969 a 2006, fator R da EUPS.

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total anual
Média	1447	1162	763	333	432	254	155	181	414	731	819	1290	7982

O valor do fator R estimado pelo EI_{30} apresentou valor médio anual igual a **7982 MJ.mm/h.ha**.

Na área de estudo foram identificados três tipos distintos de solo: Latossolo Vermelho, Argissolo e Neossolo Litólico. O esboço dos solos identificados pode ser observado na **Figura 18**. Os valores do fator K para cada tipo de solo foram atribuídos conforme MMA (1997) e são Latossolo (0,0162), Argissolo (0,0425), Neossolo (0,0351). O fator topográfico LS apresentou variações para cada trecho com tipo de solo diferente. Os valores podem ser observados nas tabelas **3**, **4** e **5** que seguem.

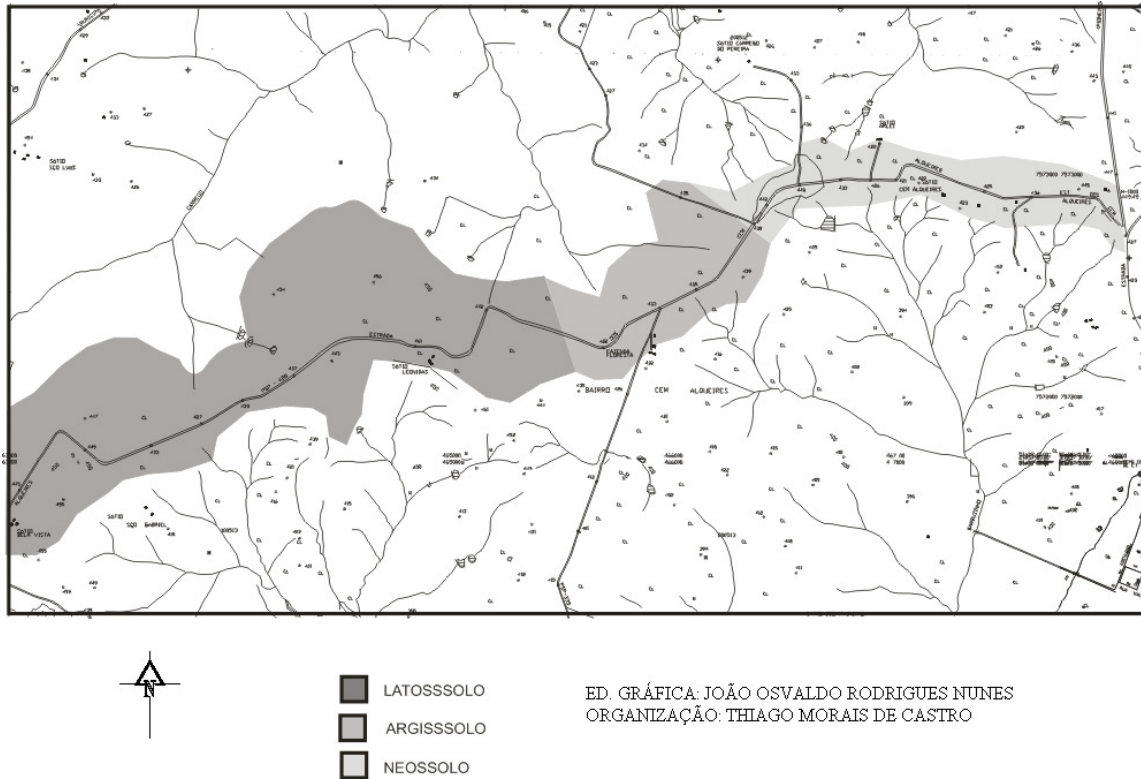


Figura 18 - Esboço do tipo de solo da área de estudo.

Tabela 3 – Valores de comprimento e média do fator topográfico para trechos com declividade inferior a 3%.

Para declividade < 3%	Latossolo	Argissolo	Neossolo
Comprimento do trecho (metros)	700,59	319,40	317,02
Média do LS	0,2189	0,5509	0,4293

Tabela 4 – Valores de comprimento e média do fator topográfico para trechos com declividade entre 3 e 8%.

