

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICO E ECOLOGIA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL

GUSTAVO D'ALMEIDA SCARPINELLA

**EROSÃO EM CARREADORES DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR: ESTUDO
DE CASO NA BACIA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO (SP)**

São Carlos

2012

GUSTAVO D'ALMEIDA SCARPINELLA

**EROSÃO EM CARREADORES DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR: ESTUDO
DE CASO NA BACIA DO RIBEIRÃO DO FELJÃO (SP)**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

São Carlos
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E
PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimento ao Usuário do Serviço de
Biblioteca – EESC/USP

Scarpinella, Gustavo D'Almeida
S287e Erosão em carreadores da cultura da cana-de-açúcar: estudo de caso na bacia
do Ribeirão do Feijão (SP). / Gustavo D'Almeida Scarpinella; orientador Frederico Fábio
Mauad. São Carlos, 2012.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental
e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

1. Erosão. 2. Cana-de-açúcar. 3. Carreadores.
4. Bacia hidrográfica. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **GUSTAVO D'ALMEIDA SCARPINELLA.**

Título da tese: "Erosão em carreadores da cultura da cana-de-açúcar: estudo de caso da bacia do Ribeirão do Feijão (SP)".

Data da defesa: 08/08/2012

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **Frederico Fábio Mauad (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Dr. **Silvio Crestana**
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA)

Prof. Associado **Francisco Arthur da Silva Vecchia**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Dr^a. **Isabella Clerici De Maria**
(Instituto Agronômico de Campinas)

Dr^a. **Kátia Canil**
(Instituto de Pesquisas Tecnológicas/IPT)

Resultado:

Aprovado

Aprovado

Aprovado

Aprovado

Aprovado (Paulo)

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:
Prof. Dr. **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

*Dedico este trabalho ao meu avô,
Álvaro (in memoriam), meu pai, Claudio e
meu filho, Gabriel: minha paz, força e
direção.*

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – pelo aporte financeiro, o qual possibilitou o desenvolvimento deste estudo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad pela orientação, amizade e confiança.

Aos professores e pesquisadores América Jacintha de Moraes, Ana Primavesi, Antonio Carlos Simões Pião, Carlos Eduardo Cerri, Carlos Eduardo Matheus, Claudio Antonio Scarpinella, Fernando Falco Pruski, Gerd Sparovek, Isabella Clerici de Maria, José Galizia Tundisi, Kátia Canil, Lázaro Valentin Zuchetti, Liliane Albertin Lazzari, Márcia Eler, Maria Luiza Otero D’Almeida Lamardo, João Jerônimo, Odo Primavesi, Silvio Crestana, Victor Ranieri e Willian J. Elliot pela humildade e auxílio em um ou vários momentos, sugerindo caminhos e trocando idéias.

Ao profissional Alcineu Lucchino (CODASP), ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré, a Danilo Nale Bertoli (Raízen-Ibaté) e Dirceu Azzolini Filho (SAAE - São Carlos), pela disponibilização de informações e pronta ajuda.

Aos profissionais e técnicos Acácio (tratorista), Ademar (ajudante), José Pagiario (CATI - Descalvado), José Roberto Maramarque (Estação Climatológica - CRHEA), Leondre Manelino (CRHEA), Oscar Netto (Departamento de Geotecnia – USP – São Carlos), Rosemary da Silva Neto, Paulo Sérgio Batista (agrimensor) e Waldomiro Antonio Filho, pelo auxílio no preparo e desenvolvimento do estudo em campo ou análises laboratoriais.

Às bibliotecárias Mara Lúcia Cotrim Gomes (CRHEA-USP), Marília Garcia Henyei (CENA;USP), Lilian Rossi, Elena Palloni e Juliana Vidal (EESC), pela gentileza e auxílio.

Aos funcionários do CRHEA - cozinheiros, jardineiros, seguranças, profissionais da manutenção, secretários e faxineiros - Aparecido Calderoni Iniesta, Edna Regina Vizioli Montanari, José Luiz D. Chiaretto, José Rogério Faria, Nelson Emanuel Tessarin, Sonia Regina Bueno de Lima e Paulo Fernando de Luccas, pelos cuidados com a estrutura e a manutenção de um ambiente sempre agradável.

Aos amigos de pesquisa Alexandre Fernandes, Ana Carolina Bruno Junqueira, André Fernando de Oliveira Fermoseli, André Aukar Britschgy de Camargo, Arthur José Soares Mattos, Diego Mendonça, Eduardo Albuquerque Sobrinho, Juliana Moccellin, Júlio Issao Kuwagima, Luiz Fernando Lemes Barroso, Marcus Vinicius Estigoni, Renato Billia de Miranda, Paulo Ponce, Renata Furukawa Crespilho, Roberta Mara de Oliveira, Rodolfo César Real de Abreu, Simone Furegatti e Taiana Homobono, pelas dicas, auxílio, atenção e amizade no decorrer deste trabalho.

Aos meus pais, Claudio Antonio Scarpinella e Nivea Otero D'Almeida Scarpinella e minha irmã, Erika Milena D'Almeida Scarpinella pelo apoio incondicional aos caminhos que percorro.

À minha esposa Keilla Rodrigues e meu filho Gabriel Rodrigues Scarpinella, pela leveza e amor de todos os dias.

*A Criança Nova que habita onde vivo
Dá-me uma mão a mim
E a outra a tudo que existe
E assim vamos os três pelo caminho que houver,
Saltando e cantando e rindo
E gozando o nosso segredo comum
Que é o de saber por toda a parte
Que não há mistério no mundo
E que tudo vale a pena.*

Fernando Pessoa

SCARPINELLA, Gustavo D’Almeida. (2012). **Erosão em carreadores da cultura da cana-de-açúcar**: estudo de caso na bacia do Ribeirão do Feijão (SP). 201 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

RESUMO

As estradas de terra têm um importante papel pelo escoamento de produtos, serviços e pessoas. No entanto, sofrem com a erosão acelerada, sendo importantes contribuintes de sedimentos para rios, nascentes e reservatórios. A cultura da cana-de-açúcar, que se encontra em uma nova fase de grande expansão, contém os carreadores em seus canaviais - estradas que circundam e entremeiam os talhões – fazendo parte da malha viária que serve a agroindústria da cana e sendo responsáveis pelo escoamento de toda a produção do campo às usinas. No presente estudo foi analisada a produção quantitativa e qualitativa de sedimentos em carreadores de cana-de-açúcar em função da ocorrência de chuvas naturais. O local do estudo observacional foi uma fazenda de cana situada na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão (SP). Foram instaladas 4 parcelas observacionais em carreadores internos diferentes, tendo sido colhidas amostras de 30 eventos chuvosos de cada parcela. Além das perdas de sedimentos foram também determinados a granulometria, teores de nitrogênio total, fósforo total e matéria orgânica. Pôde ser observada uma produção acumulada de 116kg, 241kg, 149kg e 491kg nas parcelas 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A parcela 4 apresentou as maiores produções quantitativas e também qualitativas. As produções acumuladas de nitrogênio total para o período estudado foram de aproximadamente 1,5kg, 2kg, 7kg e 25kg, respectivamente para as parcelas 1, 2, 3 e 4. Embora menos expressiva, houve uma produção de fósforo total nas 4 parcelas: 6g (P1), 6g (P2), 12g (P3) e 92g (P4). Tal diferença de produção de sedimento nas parcelas pode ser atribuída à declividade (P1 – 5%; P2 – 5%; P3 – 6%; P4 – 7%).

Palavras-chave: Erosão. Cana-de-açúcar. Carreadores. Bacia hidrográfica.

SCARPINELLA, Gustavo D’Almeida. (2012). **Erosion of earth roads in sugar cane plantations: a case study in the basin of Ribeirão do Feijão (SP)**. 201 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

ABSTRACT

Dirt roads have an important role for the transportation of products, services and people. However they suffer from accelerated erosion, being important contributors of sediment to rivers, streams and reservoirs. The cultivation of sugar cane, which is in a new phase of major expansion, contains earth roads on their sugar plantations - roads surrounding and crossing the planting fields – which are part of the roads that serve the sugarcane agroindustry, being responsible for the transportation of all cane production from the field to the industrial plants. In this study quantitative and qualitative production of sediments in the cane earth roads was analyzed on the basis of the occurrence of natural rainfall. The location of the observational study was a sugarcane farm situated in the basin of the Ribeirão do Feijão (SP). Four observational plots were installed in different internal earth roads having been retracted samples from 30 rainy events at each plot. In addition to the waste of sediment, particle size, total nitrogen, total phosphorus and organic matter were also determined. A cumulative production of 116kg, 241kg, 149kg, 491kg in was found in the plots 1, 2, 3 and 4, respectively. Plot 4 presented the largest productions both quantitative and qualitative. Accumulated total nitrogen production for the period studied were 1,5kg, 2kg, 7kg and 25kg, respectively for plots 1, 2, 3 and 4. Although less expressive, there was a production of total phosphorus at the 4 installments: 6g (P1), 6g (P2), 12g (P3) and 92g (P4). This difference in production of sediment on the plots can be attributed to the slope (P1-5%; P2-5%; P3-6%; P4 – 7%).

Keywords: Erosion. Sugar cane. Earth road. River basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico	31
Figura 2 – Divisão do Brasil por bacias hidrográficas.....	32
Figura 3 – O Estado de São Paulo e suas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos	33
Figura 4 – Morfologia da cana: a) sistema radicular; b) colmo; c) folha.....	35
Figura 5 – Produção nacional de autoveículos leves, por combustível, de 1979 a 2010	42
Figura 6 – Zoneamento agroambiental para o Estado De São Paulo.....	45
Figura 7 – Agroindústrias sucroalcooleiras no Brasil.....	47
Figura 8 – Perda de fertilidade em solo virgem após 20 anos de uso,.....	54
sem cuidados com reposição de nutrientes ou manutenção contra erosão do solo	54
Figura 9 – Modelo de talhão quadrado	75
Figura 10 – Modelo de talhão trapezoidal.....	76
Figura 11 – Modelo de talhão triangular.....	77
Figura 12 – Modelo de talhão em faixas	77
Figura 13 – Municípios do Estado de São Paulo atendidos pelo Programa Melhor Caminho, com destaque para a região da bacia do Ribeirão do Feijão (SP).....	91
Figura 14 – Disposição das folhas topográficas utilizadas para digitalização	104
Figura 15 - (a) Mapa do Brasil e as grandes bacias hidrográficas.; (b) O Estado de São Paulo e suas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com destaque para a UGRHI 13 – Tietê-Jacaré.; (c) Bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, com destaque para a região da bacia do Ribeirão do Feijão.; (d) – Bacia do Ribeirão do Feijão, com destaque para a área de estudo; (e) Área de estudo – Fazenda Santo Antônio do Lobo	107
Figura 16 – Altimetria da bacia do Ribeirão do Feijão (SP) e sua hidrografia	108
Figura 17 – Localização da Bacia do Ribeirão do Feijão, entre os municípios de São Carlos, Itirapina e Analândia.....	109
Figura 18 – Classificação climática de Koppen para o Estado de São Paulo, com destaque (círculo) para a área de estudo.....	113
Figura 19 – Vista parcial da Represa do Lobo, com destaque para o Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA – e o local das parcelas observacionais selecionadas	115
Figura 20 – Área de estudo – Fazenda Santo Antônio do Lobo – e seu perfil pedológico, com destaque para a seleção do local das parcelas instaladas e não instaladas	116

Figura 21 – Escavação de uma das bacias de acumulação, (a) mecânica e (b) manualmente.	119
(c) Bacia de acumulação escavada.....	119
Figura 22 – Montagem das parcelas, com destaque para a abertura das fendas (a), junção das placas (b) e colocação da bica de metal	122
Figura 23 – Esquema de uma parcela observacional	123
Figura 24 – Área de estudo, com destaque às parcelas observacionais	123
Figura 25 – (a) Procedimento de coleta, com exame visual, (b) medições e (c) acondicionamento das amostras coletadas	125
Figura 26 – (a) Escavação da bacia de acumulação e (b) recolocação do encerado plástico.	126 127
Figura 27 – Fechamento das bacias de acumulação: com trator (a), manual (b) e serviço finalizado	127
Figura 28 – (a) Motoniveladora em ação; (b) carregador após as duas passagens da Motoniveladora.....	128
Figura 29 – Bacia do Ribeirão do Feijão e sua representação em curvas de nível, de 5 em 5 metros.....	132
Fonte: Scarpinella (2012)	132
Figura 30 – Altimetria e hidrografia da Bacia do Ribeirão do Feijão.....	132
Fonte: Scarpinella (2012)	132
Figura 31 – Áreas com cana-de-açúcar na bacia do Ribeirão do Feijão (SP).....	133
Figura 32 – Estradas de terra e carregadores na bacia do Ribeirão do Feijão.....	134
Figura 33 – Estradas de terra, carregadores, canais e área experimental dentro da bacia do Ribeirão do Feijão (SP).....	135
Figura 34 – Pluviosidade e produção de sedimentos na parcela observacional 1	139
Figura 35 – Pluviosidade e produção de sedimentos na parcela observacional 2	139
Figura 36 – Pluviosidade e produção de sedimentos na parcela observacional 3	140
.....	140
Figura 37 – Pluviosidade e produção de sedimentos na parcela observacional 4	140
.....	142
Figura 38 – Curva de distribuição granulométrica – Parcela 1 (19/03/2011)	142
Figura 39 – Curva de distribuição granulométrica – Parcela 2 (19/03/2011)	142
.....	143
Figura 41 – Curva de distribuição granulométrica – Parcela 4 (19/03/2011)	143

Figura 42 - Disposição dos pinos erosivos nas parcelas observacionais	162
Figura 43 – Representação da instalação de pinos erosivos em trecho de carreador	163
Figura 44 – Pinos erosivos instalados em campo	163
Figura 45 – Cápsula para captação de filete d’água durante evento chuvoso	164
Figura 46 – Acompanhamento do histórico erosivo de pontos específicos	165
Figura 47 – Pluviômetro instalado em campo	165
Figura 48 – Plantas daninhas ao longo dos carreadores.....	166
Figura 49 – Fauna pelos carreadores: (a) aranha marrom; (b) jararaca; (c) pegada de veado campeiro; (d) pegada de animal carnívoro; (e) escorpião marrom.....	167
.....	167
Figura 50 - Lixo recolhido nos carreadores durante as visitas de campo	167
Figura 51 – Intercorrências durante o estudo observacional: “a” e “b” – infiltração dos sedimentos antes da bica de metal; c – Encerado plástico rasgado	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área colhida das principais culturas agrícolas no mundo, em 2010	34
Tabela 2 – Produção nacional de autoveículos leves, por combustível, de 1979 a 2010	41
Tabela 3 – Área colhida de cana-de-açúcar em diversas regiões do mundo, em 2010.....	43
Tabela 4 – Área colhida de cana-de-açúcar na América do Sul, em 2010.....	43
Tabela 5 - Principais atividades agropecuárias no Estado de São Paulo	44
Tabela 6 – A cana-de-açúcar no Estado de São Paulo	44
Tabela 7 – Estimativa da área e produção de cana-de-açúcar em 2020/2021 para alguns Estados brasileiros	48
Tabela 8 – Características comparativas da cultura da cana em relação às culturas do milho e da beterraba	50
Tabela 9 – Grandes problemas ambientais do Mundo e sua relação com a cana-de-açúcar....	51
Tabela 10 – Escala granulométrica de acordo com diferentes autores	54
Tabela 11 – Formas de erosão e suas principais características	59
Tabela 12 – Agentes erosivos.....	59
Tabela 13 – Tipos de erosão.....	60
Tabela 14 – Perdas de solo associadas ao uso agrícola no Estado de São Paulo	64
Tabela 15 – Limite de perda de solo para algumas atividades	64
Tabela 16 – Índice potencial de erosão conforme a ocupação do solo	65
Tabela 17 – Perda de solo por erosão nos continentes.....	65
Tabela 18 - Taxas de erosão em alguns países ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$)	67
Tabela 19 – Perda de solo em terras agricultadas de alguns estados brasileiros	68
Tabela 20 – Limites de tolerância de perdas de solo por erosão para alguns tipos de solo do Estado de São Paulo.....	69
Tabela 21 – Problemas encontrados em estradas de terra e suas causas.....	83
Tabela 22 – Principais defeitos em estradas de terra e suas possíveis correções	84
Tabela 23 – Classificação dos processos erosivos para o modelo de Djourovic.....	99
Tabela 24 – Características das imagens de satélite utilizadas, de 2008	104
Tabela 25 – Características das imagens de satélite utilizadas, de 2010	105
Tabela 26 – Características da variedade de cana RB 867515.....	110
Tabela 27 - Tratos culturais realizados na Fazenda Santo Antônio do Lobo.....	110
Tabela 28 – Classificação dos tipos de solo na bacia do Ribeirão do Feijão	111

Tabela 29 – Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão	131
Tabela 30 – Ocorrência de cana-de-açúcar na bacia do Ribeirão do Feijão e suas declividades	136
Tabela 31 – Ocorrência de carreadores de cana dentro da bacia do Ribeirão do Feijão e suas declividades	136
Tabela 32 – Dias trabalhados em campo.....	137
Tabela 33 – Cronograma de atividades de campo	138
Tabela 34 – Valores quantitativos e qualitativos obtidos.....	141
Tabela 35 – Granulometria das parcelas apresentadas.....	143
Tabela 36 – Produção de nitrogênio total em função da pluviosidade e da produção de sedimentos	144
Tabela 37 – Produção de fósforo total em função da pluviosidade e da produção de sedimentos	146
Tabela 38 – Umidade e matéria orgânica em função da chuva, por amostra e por parcela ...	148
Tabela 39 – Eventos chuvosos e produção de sedimento por parcela	150
Tabela 40 – Resultados para as parcelas através do teste de Tukey	151
Tabela 41 – Correlação da intensidade de chuva e a produção de sedimentos	151
Tabela 42 – Valores de R para o período de 2001 a 2011	152
Tabela 43 – Valor de P para emprego na Equação Universal de Perda de Solo, de acordo com algumas práticas conservacionistas.....	153
Tabela 44 - Modalidades de gerenciamento de um canavial.....	155
Tabela 45 – Itens e custos envolvidos na atividade de campo e de laboratório	160

LISTA DE SÍMBOLOS

/ - Divisão;

% - Porcentagem;

* - Multiplicação (nas equações);

A (Equação 1) – Perda de solo por unidade de área e tempo, em t/ha – valor final da equação;

A (Equação 7) - Média anual de perdas de solo;

A - Perda de solo, em Mg;

A (Equação 16) – Área de captação de chuva, em m²;

ATP – Adenosina Trifosfato;

°C – Graus Celsius;

°N – Graus a norte;

°S – Graus a sul;

C (Item 5.5) – Fator que expressa uso e manejo do solo e cultura;

C (Equação 3) – Comprimento da rampa, em m;

C (Equação 16) – Coeficiente de enxurrada;

C (Equação 20) – Custo de nivelamento do subleito (R\$);

C (Equação 7) – Média anual de perdas de solo em lotes experimentais submetidos à rotatividade de cultivo;

Cc – Custo do combustível, em R\$;

Cg – Combustível gasto, em litros;

Cm – Custo horário do aluguel de uma motoniveladora;

cm – Centímetro;

CO₂ – Dióxido de carbono;

CP - Fatores de cobertura de solo e práticas conservacionistas (adimensionais);

cv – Cavalos vapor;

D (Equação 3) – Grau de declive, em porcentagem;

E (Equação 4) - Perda de solo por erosão, em t.ha⁻¹ . ano⁻¹;

E (Equação 8) - Perdas de solo, em mm/ano;

E (Equações 9, 10 e 11) – Erosão, ou degradação específica, em t/(km².ano);

EI – Índice médio mensal de erosão;

F (Equação 12) – Área da bacia, em km²;

g/cm³ – Gramas por centímetro cúbico;

g/m^2 - Grama por metro quadrado;

h (Equação 12) – Precipitação média anual, em mm;

ha – Hectare;

I (Equação 8) - Erodibilidade do solo, referente a um lote de 10% de declividade e 22m de comprimento do declive, em $mm.ano^{-1}$;

I - Intensidade da precipitação, em polegadas por hora.

K – Fator de erodibilidade do solo que representa a capacidade do solo de sofrer erosão

k - Constante, sendo função das características do solo;

Kg – Quilograma;

Km – Quilômetro;

Km^2 - Quilômetro quadrado;

L (Equação 8) – Fator topográfico que expressa o comprimento do declive, em metros;

LS - Fator topográfico (adimensional);

$MJ.ha^{-1}.mm.ha^{-1}$ – Mega joule por hectare vezes milímetro por hectare;

m e n - Expoentes dos parâmetros S e L no lote considerado

m^2 - Metro quadrado;

$mm.h^{-1}$ – Milímetro por hora;

Mo – Custo horário da mão-de-obra;

MW – Mega watt;

mg/L – Miligrama por litro;

mg/g – Miligrama por grama;

N – Nitrogênio;

NH_4 – Amônia;

NO_3 – Nitrato;

O – Número de operações;

p (Equações 9, 10 e 11) – Precipitação do mês mais chuvoso, em mm;

p (Equação 13) – Declividade média da bacia, em porcentagem (%);

P (Tabela 43) – Fator que expressa a prática conservacionista do solo. Ou seja, a maneira como a cultura foi preparada no terreno;

P (Item 3.5.3) – Fósforo (elemento químico);

P (Equações 9, 10 e 11) – Precipitação média anual, em mm;

P - Declividade, em %;

P_{30} (Equação 8) - Precipitação máxima, em 30 minutos, com tempo de recorrência de 2 anos, em polegadas;

Q_p - Vazão de pico ($m^3 \cdot s^{-1}$);

R (Equação 8) – Fator de cobertura vegetal;

R (Equação 17) – Fator de erosividade da chuva, em $tm \cdot ha^{-1} \cdot mm \cdot h^{-1}$;

$R\$$ - Real - Unidade monetária (Brasil);

r – Precipitação média mensal, em mm;

S (Equação 8) – Declividade do terreno, em porcentagem;

S , L , K e P (Equação 7) - Fatores de ajuste de perdas de solo. Correspondem ao gradiente de declive, comprimento do declive, tipo de solo e práticas de conservação de solo, respectivamente;

T – Fator de temperatura, obtido através da equação $T = \sqrt{t_0/10+1}$;

$t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ – Tonelada por hectare por ano;

$t \cdot km^{-1}$ – Tonelada por quilômetro;

T_o – Tempo de operação, em horas;

t_0 – Temperatura média anual, em °C;

T_x - Textura (% areia horizonte A/ % argila horizonte B);

$U\$$ - Dólar - unidade monetária (Estados Unidos da América);

V (Equação 16) – Volume da bacia de acumulação, em m^3 ;

$X\alpha$ – Coeficiente adimensional que quantifica o estado da cobertura vegetal e as práticas conservacionistas do solo. Sua variação é de 0,05 para bosques e vegetações arbustivas que confirmam uma boa cobertura até 1 para solos desnudos, sem lavoura;

W – Vazão sólida, em m^3/ano , como medida da desagregação específica de uma bacia;

W (Equação 12) – Produção de sedimento, em $m^3 \cdot ano^{-1}$;

Y – Coeficiente adimensional de erosividade do solo. Tem variação de 0,5 para solos com boa estrutura e 2 para areias, solos soltos e pedregulhos;

Z (Equação 12) – Coeficiente de erosão que reflete a intensidade e extensão do fenômeno erosivo de uma bacia;

Z_i e F_i (Equação 14) - Valores parciais, que correspondem ao coeficiente de erosão e aos limites de aplicação, respectivamente;

π – 3,1416;

ϕ – Coeficiente adimensional que quantifica o estado erosivo da bacia. Os valores variam de 0,2 para bacias com pouquíssima erosão, a 0,1 para bacia que apresentem processos erosivos avançados.