Para declividade de 3 - 8%	Latossolo	Argissolo	Neossolo
Comprimento do trecho (metros)	1405,73	504,31	332,12
Média do LS	1,4557	1,4346	1,1687

Tabela 5 – Valores de comprimento e média do fator topográfico para trechos com declividade entre 8 e 20%.

Para declividade de 8 - 20%	Latossolo	Argissolo	Neossolo
Comprimento do trecho (metros)	561,56	187,29	922,76
Média do LS	3,7662	2,3710	4,3393

A área com predominância de Latossolo vermelho apresentou declividades mais suaves, nas quais verifica-se que os maiores espaços com declividade de até 8% encontram-se nesta área. Nos trechos mais acidentados, com declividade entre 8 e 20%, houve predominância de Neossolo raso.

Os valores do **fator C** variam de zero (0) a um (1), sendo o mínimo para proteção total do solo, ou seja, cobertura florestal intocada e o máximo para solo exposto. Neste trabalho adotou-se o valor de **C = 1**, pelo fato de a área de estudo se tratar de uma estrada vicinal, sem pavimentação e sem a presença de cobertura vegetal.

Para o fator prática conservacionista (P) adotou-se o valor **P = 0,8**. Para solo exposto o valor de P deve ser igual a um (1). Entretanto, será levado em consideração a compactação do leito de rodagem da estrada conforme sua utilização ao longo dos anos.

Estimativa de perda de solo

Por meio dos dados apresentados anteriormente, para cada área estudada obteve-se um valor de perda de solo de acordo com suas características. Esses resultados estão dispostos nas **Tabelas 6 e 7**.

Tabela 6 - Perda de solo estimada pela EUPS, considerando-se R = 7982; C = 1; P = 0,8.

	Declividade	fator LS	Perda de solo (A)
Latossolo K = 0,0162	0 - 3%	0,2189	23
	3 - 8%	1,4557	151
	8 - 20%	3,7662	390
Argissolo K = 0,0425	0 - 3%	0,5509	150
	3 - 8%	1,4346	389
	8 - 20%	2,3710	643
Neossolo K = 0,0351	0 - 3%	0,4293	96
	3 - 8%	1,1687	262
	8 - 20%	4,3393	973
Total			3077 t/ha.ano

Assim, levando em consideração o trecho da estrada vicinal rural PSP-428, a perda de solo (A) da área é de aproximadamente **3100 t/ha.ano**. Observando que a largura média da estrada era de 11,68 metros, antes da obra de adequação, teremos, para cada trecho estudado, uma perda de solo que se iguala a:

Tabela 7 – Perda de solo anual

Trecho	Largura da estrada (m)	Comp. do trecho (m)	Perda (t/ha.ano)	Total (t/ano)
Latossolo	11,68	2667,88	562,82	1753,80
Argissolo	11,68	1057,48	1182,24	1460,23
Neossolo	11,68	1525,42	1330,70	2370,89
Total		5250,78	3075,76	5584,93

A perda de solo em toda o trecho da estrada vicinal rural PSP-428, como verificado na **tabela 7** foi de **5.585 toneladas por ano**. Este valor corresponde à quantidade de solo carreado apenas no trecho da estrada estudada, antes do início das obras de adequação da mesma.

Estimativa de redução de perda de solo após adequação da estrada rural

De acordo com Zoccal (2007) a redução de perda de solo obtida com a adequação de qualquer estrada não pavimentada é de aproximadamente 70%, ou seja, a cada ano, após a obra no trecho estudado, deixam de ser carreados aproximadamente **3910 toneladas** de solo por ano. Se mantidas as condições de uso e manutenção do trecho da estrada estudado, a obra terá eficiência por pelo menos 10 anos, deixando de perder aproximadamente **40000 toneladas** de solo no período, que poderiam ser carreados aos recursos hídricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A erosão é um processo que ocorre naturalmente de forma equilibrada no meio natural. Com a interferência do homem, esse processo pode ser acelerado acarretando diversos danos ambientais relacionados. Ações de planejamento conservacionista minimizam esses danos, melhorando as condições de vida da população e contribuindo para a manutenção do equilíbrio do ambiente.