LISTA DE ABREVIATURAS

A.C. – Antes de Cristo;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

AGNPS – Agricultural Non-Point Source Pollution Model;

ANA – Agência Nacional de Águas;

APA – Área de Preservação Permanente;

ARS – Agricultural Research Service;

ASTM – *American Society for Testing Materials*;

BIOTA-FAPESP – Programa de Pesquisa em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável de Biodiversidade do Estado de São Paulo;

CHDM – *Catchment Hydrology Distributed Model*;

CODASP - Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo;

CREAMS – *Chemical Runnof and Erosion from Agricultural Management Systems*;

CRHEA – Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada;

Dummy = uso agrícola (café 10, pastagem 1);

DV – Diferença vertical;

EPI – Equipamento de proteção individual;

EPIC – *Erosion Productivity Impact Calculator*;

EUA – Estados Unidos da América;

EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo;

EUROSEM – *European Soil Erosion Model*;

FAO – *Food and Agriculture Organization*;

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo;

IAA – Instituto do Açúcar e do Alcool;

IAC - Instituto Agrônomo de Campinas;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IGC – Instituto de Geociências;

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas;

LNBio – Laboratório Nacional de Biociências;

LISEM - *Limburg Soil Erosion Model*;

m – metro;

mm – milímetro;

MG – Minas Gerais;

M.O. – Matéria orgânica;

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*;

MMA – Ministério do Meio Ambiente;

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*;

OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico;

P – Fósforo;

pH – potencial hidrogeniônico;

PIP - Projeto Individual da Propriedade;

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente;

PUI – Período de utilização industrial;

RUSLE - *Revised Universal Soil Loss Equation*;

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto;

SAD – *South American Datum*;

SC – Santa Catarina;

s/d – sem data;

SP – São Paulo;

SIG – Sistema Integrado de Georeferenciamento;

SIGRHI - Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos;

SWAT – *Soil and Water Assessment Tool*;

UCPI – Unidades de Conservação de Proteção Integral;

UDOP – União dos produtores de bioenergia;

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

ÚNICA – União da Indústria de cana-de-açúcar;

USDA – *United States Department of Agriculture*;

USLE – *Universal Soil Loss Equation*;

UFESP - Unidades Fiscais do Estado de São Paulo;

UGP - Unidade de Gestão do Projeto;

UNICAMP – Universidade de Campinas;

US – *United States*;

USP – Universidade de São Paulo;

UTM – *Universal Transversa Mercator*;

WEPP – *Water Erosion Prediction Project*;

WESP – *Watershed Erosion Simulation Program*;

LISTA DE ESPÉCIES VEGETAIS E ANIMAIS¹

Amendoim – *Arachis hypogaeae*
Aranha de jardim (aracnídeo) - *Lycosa erythrognatha*
Arroz – *Oryza sativa L.*
Banana – *Musa spp.*
Batata – *Solanun tuberosum L.*
Beterraba – *Beta vulgaris*
Cachorro do mato (mamífero) - *Cerdocyon thous*
Café – *Coffea arabica*
Cana-de-açúcar – *Saccharum officinarum L.*
Capim-Braquiária – *Brachiaria decumbens*
Caramujo (gastropode) – Espécie não identificada
Cevada – *Hordeum vulgare L.*
Cobra-cega (anfíbio) – *Blanus cinereus*
Crotalária – *Crotalaria juncea*
Escorpião marrom (aracnídeo) - *Tytius bahiensis*
Feijão – *Phaseolus vulgaris*
Jararaca (réptil) - *Bothrops jararaca*
Mandioca - *Manihot esculenta Crantz*
Manga – *Mangifera indica*
Milho – *Zea mays L.*
Onça parda (mamífero) – *Puma concolor*
Saúva (inseto) – *Atta spp.*
Seringueira – *Hevea brasiliensis*
Soja – *Glicyne max L. Merril.*
Sorgo - *Sorghum bicolor (L.)*
Trigo – Trigo – *Triticum sativum Lam.*
Uva – *Vitis vinífera L.*
Veado campeiro (mamífero) - *Ozotocerus bezoarticus*

¹ As espécies animais são acompanhadas – entre parêntesis – pela classe a que pertencem.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 OBJETIVOS	27
2.1 Objetivo Geral	27
2.2 Objetivos específicos	27
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
3.1 Hidrologia e o ciclo hidrológico.....	29
3.1.1 Bacia hidrográfica	31
3.2 A cana-de-açúcar – Introdução	33
3.2.1 Características morfológicas da cana-de-açúcar.....	34
3.2.2 Características fenológicas da cana-de-açúcar	35
3.2.3 Origem, expansão e introdução da cultura no Brasil	38
3.2.4 Instituições e programas nacionais de incentivo à produção da cana-de-açúcar	39
3.2.5 A cultura da cana-de-açúcar hoje (2012).....	41
3.2.6 Zoneamento Agroambiental	44
3.2.7 Agroindústrias.....	46
3.2.8 O futuro da cana.....	47
3.2.9 Etanol de segunda geração	48
3.2.10 Bioplástico	48
3.2.11 Vantagens da cultura da cana-de-açúcar	49
3.2.12 Vantagens do etanol da cana-de-açúcar	49
3.2.13 Os entraves da expansão da cultura da cana-de-açúcar.....	50
3.3 Erosão	53
3.3.1 Solo – Origem e Formação	53
3.3.1.1 Perfil do solo	53
3.3.1.2 - Análise granulométrica	54
3.3.2 Considerações gerais sobre os processos erosivos.....	56
3.3.2.1 Histórico da erosão.....	56
3.3.2.2 O ciclo hidrossedimentológico e a importância da erosão do solo	57
3.3.2.3 Erosão – conceito geral	58
3.3.2.4 Formas, tipos e agentes erosivos.....	59
3.3.3 Erosão hídrica	60

3.3.3.1 Erosão em função da intensidade de chuva	61
3.3.3.2 Efeitos da erosão	62
3.3.3.3 Taxas de perda de solos	63
3.3.3.4 Perda de solo máxima aceitável	68
3.3.3.5 Erosão do solo na cultura da cana	69
3.4 Estradas de terra	70
3.4.1 A escolha de um traçado da estrada	70
3.4.2 Condições de uma estrada não pavimentada	71
3.5 Carreadores.....	72
3.5.1 Desenho dos talhões e carreadores.....	74
3.5.2 Dimensionamento dos talhões e carreadores	78
3.5.3 Veículos que trafegam pelos carreadores	79
3.5.4 Erosão em carreadores florestais.....	79
3.5.5 Erosão em carreadores de cana-de-açúcar.....	81
3.5.6 Problemas comuns em estradas de terra – causas	82
3.5.7 Problemas comuns em estradas de terra – controle	84
3.5.8 Tratamento de estradas de terra	85
3.5.9 Sistema de drenagem.....	86
3.6 Legislação relacionada à conservação do solo	86
3.7 Iniciativas governamentais no combate à erosão do solo em estradas de terra.....	88
3.7.1 Programa Produtor de Água	88
3.7.2 Programa Estadual de Microbacias	90
3.7.3 Programa Melhor Caminho	90
3.7.4 Programa Pró-Estrada.....	91
3.8 Ferramentas de análise para estimativa de perda de solo por erosão	92
3.8.1 Histórico e visão geral.....	92
3.8.2 Equação Universal de Perdas de Solo	92
3.8.3 Outras equações e ferramentas para predição da erosão do solo	95
4 Materiais e métodos	103
4.1 Aquisição de informações.....	103
4.1.1 Informações gerais	103
4.1.2 Mapas	103
4.1.3 Imagens.....	104

4.1.4 Documentação visual do estudo.....	105
4.2 Manipulação dos dados.....	105
4.3 Caracterização da área de estudo.....	106
4.3.1 Solo.....	111
4.3.2 Clima	113
4.3.3 Vegetação	113
4.3.4 Geomorfologia e geologia do local de estudo	114
4.4 Montagem do estudo observacional	115
4.4.1 Escolha do local de estudo.....	115
4.4.2 Instalação das parcelas	116
4.4.3 Preparo das parcelas	118
4.4.4 Dimensionamento das bacias de acumulação	118
4.4.5 Montagem das parcelas observacionais	121
4.4.6 Coleta de material	124
4.4.7 Limpeza das bacias de acumulação após as coletas.....	126
4.4.8 Finalização do estudo em campo	126
4.4.9 Manutenção dos carregadores.....	127
4.5 Análises de laboratório	128
4.5.1 Metodologias adotadas em laboratório.....	129
4.6 Tratamento dos dados obtidos.....	129
4.6.1 Análise estatística.....	129
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	131
5.1 Uso e ocupação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão	131
5.2 Dados Quantitativos	137
5.3 Dados Qualitativos	140
5.3.1 Granulometria	141
5.3.2 Nitrogênio total	144
5.3.3 Fósforo total.....	146
5.3.4 Umidade e matéria orgânica	148
5.4 Análise estatística	150
5.5 Emprego da EUPS para estimativa de perdas de solo	151
5.6 Gerenciamento dos canaviais	155
5.7 Comparação de custo entre nivelamento e revestimento primário dos carregadores.....	156

5.7.1 Aspectos ambientais	159
5.8 Custos do estudo observacional	160
5.9 Metodologias e informações não utilizadas no estudo	162
5.10 Intercorrências durante o estudo.....	168
6 CONCLUSÕES	171
7 SUGESTÕES.....	175
REFERÊNCIAS.....	177
APÊNDICE A.....	191
APÊNDICE B.....	193
APÊNDICE C.....	195
APÊNDICE D.....	197
APÊNDICE E	199
APÊNDICE F	201
APÊNDICE G.....	203
APÊNDICE H.....	205
APÊNDICE I	207
APÊNDICE J.....	209

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é a atividade agrícola em maior expansão no Estado de São Paulo, representando aproximadamente 60% de toda a produção nacional, sendo inferior, em área, somente à pecuária. São Paulo apresenta uma área de 20 milhões de hectares agricultáveis e a cana já está instalada em 5,7 milhões deles. Há 183 indústrias de açúcar e álcool no Estado, do total de 413 usinas no Brasil (UDOP, 2011), com 12.000 produtores rurais fornecedores da matéria-prima e 400.000 trabalhadores diretos, atuando em 450 municípios (70% do total do Estado) que têm alguma ligação com a cultura. A atividade gera 30% dos empregos na agricultura, abastecendo 8.500 postos de combustível e 3,6 milhões de carros *flex*. A safra prevista para 2009/2010 foi suficiente para a produção de 15 bilhões de litros de etanol, 21 milhões de toneladas de açúcar e uma geração de 1.820 MW de energia elétrica (VIEGAS, 2010). De acordo com Franco (2011), a safra nacional de cana para 2011/2012 deve apresentar uma produção de 568,5 milhões de toneladas de cana na região centro-sul do país. Tal marca, comparada à safra anterior, registra um acréscimo de 2% na produção. Embora crescente, este incremento é pouco expressivo, se comparado aos 10% ao ano que a cultura apresentou entre 2000 e 2008.

O horizonte para a expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil firma-se novamente em virtude de vários acontecimentos: o desenvolvimento dos veículos bicompostíveis em 2003 (*flex fuel*); a legislação nacional para adição de uma porcentagem do álcool à gasolina (BRASIL, 2006), o aumento na exportação de álcool combustível (UNICA, 2010), tendo mais de 40 países como principais destinos, dentre eles os EUA, Países Baixos, Japão, Índia, Coreia do Sul, Reino Unido; e a oportunidade de comercialização de um maior volume à Comunidade Européia e Índia (que criaram programas de incentivo e leis de adição do etanol à gasolina).

Sachs (2005) defende a idéia de um abandono gradual da “civilização do petróleo” rumo à “civilização verde”. O Brasil seria o grande impulsionador desta transição por apresentar um conjunto favorável de características: uma vasta área de terras cultiváveis, climas variados, recursos hídricos disponíveis (em níveis de razoáveis a abundantes), pesquisadores (como agrônomos e biólogos) de nível internacional e indústria capaz de criar novas tecnologias que acompanhem a demanda por combustíveis.

De acordo com Macedo (2005), o Brasil possui 850 milhões de hectares e deste montante, aproximadamente 55% é formado por florestas naturais (467 milhões de hectares),

35% por pastagens (297,5 milhões de hectares), e 7% para agricultura (59,5 milhões de hectares, sendo que a soja e o milho são responsáveis pela metade desta área cultivada, 21 e 12 milhões de hectares, respectivamente). A área ocupada pela cana-de-açúcar é de apenas 0,6% (com 5,7 milhões de hectares), sendo que há mais 12% de áreas aptas à expansão desta cultura (pouco mais de 100 milhões de hectares).

Se por um lado a cultura da cana-de-açúcar é responsável pela geração de empregos e oportunidades para diversos municípios de São Paulo (trazendo divisas e benefícios), por outro lado, trata-se de uma cultura empregada em uma escala cada vez maior, baseada na monocultura, que provoca inúmeros impactos ambientais: queimadas (poluição do ar e empobrecimento do solo), eutrofização e poluição de corpos d'água e aquíferos através da utilização de fertilizantes, defensivos e vinhaça (sub-produto da cana e usada como fertirrigador), empobrecimento da fauna e flora local (monocultura em extensas áreas) e a erosão dos solos.

Com a expansão da cultura da cana e a conversão de áreas de pastagem em canaviais, a erosão do solo (pelo seu constante revolvimento e movimentação) é uma questão que não pode ser desprezada. Como qualquer cultura agrícola, a cultura da cana é formada pelas áreas de cultivo (talhões) e pelas áreas de escoamento deste cultivo: os carregadores.

A produção de sedimento nos carregadores de cana-de-açúcar é o foco de estudo neste trabalho. Sem a existência destes carregadores a produção agrícola não poderia ser escoada aos seus destinos de consumo/processamento. A importância e a atenção dada, no entanto, não são fatores que caminham juntos. Antes da colheita, ou quando se faz necessário, os carregadores que não apresentam tratamento primário são reparados com máquinas niveladoras pesadas e assim ficam prontos para a circulação de veículos. O produtor não se dá conta que a compactação e o revolvimento do solo poderão intensificar novos processos erosivos. Suas superfícies ficam constantemente expostas. Se for considerada uma média de área de 5% de carregadores² em um universo de 5,7 milhões de hectares³, há uma área de aproximadamente 285.000 hectares de carregadores somente para o Estado de São Paulo.

Outra justificativa para abordagem deste tema é a não existência de estudos desta natureza, que tratem da importância dos carregadores de cana e seus impactos ao meio ambiente.

² Este valor médio foi obtido através de pesquisa de aproximadamente 130 fazendas de cana gerenciadas por uma agroindústria do Estado de São Paulo.

³ Correspondente à área plantada de cana no Estado de São Paulo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento de uma proposta de método para a determinação da produção quantitativa e qualitativa de sedimentos em carreadores da cultura de cana-de-açúcar por meio de estudo observacional realizado em uma fazenda localizada na Bacia do Ribeirão do Feijão (SP).

2.2 Objetivos específicos

- Análise da produção quantitativa das parcelas observacionais montadas;
- Análise da produção qualitativa (nitrogênio total, fósforo total, matéria orgânica e granulometria) das parcelas observacionais montadas;
- Avaliação crítica dos passos metodológicos seguidos para a realização do estudo observacional;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Hidrologia e o ciclo hidrológico

“Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e sua relação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas” (*U.S. Federal Council for Science and Technology*, citado por CHOW⁴, 1959, apud TUCCI, 2001). Dentro da ciência hidrológica há diversas vertentes. Hidrometeorologia, limnologia, glaciologia e hidrogeologia são algumas. A hidrossedimentologia é a vertente da ciência hidrológica que estuda a produção e o transporte dos sedimentos na superfície da bacia e nos rios devido às condições naturais e de uso do solo (TUCCI, 2001).

O ciclo hidrológico (Figura 1) é um fenômeno global no qual a água circula em sistema fechado entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionada pela energia solar associada à gravidade e à rotação da Terra (SILVEIRA, 2001). Em cada uma destas fases (superfície terrestre e atmosfera) estão inclusos os processos de armazenamento temporário de água, transporte e mudança de estado (GARCEZ, 1967).

A superfície terrestre compreende os oceanos, rios, terras emersas, subsolo e seres vivos. A atmosfera compreende a camada de ar entre a superfície terrestre e uma altura de, aproximadamente, 70 quilômetros. No entanto, a maior parte dos fenômenos meteorológicos ocorrem na troposfera, camada fina e mais próxima à superfície, com 8 a 16 quilômetros de espessura. O ciclo da água ocorre nos dois sentidos: superfície-atmosfera e atmosfera-superfície.

A água presente na atmosfera em forma de vapor d'água, sob determinadas condições hidrometeorológicas, forma microgotículas. As microgotículas vão se agrupando e junto à poeira e gelo suspensos no ar vão formando as nuvens. Quando essas nuvens encontram-se carregadas de microgotículas, que vão agregando-se umas às outras (e ganhando tamanho), são vencidas pela gravidade, ocorrendo a condensação e, sequencialmente, o fenômeno conhecido por precipitação.

A chuva é a forma de precipitação mais conhecida. Em alguns casos, o vapor d'água pode se transformar diretamente em cristais de gelo, ocorrendo as chuvas de granizo ou neve, dependendo das condições climáticas.

⁴ Chow, V.T., 1959. Handbook of applied hydrology. New York: McGraw-Hill. Paginação irregular.

No trajeto do ar até seu contato com a superfície terrestre, parte da precipitação pode ser evaporada. A porção da chuva que chega à superfície pode cair sobre os oceanos, rios ou terras emersas. Caindo sobre uma cobertura vegetal em terras emersas, ocorre a interceptação. A interceptação é um fenômeno importante, pois absorve o impacto das gotas. Esta ocorre quando as gotas encontram superfícies como folhas, caules e outras partes vegetais. Parte da água interceptada é evaporada e a parte excedente que não foi absorvida é reprecipitada.

Ao tocar o solo, a água pode ter alguns caminhos diferentes. O primeiro é a infiltração, onde a água penetra pelos poros do solo. À medida em que há acúmulo de água no solo, este vai sendo saturado. Atingindo o ponto de saturação, começa a haver o escoamento superficial. A percolação é a infiltração em maiores profundidades e chega a alcançar o lençol freático. As tensões capilares e a gravidade exercem influência sobre a infiltração e a percolação. A fração que não foi infiltrada, por encontrar o solo já saturado, fará parte do escoamento superficial. Tal fenômeno ocorre de cotas mais elevadas a cotas inferiores formando, no início, filetes d'água. Os filetes encontram seu caminho, através da topografia, desviando dos possíveis obstáculos, até chegarem em um corpo d'água receptor (ribeirão, córrego, rio, etc). Estes corpos d'água fazem parte de uma rede de drenagem que, na grande maioria das vezes, desemboca nos oceanos.

Tanto nos oceanos como na superfície terrestre (terra e vegetação), parte da água evapora, fechando assim o ciclo hidrológico. As plantas contribuem para o ciclo através da evapotranspiração e os animais através da transpiração (SILVEIRA, 2001). O volume dos fluxos e de reservas de água não serão aqui tratados, pois não fazem parte do escopo do trabalho. A Figura 1 apresenta o ciclo hidrológico.

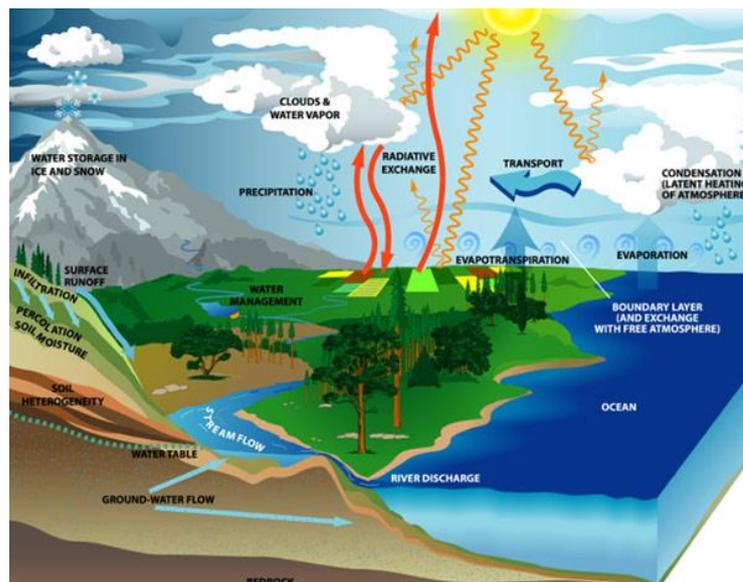


Figura 1 - Ciclo hidrológico

Fonte: NASA SCIENCE (2012)

3.1.1 Bacia hidrográfica

Silveira (2001) conceitua a bacia hidrográfica como sendo:

uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório.

Ou ainda, de acordo com Viessman, Harbaugh e Knapp⁵ (1972) citados por Villela e Mattos (1975),

é uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água tal que toda vazão efluente é descarregada através de uma simples saída.

Portanto, as delimitações de uma bacia hidrográfica não seguem os princípios das delimitações político-administrativas conhecidas e que dividem o território nacional em estados federativos e municípios. Seu perímetro é obrigatoriamente contornado por um divisor de águas, uma linha imaginária que divide as precipitações que caem dentro e fora da bacia. Este divisor somente atravessa o curso d'água no ponto de saída (exutório). No restante, une os pontos de máxima cota entre as bacias, o que não impede que no interior de uma bacia haja cotas de altitude superiores a qualquer ponto do divisor (VILLELA; MATTOS, 1975).

⁵ Viessman, Jr., W.; Harbaugh, T.E. & Knapp, J.W. (1972). Introduction to hydrology. New York, Intext Educational.

Considerando a divisão do território em bacias hidrográficas, fica mais adequado o estudo do ciclo hidrológico em sua fase terrestre. Através desta forma de delimitação é possível estimar, por exemplo, o volume de entrada (precipitação) e o volume de saída (escoamento superficial pelo exutório), considerando como perdas intermediárias a fração evapotranspirada e aquela infiltrada (SILVEIRA, 2001).

A instituição da Lei federal 9.433/97 (BRASIL, 1997) definiu a bacia hidrográfica como uma unidade de território, com o objetivo de implementar a Política Nacional dos Recursos Hídricos. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, através da Resolução n° 32 de 15 de outubro de 2003 (BRASIL, 2003), instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional.

O Brasil é formado por 12 grandes bacias (ou regiões) hidrográficas: Amazônica, Tocantins/Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Paraguai, Paraná, Atlântico Sudeste, Uruguai e Atlântico Sul (Figura 2). Estas 12 regiões foram divididas em 83 unidades (consideradas como nível 2) e 332 unidades hidrográficas de referência (consideradas como nível 3 (ANA, 2007 a.)).

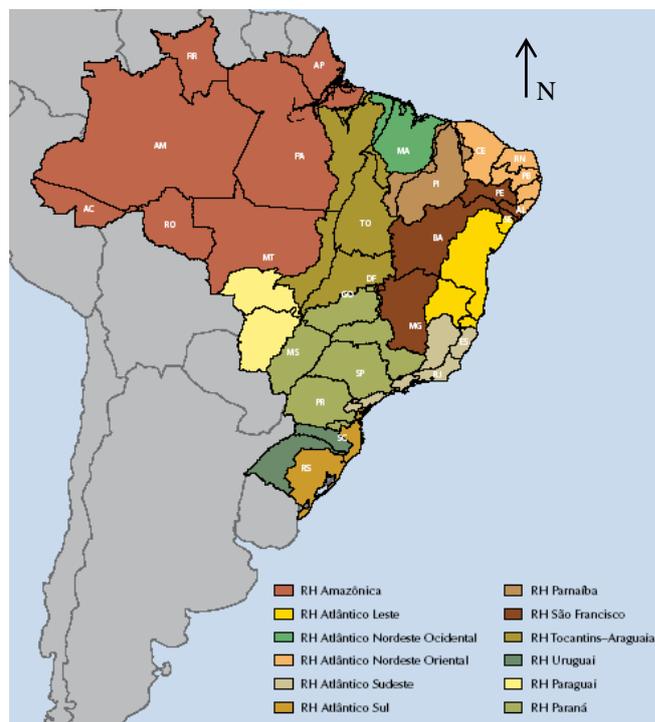


Figura 2 – Divisão do Brasil por bacias hidrográficas

Fonte: MMA; ANA; PNUMA (2007). Sem escala definida

A escala de uma bacia a ser adotada em um estudo depende da questão a ser abordada e solucionada. Pode ser estudada uma pequena bacia com 0,5 km², localizada em um trecho de

área urbana, como pode ser o foco de estudo a bacia do rio São Francisco, com mais de 600.000 km² de área (PORTO; PORTO, 2008).

O Estado de São Paulo (que integra as bacias do Atlântico Sudeste, Atlântico Sul e Paraná) tem seu território político-administrativo dividido em 22 bacias hidrográficas, numeradas e denominadas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). São elas: 1 – Mantiqueira; 2 – Paraíba do Sul; 3 – Litoral Norte; 4 – Pardo; 5 – Piracicaba/Capivari/Jundiaí; 6 – Alto Tietê; 7 – Baixada Santista; 8 – Sapucaí Grande; 9 – Mogi-Guaçu; 10 – Tietê/Sorocaba; 11 – Ribeira de Iguape/Litoral Sul; 12 – Baixo Pardo/Grande; 13 – Tietê/Jacaré; 14 – Alto Paranapanema; 15 – Turvo/Grande; 16 – Tietê/Batalha; 17 – Médio Paranapanema; 18 – São José dos Dourados; 19 – Baixo Tietê; 20 – Aguapeí; 21 – Peixe; 22 – Pontal do Paranapanema. A Figura 3 apresenta o Estado de São Paulo e sua divisão nestas Unidades Hidrográficas.



Figura 3 – O Estado de São Paulo e suas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Fonte: Instituto Geográfico e Cartográfico (1996)

3.2 A cana-de-açúcar – Introdução

A incrível variedade de espécies vegetais que foram a base de todas as culturas (aproximadamente 200.000 espécies) não foi um impeditivo para que a cana-de-açúcar se destacasse de forma impressionante. Entre as espécies citadas, apenas alguns milhares são utilizados para alimentação. Desses milhares, algumas centenas foram “domesticadas”. E

dentre essas centenas, pode-se citar que 12 espécies vegetais são responsáveis por mais de 80% da área total cultivada mundialmente: trigo, milho, arroz, cevada, sorgo, soja, batata, mandioca, batata-doce, beterraba, banana e cana-de-açúcar (DIAMOND, 2006b.).

De acordo com a Tabela 1, a cultura da cana está posicionada como a 8ª cultura agrícola mais cultivada (e colhida) no mundo: aproximadamente 24 milhões de hectares.

Tabela 1 - Área colhida das principais culturas agrícolas no mundo, em 2010

Cultura	Área colhida (x1000 ha)
Trigo	216.975
Milho	161.908
Arroz	153.652
Soja	102.387
Cevada	47.893
Sorgo	40.509
Feijão	29.921
Cana-de-açúcar	23.815
Batata	18.596
Mandioca	18.458
Café	10.180
Banana	4.772

Fonte: FAOSTAT (2012)

3.2.1 Características morfológicas da cana-de-açúcar

Por ser uma planta monocotiledônea, a cana apresenta um sistema radicular fasciculado (em cabeleira), composto pelas raízes temporárias, permanentes e adventícias. Cerca de oitenta e cinco por cento das raízes permanentes concentram-se nos primeiros 50 cm da camada de solo, embora possam se desenvolver por 4 metros ou mais (LIMA, 1984).

Os rizomas (colmos subterrâneos constituídos de nós, entrenós e gemas) são independentes das raízes e dão origem aos colmos que perfilharam ao longo do ciclo. Tal grau de perfilhamento pode formar 30 ou mais perfilhos por soqueira, sendo este número dependente da variedade empregada (LIMA, 1984).

O colmo tem formato cilíndrico e cores distintas conforme a variedade (amarelo, creme, roxo e listrado, entre outras variações). É constituído pelos seguintes órgãos: gomos e nós. Gomo (ou entrenó, ou internódio): onde há a concentração do caldo da cana. Seu formato é geralmente cilíndrico, podendo também ser plano, côncavo ou convexo. Seu tamanho pode variar de poucos a 30 centímetros ou mais, sendo tais características (formato e tamanho) função da variedade. Nó: separa os entrenós. Há nele a cicatriz foliar, a gema e a zona radicular. As gemas situam-se na zona radicular, apresentando-se uma em cada nó (LIMA, 1984).

De acordo com (LIMA, 1984), as folhas têm coloração verde, apresentando poucas variações. Podem ou não ser serrilhadas. São sulcadas longitudinalmente por uma nervura larga e branca tendo ao seu lado outras nervuras paralelinérveas com coloração esverdeada. Quanto ao formato, as folhas são lanceoladas⁶ e recurvadas, sendo formadas pelo limbo⁷ e bainha⁸, separadas pela lígula⁹ e tendo nas pontas, as aurículas¹⁰. São pilosas¹¹.

A inflorescência é uma panícula¹² terminal, onde as flores são hermafroditas¹³, fixadas pelo raque¹⁴, que apresenta espiguetas fixas à ráquila (LIMA, 1984).

A Figura 4 apresenta o sistema radicular da cana e sua parte aérea, dividida entre o colmo e folha.

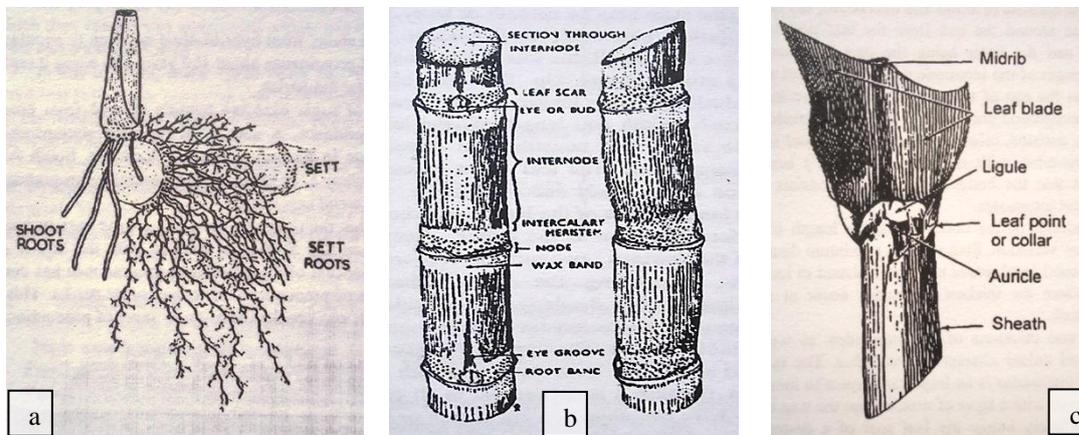


Figura 4 – Morfologia da cana: a) sistema radicular; b) colmo; c) folha

Fonte: Bakker (1999)

3.2.2 Características fenológicas da cana-de-açúcar

As características fenológicas dizem respeito aos “fenômenos periódicos da vida de uma planta (ou cultura) em relação às condições ambientais” (LUCHESE¹⁵, 1987, apud SEGATO, 2006).

⁶ Que têm formato de lança.

⁷ Parte laminar e mais evidente da folha da cana.

⁸ Base da folha em forma de cartucho, que faz ligação com o colmo.

⁹ “[...] parte branca e membranosa que se localiza na parte superior interna da bainha, no limite com a lâmina foliar” Fontaneli *et al.* (2009).

¹⁰ Apêndices que “abraçam” o caule.

¹¹ Presença de pelos.

¹² Tipo de inflorescência característica da cana-de-açúcar. Outras gramíneas apresentam inflorescências do tipo espiga ou ráculo (FONTANELI *et al.*, 2009).

¹³ Organismo que possui os órgãos sexuais masculino e feminino.

¹⁴ Eixo central da estrutura floral, que serve para fixação das espiguetas.

¹⁵ Lucchesi, A.A. (1987). Fatores da produção vegetal In: Castro, P.R.C.; Ferreira, S.O. ; Yamada, T.(ed.) Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1987, p.1-11.

A cultura da cana é considerada uma cultura perene (ARANHA; YAHN, 1987; CANTARELLA, 2012). No entanto, sua permanência no campo (antes da renovação do canavial) é ditada em função da produtividade e da produção de sacarose em cada talhão.

De acordo com Alfonsi et al. (1987), a cana apresenta uma larga escala de adaptação sendo cultivada entre os paralelos 35°N e 35°S. Por conta da demanda em alta produção de sacarose, a cana precisa de dois períodos distintos de condições climáticas. O primeiro período relacionado ao seu desenvolvimento vegetativo deve ter umidade e temperaturas adequadas, superiores ao período de repouso vegetativo e enriquecimento da sacarose. É consenso entre pesquisadores que temperaturas abaixo de 21°C ocasionam um lento (ou nulo) crescimento da cana, estando a faixa ótima de temperatura entre 30°C e 34°C. Temperaturas superiores a 38°C também podem prejudicar o crescimento vegetativo da planta. Já para o segundo período (de maturação da sacarose), as temperaturas devem ser mais amenas, com média preferencialmente inferior a 21°C. Por outro lado, temperaturas extremamente baixas (inferiores a 0°C) podem provocar o extravasamento do líquido intercelular dos tecidos e a morte da gema apical.

Por ser uma planta do tipo C4¹⁶, a cana apresenta uma alta eficiência fotossintética, onde a maior intensidade de luz (e o número de horas) trará uma maior atividade fotossintética e conseqüentemente uma maior produção de sacarose. Fotoperíodos¹⁷ de 10 a 14 horas apresentam-se como ideais, conferindo inclusive colmos mais longos à planta. No entanto, fotoperíodos entre 16 e 18 horas são prejudiciais à cultura (ALFONSI et al., 1987). Além disso, as plantas C4 são também mais eficientes se comparadas às plantas C3, em relação ao uso da água. Enquanto as plantas C3 demandam 350 a 1.000 kg de água para sintetizar 1 kg de carbono, as plantas C4 demandam 150 a 300 kg de água para sintetizar este mesmo 1 kg de carbono (CANTARELLA, 2012).

O volume pluviométrico demandado pela cultura varia entre 1100 e 1500 mm. Deve-se ressaltar que o mais importante, no entanto, é a distribuição deste volume de água, devendo a primeira fase (crescimento vegetativo) receber mais água, e a segunda, um volume menor para que a maturação da sacarose não seja afetada.

A cana é cultivada em vários Estados brasileiros, tendo cada Estado suas peculiaridades de médias de temperatura, fotoperíodo e pluviosidade. Aliado a isso, há a demanda das agroindústrias, ao longo do ano, pela matéria-prima e pela garantia de um

¹⁶ A partir da década de 60 surgiu um novo sistema de classificação das plantas quanto à sua assimilação de CO₂ pela fotossíntese: C3 e C4. São exemplo de plantas C3, o feijão e a soja (Beltrão & Oliveira, 2008).

¹⁷ Período característico de número de horas de exposição à luminosidade solar, no qual as plantas apresentam maior ou menor desenvolvimento. O Fotoperíodo varia de acordo com a latitude e com as estações do ano.

retorno financeiro mais rápido. Para atender a essa demanda quase que constante, existem variedades de cana que se desenvolvem no ciclo de 1 ano (12 meses – chamadas de “cana de ano”), e outras que se desenvolvem no ciclo de um ano e meio (18 meses – chamadas de “cana de ano e meio”). De acordo com Câmara (1993), o plantio da “cana de ano” ocorre no Centro-Sul brasileiro entre setembro e novembro. Já o plantio da “cana de ano e meio” é feito entre dezembro e abril. A variedade de “ano e meio” (correspondente à variedade empregada na área do presente estudo) tem o seu ciclo dividido da seguinte maneira:

- 3 meses iniciais de desenvolvimento vegetativo;
- 5 meses de repouso;
- 7 meses de estágio vegetativo e de maturação da sacarose, até a plantação atingir seus 18 meses, quando teoricamente estará com os níveis satisfatórios de sacarose (COLETI, 1987).

A cultura da cana pode ser introduzida em uma determinada área, ou pode simplesmente estar sendo renovada. Para o caso de introdução da cultura, após o preparo da área em terraços e curvas de nível, os passos para a instalação e manutenção da cultura são os seguintes:

- Corte da muda;
- Distribuição dos colmos (manual ou mecanicamente);
- Cobertura (geralmente mecânica);
- Tratos culturais (adubação e aragem);
- Corte (Colheita manual ou mecânica).

Para este primeiro caso tem-se a cana-planta¹⁸, proveniente do plantio. A partir do primeiro corte, trabalha-se com a cana-soca¹⁹, proveniente da rebrota das soqueiras. No segundo caso, o procedimento é parecido, seguindo-se os mesmos passos do ano anterior, excluindo-se a necessidade do corte da muda, distribuição dos colmos e cobertura do solo.

O número de rebrotas para um dado canavial pode chegar a 5, dependendo das condições de entouceiramento, produtividade e produção de sacarose. Após o último corte, o canavial é reformado, sendo as touceiras arrancadas e procedendo-se com a rotação de cultura (geralmente emprega-se alguma leguminosa – crotalária, amendoim ou soja), buscando-se um breve reestabelecimento dos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo.

¹⁸ Cana proveniente do primeiro plantio em uma determinada área.

¹⁹ Cana proveniente de uma das rebrotas.

A colheita da cana ocorre entre abril e novembro, sempre respeitando-se o ponto ideal de maturação da cana (PENARIOL; SEGATO, 2007). Quanto à produtividade comparativa de um primeiro corte Bonomi e Rosa (2007) relatam que a “cana de ano” e a “cana de ano e meio” produzem respectivamente 90 e 125 t/ha¹.

3.2.3 Origem, expansão e introdução da cultura no Brasil

De acordo com Aranha e Yahn (1987), a cana-de-açúcar não é conhecida em seu estado selvagem, tendo sido cultivada primeiramente no sudeste da Ásia e na Índia Ocidental. Sua origem, portanto, pode ser atribuída a uma espécie indígena daquela região. Em meados de 327 A.C. já era considerada uma cultura importante na Índia. Foi introduzida em 641 no Egito e em 755 na Espanha. Desde então a cultura vem se estendendo por praticamente todos os países de clima tropical e sub-tropical.

Portugueses e espanhóis disseminaram a cultura da Ilha da Madeira, em 1420, e da América, no início do século XVI, para as Antilhas, América Central e América do Sul em um período de 100 anos. Nos Estados Unidos seu cultivo foi iniciado por volta de 1740.

Fernandes (1984) relata que, após a chegada dos colonizadores no Brasil, Martim Afonso de Souza veio à capitania de São Vicente (por ordem de D. João III) e instalou os primeiros canteiros da cultura da cana no país. Neste mesmo local surgiu o primeiro engenho de açúcar, “São Jorge dos Erasmos”, e após 2 anos, o engenho “Nossa Senhora da Ajuda”, na capitania de Pernambuco. Dessas duas capitanias, a cana se disseminou para a Bahia, Espírito Santo, Sergipe, Alagoas e Rio de Janeiro. No final do século XVI, já eram 66 engenhos espalhados pelo país. No século XVII, a indústria da cana-de-açúcar ganhou um novo impulso atribuído aos holandeses. No século seguinte houve um declínio na produção por conta da concorrência, no mercado europeu, com o açúcar produzido no Suriname e nas Antilhas. Além disso, o Brasil vivia seu momento dentro do ciclo do ouro, onde as atenções voltaram-se para essa atividade, mais rentável naquele momento. A partir do final do século XVIII houve uma retomada da agroindústria da cana-de-açúcar. Os dois séculos seguintes (XIX e XX) foram marcados por oscilações na produção por conta do aparecimento e fortalecimento de outras culturas agrícolas e concorrência de mercado.

Durante a Segunda Guerra mundial (1939-45), o risco do transporte marítimo (em função da guerra submarina) fez com que as exportações de açúcar declinassem. O escoamento interno do produto foi também bastante prejudicado, pois era feito por

cabotagem²⁰. Naquela época, a navegação costeira tinha uma importância maior, por conta inclusive da deficiência da rede de transporte viária interna. Com este fato, boa parte do comércio entre o norte e o sul do país foi prejudicada, sobretudo do açúcar. Este era predominantemente produzido no nordeste e o seu maior consumidor era o centro-sul do Brasil, principalmente Rio de Janeiro e São Paulo. Com a dificuldade de escoamento do produto, o nordeste dispunha de uma grande oferta e o centro-sul, de uma alta demanda. A transferência definitiva do eixo produtor, do nordeste para o sudeste, ocorreu neste momento de pós-guerra.

Os anos seguintes ao pós-guerra apresentaram um aumento significativo das exportações de açúcar. No entanto, houve também a normalização do mercado europeu, forçando o Brasil a subsidiar o produto. O Instituto do Açúcar e do Alcool incentivou a produção de álcool anidro para ser adicionado à gasolina, mas os baixos preços internacionais do barril de petróleo, a criação da Petrobras e a implantação de suas primeiras refinarias, fariam o país abandonar completamente essa idéia no início de 1950. Na segunda metade da década de 1950, os produtores do centro-sul, principalmente do Estado de São Paulo, foram autorizados a aumentar sua capacidade instalada, obedecendo à evolução dos mercados regionais que eram por ele abastecidos. (SZMRECSÁNYI; MOREIRA, 1991).

3.2.4 Instituições e programas nacionais de incentivo à produção da cana-de-açúcar

Historicamente, podem ser citadas duas importantes iniciativas para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no Brasil: a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) e a criação do Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool).

A crise mundial de 1929 e a superprodução de açúcar estimularam o Brasil a criar o IAA, órgão de regulação estatal, em 1933. Com o papel de incentivar o consumo nacional de açúcar e álcool e regular o mercado, o IAA tinha como principal mecanismo de regulação a implantação de cotas de produção. Promoveu o financiamento de destilarias anexas às usinas de açúcar e limitou a produção de cana das usinas em terras próprias em, no máximo, 60% da cana que fosse por elas processada. O restante deveria ser obtido através de fornecedores (produtores) independentes. Com a extinção do IAA em 1990, através da Lei nº 8.029/90 (BRASIL, 1990), deu-se início a um “período de desregulamentação do setor canavieiro, com a liberação das exportações e dos preços do açúcar e do álcool” (VIAN, s/d).

²⁰ Navegação entre portos próximos, de um mesmo país.

O álcool combustível (etanol) é utilizado no Brasil há mais de 30 anos. A primeira grande ascensão teve início na década de 1970 com o Proálcool. Criado através do decreto nº 76.593, de 14 de Novembro de 1975 (BRASIL, 1975), este programa teve como objetivo impulsionar a produção de cana-de-açúcar, a criação de novas destilarias e a modernização daquelas já existentes, como alternativa à saída da crise do petróleo e aos altos preços de seus derivados praticados na época.

De acordo com Biodieselbr (2011), o Pró-Álcool evoluiu através de 5 fases distintas:

Fase 1 – Fase inicial (1975-1979) — Houve um esforço para a produção do álcool anidro, que era adicionado à gasolina. A oferta do combustível saltou de 600 milhões de litros/ano (1975-1976) para 3,4 bilhões de litros/ano (1979-1980).

Fase 2 – Fase do crescimento (1980-1986) — Com a segunda crise do petróleo, o preço do barril triplicou fazendo tal produto representar aproximadamente 50% das importações brasileiras para a época. O grande aumento do preço do barril fez o governo acelerar a implementação do programa. A produção de 1986-1987 atingiu o pico de 12,3 bilhões de litros de álcool anidro e a fabricação nacional de carros movidos a álcool ultrapassou, entre 1982 e 1983, a fabricação de carros movidos à gasolina.

Fase 3 – Fase da estagnação (1986-1995) — O preço do barril diminuiu consideravelmente (de U\$ 30 a 40 para U\$ 12 a 20) ocorrendo o chamado contra-choque do petróleo. Tal acontecimento aliado à falta de recursos públicos para subsidiar o programa causou uma sensível queda na produção e na venda de veículos movidos a álcool. Em 1989-1990 houve uma crise de abastecimento deste combustível por conta de grande parte dos produtores, principalmente do nordeste, preferirem a produção de açúcar, então com preço bom²¹. A produção de etanol nesta fase manteve-se estável: 1986-1987 foram produzidos 10,5 bilhões de litros e em 1989-1990, 11,9 bilhões de litros. Um outro agravante nesta época foi a abertura do mercado à entrada de automóveis, que tinham seus motores movidos à gasolina e à diesel, além da tendência na época de se fabricar carros que seguissem o padrão mundial de alimentação do motor à gasolina. A introdução dos carros populares com 1.000 cilindradas de potência veio agravar ainda mais a situação para a agroindústria da cana.

Fase 4 – Fase de Redefinição (1995-2000) — Há uma queda sensível na produção de automóveis movidos a álcool e um aumento na exportação de açúcar, que saltou de 1,1 bilhão de toneladas em 1990, para aproximadamente 10 bilhões de toneladas por ano, passando a dominar o mercado internacional deste produto e provocando seu barateamento. Uma medida

²¹ Scarpinella, C.A. Informações sobre o PROÁLCOOL. Informações recebidas pessoalmente em: 14 mai. 2012.

provisória estabelece que haja adição do álcool à gasolina em 22% (até 23%, no máximo) em todo o território nacional (BRASIL, 1998).

3.2.5 A cultura da cana-de-açúcar hoje (2012)

A quinta fase da evolução do Pró-Álcool refere-se à fase atual. Este momento pode ser marcado predominantemente pela grande expansão dos canaviais no interior paulista e em outros estados, além da introdução no mercado do carro bicompostível (ou *flex*, como é conhecido), que é movido tanto a gasolina como a álcool, ou pela combinação destes dois combustíveis. Sua comercialização foi iniciada no Brasil em 2003 e, em menos de 3 anos, a venda de carros *flex* já havia superado a de carros a gasolina. Após 4 anos da introdução dos veículos *flex*, os carros movidos somente a álcool deixaram de ser fabricados. Através da Tabela 2, é possível perceber a evolução da produção nacional de veículos automotores leves, separada por tipo de combustível. O registro da tabela inicia-se em 1979, quando foi dado início à produção de carros movidos a álcool no Brasil.

Além disso, o apelo comercial por ser um combustível mais “limpo” que a gasolina e evitar que sejam emitidas maiores quantidades de dióxido de carbono na atmosfera, deram ao etanol um destaque especial.

Tabela 2 – Produção nacional de autoveículos leves, por combustível, de 1979 a 2010

Ano	Autoveículos leves (unidades)				Soma total
	Combustível				
	Gasolina	Etanol	<i>Flex fuel</i>	Diesel	
1979	1.001.174	4.614	-	16.295	1.022.083
1980	774.526	254.001	-	20165	1.048.692
1981	527.794	127.695	-	35651	691.140
1982	451.868	236.678	-	114240	802.786
1983	203.950	590.915	-	59904	854.769
1984	195.141	557.887	-	55.788	808.816
1985	204.440	640.239	-	48875	893.554
1986	218.803	697.731	-	44036	960.570
1987	306.333	460.006	-	65888	832.227
1988	343.958	569.189	-	65.372	978.519
1989	456.144	398.235	-	81.621	936.000
1990	701.552	83.259	-	63.027	847.838
1991	676.806	150.877	-	60.229	887.912
1992	748.892	193.441	-	75.217	1.017.550
1993	968.209	264.651	-	91.805	1.324.665
1994	1.259.168	142.760	-	97.889	1.499.817
1995	1.439.378	40.484	-	57.004	1.536.866
1996	1.660.059	7.732	-	70.482	1.738.273

Autoveículos leves (unidades)					
Ano	Combustível				Soma total
	Gasolina	Etanol	Flex fuel	Diesel	
1997	1.881.245	1.273	-	101.885	1.984.403
1998	1.388.852	1.451	-	110.757	1.501.060
1999	1.176.935	11.314	-	98.254	1.286.503
2000	1.471.050	10.106	-	115.726	1.596.882
2001	1.615.476	19.032	-	82.014	1.716.522
2002	1.576.418	56.594	-	67.134	1.700.146
2003	1.561.283	34.919	49.264	76.375	1.721.841
2004	1.682.167	51.012	332.507	115.445	2.181.131
2005	1.334.189	51.476	857.899	133.889	2.377.453
2006	977.134	775	1.391.636	101.666	2.471.211
2007	767.368	3	1.936.931	99.539	2.803.841
2008	633.966	-	2.243.648	126.921	3.004.535
2009	385.756	-	2.541.153	97.846	3.024.755
2010	660.182	-	2.627.111	121.340	3.408.633
TOTAL	29.250.216	5.658.349	11.980.149	2.572.279	49.460.993

Fonte: ANFAVEA (2011)

A Figura 5 representa de forma gráfica a tendência histórica da produção de autoveículos leves no Brasil, de 1979 a 2010, apresentada na Tabela 2. É possível observar através desta figura o aumento considerável na produção de veículos bicompostíveis a partir 2003.