A adequação de estradas não traz apenas benefícios físicos ao ambiente, mas também melhorias sociais e econômicas. Após a obra melhoram-se os acessos e deslocamentos dos moradores e proprietários locais, o transporte se torna mais barato e seguro, é facilitado o acesso de assistência do poder publico local para diferentes fins, o escoamento da produção das propriedades envolvidas é otimizado, além da melhoria paisagística para os que utilizam a estrada.

A Equação Universal de Perda de Solo se mostrou um bom instrumento para estimar a perda de solo de uma dada localidade, sendo versátil e de relativa facilidade de aplicação, podendo ser utilizada

no planejamento, visando a conservação do solo. Entretanto, ainda há algumas limitações quanto à abrangência de seus fatores, como alguns aspectos hidrológicos. Sua aplicação, por exemplo, não leva em consideração diretamente o volume e a velocidade da enxurrada. Porém, se estes fatores fossem adicionados à equação ela se tornaria extremamente complexa e de difícil aplicação.

A região norte do município de Presidente Prudente, assim como toda a região do Pontal do Paranapanema, apresentou elevado grau de erosividade da chuva, atingindo 7982 MJ.mm/ha.h.

Relacionando a perda de solo com o tipo de solo, pode-se observar que o Neossolo apresenta maior perda de solo por hectare, quando em condições de solo exposto. Isto se deve ao fato de este apresentar um maior valor do fator de erodibilidade, comparado aos outros tipos de solos observados, e por estar presente nos trechos de maior declividade da área de estudo. Já o trecho de Latossolo apresentou menor perda quando exposto, por apresentar menor valor do fator de erodibilidade e por estar em áreas mais planas. Entretanto, são nas áreas de Latossolo onde ocorrem as maiores erosões e voçorocas.

Apesar de a área estudada apresentar baixo grau de declividade, as perdas de solo calculadas se mostraram elevadas, atingindo o valor de 3077 ton/ha.ano. Isto se deve principalmente aos tipos de solo identificados e a alta erosividade da chuva, confirmando a necessidade de obras e práticas conservacionistas.

Os fatores de erosividade da chuva, erodibilidade do solo, topográfico e de uso e manejo, são constantes quando se trata de uma estrada rural. Assim, obras conservacionistas são necessárias para o combate ao processo erosivo e a perda de solo por carreamento nas estradas vicinais rurais, que não são capazes de conter e direcionar o escoamento superficial das águas da chuva.

BIBLIOGRAFIA

BERTOLINI, D. et al. Tecnologias disponíveis para a implementação de técnicas complementares no solo In: DRUGOWICH, M. I.; LOMBARDI NETO, F. (Coord.). *Manual técnico de manejo e conservação do solo e água*. Campinas: CATI, 1994. v.5.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BOTELHO, R. G. M.; GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. (Org.). *Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ), *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, Brasília, EMBRAPA, Produção de Informação, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999, 412p.

LEPSCH, I. F. *Solos: Formação e conservação*. São Paulo: Edições Melhoramentos/EDUSP, 1977.

MITCHELL, J.K.; BUBENZER, G.D. Spil loss estimation. Chapter 2, p. 17-62. In: KIRKBY, M.J.; MORGAN, R.P.C. *Soil erosion*. [S. l.] John Wiley & Sons Ltda, 1980.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E DA AMAZÔNIA LEGAL. *Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai*. Brasília: MMA, 1997, v. 2, tomo 2-A, Sedimentologia, 394 p.

NUNES, J. O. R. *Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente –SP*. 2002. 212 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H.E.; CAMRGO, P. B. *Erosão e Hidrosedimentologia em Bacias Hidrográficas*. São Carlos: RiMa, 2004.

TOMMASELLI, J. T. G.; FREIRE, O.; CARVALHO, W. A. *Erosividade da chuva da região oeste do Estado de São Paulo*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.7, n.2, p 269 – 276, 1999.

ZOCCAL, J. C. *Adequação de erosões: causas, conseqüências e controle da erosão rural*. Presidente Prudente: CODASP, 2007.