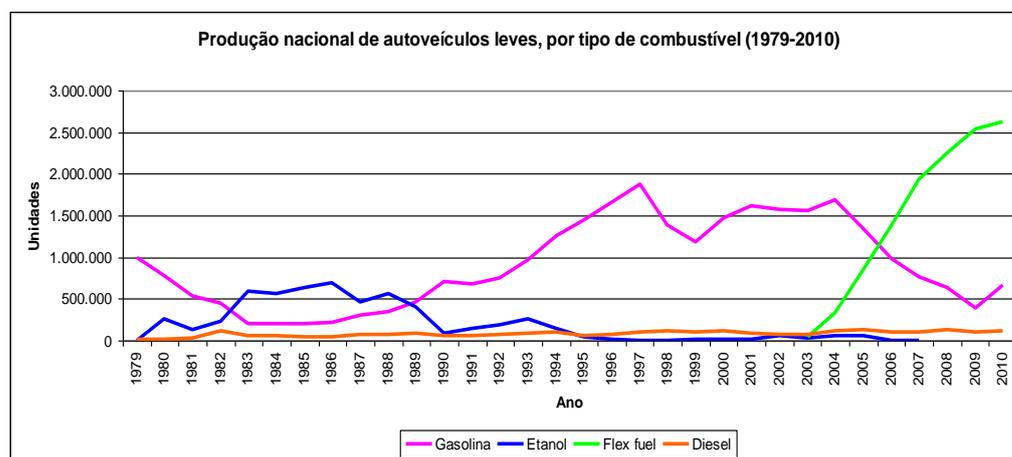


Figura 5 – Produção nacional de autoveículos leves, por combustível, de 1979 a 2010

Fonte: ANFAVEA (2011)

Dentre as várias partes do mundo onde é cultivada, a cultura da cana destaca-se em duas regiões com 82,3% de toda área plantada: Ásia e América do Sul. A América do Sul apresenta 43% de toda a cana cultivada no mundo, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Área colhida de cana-de-açúcar em diversas regiões do mundo, em 2010

Região do mundo	Área colhida (ha)	(%)
África	1.576.967	6,6
América do Norte	355.120	1,5
América Central	1.225.919	5,1
Caribe	594.173	2,5
América do Sul	10.238.418	43,0
Ásia	9.369.936	39,3
Europa	70	0,0
Oceania	454.573	1,9
Total	23.815.176	100

Fonte: FAOSTAT (2012)

Da cana-de-açúcar cultivada na América do Sul, 88,6% se localiza no Brasil, conforme apresenta a Tabela 4. Os demais países possuem áreas colhidas pouco representativas frente à produção brasileira.

Tabela 4 – Área colhida de cana-de-açúcar na América do Sul, em 2010

País	Área colhida (ha)
Argentina	355.000
Bolívia	163.704
Brasil	9.080.770
Chile	-
Colômbia	171.633
Equador	106.928
Ilhas Malvinas	-
Guiana Francesa	600
Guiana	48.300
Paraguay	100.000
Peru	76.983
Suriname	3.000
Uruguay	6.500
Venezuela	125.000
Total	10.238.418

Fonte: FAOSTAT, 2012

O Estado de São Paulo apresenta uma forte vocação para a cultura da cana sendo a segunda atividade do agronegócio (após a pecuária) em extensão territorial. Com exceção da pecuária extensiva, a área de cana é mais expressiva que todas as outras grandes culturas juntas, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Principais atividades agropecuárias no Estado de São Paulo

Atividade	Área (1000 ha)	Produção (1000 t)	Rendimento (t.ha ⁻¹)
Cana	5.712,12	429.579,60	83,65
Florestas plantadas*	1.206,82	-	39,45**
Milho (+ safrinha ²²)	843,01	4.404,36	4,91
Laranja	660,70	14.487,69	23,08
Soja (+ safrinha)	491,73	1.390,03	2,47
Café	223,02	296,00	1,41
Pecuária	9.200,00	11.197.697***	-

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011); Instituto de Economia Agrícola (2011); Paulino e Teixeira (2009); Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2011) - *Culturas de pinus e eucalipto - **média produtiva das culturas em m³/ha/ano - ***número de cabeças

De acordo com a Tabela 6, embora tenha havido um decréscimo na produtividade da cana, houve um aumento na área plantada, somente no Estado de São Paulo, de 3,1% da safra de 2008/2009 para a safra de 2009/2010.

Tabela 6 – A cana-de-açúcar no Estado de São Paulo

Área plantada (1000ha)		variação (%)
Safra 2008/2009	Safra 2009/2010	
5.538,92	5.712,12	+ 3,1
Produção (1000 ton.)		variação (%)
Safra 2008/2009	Safra 2009/2010	
423.087,22	429.579,60	+ 1,5
Rendimento (kg/ha)		variação (%)
Safra 2008/2009	Safra 2009/2010	
85.681	83.645	-2,4

Fonte: Instituto de Economia Agrícola (2011)

3.2.6 Zoneamento Agroambiental

Com o potencial de forte expansão da cultura no território brasileiro, foi criado em 2009 o Zoneamento Agroambiental. O objetivo deste zoneamento foi impedir que a cultura avançasse para regiões inadequadas ou com limitações ambientais para o seu cultivo, além de orientar e estabelecer (através de critérios pedológicos e edafoclimáticos) as regiões mais propícias ao cultivo da cana (MANZATTO et al., 2009).

O expressivo crescimento desta cultura fez com que a Comissão de Bioenergia, através da Secretaria do Meio Ambiente, criasse em 2007 o Zoneamento Agroambiental

²² A safrinha consiste no cultivo agrícola de uma determinada cultura com o objetivo de se obter uma produção complementar. Recebe este nome por conta da menor produção, uma vez que as condições de clima e pluviosidade para o cultivo naquela época também são menos favoráveis.

específico para o Estado de São Paulo. A metodologia do Zoneamento baseou-se na identificação de áreas adequadas ao cultivo da cana, áreas com limitações ambientais, áreas com restrições ambientais e áreas inadequadas. Através deste estudo foi possível visualizar que a expansão da cana no Estado de São Paulo vem ocorrendo do leste para o oeste. A parte leste apresenta condições pouco favoráveis, a parte central já apresenta uma ocupação significativa da cultura e a parte oeste, apresenta condições favoráveis à expansão: clima, áreas adequadas e outras atividades agropecuárias que podem eventualmente ceder espaço à cultura da cana. A Figura 6 apresenta o zoneamento para o Estado de São Paulo.

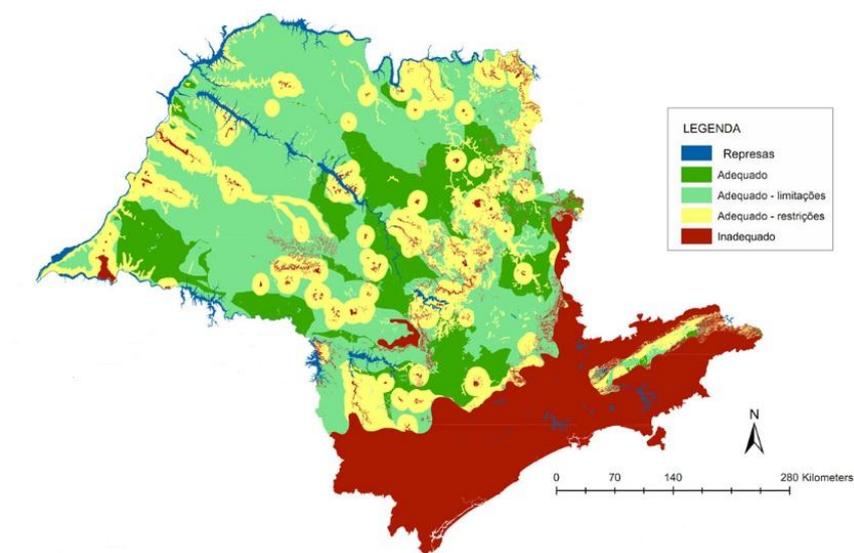


Figura 6 – Zoneamento agroambiental para o Estado De São Paulo

Fonte: Adaptado de Secretaria do Meio Ambiente (2012)

A seguir são transcritas as características de cada identificação para o Zoneamento agroambiental, de acordo com a Secretaria de Meio Ambiente (2012) do Estado de São Paulo:

Área adequada: corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para o desenvolvimento da cana-de-açúcar e sem restrições ambientais específicas;

Área adequada com limitação ambiental: corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para a cultura da cana-de-açúcar e incidência de Áreas de Proteção Ambiental (APAs); áreas de média prioridade para incremento da conectividade, conforme indicação do Projeto BIOTA-FAPESP; e bacias hidrográficas consideradas críticas;

Área adequada com restrições ambientais: corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para o desenvolvimento da cana-de-açúcar e com incidência de zonas de amortecimento das Unidades de Conservação de Proteção Integral – UCPI; as áreas de alta prioridade para incremento de conectividade indicadas pelo Projeto BIOTA-FAPESP; e áreas de alta vulnerabilidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, conforme publicação IG-CETESB-DAAE, 1997;

Área inadequada: corresponde às Unidades de Conservação Integral – UCPI estaduais e federais; aos fragmentos classificados como de extrema importância biológica para conservação, indicados pelo Projeto BIOTA-FAPESP para a criação de Unidades de Conservação de Proteção Integral – UCPI; às zonas de vida silvestre das Áreas de Proteção Ambiental – APAs; às áreas com restrições edafoclimáticas para cultura da cana-de-açúcar e áreas com declividade superior a 20%.

3.2.7 Agroindústrias

As agroindústrias são as unidades industriais responsáveis pelo processamento da cana-de-açúcar em combustível (etanol) e/ou açúcar. De acordo com a União dos Produtores de Bioenergia (2011), o Brasil conta hoje com 413 usinas sucroalcooleiras, sendo que 297 são mistas (produzem etanol e açúcar em suas unidades), 11 são produtoras exclusivas de açúcar e 103 exclusivas de etanol. Duas unidades (uma de Goiás e uma do Espírito Santo) não foram contabilizadas neste levantamento.

Como pode ser observado na Figura 7, há 183 usinas sucroalcooleiras (ou 44% do total) no Estado de São Paulo. Os pólos de processamento desta matéria-prima são o Sudeste e o Nordeste, embora a região Centro-Oeste comece a despontar como importante produtora de cana-de-açúcar.

De acordo com a União dos Produtores de Bioenergia – UDOP (2011) há 12 usinas em projeto de instalação no Estado de São Paulo.

As unidades sucroalcooleiras mais próximas à área do presente estudo são a Nova Era (Ibaté), Raízen - Unidade da Serra (Ibaté), Ipiranga (Descalvado) e São Pedro (Pirassununga).

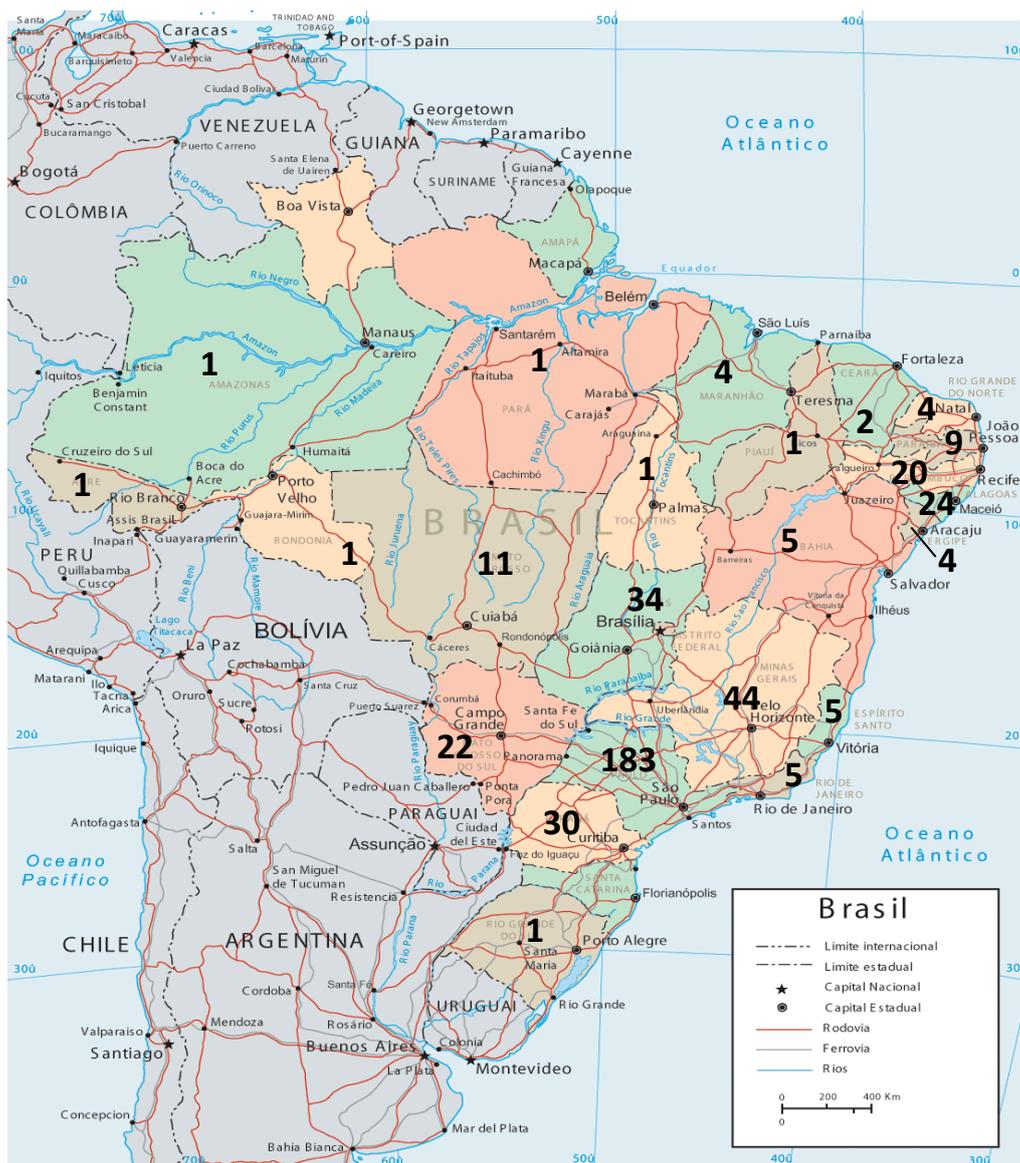


Figura 7 – Agroindústrias sucroalcooleiras no Brasil

Fonte: Modificado de Agência Nacional de Águas (2007)

3.2.8 O futuro da cana

De acordo com Crestana (2011), um relatório emitido pela OECD e FAO aponta, para o ciclo de 2011-2020, uma alta de 50% no preço do etanol. O mesmo autor afirma ainda que nos EUA, 40% do milho produzido é destinado à produção de etanol.

Conforme estimativas do Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento (2011), a área de plantio de cana no Estado de São Paulo, considerando os biênios de 2010/2011 e 2020/2021, deverá sofrer um aumento de 29,2%, passando a ser plantada em aproximadamente 6,7 milhões de hectares. A produção deve acompanhar essa variação (30%)

e a safra canavieira de 2020/2021 pode chegar às 574 milhões de toneladas. Além de São Paulo, os outros estados federativos citados na Tabela 7 apresentam essa marca crescente.

Tabela 7 – Estimativa da área e produção de cana-de-açúcar em 2020/2021 para alguns Estados brasileiros

Estados Federativos	Área plantada (1000 ha)			Produção (1000 ton.)		
	2010/2011	2020/2021	Variação (%)	2010/2011	2020/2021	Variação (%)
Goiás	624	885	+ 41,8	52.086	74.010	+ 42,1
Minas Gerais	783	975	+ 24,5	64.307	82.667	+ 28,6
Mato Grosso	236	299	+ 26,7	16.551	21.579	+ 30,4
Paraná	659	839	+ 27,3	55.628	71.935	+ 29,3
São Paulo	5.172	6.682	+ 29,2	441.881	574.429	+ 30

Fonte: AGE/MAPA e SGE/Embrapa citadas pelo Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento (2011b)

3.2.9 Etanol de segunda geração

O etanol de segunda geração (ou etanol lignocelulósico) é aquele obtido através do aproveitamento do bagaço da cana, pontas e parte das palhas. Aparas de madeira, sabugo de milho e outras partes vegetais também podem ser utilizadas para tais fins. O processo (químico) de obtenção do etanol de segunda geração consiste na quebra de moléculas destes materiais, conhecida como hidrólise. Esta técnica ainda não é dominada no território brasileiro, embora haja pesquisas sendo desenvolvidas com a cooperação científica da FAPESP e o envolvimento de empresas particulares, pesquisadores de universidades (USP, UNICAMP) e órgãos do governo, como a Embrapa e o Ministério de Ciências e Tecnologia (MARQUES, 2009).

Uma mesma área pode apresentar um incremento na produção entre 30 e 40% (PACHECO, 2011). Em outras palavras, mesmo que haja um aumento na demanda pelo uso do etanol, o ganho de rendimento garantido por tal tecnologia (aliado às já existentes) pode dar espaço a outras culturas. Ou mesmo, o investimento que seria destinado à implementação de novas áreas de cultivo pode ser empregado na melhoria das áreas já existentes.

3.2.10 Bioplástico

Visando a substituição gradativa de produtos plásticos à base de derivados de petróleo, o governo em parceria com as indústrias, vem buscando alternativas mais sustentáveis e menos agressivas ao meio ambiente. O Laboratório Nacional de Biociências (LNBio), ligado

ao Ministério de Ciências e Tecnologia, em parceria com a Braskem, está realizando pesquisas no desenvolvimento de biopolímeros também conhecidos como polímeros verdes, polietileno verde, bioplástico e plástico verde (LABORATÓRIO NACIONAL DE BIOCIÊNCIAS, 2010).

Tal produto é desenvolvido através de material 100% proveniente da cana-de-açúcar e já teve adesão de grandes corporações comerciais, como a Coca-Cola, Johnson&Johnson, Danone, Tetra-Pak e Natura, entre outras, no desenvolvimento de embalagens (BRASKEM, 2012).

3.2.11 Vantagens da cultura da cana-de-açúcar

Entre os ganhos que a cana-de-açúcar traz, podem ser citados:

- Matéria-prima quase que totalmente aproveitável: gera produtos para consumo e uso (álcool, açúcar e aguardente), e uma série de subprodutos que podem ser reutilizados, como bagaço, torta de filtro, melaço, vinhaça, óleo fúsel, álcool bruto e levedura seca (ALCARDE, 2012);
- Geração de empregos diretos e indiretos;
- Aquecimento do mercado interno agrícola, com a venda de variedades, fertilizantes, herbicidas, praguicidas, ferramentas e maquinário agrícola;
- Competitividade no mercado mundial de etanol;
- Produção de um combustível menos poluente, dado o seu ciclo produtivo e a captura de dióxido de carbono da atmosfera;
- Alta produtividade por área, garantindo assim um volume maior de etanol ou açúcar produzido por unidade de área, se comparada à beterraba ou ao milho, por exemplo.

3.2.12 Vantagens do etanol da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar apresenta uma série de vantagens em relação a outras culturas agrícolas das quais também se extrai o etanol (milho, uva, beterraba e mandioca). Das culturas citadas, o milho é a que mais se aproxima da cana em termos competitivos. Em seu artigo, Gubisich (2011) destaca as qualidades e comparações da cana, sobretudo em relação ao etanol de milho produzido nos EUA. O primeiro ponto refere-se ao tempo de fermentação do etanol. No Brasil são necessárias cerca de 9 horas para a fermentação do etanol, enquanto

que nos EUA o tempo de fermentação para o etanol do milho é de aproximadamente 36 horas. O autor ressalta o balanço energético superior da cana: com uma unidade de energia fóssil é possível produzir 8 vezes mais energia com a cana, se comparada ao milho. Esse diferencial deve-se ao fato de o bagaço ser reaproveitado para ser queimado e gerar eletricidade nas usinas de cana, que além de consumirem parte dessa energia, vendem o excedente ao Sistema Elétrico Nacional. Outra questão, que aparece na Tabela 8 é a produção por unidade de área. A cultura da cana apresenta-se novamente com uma marca superior ao milho. Vale ressaltar que os dados de área plantada e produção são referentes ao ano de 2006.

Tabela 8 – Características comparativas da cultura da cana em relação às culturas do milho e da beterraba

Item	Cana-de-açúcar (Brasil)	Milho (EUA)	Beterraba (Europa)
Balanço energético*	8,1 - 10	1,4	2
Custo de produção (€/100 litros)**	14,48	24,83	52,37
Redução de CO ₂ em relação à gasolina (%)***	84	30	40
Produção total (bilhões de litros)	22,5	34	2,7
Área plantada (milhões de hectares)	3,4	8,13	0,49
Rendimento (litros/hectare)	6471	4182	5500

*Valor energético de 1 litro de etanol dividido pela energia fóssil consumida na produção;

Fonte: Goldemberg/Macedo et al. (2008); World Watch Institute (2006); **Henniges, O.; Zeddies, J. Competitiveness of Brazilian etanol in the EU (2004); *** Doornbosh e Steenblik (2007)

Fonte: World Watch Institute (2006)

3.2.13 Os entraves da expansão da cultura da cana-de-açúcar

De acordo com Nogueira-Neto (1994), a Revolução Verde (ocorrida nas décadas de 60 e 70) garantiu um ganho representativo na produtividade das culturas agrícolas. Trouxe junto a falsa sensação de que essas culturas alcançariam produtividades cada vez maiores, contínua e sucessivamente. No entanto, como ressaltou o autor, não existe crescimento material infinito e a produtividade de qualquer cultura agrícola é dependente da produção de matéria orgânica, que por sua vez é dependente da clorofila, pigmento responsável pela realização da fotossíntese. A quantidade destes pigmentos por área de folha é finita e sua limitação restringe, em um dado momento, a produtividade máxima que uma cultura agrícola pode alcançar, mesmo considerando melhorias como adubação, irrigação e outros tratamentos culturais.

A expansão da cultura da cana-de-açúcar acarreta na perda de área de alguma outra atividade agropecuária. Dentro do Estado de São Paulo essa expansão vem ocorrendo da região leste para a região oeste e tomando o espaço de áreas de pastagens ou até de culturas como milho, citros, manga, soja, café e feijão, que também sofreram uma redução em sua área cultivada, no período de 1996-2008. Não se pode afirmar com certeza quais áreas foram

subtraídas em detrimento da cultura da cana, pois neste período houve também, no estado, um incremento em área para as culturas de trigo, mandioca e seringueira (CAMARGO; CAMARGO; CAMARGO FILHO., 2011).

Peplow (2005) afirma que a reputação do etanol como “combustível ambientalmente amigo” já não existe mais, e que as plantações em larga escala como as culturas de milho e cana, empregadas para a obtenção de etanol, estão causando sérios danos ao planeta. Além da redução da biodiversidade, a cana provoca a erosão dos solos, queimadas (que por lei devem ser totalmente banidas no Estado de São Paulo até 2017), gasto de água em todo o processo produtivo e industrial (que por conta do avanço tecnológico vem diminuindo consideravelmente), emissões de CO₂ provenientes da produção de fertilizantes e do transporte da matéria-prima até as usinas, entre outros.

A cultura da cana traz problemas ambientais. Se for traçado um paralelo com os grandes problemas ambientais do mundo (DIAMOND, 2006a.) pode-se observar, através da Tabela 9, que a cana-de-açúcar está ligada direta ou indiretamente à quase totalidade deles.

Tabela 9 – Grandes problemas ambientais do Mundo e sua relação com a cana-de-açúcar

Os problemas ambientais	Relação com a cana-de-açúcar
Destruição de <i>habitats</i> naturais para diversos usos: cidades, estradas e agropecuária, entre outros.	DIRETA – A cultura da cana-de-açúcar ocupa hoje um lugar de destaque em área plantada no mundo.
Queda no estoque de alimento selvagem: peixes e mariscos	---
Perda de diversidade genética e extinção de espécies.	DIRETA – A monocultura traz um empobrecimento generalizado à região onde é implantada, tomando áreas naturais que antes abrigavam espécies vegetais e animais daquele <i>habitat</i> .
Erosão do solo.	DIRETA – Embora haja técnica suficiente para o controle da erosão do solo, o manejo intensivo que a cultura requer faz com que a cana apresente uma das maiores taxas de erosão entre as atividades agropecuárias.
As maiores fontes de energia do mundo utilizadas pelas sociedades industriais são os combustíveis fósseis. Embora haja reservas provadas e prováveis para mais algumas décadas, sua extração torna-se cada vez mais onerosa, sendo o custo repassado ao consumidor.	DIRETA – A atual expansão da cultura vem como uma alternativa, sobretudo, de combustível (em relação à gasolina) para o aumento e a manutenção da frota mundial de veículos.
A maior parte da água doce, disponível em rios, lagos e aquíferos está sendo utilizada para agricultura (sobretudo), uso doméstico e industrial.	DIRETA – A cultura cana usa pouca água na produção, sendo empregada a irrigação de salvação ²³ e a irrigação suplementar, feita em épocas críticas de desenvolvimento vegetal ou de déficit hídrico regional. A indústria tem melhorado continuamente, diminuindo o consumo de água no processo de obtenção do etanol e do açúcar.
A capacidade fotossintética das plantas é limitada.	DIRETA – Embora ainda haja áreas para expansão da cultura da cana, estão sendo buscadas inovações

²³ É feita após o plantio da cana para que seja garantida a brotação da mesma.

Os problemas ambientais	Relação com a cana-de-açúcar
	tecnológicas (como o etanol de segunda geração) para o incremento de produtividade da cultura em áreas já plantadas.
A indústria química e outras indústrias liberam substâncias que, muitas vezes, degradam-se lentamente e poluem os meios físicos, contaminando seres vivos.	DIRETA – Além de um possível aporte de nutrientes e substâncias provenientes da erosão hídrica, a vinhaça é um subproduto gerado em grande quantidade pela agroindústria de cana, sendo utilizada para irrigação de canaviais. Tem sido apontada nas últimas décadas como uma fonte séria de poluição de lençóis freáticos e aquíferos.
Algumas espécies exóticas causam danos liberando substâncias e impedindo que outras possam se desenvolver naturalmente.	INDIRETA – A cana não apresenta substâncias alelopáticas ²⁴ . Mas trata-se de uma espécie exótica introduzida no Brasil, no século XVI. Sua ampliação no país incorre na diminuição da probabilidade de que estas áreas sejam naturalmente recompostas.
As atividades humanas liberam gases que alteram sensivelmente a composição da atmosfera trazendo desdobramentos como as mudanças climáticas.	DIRETA – Embora seja encarada como uma atividade que compensa as emissões de gases de efeito estufa através da captura do carbono atmosférico (fotossíntese), a cultura da cana envolve uma logística complexa de máquinas pesadas (movidas a diesel) em todo o processo, desde o preparo do solo até a entrega das matérias-primas (açúcar e etanol) em seus locais de destino.
Aumento da população mundial.	DIRETA – O aumento na população mundial incorre no aumento de consumo de açúcar e combustível.
Mais que o número de pessoas que habitam o planeta, o impacto de um pequeno grupo causa os maiores danos e é responsável pela maior demanda de energia e insumos.	DIRETA – O aumento do poder aquisitivo faz com que as pessoas consumam mais. A maior demanda por combustível é um reflexo do aumento de poder aquisitivo.

Fonte: Adaptado de Diamond (2006a)

Pode-se notar que a cultura da cana é bastante presente, por um lado, nos benefícios trazidos com divisas, criação de oportunidades e produção de matérias-primas de grande importância, mas também traz a reboque problemas ambientais. Destaca-se neste caso, a erosão do solo. Embora tenha havido um cuidado cada vez maior de terraceamento²⁵ da cultura e plantio em nível, há uma estimativa de perda de solo para linhas e entrelinhas próxima ao período de plantio e desenvolvimento inicial da cultura que não pode ser desconsiderada. Além disso, os carregadores que entremeiam a cultura e fazem seu perímetro, ficam constantemente expostos a chuvas, sol, ventos e revolvimento de sua superfície por conta do trânsito de veículos pesados.

²⁴ Substâncias produzidas por um vegetal específico que inibem parcial ou totalmente o desenvolvimento de outras espécies naquele local.

²⁵ Técnica de manutenção do solo na qual (dependendo da topografia e do tipo de solo) há um revolvimento de terra, que forma barreiras em nível para o controle de erosão. Quanto maior a declividade de um terreno, maior o número necessário de terraços.

3.3 Erosão

3.3.1 Solo – Origem e Formação

Conforme Caputo (1978) relata, os solos são materiais resultantes do intemperismo das rochas, seja por desintegração mecânica (através de agentes como a água, vento, vegetação e temperatura) ou decomposição química (tendo como principal agente a água e, como mecanismos de ataque, a oxidação, hidratação, carbonatação e efeitos químicos da vegetação). Geralmente tais processos atuam de forma simultânea, podendo um se sobrepor ao outro em determinados locais sob determinadas condições climáticas.

“O solo é um material constituído por um conjunto de partículas sólidas, deixando entre si, vazios que poderão estar parcial ou totalmente preenchidos pela água” (CAPUTO, 1978).

Segundo Prado (1991), o solo, do ponto de vista agrícola, “tem a função de sustentar as plantas, fornecer-lhes nutrientes, água e ar para que se complete o seu ciclo vital”.

3.3.1.1 Perfil do solo

Ao se fazer um corte em um trecho de solo (em largura e profundidade), pode-se reparar que sua parede apresenta gradientes horizontais diferenciados com cores e características distintas. Cada gradiente desses é um horizonte e seu conjunto forma o perfil daquele solo. A primeira camada (conhecida como “horizonte A”) apresenta uma espessura que varia de 20 a 50 centímetros e carrega parcialmente a matéria orgânica (M.O.) e os minerais contidos no solo. Nesta camada, há o desenvolvimento quase que total das raízes, por conta da aeração do solo e presença de nutrientes demandados pelos vegetais. Logo abaixo, há o “horizonte B”, mais duro e compactado, às vezes impermeável, correspondendo ao sub-solo. Abaixo do sub-solo há o “horizonte C”, formado pela rocha não decomposta. Esta última é a responsável pela formação do solo, que em um processo de milhares de anos, através de sua desagregação lenta combinada com fatores climáticos irá um dia gerar a camada fértil na qual se cultivam os vegetais que servem de alimento (MALAVOLTA, 1989).

O mesmo autor apresenta uma figura comparativa na qual pode ser observada a evolução de perda de fertilidade de um solo virgem, 20 anos após seu uso intensivo, sem reposições de nutrientes ou cuidados com o combate à erosão (Figura 8).

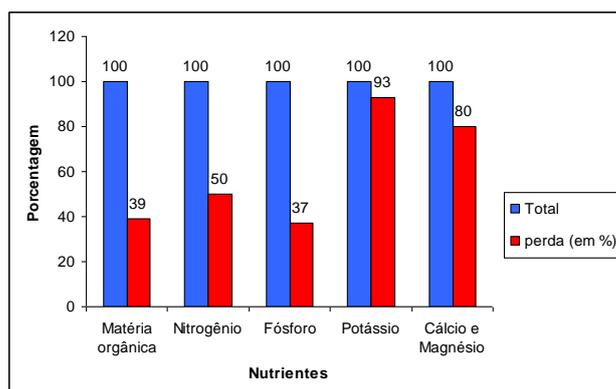


Figura 8 – Perda de fertilidade em solo virgem após 20 anos de uso, sem cuidados com reposição de nutrientes ou manutenção contra erosão do solo

Fonte: Malavolta (1989)

3.3.1.2 - Análise granulométrica

Os constituintes do solo podem ser de natureza sólida, líquida ou gasosa. Aqueles de natureza sólida podem ser compostos minerais ou orgânicos. Os de natureza líquida e gasosa ocupam o espaço poroso entre as partículas constituintes da fase sólida. A fase sólida é representada pelas frações de areia, silte e argila, conforme demonstra a Tabela 10. As diferentes porções destes constituintes irão caracterizar a granulometria do solo, também conhecida como textura (PRADO, 1991). A escala granulométrica apresenta algumas pequenas variações, entre autores.

Tabela 10 – Escala granulométrica de acordo com diferentes autores

Fração sólida	<i>US Bureau of soils</i>	Internacional (Atterberg, 1905)	M.I.T (1931)	ABNT (1945)	ASTM
	Diâmetro (mm)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (mm)
Areia grossa	1 - 0,05	2 – 0,2	2 – 0,6	2 – 0,4	4,75 – 2,0
Areia média		-	0,6 - 0,2	-	2 – 0,425
Areia fina		0,2 – 0,02	0,2 – 0,06	0,4 – 0,05	0,425 – 0,075
Silte	0,05 – 0,005	0,02 – 0,002	0,06 – 0,002	0,05 – 0,005	0,075 – 0,005
Argila	Abaixo de 0,005	Abaixo de 0,002	Abaixo de 0,002	Abaixo de 0,005	Abaixo de 0,005

Fonte: Vargas (1977)

De acordo com Teixeira Netto (1980), para a quantificação de argila e silte em uma amostra, recorre-se a medidas baseadas na velocidade de decantação das partículas em um meio fluido, considerando as anotações com base na lei de Stokes e o uso de um densímetro para a leitura. Ainda para aferição das partículas finas, o autor relata que a medição deste material pode ser feita com um picnômetro²⁶ ou medidor eletrônico da densidade da suspensão. Cita ainda que a técnica mais comum e acurada faz uso de uma pipeta com a qual é succionado um pequeno volume do material suspenso, o qual é evaporado e pesado, fornecendo assim o peso do material que ficara suspenso após um determinado tempo. Já para a quantificação de areia, recorre-se ao peneiramento. O autor ainda cita outras duas técnicas de medição: tubos de decantação e medidas diretas em lâminas delgadas.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984), a medida das partículas finas (argila e silte) segue o mesmo caminho descrito por Teixeira Netto (1980). No entanto, é usado um densímetro graduado para a leitura da sedimentação destas partículas. E também, para a leitura do material mais grosso (areia), a ABNT emprega o método do peneiramento.

A análise granulométrica de um solo tem como objetivo determinar as dimensões que o constituem e a porcentagem do peso total representada pelos grãos em vários intervalos de tamanhos (TERZAGHI; PECK, 1962). Segundo Wischmeier e Mannering²⁷(1969), Swanson, Dedrick e Weakly²⁸ (1969), Evans²⁹ (1980) e Young³⁰ (1980), citados por Vilar e Prandi (1992), a granulometria é a propriedade mais estudada para o estudo da erodibilidade de um solo. Os mesmos autores destacam ainda que os solos mais erodíveis são aqueles de comportamento granular, com as partículas na ordem dos siltes às areias finas e com pouca quantidade de argila. De uma forma geral, a presença de argila e matéria orgânica contribui para a formação de agregações mais estáveis e menos propensas à erosão (VILAR; PRANDI, 1992).

²⁶ Instrumento de medição da densidade de líquidos.

²⁷ Wischmeier, W.H.; Mannering, J.W. (1969). Relation of soil properties to its erodibility. Proc Soil. Soc. Am.,33, pp. 131-137.

²⁸ Swanson, N.P.; Dedrick, A.R.; Weakly, H.E. (1969). Soil particles and aggregates transported in runoff for simulated rainfall. Trans. ASAE, 8, 3, 437-440.

²⁹ Evans. (1980). Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical view point in soil erosion. Ed. Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C., John Wiley & Sons.

³⁰ Young, R.A. (1980). Characteristics of eroded sediment. Trans. ASAE, 23(5), 1139-1142.

3.3.2 Considerações gerais sobre os processos erosivos

3.3.2.1 Histórico da erosão

A erosão, doença mortal do solo, destrói sinistramente as camadas vivas da terra e nela instala sulcos e placas endurecidas e estéreis onde não se mantêm mais as raízes, nem as úteis bactérias, nem as plantas rasteiras, nem os grãos, nem as sementes que carregam em si o anúncio da vida.

Estas são as primeiras palavras do prefácio (assinado por Dante Costa) do livro “A erosão no Brasil” (BARROS, 1956), em uma época em que as pesquisas sobre a erosão do solo estavam dando os seus primeiros passos em todo o mundo. No entanto, já se sabia do poder destrutivo deste fenômeno que diminuía povos e enfraquecia grandes regiões.

A erosão do solo sempre existiu e vem modelando a superfície terrestre há bilhões de anos. A essa, dá-se o nome de erosão natural ou geológica. No entanto, a erosão acelerada (ou antrópica), proveniente da ação humana, tem causado um impacto mais visível e perigoso. As citações que seguem são referentes à erosão acelerada do solo.

Os relatos sobre a erosão dos solos e seus impactos são bastante antigos. Primavesi (1952) cita o desaparecimento de muitos povos por conta da forte degradação do solo (deve-se ressaltar que a erosão do solo foi um dos fatores para tal acontecimento). Segundo a autora, o povo do Egito antigo alicerçou sua riqueza nas terras férteis do Rio Nilo, hoje o deserto do Saara (região norte da África). Líbia, Argélia e Tunísia, que na época do Império Romano continham solos muito férteis, hoje apresentam áreas desérticas e solos bastante pobres. A mesma autora relata ainda que os ricos impérios dos Incas (região que hoje é a América do Sul), Astecas (hoje, México) e outros povos indígenas foram arruinados por conta do esgotamento do solo, dada a monocultura do milho.

Regiões desérticas ou semi-desérticas estão, em sua grande maioria, associadas a períodos longos de ocupação pelo homem. A ocupação humana e a devastação de áreas antes vegetadas, na maior parte das vezes, levam à erosão do solo e ao declínio de cidades ou aglomerações. Há uma relação direta entre as condições produtivas do solo e a prosperidade de uma população (LOWDERMILK, 1986).

A França veio sendo desmatada, desde a era gaulesa, passando pela idade média até meados do século XIX. O economista e político Auguste Blanqui, percebendo os danos que a erosão do solo vinha causando, buscou reverter o processo através da redação de um documento de alerta (entregue na época à Academia de Ciências Morais e Políticas). A terra arável vinha sendo destruída pelas torrentes (BARROS, 1956).

Nos planaltos de Loess, na China, desde 220 A.C. vem sendo registrada uma perda anual de solo de forma exponencial por conta da pressão demográfica (WEN³¹, 1993, apud MORGAN, 1997). Nas zonas montanhosas dos trópicos úmidos, mais precisamente no Himalaia e nos Andes, a pressão demográfica força a população a cultivar áreas marginais, provocando a erosão dos solos.

Barros (1956) cita que continentes como a América e a Austrália foram vítimas de conquistadores heróicos e afoitos (ao mesmo tempo), que visavam acima de tudo o lucro imediato. E por isso transformaram terras, devastando-as e trazendo mais casos de erosão do solo.

Diamond (2006a.) cita que um dos responsáveis pelo declínio de diversas civilizações foi a erosão do solo, desencadeada pelo desmatamento desenfreado e pelo esgotamento de nutrientes em terras antes férteis (que seriam mais tarde abandonadas para a ocupação de outras áreas mais férteis). O mesmo autor cita ainda que uma série de países vêm sofrendo atualmente com a erosão: China, Islândia e EUA, entre outros.

3.3.2.2 O ciclo hidrossedimentológico e a importância da erosão do solo

Para o estudo da erosão do solo, emprega-se a sedimentologia. O ciclo hidrossedimentológico é aquele que apresenta os deslocamentos de partículas sólidas e sua interação com o meio, em função da ação da água. De acordo com Bordas e Semmelmann (1993), as fases distintas deste ciclo podem ser definidas como: desagregação, erosão, transporte, decantação, depósito e consolidação de sedimentos. Cabe destacar que no presente estudo somente a etapa da erosão (ou produção de sedimento) será o foco de pesquisa.

Cerca de 99% da oferta de alimento vem da terra, associada à água doce. Por conta deste número, a erosão provocada pela água da chuva e o vento são ameaças à produtividade do solo e, conseqüentemente, à sociedade (PIMENTEL³² et al., 1992, apud PIMENTEL et al., 1997). Aproximadamente 80% da área de solo agricultável do mundo sofre de moderado a severo processo de erosão. E 10% apresenta de leve a moderada erosão do solo (SPETH³³, 1994, apud PIMENTEL et al., 1997). Lavouras e pastagens são suscetíveis à erosão. No entanto, as lavouras se apresentam mais suscetíveis em relação a áreas com pastagens, pois

³¹ Wen, D. (1993). Soil erosion and conservation in China. In: D Pimental (Ed.), World soil erosion and conservation. Cambridge, Cambridge University Press: 63-85.

³² Pimentel, D.U.; Stachow, D.A.; Takacs, H.W.; Brubaker, A.R.; Dumas, J.J.; Meaney, J.; O'Neil, D.E.; Osni and D.B.; Corzilius. (1992). Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience* 42: pp. 354-362.

³³ Speth, J.G. (1994). Towards an Effective and Operational International Convention on Desertification. New York: United Nations, International Convention on Desertification, International Negotiating Committee.

com frequência o solo é exposto e revolvido, ficando sem cobertura e sofrendo assim com as ações do vento e da chuva. A perda de solo (através do processo erosivo) e água (por consequência da menor infiltração e maior escoamento superficial) têm causado, no mundo, um prejuízo anual de aproximadamente U\$ 400 bilhões.

No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas (2009), estima-se que a perda de nutrientes carregados por erosão traga um prejuízo de R\$ 7,9 bilhões/ano. Se, somados a isso, forem contabilizados “o efeito da erosão na depreciação da terra e outros custos tais como conservação de estradas, tratamentos de água e redução da vida útil de reservatórios”, este prejuízo seria de R\$ 13,3 bilhões/ano. Quanto maior for a exposição do solo, maiores serão os riscos de erosão.

Zoccal (2007) estima que 80% da área cultivada do Estado de São Paulo esteja sofrendo algum processo erosivo, causando uma perda de 200 milhões de toneladas de solo, anualmente. Hernani³⁴ et al. (2002), citado por Ahrens (2005), relatou que no início da década de 90, perdia-se no Brasil, anualmente, em média, 600 milhões de toneladas de solo (por conta do mau uso e de erosões). Deste montante, 70% chega, na forma de sedimentos, nos mananciais e corpos d’água, causando assoreamento e poluição.

Os processos de erosão, transporte e sedimentação dos solos vêm ocorrendo através das eras geológicas e auxiliam no modelado (montanhas, vales e planícies) do mundo atual. No entanto, a ação humana catalisou esses acontecimentos e hoje as taxas de erosão são 100 vezes maiores, por conta da ação antrópica, do que seriam se fosse apenas considerada a ação geológica (CARVALHO, 2008). O mesmo autor afirma ainda que:

[...] a erodibilidade do material natural recebe forte interferência de perturbações na estrutura do solo por tratamento inadequado, seja em práticas agrícolas ou em uso para obras de engenharia. A camada protetora do solo (vegetação) é enfraquecida por fogo, corte, aração³⁵, etc. Além de produzir sedimentos de forma prejudicial, a erosão causa sérios prejuízos às terras agricultáveis, reduzindo a fertilidade e produtividade do solo.

3.3.2.3 Erosão – conceito geral

É suficiente uma imprudência, uma exploração irrefletida para desencadear um processo irreversível que muito rapidamente faz desaparecer um capital biológico cujo acúmulo custou um tempo mil vezes maior que o tempo que dura a sua destruição. (VLAENDEREN³⁶, 1953, apud BARROS, 1956).

³⁴ Hernani, L.C.; Freitas, P.L. de.; Pruski; De Maria, I.C.; Landers, J.N. (2002). A erosão e seus impactos. In: Manzatto, C. V.; Freitas Junior, E. de; Peres, J.R.R.; Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, pp. 47-60.

³⁵ Ato de arar a terra, com auxílio de trator e grade de arado. O objetivo desta atividade é revolver superficialmente a terra para a remoção de plantas daninhas.

³⁶ Vlaenderen, A.J.P. Van. (1953). “L’Erosion, Facteur important en Agriculture”, In: Problèmes d’Afrique Centrale, n.22.

Entende-se por erosão a “ [...] separação e remoção da partícula da rocha e do solo, pela ação da água, do vento ou por outro efeito, sendo que diversos fenômenos têm ação preponderante neste processo” (CARVALHO, 2008). Fendrich et al. (1997) conceituam erosão como sendo “[...] a desagregação, transporte e deposição dos materiais dos horizontes superficiais e profundos do solo, provocando o seu rebaixamento”. Os mesmos autores afirmam que esta se inicia na parte superficial, aprofundando-se até encontrar rocha ou uma camada consolidada de solo.

3.3.2.4 Formas, tipos e agentes erosivos

A água, o vento, a gravidade, o gelo e os agentes biológicos (como a ação humana, por exemplo) são os principais agentes dinâmicos externos da erosão.

Basicamente, há duas formas de erosão dos solos: geológica e acelerada. A Tabela 11, distingue cada uma.

Tabela 11 – Formas de erosão e suas principais características

Forma de erosão	Características
Erosão geológica (ou também erosão natural ou normal)	Ocorre sem a intervenção humana, em condições naturais ou não perturbadas.
Erosão acelerada (ou também antrópica ou induzida pelo Homem)	É o aumento da taxa de erosão sobre a erosão geológica. Sua causa é provocada pelo uso e ocupação do solo com novas atividades sobre a cobertura vegetal, como desmatamentos, atividade pecuária, culturas agrícolas e queima de restos vegetais, entre outros.

Fonte: Carvalho (2008); Fendrich et al. (1997)

Agentes erosivos

Os agentes erosivos são elementos do meio físico que provocam a erosão. Estes agentes podem ser ativos ou passivos, conforme demonstra a Tabela 12:

Tabela 12 – Agentes erosivos

Agentes erosivos	
Ativos	Passivos
Água	Topografia
Temperatura	Gravidade

Agentes erosivos	
Ativos	Passivos
Insolação	
Vento	Tipo de solo
Gelo	
Neve	Cobertura vegetal
Ação de microorganismos	
Ação de animais	Formações superficiais
Ação humana	

Fonte: Carvalho (2008)

Tipos de erosão

A tabela 13 apresenta os tipos de erosão existentes:

Tabela 13 – Tipos de erosão

Tipos de erosão							
Erosão devido a sais solúveis ou de minerais	Eólica	Fluvial	Hídrica superficial	Remoção em massa		Ação humana ou de animais	Eventos extremos
Decomposição de materiais solúveis pela ação da água	Poeira	Escavação	Pluvial ou por embate	Lenta	Rastejo, rastejamento ou cripe	Obras diversas	Enchentes
	Transporte pelo ar	Erosão de margem	Em lençol ou laminar		Solifluxão	Desmatamentos	Terremotos
	Transporte na superfície	Erosão de leito	Por escoamento difuso, por ravina, sulcos ou dedos	Rápida	Desprendimento de terra ou deslizamento	Agricultura, por aração de solos	Vulcanismos
			Por escoamento difuso intenso		Escorregamento superficial ou ruptura de talude	Pecuária, com o pisoteio de gado	Tornados e outros
			Por escoamento concentrado (voçoroca)		Escorregamento profundo		Variabilidade climática

Fonte: Carvalho (2008)

3.3.3 Erosão hídrica

Embora todos os tipos de erosão tenham a sua importância e sejam impactantes, as pesquisas no presente trabalho serão voltadas para os efeitos da erosão hídrica provocada pela

chuva natural: erosão hídrica pluvial. Essa ocorre através do embate das gotas da chuva sobre a superfície terrestre. Quando a superfície está descoberta, ocorre uma desagregação de partículas, as quais podem ser projetadas, deslocando-se do lugar de origem (erosão por embate). Mafra (2010) conceitua erosão hídrica como sendo “basicamente uma série de transferências de energia e matéria geradas por um desequilíbrio do sistema água/solo/cobertura vegetal, as quais resultam numa perda progressiva do solo”.

A erosão em lençol (ou erosão laminar) ocorre durante as fortes precipitações, quando o solo superficial infiltrou água além de sua capacidade e já está saturado. A partir deste ponto, começa a haver um desgaste suave e uniforme em toda a extensão do terreno. Há casos em que, por conta da variação de declividade de terreno, formam-se pequenos canais. Este tipo de erosão, considerado um estágio mais avançado da erosão laminar, é conhecido como erosão em córregos e ocorre em solos maleáveis, arados e principalmente aqueles com alto teor de silte. Ocorre também em terrenos com declividades a partir de 4% (FENDRICH et al., 1997).

3.3.3.1 Erosão em função da intensidade de chuva

De acordo com Roose³⁷ (1967) citado por Morgan (1997), estudos experimentais aplicados no Senegal mostram que (entre 1959 e 1963), 68% do solo perdido foi decorrente de eventos chuvosos entre 15 e 60 mm e estes eventos teriam uma frequência de 10 vezes por ano. Já os estudos de Morgan, Martin e Noble³⁸ (1986), citados por Morgan (1997) em *Bedfordshire* (Inglaterra), indicaram que no período entre 1973 e 1979, 80% da erosão foi decorrente de 13 eventos, embora a maior perda de solo (21%) tenha sido registrada por conta de um evento de 57,2 mm.

Edwards e Owen³⁹ (1991) citados por Morgan (1997) analisando dados de 28 anos de 9 pequenas bacias hidrográficas que receberam cultivo em rotação (de 4 anos) com as culturas de milho-trigo-pastagem-pastagem, em *Coshocton, Ohio* (EUA), observaram que os três maiores eventos, com períodos de retorno superiores a 100 anos foram responsáveis por 52% da erosão, sendo 92% das perdas relacionadas à época em que a cultura do milho era desenvolvida.

³⁷ Roose, E.J. (1967). Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *L'Agronomie Tropicale* 22: 122-52.

³⁸ Morgan, R.P.C.; Martin, L; Noble, C.A. (1986). Soil erosion in the United Kingdom: a case study from mid-Bedfordshire. *Silsoe College Occasional Paper* N. 14.

³⁹ Edwards, W.M.; Owens, L.B. (1991). Large storm effects on total soil loss. *Journal of Soil and Water Conservation*. 46:75-8.

Fenômenos extremos podem também ter conseqüências de larga duração de tempo. Nossin⁴⁰ (1964), citado por Morgan (1997), relata que uma alteração da chuva equatorial unida às monções do noroeste provocaram em *Kuantan*, na Malásia, uma precipitação de 631 mm no dia 28 de dezembro de 1926, e 1.194 mm entre os dias 26 e 29, provocando enormes erosões e deslizamentos de terra. Os danos causados por tal evento poderiam ser notados até 35 anos mais tarde.

A erosão e a mudança de uso no solo estão fortemente relacionadas. Combinando as análises históricas e geomorfológicas fica comprovado que a erosão é um processo natural. No entanto, a distribuição de sua intensidade no tempo e no espaço são fatores resultantes da interação de circunstâncias físicas e humanas (MORGAN, 1997).

Davidson (2007) ao fazer uma releitura do livro “*Dirt: The erosion of civilizations*” de David R. Montgomery, relata em seu artigo que o tema (erosão dos solos) não poderia ser mais oportuno, considerando a recente e forte expansão em grande escala das culturas do milho (nos Estados Unidos) e da cana-de-açúcar (no Brasil), que têm suas produções divididas e disputadas entre os setores da energia e de alimentos. Tudo isso numa época em que os recursos globais são finitos e as áreas de solos aráveis (e de boa qualidade) cada vez menores. O mesmo autor cita que a fertilidade do solo, ou seja, o capital natural de uma região e a longevidade e prosperidade de uma civilização parecem caminhar juntos.

3.3.3.2 Efeitos da erosão

A erosão pode ser um fator determinante do sucesso ou declínio econômico de uma região. Carvalho (2008) afirma que regiões que num outro momento eram agrícolas e prósperas, e tiveram suas terras férteis degradadas devido à erosão, diminuíram sua população lentamente e viram sua economia declinar.

De acordo com Carvalho (2008) a erosão é o início de todos os problemas derivados do sedimento no meio ambiente. O primeiro e maior efeito danoso da erosão é a perda de fertilidade do solo. O mesmo autor cita uma série de problemas gerados por conta da erosão de solos. Dentre eles, podem ser destacados os seguintes:

- A erosão nas cabeceiras dos rios pode provocar a destruição das nascentes;
- O risco de desertificação é maior;

⁴⁰ Nossin, J.J. (1964). Geomorphology of the surroundings of Kuantan (Eastern Malaya). *Geologie en Mijnbouw*. 43:157-82.

- Nas regiões agrícolas ocorre a remoção da camada fértil, causando um empobrecimento do solo;
- O desprendimento e o escorregamento de terras e taludes podem ser ocorrências graves de diversas ordens causando danos, incluindo mortes;
- Pode modificar as condições de escoamento da água na superfície e na calha dos rios;
- Quando há desbarrancamentos em rios, estes têm a sua calha modificada ao ocorrer um depósito de material no leito;
- Por conta de enxurradas são produzidos sulcos em locais sempre indesejáveis;
- Há o caso de erosão em torno de estruturas, a qual pode provocar danos irreversíveis.

Pruski (2009) afirma que o escoamento superficial pode, ainda, carrear sementes e defensivos químicos que, além de provocar prejuízos econômicos à lavoura mais próxima, podem também causar a poluição de nascentes e corpos hídricos. Outro fato provocado pela erosão é o aumento na necessidade de uso de fertilizantes e corretivos do solo, o que demanda uma atividade maior de máquinas agrícolas.

3.3.3.3 Taxas de perda de solos

Expressa em volume (ou peso) de material erodido por unidade de área por unidade de tempo, a taxa de perda de solo (ou taxa de erosão) é aquela “para a qual o solo é erodido a partir de uma dada área” (FENDRICH et al., 1997).

De acordo com Morgan (1997), os efeitos *in situ* da erosão são particularmente importantes e evidentes nas regiões de cultivo agrícola. Nestas, há um decréscimo de fertilidade do solo, além da perda de umidade disponível, degradação de sua estrutura e arraste de material para leitos de rios e reservatórios.

Em relação à erosão, Rebouças, Braga e Tundisi (1999) afirmam que :

dependendo do tipo de solo, da declividade do terreno e do cultivo, chuvas com intensidade acima de um certo valor podem provocar uma erosão superficial no solo, carreando partículas sólidas, nutrientes naturais ou artificiais, empobrecendo ou mesmo destruindo o solo e degradando os corpos d'água.

Rebouças, Braga e Tundisi (1999) citam ainda uma relação de perdas anuais de solo para uma série de culturas agrícolas. Além destas, destacam a provável erosão de estradas periurbanas, categoria que mais se aproxima em características dos carregadores de cana, conforme apresenta a Tabela 14:

Tabela 14 – Perdas de solo associadas ao uso agrícola no Estado de São Paulo

Culturas	Perdas de solo (t.ha⁻¹.ano⁻¹)
Culturas anuais	
Algodão	24,8
Amendoim	26,7
Arroz	25,1
Feijão	38,1
Milho	12
Soja	20,1
Culturas temporárias	
Cana-de-açúcar	12,4
Mamona	41,5
Mandioca	33,9
Culturas permanentes	
Banana	0,9
Café	0,9
Laranja	0,9
Pastagem	0,4
Vegetação	0,4
Reflorestamento	0,9
Áreas críticas	
Estrada periurbana	175

Fonte: Adaptado de Telles⁴¹ (1999) apud Rebouças et al (1999)

O volume estimado de perda de solo em estradas periurbanas (estradas de terra) é expressivamente superior aos demais.

De acordo com Toy⁴² (1982) citado por Simões e Coiado (2003), o *United States Soil Conservation* estimou um limite para perda de solo em diferentes atividades, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Limite de perda de solo para algumas atividades

Atividade	Perda de solo (t.ha⁻¹.ano⁻¹)
Erosão geológica (erosão normal)	0,224 - 2,42
Atividades agricultáveis	11,2
Atividades de urbanização	226
Construção de estradas	338

Fonte: Toy (1982) apud Simões e Coiado (2003)

Simões e Coiado (2003) citam ainda que Pontes⁴³ (1977) estimou a potencialidade da erosão acelerada considerando uma escala que varia de 0 a 1, onde o maior valor representaria

⁴¹ Telles, D.D.A. (1999). Água na Agricultura e Pecuária. Cap. 9, Quadro 15, p. 331.

⁴² Toy, J.J. (1982). Accelerated erosion: process, problems, and prognosis. *Geology*, 1982. 10: 524-529.

⁴³ Pontes, A.B. (1977). Controle de erosão na região noroeste do Estado do Paraná. Rio de Janeiro, Ministério do Interior, Departamento Nacional de Obras e Saneamento.

um maior equilíbrio e menor produção de sedimento. Tal estimativa foi feita para conversão de floresta natural para diferentes atividades, conforme Tabela 16.

Tabela 16 – Índice potencial de erosão conforme a ocupação do solo

Ocupação original	Nova ocupação	Índice de potencial de erosão
Floresta natural	Relorestamento	0,90
Floresta natural	Pastagem	0,45
Floresta natural	Agricultura	0,22
Floresta natural	Estradas e cidades	0,15

Fonte: Simões e Coiado (2003)

Para os diversos continentes, a estimativa de perda de solos por erosão pode ser apontada conforme mostra a Tabela 17.

Tabela 17 – Perda de solo por erosão nos continentes

Continente	Perda de solo (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Europa	0,84
América do Norte e América Central	4,91
Ásia	6,10
América do Sul e Antilhas	7,01
África	7,15

Fonte: Adaptado de Universidad Politécnica de Madrid⁴⁴ (1984) apud Carvalho (2008)

Bork⁴⁵ (1989), citado por Morgan (1997), reconstruiu a história da erosão do solo em Niedersachscen, na Alemanha, através de dados históricos e amostras estratigráficas e arqueológicas dos fundos de vales. Pôde constatar que desde o Holoceno, quando o solo se desenvolvia sob bosques naturais até o princípio da Idade Média, houve uma perda de solo por erosão muito baixa. Com o desmatamento para o uso agrícola das terras (entre os anos de 940 e 1340), houve um aumento da erosão com as taxas chegando a 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Fenômenos climáticos extremos entre 1340 e 1350 provocaram um sensível aumento nas taxas de erosão para 2.250 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Após este fato, houve um abandono das terras, dado o declínio de sua produtividade e as taxas de perda de solo baixaram para 25 t.ha⁻¹.ano⁻¹. No período entre 1750 e 1800, como conseqüência de fortes chuvas, houve um aumento na taxa de perda de solo para 160 t.ha⁻¹.ano⁻¹. O emprego de terraços, curvas de nível e arborização fizeram com que, desde 1800, as taxas de perdas de solo baixassem para níveis quase similares aos do século XIV, ou seja, 20 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Este valor nos dias atuais sofreu um pequeno acréscimo dado o aumento da área cultivada e eliminação de terraços.

⁴⁴ Universidad Politécnica de Madrid. (1984). Metodología para evaluación de la erosión hídrica. Departamento de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

⁴⁵ Bork, H.R. (1989). The history of soil erosion in Southern Lower Saxony. *Landschaftgenese und Landschaftsökologie*. 16:135-63.

O êxodo rural em algumas regiões do mundo foi provocado pela erosão do solo. Nas montanhas de *Haraz* (Yemen), o abandono das terras ocorreu no início do século XX, tendo a região sofrido com severas secas em 1940, e entre 1967 e 1973 (MORGAN, 1997).

Em uma revisão sobre erosão do solo, Young⁴⁶ (1969, apud MORGAN, 1997) afirma que, em regiões com condições naturais, as taxas de perdas de solo para terrenos de relevo moderado são de $0,0045 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Já para terrenos mais acidentados esta taxa salta para $0,45 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Por outro lado, as terras agricultadas apresentam uma taxa extremamente elevada: entre 45 e $450 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Morgan (1997) relata que as regiões do mundo mais susceptíveis à erosão estão nas zonas semi-áridas e sub-úmidas, podendo-se destacar a China, Índia, oeste dos Estados Unidos, centro da Rússia e países mediterrâneos. Outras áreas com alta intensidade de erosão são os terrenos montanhosos, como a maior parte dos Andes, Himalaia, *KaraKorum* (fronteira entre Paquistão, China e Índia), parte das montanhas rochosas e o vale do *Rift* (na África) e zonas de solos vulcânicos (Java, ilhas do sul da Nova Zelândia, Papua Nova Guiné e partes da América Central).

De acordo com a Tabela 18 é possível comparar que as taxas de erosão para o solo descoberto podem alcançar valores expressivamente superiores às mesmas terras considerando-se a hipótese de alguma cobertura em sua superfície.

⁴⁶ Young, A. (1969). Present rate of land erosion. *Nature*. 224:851-2.

Tabela 18 - Taxas de erosão em alguns países (t.ha⁻¹.ano⁻¹)

País	Natural	Cultivado	Descoberto
China	0,1-2	150-200	280-360
EUA	0,03-3	5-170	4-9
Austrália	0,0-64	0,1-150	44-87
Costa do Marfim	0,03-0,2	0,1-90	10-750
Nigéria	0,5-1	0,1-35	3-150
Índia	0,5-5	0,3-40	10-185
Etiópia	1-5	8-42	5-70
Bélgica	0,1-0,5	3-30	7-82
Reino Unido	0,1-0,5	0,1-20	100-200

Fonte: Boardman⁴⁷ (1990); Bolline⁴⁸ (1978); Browning et al.⁴⁹ (1948); Edwards⁵⁰ (1993); Fournier⁵¹ (1972); Hurni⁵² (1993); Jiang, Qi e Tan⁵³ (1981); Lal⁵⁴ (1976); Morgan⁵⁵ (1985a); Roose⁵⁶ (1971); Singh, Babu e Chandra⁵⁷ (1981), citados por Morgan (1997)

Há relatos de perda de solo por erosão laminar no Brasil já em 1940, quando Marques⁵⁸ (1949, apud BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008) apontava uma perda anual de, aproximadamente, 500 milhões de toneladas. Hoje, em função do uso intensificado e da ampliação da fronteira agrícola, acredita-se que as perdas de solo sejam superiores a este valor, havendo casos extremamente graves em alguns Estados brasileiros (PRUSKI, 2009).

Estimativas de Hernani⁵⁹ et al. (2002), citados por Pruski (2009), indicam para o Brasil perdas anuais de 822,7 milhões de toneladas de solo em áreas ocupadas por lavouras e pastagens.

Rebouças, Braga e Tundisi (1999), citam que em 1993 houve uma perda de 193 milhões de toneladas de terra somente em São Paulo por conta do uso inadequado do solo.

A Tabela 19 apresenta a perda de solo média em terras agricultadas de alguns Estados Brasileiros.

⁴⁷ Boardman, J. (1990). Soil erosion on the South Downs: a review. In: Boardman, J.; Foster, I.D.L.; Dearing, J.A. (Eds.). Soil erosion on agricultural land. Chichester, Wiley: 87-105.

⁴⁸ Bolline, A. (1978). Study of the importance of splash and wash on cultivated loamy soils of Hesbaye (Belgium). Earth surface processes. 3:71-84.

⁴⁹ Browning, G.M.; Norton, R.A.; McCall, A.G.; Bell, F.G. (1948). Investigation in erosion control and the reclamation of eroded land at the Missouri Valley Loess Conservation Experiment Station. Calrinda, Iowa. USDA Technical Bulletin 959.

⁵⁰ Edwards, K. (1993). Soil erosion and conservation in Australia. In: Pimental, D. (Ed.). World soil erosion and Conservation. Cambridge, Cambridge University Press:147-69.

⁵¹ Fournier, F. (1972). Soil conservation. Nature and Environment Series. Council of Europe.

⁵² Hurni, H. (1993). Land degradation, famine and land resource scenarios in Ethiopia. In: Pimental, D. (Ed.). World soil erosion and conservation. Cambridge, Cambridge University Press: 27-61.

⁵³ Jiang, D; Qi, L. Tan, J. (1981). Soil erosion and conservation in the Wuding River Valley, China. In: Morgan, R.P.C. (Ed.). Soil conservation: problems and prospects. Chichester, Wiley: 461-79.

⁵⁴ Lal, R. (1976). Soil erosion problems on an alfisol in western Nigeria and their control. IITA Monograph N. 1.

⁵⁵ Morgan, R.P.C. (1985). Assessment of soil erosion risk in England and Wales. Soil use and Management. 1:127-31.

⁵⁶ Roose, E.J. (1971). Influence des modifications du milieu naturel sur l'érosion: le bilan hydrique et chimique suite à la mise en culture sous climat tropical. Cyclo., ORSTOM, Adiopodoumé, Ivory Coast.

⁵⁷ Singh, G.; Babu, R.; Chandra, S. (1981). Soil loss prediction research in India. Central Soil and Water Conservation Research and Training Institute Bulletin. N. T12/D9, Dehra Dun.

⁵⁸ Marques, J.Q.A. (1949). Política de Conservação do Solo. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura, 73 p.

⁵⁹ Hernani, L.C. et al. (2002). Uma resposta conservacionista – O impacto do sistema de plantio direto. In: Manzatto, C.V.; Freitas Junior, E.; Peres, J.R.R. (2002). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa, 2002. pp. 151-161.

Tabela 19 – Perda de solo em terras agricultadas de alguns estados brasileiros

Estado	Perda de solo (t.ha⁻¹.ano⁻¹)
Paraná	15-20
São Paulo	19
Minas Gerais	19
Rio Grande do Sul	40

Fonte – Paraná⁶⁰ (1994); Schmidt⁶¹ (1989); Almeida⁶² (1981), citados por Pruski (2009)

3.3.3.4 Perda de solo máxima aceitável

A perda de solo máxima aceitável (ou tolerância de perda de solo) corresponde ao valor tolerável de perda de solo de uma área que não comprometa o seu potencial produtivo. Esse limite deve considerar fatores físicos (tipo de solo, declividade e erosão antecedente), econômicos e referentes ao tempo requerido para a formação de tipo de solo em questão (PRUSKI, 2009).

Após o cálculo da erosão para uma determinada área ou região, compara-se com os valores estimados para aquela região. De acordo com Carvalho (2008), estes valores deveriam se situar entre 3 e 12 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, de acordo com as normas americanas. O Estado de São Paulo teve a sua relação desenvolvida por Leinz e Leonardos⁶³, 1977, citados por Carvalho (2008). Esta pode ser observada através da Tabela 20.

⁶⁰ Paraná. (1994). Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Manual Técnico do subprograma de manejo e conservação do solo. Curitiba, 340 p.

⁶¹ Schmidt, A.V. (1989). Terraceamento na região Sul. In: Simpósio sobre terraceamento agrícola, 1988, Campinas. Anais... Campinas, SP: Fundação Cargill. pp. 23-25.

⁶² Almeida, J.R. (1981). Erosão dos solos e suas consequências. Informe Agropecuário, v. 70, n°80, pp.17-26.

⁶³ Leinz, V.; Leonardos, O.H.; (1977). Glossário Geológico. 2ª Ed. Companhia Editora Nacional. São Paulo, SP.

Tabela 20 – Limites de tolerância de perdas de solo por erosão para alguns tipos de solo do Estado de São Paulo

Unidade de solo	Tolerância média de perdas de solo (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Com B textural	
Espodosolo	9,1
Argissolo	13,4
Com B latossólico	
Latossolo roxo	12
Latossolo Vermelho-Escuro, f. arenosa	15
Latossolo Vermelho-Amarelo, orto	12,6
Latossolo Vermelho-Amarelo, f. rasa	9,8
Latossolo Vermelho-Amarelo, f. arenosa	14,2
Solos pouco desenvolvidos	
Neossolo Litólico	4,2
Neossolo Regolítico	14
Neossolo Quartzarênico*	6,8

Fonte: Modificado de Carvalho (2008); *Fujihara (2002)

3.3.3.5 Erosão do solo na cultura da cana

Embora os cuidados com a conservação do solo sejam crescentes e venham sendo tomados com cada vez mais técnicas envolvidas, a erosão do solo na cultura da cana ainda pode ser apontada como um problema. A estimativa de perda de solo em canaviais apresenta algumas diferenças entre pesquisadores da área: Telles⁶⁴ (1999) apud Rebouças, Braga e Tundisi (1999), relata uma perda média de solo em canaviais de 12,4 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Câmara (1993) destaca que a perda de solos situa-se entre 12 e 15 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Martinelli e Filoso (2007) relata uma perda de solo superior a 30 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Sparovek e Schnug (2001) estimam a perda de solos para a cana em 31 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

Crestana, Minoti e Neves (2010) realizaram simulações de perdas de solo em um estudo de caso (através do emprego da EUPS em conjunto com a ferramenta SWAT), considerando os cenários de vegetação natural, uso atual e ocupação com cana-de-açúcar. As duas microbacias que serviram como base para a estimativa – do Córrego do Beija-Flor e do Ribeirão das Guabirobas (ambas no Estado de São Paulo), apresentaram perdas significativas quando o cenário em questão era o de ocupação pela cultura da cana. Na primeira bacia a predição de perda de solo foi de 86,3 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (1,85 vezes superior às perdas estimadas para seu uso atual) e na segunda bacia houve uma predição de perda de solo em torno de 17,3 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (ou 1,6 vezes mais que o uso e ocupação atual). Se comparados à ocupação com

⁶⁴ Telles, D.D.A. (1999). Água na Agricultura e Pecuária. Cap. 9, Quadro 15, p. 331.

vegetação natural, os valores de perdas de solo para cana chegam a ser, aproximada e respectivamente, 9,6 e 288 vezes superiores (MINOTI⁶⁵, 2006).

Para qualquer caso, o período mais delicado para a perda de solo é o de plantio, ou logo após cada colheita, onde a terra fica bastante vulnerável aos estragos provocados pelas águas pluviais. Em casos onde ainda se procede com a queima da palha, o solo também apresenta uma maior exposição. Nos casos onde há colheita mecânica, parte da palhada cobre o solo servindo como uma boa interceptadora da água da chuva reduzindo assim o risco de erosão nas áreas plantadas.

3.4 Estradas de terra

De acordo com Zoccal (2007), o Estado de São Paulo tem uma malha viária de 250.000 quilômetros de estradas, sendo que aproximadamente 220.000 quilômetros são de estradas não pavimentadas, ou seja, estradas vicinais de terra, que são estradas rurais em sua grande maioria. O mesmo autor ainda afirma que estas estradas “contribuem com 50% do solo carreado aos mananciais e 70% das erosões existentes”.

Os carreadores, embora sejam vias trafegáveis e localizem-se no interior das propriedades rurais, não entram nesta contagem. No entanto seu montante, somente no Estado de São Paulo, pode ultrapassar a marca dos 700.000 quilômetros lineares de extensão⁶⁶.

3.4.1 A escolha de um traçado da estrada

De acordo com Pimenta e Oliveira (1999), para a escolha de um traçado de uma estrada são considerados vários fatores como topografia, condições geológicas e geotécnicas do terreno, hidrologia, desapropriações e interferências no ecossistema. Na opinião dos mesmos autores o fator topográfico é predominante para a escolha do traçado de uma estrada.

⁶⁵ MINOTI, R.T. (2006). Abordagens qualitativa e quantitativa das microbacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do médio Mogi-superior/SP. 245 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006. In: CRESTANA, S.; MINOTI, R.T.; NEVES, F.F.; (2010). Modelagem e simulação aplicadas à avaliação dos impactos da perda de solo e dos dejetos de suínos na qualidade da água de microbacias: uma nova abordagem voltada ao planejamento ambiental de microbacias hidrográficas. Cap. 7 pp.167-199. In: Planejamento ambiental do espaço rural com ênfase para microbacias hidrográficas: Manejo de recursos hídricos, ferramentas computacionais e educação ambiental. Gomes, M.A.F.; Pessoa, M.C.P.Y (Eds.) Embrapa. Brasília.

⁶⁶ Os valores para tal cálculo foram obtidos a partir da área total de cana cultivada no Estado de São Paulo (5,7 milhões de hectares), da porcentagem média de ocorrência dos carreadores em canaviais (5%) e de uma largura média de carreadores estimada em 4 metros.

Para o traçado de uma estrada convencional são consideradas características básicas como capacidade de tráfego, número de pistas e velocidade de projeto, entre outros. No entanto para o delineamento de um carreador nem todas essas características são essenciais.

De acordo com Pimenta e Oliveira (1999) um bom projeto de traçado de uma estrada deve ser aquele que respeite as características técnicas de um traçado e perfil que sejam harmoniosos com a região atravessada. Devem ainda ter, preferencialmente, um baixo custo. No entanto, a variedade de fatores a serem considerados é tão grande que é quase impossível alinhar as máximas condições técnicas favoráveis, aos mínimos custos.

3.4.2 Condições de uma estrada não pavimentada

Choctawhatchee, Pea and Yellow Rivers Watershed Management Authority (2000) relata que os custos com a erosão em estradas não pavimentadas estão entre os principais itens do orçamento da maior parte dos municípios do sudeste do Alabama (EUA).

O mesmo autor destaca ainda a importância de se evitar a manutenção de estradas não pavimentadas em épocas chuvosas. E que estes trabalhos devem ser evitados próximos a corpos d'água, ou locais de grande fluxo onde o leito carroçável esteja molhado.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1988) uma estrada de terra deve apresentar duas características para que sejam garantidas as mínimas condições satisfatórias de tráfego:

a) boa capacidade de suporte - “É a característica que confere à estrada sua capacidade maior ou menor de não se deformar frente às solicitações de tráfego”.

Para se garantir uma boa capacidade de suporte é necessário que sejam usados materiais granulares (cascalho e areia, entre outros) e que haja compactação do solo após a aplicação destes materiais. É necessário, no entanto, que haja um material ligante para que os materiais granulares sejam aglutinados. Caso contrário, poderá haver derrapagem e formação de “costelas de vaca” (ou “facões”). Um bom material aglutinador é a argila. Após a sua aplicação (mistura da argila com areia e/ou cascalho) deve haver a compactação do terreno para que o material granular e o material ligante exerçam suas funções de forma satisfatória.

Os problemas de uma baixa capacidade de suporte devem-se a deficiências localizadas no sub-leito (terreno natural sobre o qual se implantou a estrada), ou na camada de reforço (que é aquela sobre o sub-leito, usada para melhorar as suas características) ou em ambos os casos.

A falta de capacidade de suporte pode levar a dois tipos de deformações: ondulações transversais e formação de rodeiros. A formação de lama, após chuvas mais intensas, é outra característica de estradas com baixa capacidade de suporte.

b) boas condições de rolamento e aderência - As condições de rolamento de uma estrada são aquelas que podem interferir sobre a comodidade e a segurança durante o tráfego. Irregularidades na pista, como esburacamento, pista escorregadia e materiais soltos (que podem provocar derrapagem ou ricocheteio de material) são fatores que afetam as condições de rolamento.

Já a aderência diz respeito às condições de atrito na qual a estrada se encontra. Uma estrada com características de boa aderência não permite que o veículo gire suas rodas em falso (“patinação”).

3.5 Carreadores

A bibliografia que trata especificamente de carreadores é bastante escassa. Geralmente este item acompanha assuntos como o dimensionamento de talhões.

Dá-se o nome de carreadores a todas aquelas estradas geralmente não pavimentadas, localizadas dentro de propriedades rurais, com a função de escoar a produção de uma cultura agrícola de uma determinada área. No caso da cana-de-açúcar, os carreadores têm a mesma função e conectam a produção do campo às estradas, que levam à unidade sucroalcooleira. Todas as culturas agrícolas possuem carreadores.

Os carreadores podem apresentar algum revestimento de seu subleito⁶⁷, ou não, dependendo de sua importância logística e da manutenção aplicada à propriedade.

Estradas de terra e carreadores muitas vezes se confundem. Isso porque às vezes uma estrada particular ou municipal pode servir diferentes propriedades agrícolas, e estas propriedades podem apresentar canaviais na beira da estrada. Sua função, além de estrada, passa também a ser de carreador. O contrário também pode acontecer. Um carreador (ou trecho dele) pode ser um importante conector de estradas particulares ou municipais.

Galeti (1987) afirma que as estradas e carreadores são pontos vitais no desenvolvimento das atividades dentro de uma propriedade agrícola. Seu papel é de garantir a fácil movimentação entre quaisquer pontos e em qualquer época do ano. No entanto, apenas uma minoria se preocupa com estas vias, sendo mal dispostas, recebendo águas provenientes

⁶⁷ Terreno sem tratamento que serve de base para a pavimentação ou tratamento primário.

de propriedades vizinhas, que correm sobre as estradas, causando erosões, comprometendo-as e elevando os custos de manutenção. As águas de uma estrada ou carreador não podem desaguar em nenhuma cultura agrícola. Deve-se, neste caso, empregar o terraceamento, que receberia a enxurrada proveniente destas vias. A cada trecho (que depende das características de solo e inclinação do terreno) deve haver um terraço de forma a minimizar as perdas de solo e o desgaste natural do terreno.

Galeti (1987) sugere ainda a construção de bacias (embaciamento) contíguas às estradas e carreadores. Com isso, a enxurrada é limitada em seu volume e percurso, ficando retida em cada bacia, proporcionando uma infiltração maior de água no terreno e evitando perdas maiores de solo na área.

Em quaisquer casos, cuidados devem ser tomados com os carreadores: drenagem de águas pluviais, ângulos de conexão, raios de curva, aclives, revestimento e sinalização adequada (CÂMARA, 1993).

Estas vias crescem em complexidade à medida que devem servir talhões, setores e fazendas. Seguem, assim, uma hierarquia antes de fluírem para estradas secundárias e estradas principais (particulares ou públicas). Os carreadores principais, que se conectam às estradas secundárias, têm em sua maioria duas vias, apresentam tráfego intenso e têm largura em torno de 8 metros. Geralmente localizam-se nas partes mais altas da propriedade (ou do conjunto de talhões), onde o objetivo de tal localização é a rápida saída das águas pluviais e a probabilidade de um terreno mais firme. Os carreadores secundários derivam dos carreadores primários e apresentam uma largura um pouco menor (em torno de 6 metros). Na época de safra, é interessante que estes carreadores tenham mão única, estudando-se para que a logística do sentido dos treminhões seja campo-indústria, uma vez que os treminhões carregados têm pouca facilidade de manobra e velocidade baixa de tráfego. Em terrenos mais declivosos, estes carreadores devem se situar no terço inferior da fazenda, facilitando assim a saída dos veículos já carregados no sentido descendente (CÂMARA, 1993).

Sua distribuição mais racional é aquela na qual são colocados, de preferência, seguindo os níveis topográficos. Ligados aos carreadores principais estão os carreadores pendentes. Estes fazem a ligação entre os carreadores em nível e devem estar localizados, preferencialmente em espigões e eixos que facilitem o escoamento de enxurradas através de canais escoadouros. Já os carreadores pendentes devem estar locados descontinuamente e nunca no maior sentido do declive.

Lombardi Neto e Drugowich (1994a) afirmam que a distribuição dos carreadores deve levar em consideração a necessidade de mecanização da cultura, da aplicação de insumos e do

transporte do produto. Os carregadores, na medida do possível, devem acompanhar as curvas de nível para que façam as vezes de terraços, contribuindo com a retenção de parte da enxurrada produzida após cada evento chuvoso forte.

De acordo com Lombardi Neto e Drugowich (1994b), “a construção de estradas pelo simples fato de eliminar a cobertura vegetal e impermeabilizar o solo, seja pela compactação, seja pela cobertura asfáltica, constitui um forte fator predisponente à erosão”.

3.5.1 Desenho dos talhões e carregadores

Os talhões são as menores unidades de área dentro de uma fazenda. Seus formatos e tamanhos variam de acordo com a capacidade diária de moagem, número de frentes de corte, relevo, propriedades do solo e tipo de colheita programado (CÂMARA, 1993). Outros fatores, ainda, podem influenciar no formato e tamanho do talhão, como o formato da área, existência de barreiras naturais (matas, corpos d’água) e tipo de cultura a ser instalada. O mesmo autor destaca que em alguns casos é possível se deparar com unidades de operação (fazendas) com verdadeiras “colchas de retalhos” (vários e pequenos talhões), o que encarece o custo operacional.

De acordo com Mialhe, Ripoli, e Millan⁶⁸ (1983), citados por Coleti (1987), embora as áreas cultivadas apresentem os mais variados formatos e dimensões, os talhões podem ser enquadrados em alguns modelos geométricos básicos, descritos a seguir:

a) modelo quadrado – É aplicado geralmente a áreas planas e culturas de baixa densidade, como no caso de cereais. O percurso realizado pelas máquinas segue as fileiras de plantio da cultura e há pouca produção de sedimento decorrente das chuvas. Para culturas com produção menor por área, como é o caso do arroz feijão, trigo, milho e soja, o trajeto percorrido para se completar a carga do caminhão é maior se for comparado à cultura da cana. Nesta última, o caminhão poderá percorrer um percurso 10 vezes menor até que seja completada a carga. Por este motivo são feitos cálculos para otimização de carregamento e viagem dos caminhões. O “tempo morto⁶⁹” torna talhões com maior extensão mais interessantes no emprego em canaviais. Por conta disso, não são aconselhados talhões quadrados para a cultura da cana-de-

⁶⁸ Mialhe, L.G.; Ripoli, T.C.; Millan, M. (1983). Algumas considerações sobre o formato de talhões e espaçamento de plantio. Álcool e açúcar, São Paulo, 3, n° 11: 28-42.

⁶⁹ Tempo de manobra ou deslocamento de uma máquina agrícola, em que essa não realiza a operação específica para a qual foi prestada.

açúcar. A Figura 9 apresenta um exemplo de modelo de talhão quadrado com cultivo de citrus, localizado na bacia do Ribeirão do Feijão (SP).



Figura 9 – Modelo de talhão quadrado
Fonte: Google Earth (2011). Sem escala definida

b) modelo retangular e trapezoidal – Em áreas com topografia ondulada e uniformidade entre as distâncias de curva de nível, costuma-se empregar talhões com os formatos retangular e trapezoidal. No modelo retangular de talhão, as linhas terminam e iniciam nos carregadores de cabeceira, enquanto que no modelo trapezoidal algumas linhas podem terminar no carregador lateral⁷⁰, sendo designadas neste caso de “linhas mortas”. Os carregadores de cabeceira apresentam uma declividade longitudinal mais acentuada que os carregadores laterais, uma vez que estes últimos seguem a linha das curvas de nível. Os carregadores de cabeceira poderão ser perpendiculares às curvas de nível somente quando estas estiverem bastante espaçadas, ou seja, quando o terreno for mais plano. Caso contrário, os carregadores de cabeceira devem se posicionar de forma inclinada, suavizando assim o gradiente longitudinal. Por conta deste detalhe há a combinação de talhões retangulares e trapezoidais. A Figura 10 apresenta um exemplo de modelo trapezoidal de talhão de cana, localizado na bacia do Ribeirão do Feijão (SP).

⁷⁰ Também conhecido como carregador pendente, o carregador lateral tem menor importância hierárquica e deriva do carregador de cabeceira, ou principal.



Figura 10 – Modelo de talhão trapezoidal

Fonte: Google Earth (2011). Sem escala definida

c) modelo triangular – Este formato de talhão é empregado para se complementar a combinação retângulo-trapezoidal. No entanto, há restrições quanto a este formato de talhão para culturas agrícolas mecanizadas e especialmente para a cana. Há um número excessivo de linhas mortas, o que deve dificultar o giro da colhedora, obrigando-a a fazer a operação um número maior de vezes e baixando a eficiência da operação. Além disso, ruas cada vez mais curtas fazem com que aumente o tempo morto e o tempo para percorrer o trecho capaz de abastecer um caminhão com a produção é maior. Mialhe⁷¹ et al. (1983) citados por Coleti (1987), recomendam que seja empregada a atividade de reflorestamento em talhões triangulares, uma vez que o cultivo mecanizado para cana nestas áreas específicas traria um aumento no custo operacional. A Figura 11 apresenta um exemplo de modelo de talhão triangular de cana, localizado na bacia do Ribeirão do Feijão (SP).

⁷¹ Mialhe, L.G.; Ripoli, T.C.; Millan, M. (1983). Algumas considerações sobre o formato de talhões e espaçamento de plantio. Álcool e açúcar, São Paulo, 3, n° 11: 28-42.



Figura 11 – Modelo de talhão triangular

Fonte: Google Earth (2011). Sem escala definida

d) modelo em faixas – Trata-se do modelo mais utilizado para a cultura da cana. É também o mais aconselhável para o caso de propriedades de médio e grande porte, havendo o emprego de maquinário de grande capacidade operacional. O traçado dos talhões acompanha as curvas de nível e o traçado dos carregadores delinea (na maior parte das vezes) o perímetro dos talhões. A Figura 12 apresenta um modelo de talhão em faixas com a cultura da cana, localizado na bacia do Ribeirão do Feijão (SP).



Figura 12 – Modelo de talhão em faixas

Fonte: Google Earth (2011). Sem escala definida

3.5.2 Dimensionamento dos talhões e carreadores

Para que se faça o dimensionamento dos talhões deve-se levar em conta as seguintes características: comprimento do talhão, largura, área, comprimento dos carreadores e área dos carreadores. Para o caso de mecanização agrícola, quanto maior o comprimento do talhão, maior será a eficiência de percurso.

De acordo com Câmara (1993), o dimensionamento dos carreadores deve levar em consideração os seguintes fatores:

- a) declividade do terreno;
- b) escoamento de água (sangradouros) e respeito às curvas de nível e terraços existentes no local;
- c) posição do canal de vinhaça (quando esse existir) em relação ao carreador. O canal de vinhaça deverá estar localizado sempre na parte inferior;
- d) adequação às ruas mortas, para que não seja dificultado o trânsito de máquinas e veículos pesados e ainda para que se minimizem os danos à cultura (durante as manobras);
- e) conexão com outras estradas de forma a facilitar o escoamento da produção e a manobra de veículos longos e carregados;
- f) aqueles construídos no sentido do declive do terreno devem receber cuidados especiais de manutenção de seu leito para que não haja rebaixamento ou erosão.

Além do escoamento da produção, os carreadores prestam um outro serviço: servem como aceiros⁷², evitando que um eventual incêndio, seja ele natural ou criminoso, se propague do canal para terrenos vizinhos e vice-versa.

Os talhões necessitam de uma malha viária (estradas e carreadores) para escoamento de sua produção. Estas estradas e carreadores devem estar adaptados à malha já existente. A área de um talhão depende da largura e comprimento do mesmo. No entanto, à medida que a área do talhão é menor, tem-se uma área maior de estradas e carreadores. Em um levantamento feito da área de plantação e de carreadores de cana em aproximadamente 130 fazendas gerenciadas por uma Agroindústria localizada no Estado de São Paulo, foi possível constatar que os carreadores correspondem a uma média de 5,21% da área das propriedades. O caso menos expressivo foi de 2,83% e o de maior expressão, atingiu 11,21% do total da área.

⁷² Faixa livre de vegetação cujo o objetivo é impedir que queimadas se propaguem para um terreno específico.

3.5.3 Veículos que trafegam pelos carreadores

Os carreadores recebem veículos durante toda a fase de desenvolvimento da cultura. A vistoria dos canaviais pode ser feita por carro, caminhonete ou motocicleta. Ainda transitam pelos carreadores caminhões-pipa (que ficam de prontidão no local em períodos mais secos), colhedoras, outros tratores (para aplicação de adubos ou defensivos e manutenção dos carreadores), caminhões-cegonha (que transportam tratores) e os treminhões (caminhões responsáveis pelo escoamento da matéria-prima até a agroindústria mais próxima).

De acordo com Figueiredo Filho⁷³ (1984), citado por Ripoli e Ripoli (2009), a frota de veículos que faz o transporte da matéria-prima até as usinas sucroalcooleiras pode ser dividida em seis categorias, compreendendo caminhões com potência a partir de 120 cv e capacidade de carga de 15 toneladas, até aqueles com potência superior a 340 cv e capacidade de carga de 35 toneladas. À medida que se avança nas categorias, há um aumento de potência dos caminhões e um volume maior de matéria-prima sendo transportado. Além disso, o tempo da viagem do campo à indústria é maior, dado o aumento de carga dos veículos e a necessidade de se reduzir a velocidade dos mesmos.

3.5.4 Erosão em carreadores florestais

Embora os ciclos produtivos da silvicultura e da cana-de-açúcar sejam diferentes, e a topografia de aptidão e as características de largura e traçado de carreadores também, a comparação mais próxima que se pode fazer aos carreadores de cana é com os carreadores florestais. Não foram encontrados relatos ou pesquisas acadêmicas desenvolvidas que registrem a erosão em carreadores de cana-de-açúcar. Os estudos a seguir tratam de estradas florestais.

Ferraz et al. (2007) classificaram trechos de uma malha viária de uma estrada de terra florestal no município de Capão Bonito (SP). Esta foi dividida em 252 trechos, sendo usados para a classificação dos trechos os indicadores de declividade média do terreno, declividade da rampa, fator LS e índice topográfico. Cada parcela apresentava, em média, 250 metros de extensão e suas divisões foram feitas considerando-se a topografia do terreno e o desenho das estradas florestais. Foi utilizado SIG no auxílio das classificações e estas consideram 4 tipos,

⁷³ Figueiredo Filho, O.; Banchi, A.D.; Braunbeck, O.A. (1984). Transporte de cana-de-açúcar: incidência das principais variáveis na capacidade de transporte da frota. In: Seminário de Tecnologia Agronômica, 2., Piracicaba, 1984. Anais... Piracicaba: COOPERSUCAR, pp. 387-401.

com variação de declividade da rampa e declividade do terreno (trecho), com indicação do potencial erosivo (se havia ou não).

Garcia et al. (2003) realizaram um estudo observacional em trechos de estradas florestais no município de Agudos (SP). Instalaram em uma área de floresta plantada, 4 parcelas de 20 e 40 metros de extensão, por 4 metros de largura, sendo duas parcelas de 20 metros e duas de 40 metros, com inclinações de 1 e 7%. As parcelas foram isoladas com tábuas de madeira de 30 centímetros de largura (envoltas em lonas plásticas). Tambores de metal foram instalados na região mais baixa de cada parcela, funcionando como coletores de sedimentos, de onde foram coletados dados da produção de sedimentos de um período de aproximadamente 1 ano decorrentes da produção de chuva natural. Foram observados o volume de enxurrada e a produção de sedimentos em função do comprimento de rampa e da declividade das áreas isoladas. Através de análise estatística (análise de variância e regressão) puderam concluir que os valores para o volume de enxurrada foram mais expressivos para os maiores comprimentos de rampa e os valores de produção de massa foram mais expressivos para as maiores inclinações. Foram registradas precipitações que variaram de 7 a 79 mm. De 7 a 19 mm, a infiltração foi mais significativa que o escoamento e não houve grande diferença na produção de sedimento para as diferentes rampas. O evento de 65 mm apresentou as mais expressivas perdas de solo: 32 g/m² para a rampa de 20 metros e 31,225 g/m² Para a rampa de 40 metros. O solo deste estudo foi caracterizado como Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa.

Foltz e Elliot (2009) realizaram um experimento de produção de sedimentos através de chuva simulada em estradas florestais abandonadas e reabertas, em Idaho (EUA). As parcelas, de apenas 1 metro quadrado eram delimitadas através de uma estrutura de metal (placa de flandres) que era enterrada no solo, de maneira a isolar o trecho estudado. Na cota mais baixa, havia um tubo conectado, pelo qual era recolhida a produção da chuva artificial. As inclinações variaram de 3 a 8% e as simulações de chuva foram sequenciadas em três ocorrências de 100 mm.h⁻¹ durante 30 minutos cada. Assim foram avaliados os resultados com o solo seco, depois, com o solo úmido e logo depois com o solo praticamente encharcado. Foram analisados os resultados de escoamento, concentração de sedimento, infiltração e parâmetros erosivos nas trilhas das estradas. Os autores utilizaram o modelo computacional WEPP para a realização das predições de produção de sedimentos.

Antonangelo e Fenner (2005) realizaram um experimento em Lençóis Paulista (SP), através da delimitação de 4 rampas de 20 metros de extensão (e 5 metros de largura) e considerando o fator LS da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Essas rampas

tiveram seu leito homogêneo através de uma motoniveladora, e cordões de *nylon* foram amarrados a estacas, com altura pré-determinada e distância de 10 cm para se detectar as futuras perdas de solo. Durante 10 meses foram feitas coletas aleatórias daqueles eventos chuvosos superiores a uma intensidade de 15 mm em 12 horas, pois de acordo com Hildebrand⁷⁴ (2001), citados por Antonangelo e Fenner (2005), eventos chuvosos inferiores a 12 mm não têm poder erosivo sobre o solo. Após aproximadamente 10 meses de observação, os autores detectaram uma perda de solo nas parcelas. As perdas de solo foram registradas em centímetros. Considerando tais dados e levando-se em conta a densidade aparente do solo, a parcela que mais produziu sedimento alcançou a marca de 130 t.ha⁻¹ de estrada ou 65 t.km⁻¹ linear, considerando uma largura de 5 metros, para o caso das parcelas estudadas. A parcela que apresentou a maior perda de solo era também a que apresentava a maior inclinação de sua superfície. O solo referido é caracterizado como Oxissol.

Deve-se ressaltar algumas peculiaridades dos carregadores florestais. O ciclo de corte para o eucalipto e o pinus é de cerca de 7 anos.

3.5.5 Erosão em carregadores de cana-de-açúcar

Embora o Brasil ocupe uma posição importante na publicação de artigos sobre a erosão e conservação dos solos - 12º lugar no mundo - (BARRETO; LINO; SPAROVEK, 2009), e as pesquisas nesta área já venham sendo desenvolvidas há aproximadamente 70 anos, não há relatos ou publicações acadêmicas de análise quantitativa ou qualitativa da produção de sedimentos em carregadores de cana-de-açúcar.

De acordo com Ripoli e Ripoli (2009), uma grande preocupação para as agroindústrias durante a época de colheita é manter um fluxo constante e uniforme da produção da área agrícola para as moendas, contemplando as etapas de corte, carregamento, transporte e recepção da matéria-prima. Câmara (1993) ressalta a grande importância de se implementar os carregadores em uma fazenda de maneira que seus traçados façam uma convergência para a agroindústria. O carregador principal deve estar em local alto e a partir do mesmo, os demais (de contorno - em nível - e pendentes) irão delimitar os talhões. Pode haver uma interferência mútua do carregador com as áreas que o margeiam. A contribuição de sedimentos pode vir dessas áreas marginais, ou até mesmo a enxurrada proveniente dos carregadores pode ser a causadora de erosão nas áreas agricultadas (PRUSKI, 2009).

⁷⁴ Hildebrand, E.E. Tropische Boden: Bodenerosion. (2001). Apostila de aula. Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, 47p.

Os carregadores também não devem ser instalados no canal⁷⁵ ou no camalhão⁷⁶ dos terraços. Aqueles pendentes não devem ter ângulo de 90 graus ou um ângulo agudo para não dificultar o tráfego e manobra de veículos grandes e carregados. Assim é facilitado o escoamento dos veículos, sem que esses tenham que manobrar ou dar voltas pela fazenda antes de seguir o caminho até a indústria. O resultado será a redução da compactação e, conseqüentemente, da erosão destes leitos.

De acordo com Lombardi Neto e Drugowich (1994a), os problemas mais graves de erosão podem ser ocasionados pela má localização de estradas e carregadores, os quais podem acumular grandes volumes de enxurrada e provocar estragos consideráveis em poucos eventos chuvosos. Os autores afirmam ainda que com o traçado reto dos carregadores há um aumento das perdas de água e solo, sendo dificultada uma manutenção posterior.

Galeti (1987) indica algumas medidas a serem consideradas que evitam (ou retardam) a erosão em carregadores:

- a) adoção de talhões de formato retangular. Tal medida diminui a necessidade de manobras excessivas das colhedoras por cima dos carregadores, o que poderia aumentar a remoção de solo do subleito;
- b) as águas dos carregadores pendentes devem ser direcionadas ao terraço mais próximo de maneira que se evite ao máximo o acúmulo de enxurrada sobre o subleito;
- c) para se atravessar um terraço com um carregador é necessário que o terraço apresente uma base mais larga. A profundidade do terraço deve ser mantida e os taludes (barrancos) devem estar mais suavizados do que em outros lugares.

Pruski (2009) ressalta que, como os carregadores são geralmente integrados a áreas de cultivo, as águas que correm pelo subleito devem ser desviadas e conduzidas aos terraços, onde a infiltração será superior em relação à infiltração em carregadores.

3.5.6 Problemas comuns em estradas de terra – causas

De acordo com o IPT (1988) as causas principais de uma estrada de terra apresentar problemas podem ser destacadas como:

- falta de capacidade de suporte do subleito;
- desempenho insatisfatório da superfície de rolamento;
- deficiência do sistema de drenagem.

⁷⁵ Parte mais baixa do terraço, onde a água e os sedimentos se acumulam.

⁷⁶ Parte superior do terraço.

Essas causas acabam acarretando problemas que frequentemente podem ser relacionados através da Tabela 21:

Tabela 21 – Problemas encontrados em estradas de terra e suas causas

Problemas em estradas de terra	Causa/ocorrência
Ondulações, rodeiros e atoleiros	Falta de capacidade de suporte do subleito e/ou ausência ou deficiência do sistema de drenagem.
Areiões de espigão	Ocorrem em terrenos arenosos onde há pouca ou nenhuma ocorrência de argila (material ligante) e grandes deposições de areia ocorrem por conta do tráfego de veículos, somado à areia carregada por conta da lavagem com água de chuva. Em tempos secos, há dificuldade de se trafegar com veículos dada a espessura de areia no local.
Areiões de baixada	Ocorrem também em terrenos predominantemente arenosos e são causadas pela deposição de areia de áreas adjacentes com altitude superior.
Excesso de pó	O excesso de pó ocorre em locais com abundância de material fino. Além de prejudicar a visibilidade, a poeira pode danificar o motor dos veículos, além de disseminar microorganismos que podem causar prejuízos econômicos, como os nematóides.
Rocha aflorante	Ocorre em casos onde processos erosivos e “patrolagem” (uso da patrol) expõem o leito rochoso. A pista pode-se tornar bastante irregular chegando em alguns casos a inviabilizar o tráfego de veículos.
Pista molhada derrapante	Ocorre sobretudo em pistas argilosas submetidas a umedecimento. Em trechos declivosos podem até inviabilizar o tráfego.
Pista seca derrapante	Locais onde o escascalhamento não sofreu a devida compactação.
“Costelas de vaca”	Costelas de vaca ocorrem em estradas em que foi aplicado material granular de 5 a 10 mm sem emprego de ligante. À medida que os veículos passam, vão formando pequenas ondulações deste material solto, que ficam dispostos transversalmente à estrada.
Segregação lateral	Ocorre quando, por falta de ligante, material granular de várias dimensões é jogado para fora das estradas, perdendo a sua função.
Buracos	Ocorrem pela expulsão de partículas na presença de água localizada em trechos mal drenados (ou sem drenagem) que apresentem originalmente um certo abaulamento.
Erosões em ravina	Geralmente relacionadas a um sistema deficiente ou à falta de sistema de drenagem. Com a ocorrência de chuvas intensas, as enxurradas transportam pelas estradas um grande volume de terra e água formando pequenas ravinas, que evoluem rapidamente para erosões em sulco.

Fonte: IPT (1988)

3.5.7 Problemas comuns em estradas de terra – controle

São descritas na Tabela 22 as possíveis correções para as causas de erosão mais citadas em estradas de terra.

Tabela 22 – Principais defeitos em estradas de terra e suas possíveis correções

Defeitos em estrada de terra	Procedimento necessário
Ondulações, rodeiros e atoleiros	Retirar o excesso de água do local através de sangras e valetas. Depois, reforço, revestimento primário ou agulhamento.
Areiões de espigão	Confinamento com revestimento primário ou mistura de areia com argila na proporção de 30% de argila.
Areiões de baixada	Mesmo procedimento que para os areiões de espigão. Deve-se, no entanto, evitar a contribuição de areia das áreas de montante pois, caso contrário, o problema não será resolvido.
Excesso de pó	Revestimento primário selante e em alguns casos, reforço do subleito.
Pista molhada derrapante	Se houver boa capacidade de suporte, e o solo for argiloso, recomenda-se o agulhamento sobre o subleito e os procedimentos descritos anteriormente.
Pista seca derrapante e “costelas de vaca”	Substituição do material granular por revestimento primário ou material granular agulhado, se o subleito for argiloso.
Buracos	Drenagem correta através de sangras, valetas e/ou abaulamento transversal. Em seguida os buracos devem ser tampados.
Erosões em ravina	Deve-se evitar que as enxurradas ocorram no leito, através do emprego de sangras, abaulamentos, bacias de contenção, terraços e outros.

Fonte: IPT (1988)

As causas e correções relativas a segregação lateral e rocha aflorante, por não fazerem parte dos problemas detectados na área de estudo, não serão discutidas.

3.5.8 Tratamento de estradas de terra

Para casos em que o fluxo viário justifique ou haja disponibilidade de verba, recomenda-se o tratamento primário. Este consiste na realização de alguns procedimentos técnicos, envolvendo máquinas pesadas e adição de material ao subleito, que melhoram as condições de trafegabilidade de uma estrada de terra. De acordo com o IPT (1988), há três tipos de tratamento primário:

a) Revestimento primário - Trata-se de uma camada, de 10 a 20 centímetros de espessura (variando conforme a demanda de trafegabilidade), composta por uma mistura de material argiloso e material granular colocada sobre o subleito. A dimensão máxima do material granular, neste caso, não deve ser superior a 2,5 cm. O material argiloso, ao se adicionar água, serve como ligante para esta mistura. A proporção sugerida pelos mesmos autores é de 1 parte de argila para 2,5 partes de material granular. Esta mistura pode ser feita com grade de disco, motoniveladora ou pá carregadeira. Para aplicação da mistura, antes o subleito deve ser preparado através de nivelamento e escarificado⁷⁷. Após a aplicação, o material deve ser espalhado (molhado ou seco), conforme seu grau de unidade, e compactado com rolo compressor. Recomenda-se que o rolo seja passado no mínimo 8 vezes por faixa, da borda para o centro da estrada.

b) Agulhamento - Executado com cascalho, piçarra ou pedregulho de dimensões superiores a 2,5 cm, o agulhamento consiste na cravação, através de compactação com rolo compressor deste material sobre o subleito, geralmente argiloso. Trata-se de um procedimento menos custoso aplicado em estradas com menor intensidade de tráfego. Sua diferença em relação ao tratamento anterior (revestimento primário) é que apenas a camada de pedra é adicionada ao subleito, sem que se faça o uso de material ligante. Fora isso, o procedimento de aplicação é igual ao anterior.

c) Mistura de areia e argila - Procedimento ainda mais barato que os dois anteriores, trata-se da adição de 30% de argila em estradas com subleito arenoso, que quando secas provocam derrapagem e atolamento. O volume a ser depositado de argila dependerá da largura e comprimento do trecho de estrada. Recomenda-se, quanto à espessura, que seja melhorada a camada de 15 cm de areia solta. Misturando-se a fração de 30% de argila a este volume,

⁷⁷ Rompimento de camadas mais profundas de solo (50 a 80 cm) com o objetivo de descompactação do mesmo.

acredita-se alcançar as condições mínimas de trafegabilidade. O procedimento para esta operação é bastante simples. Faz-se a regularização do subleito, depois o lançamento do material argiloso na proporção indicada, mistura-se com grade de disco⁷⁸, faz-se o umedecimento necessário e realiza-se, por fim, a compactação do solo.

Para casos em que o subleito apresente uma baixa capacidade de suporte, sugere-se a aplicação de um reforço com espessura de 20 centímetros (após compactação) de material granular grosseiro ou material argiloso laterítico. O reforço pode ser empregado visando uma redução de custos e das proporções de aplicação do revestimento primário ou agulhamento, procedimentos mais caros em virtude do material utilizado (IPT, 1988).

3.5.9 Sistema de drenagem

De acordo com o IPT (1988) um bom sistema de drenagem é essencial para que uma estrada de terra apresente boas condições de trafegabilidade. Isso porque sua superfície intercepta as águas pluviais que caem, além da contribuição de áreas adjacentes, às vezes bastante extensas. Como as águas pluviais apresentam poder destrutivo, mesmo que uma estrada esteja em ótimas condições técnicas, se esta não dispuser de um bom sistema de drenagem, sua deterioração será certa.

A drenagem de um carreador presta-se a evitar que se forme enxurrada no mesmo, diminuindo seu volume sobre a superfície através de pequenas obras como canaletas e sangras.

3.6 Legislação relacionada à conservação do solo

A legislação referente ao uso e conservação do solo agrícola trata de maneira geral a questão do uso e conservação de carreadores, citando tal assunto apenas de passagem. Não há legislação específica que enquadre estas vias. A seguir são itemizadas e comentadas as Leis estaduais que regem o uso e conservação do solo visando o combate à erosão e os trechos mais representativos e alinhados ao presente estudo.

A Lei Estadual paulista nº 6.171, de 4 de julho de 1988 (SÃO PAULO, 1988), que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola, trata de algumas questões relevantes para este estudo. Já no primeiro artigo declara que o solo é um patrimônio da humanidade e, como tal, deve ser conservado pelos seus usuários. No artigo 4º da mesma Lei,

⁷⁸ Implemento agrícola utilizado geralmente para revolvimento parcial do solo.

afirma-se que “[...] consideram-se de interesse público, para fins de exploração do solo agrícola, todos os trabalhos, leis, normas e medidas exequíveis que proponham “o controle da erosão do solo em todas as suas formas” (inciso II) e que deve-se sempre “adequar a locação, construção e manutenção de barragens, estradas, carreadores, caminhos, canais de irrigação, prados escoadouros aos princípios conservacionistas” (inciso IX).

Há uma questão interessante que revela a preocupação da Lei 6.171/88 em reconhecer as iniciativas positivas de combate à erosão do solo ou do uso adequado do mesmo destinado à agricultura. Em seu 13º artigo, a Lei afirma que as 5 propriedades agrícolas de um dado município que apresentarem o melhor programa de conservação do solo (desenvolvido em um programa mínimo de 5 anos), receberão de um concurso promovido pela Secretaria da Agricultura, o troféu “Protetor do Solo”, além do diploma do “Mérito Conservacionista” (SÃO PAULO, 1988). O município, através da Secretaria de Agricultura, deve apresentar o referido concurso em andamento. Trata-se, portanto, de um reconhecimento àquele produtor rural que sabe da importância de se conservar o solo de sua propriedade. A resolução estadual paulista da Secretaria de Agricultura e Abastecimento nº 15, de 27 de março de 1998, regulamenta o “Concurso Paulista de Conservação do Solo”, no qual podem também participar prefeituras, extensionistas e pesquisadores (SÃO PAULO, 1998). No entanto, não há relatos ou notícias de qualquer edição deste concurso.

A Lei estadual paulista nº 8.421, de 23 de novembro de 1993 (SÃO PAULO, 1993), altera a redação de dispositivos da Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988, que dispõe sobre uso, conservação e preservação do solo agrícola, e dá outras providências. No artigo 4º, agora modificado e apresentado de forma mais incisiva, coloca que “[...] todo aquele que explorar o solo agrícola fica obrigado a: controlar a erosão do solo, em todas as suas formas (inciso II, igual ao da Lei anterior), e adequar a locação, construção e manutenção de barragens, estradas, carreadores, caminhos, canais de irrigação e prados escoadouros aos princípios conservacionistas” (inciso IX, igual ao da Lei anterior). Foi ainda incluída na Lei a previsão de penalização para aqueles que causarem danos ao solo agrícola. Dentre eles, cita-se a erosão em suas diversas formas e a construção de estradas ou caminhos de forma inadequada que facilite o processo de erosão. As multas previstas de acordo com os danos causados podem variar de 20 a 1.000 Unidades Fiscais do Estado de São Paulo (UFESPs). O valor da UFESP para 2012, que vigora sempre de 1 de janeiro a 31 de dezembro do mesmo ano, é de R\$ 18,44 (UFESP, 2011). Isto significa que as penalizações a serem dadas podem variar de R\$ 368,80 a R\$ 18.840,00. Em caso de reincidência de multa, o valor é dobrado. (SÃO PAULO, 1993).

O Decreto estadual nº 41.719, de 16 de abril de 1997 (SÃO PAULO, 1997), regulamentou a Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988, alterada pela Lei nº 8.421, de 23 de novembro de 1993, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. Neste documento foi adicionada a graduação de penalidades a serem executadas para aqueles que degradarem os solos agrícolas.

A Coordenadoria de Assistência Técnica Integrada (1997), através da Portaria nº 06, dispôs sobre o “[...] estabelecimento de critérios técnicos para efeito de fiscalização do uso do solo agrícola no Estado de São Paulo”, detalhando em que consistiria a erosão laminar e a erosão em sulcos, provocadas pelo Homem, nos seus diversos estágios nas áreas agrícolas, passíveis de autuação.

Ainda em termos de proposição de reflexão e lembrança do tema, o País instituiu o “Dia Nacional da Conservação do Solo”, comemorado a cada dia 15 de abril (BRASIL, 1989). Embora seja uma Lei de âmbito nacional, o alcance de público desta data é tímido, ficando restrito a poucos seminários, palestras e mini-cursos (YONEDA, 2011).

A política Estadual de Recursos Hídricos, criada em 1991, atende como um de seus princípios, a disposição preliminar, o “[...] combate e prevenção das causas e dos efeitos adversos da [...] erosão do solo” (inciso V do artigo 3º). No inciso VII, dentro do 4º artigo, a Lei prevê, por conta do Estado e intermédio do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos - SIGRHI, meios financeiros e institucionais para a “prevenção da erosão do solo nas áreas urbanas e rurais, com vistas à proteção contra a poluição física e o assoreamento dos corpos d’água”. No inciso VI do 7º artigo, consta que “o Estado realizará programas conjuntos com os municípios, mediante convênios de mútua cooperação, assistência técnica e econômico-financeira”, com o objetivo de combate e prevenção de inundações e da erosão. (SÃO PAULO, 1991).

3.7 Iniciativas governamentais no combate à erosão do solo em estradas de terra

3.7.1 Programa Produtor de Água

O produtor rural que quiser recuperar áreas ou ainda melhorar trechos que retenham águas em sua propriedade e garantam um ganho na qualidade ambiental da bacia hidrográfica, pode obter uma recompensa em forma de remuneração através de programas desenvolvidos pelo governo.

O pagamento por serviços ambientais⁷⁹ está contemplado no “Programa Produtor de Água”, idealizado pela Agência Nacional de Águas, em 2001. Neste Programa, as atividades de recuperação de áreas degradadas ou até mesmo a preservação através de ações em bacias hidrográficas na área rural que visem a redução da erosão e do assoreamento de corpos hídricos e mananciais, podem ser contempladas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009).

Existe, no entanto, um procedimento para que uma devida área seja contemplada por este Programa:

1 - O primeiro passo é a identificação de bacias hidrográficas e suas sub-bacias com potencial para produção de água ou que apresentem altos níveis de degradação ambiental;

2 - Devem, após isso, ser identificados os atores regionais, ou seja, os provedores de serviços ambientais e os órgãos ou entidades públicas (ou privadas) dispostos a serem os patrocinadores deste benefício;

3 - É formado então um grupo conhecido como Unidade de Gestão do Projeto (UGP) através de um arranjo institucional dos interessados, sendo destacados de forma clara os papéis dos atores;

4 - É feita uma avaliação dos passivos ambientais com base em imagens de satélite e com estudos em campo identificando dessa forma as regiões que exigem maiores cuidados dentro das propriedades, além de avaliações prévias de custos para a recuperação geral;

5 - A etapa seguinte é a mobilização dos atores para nivelamento de conhecimento do desenvolvimento dos trabalhos de extensão;

6 - É lançado um edital contendo todas as regras e orientações ao produtor rural;

7 - O Projeto Individual da Propriedade (PIP) é um documento que diagnostica e lista todas as recomendações necessárias para uma propriedade específica, bem como a estimativa do porcentual de abatimento de erosão que será alcançado caso o projeto seja executado naquela área;

8 - Após isso é feita a seleção e execução dos projetos, sendo feitas, no mesmo momento, as assinaturas dos contratos;

9 - A última etapa refere-se à vistoria e pagamento dos projetos executados. Os pagamentos são realizados à medida que as metas estabelecidas em contrato vão sendo cumpridas.

⁷⁹ Serviços ambientais são benefícios que o agricultor proporciona ao preservar áreas de importância ecológica ou recompor áreas degradadas. Como resultado, há um aumento na disponibilidade de água e na cobertura vegetal, por exemplo.

3.7.2 Programa Estadual de Microbacias

O Programa Estadual de Microbacias foi criado em 2000 tendo a primeira fase durado até 2007. Atualmente este programa se encontra na segunda fase (início em janeiro de 2011 e duração prevista de 5 anos, podendo sofrer prorrogação) e é chamado de “Programa Estadual de Desenvolvimento Rural Sustentável Microbacias II”. Os objetivos nesta segunda fase estão mais focados na sustentabilidade da agricultura familiar e no aumento de sua competitividade diante do mercado. Ainda assim, segue como objetivo, embora secundário, o combate à degradação ambiental, sobretudo a erosão do solo, que diminui a produtividade ambiental (COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRADA, 2012).

3.7.3 Programa Melhor Caminho

Criado em 1997 através do Decreto nº 41.721, de 17 de abril pela CODASP (Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo), o Programa Melhor Caminho foi desenvolvido para elaboração de convênios entre a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo e as prefeituras municipais do Estado. Este Programa tem o respaldo da lei nº 6171, de 4 de julho de 1988, regulamentada pelo Decreto nº 41.719, de 16 de abril de 1997, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SÃO PAULO, 2011).

Este Programa tem como objetivos:

- readequar o subleito para implantação de sistema de drenagem (de enxurrada proveniente de águas pluviais) eficiente;
- implantar pontos de sangra⁸⁰ (como terraços ou bacias de acumulação) para que as propriedades próximas não sofram com erosões em suas áreas e seja possibilitado um maior volume de infiltração e recarga do lençol freático local;
- melhorar as condições de rolamento e capacidade de suporte das estradas com a execução de revestimento primário.

⁸⁰ Trecho onde as águas são retiradas do subleito.

Segundo a CODASP, o Programa Melhor Caminho é a sua principal atividade, tendo atendido quase a totalidade dos municípios paulistas. A meta da Companhia, para o quadriênio de 2007-2010 foi de um atendimento a 4.500 quilômetros de estradas de terra.

A Figura 13 mostra com mais detalhes a evolução de atendimento, de 2007 a 2010. Dos municípios que a bacia do Ribeirão do Feijão integra, pode-se observar que São Carlos (SP) ainda não foi atendido por este Programa.

Embora o Programa preste-se à conservação e manutenção de estradas de terra, os carreadores não estão inclusos, por se situarem dentro de propriedades rurais. Pode haver exceções, para os casos de carreadores que prestem o serviço de estradas municipais, além de sua função de escoamento da cana.

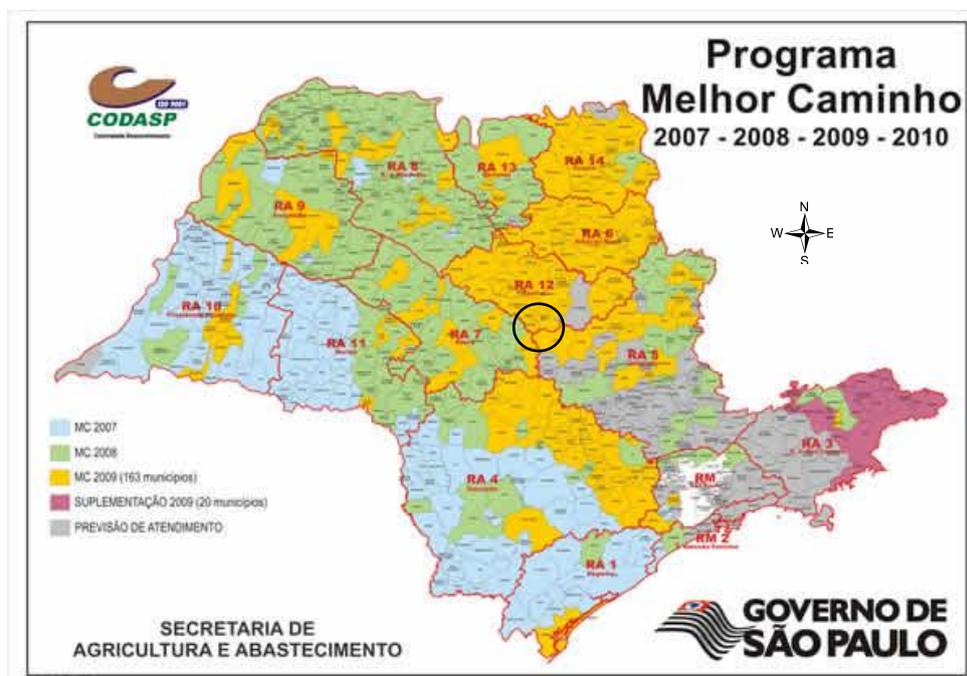


Figura 13 – Municípios do Estado de São Paulo atendidos pelo Programa Melhor Caminho, com destaque para a região da bacia do Ribeirão do Feijão (SP)

Fonte: CODASP (2011). Sem escala definida

3.7.4 Programa Pró-Estrada

O Programa Pró-Estrada foi criado pela CODASP em 2000 e tem o objetivo de evitar o assoreamento de rios e mananciais através do combate à erosão do solo de estradas de terra. Neste Programa, formam-se consórcios de até 6 municípios, que recebem máquinas como motoniveladora, pá-carregadeira, retro-escavadeira e trator de esteira. A CODASP fica responsável pelo fornecimento de suporte técnico de operação das máquinas, bem como

capacitação e conscientização dos operadores da importância da conservação do solo e da água de sua região.

3.8 Ferramentas de análise para estimativa de perda de solo por erosão

3.8.1 Histórico e visão geral

Carvalho (2008) relata que o processo da erosão, por ser complexo e envolver muitas variáveis, apresenta equações desenvolvidas para a sua estimativa que ainda não são completamente confiáveis. Ou seja, a estimativa de perda de solos por erosão em um local ou região pode apresentar erros grosseiros, dada a complexidade para a sua estimativa.

Embora os processos erosivos sejam bastante antigos e conhecidos, somente há pouco mais de 100 anos foram iniciados os estudos com bases teóricas fundamentadas. Há citações de que o Serviço Florestal Americano foi um dos pioneiros, estudando qualitativamente as erosões em 1915. Dois anos mais tarde, M.F. Miller iniciou seus estudos sobre o efeito da rotatividade de cultivo sobre o escoamento superficial e a erosão em pequenas áreas experimentais (Universidade Politécnica de Madrid⁸¹, 1984, apud CARVALHO, 2008). No Brasil, os primeiros estudos sobre erosão e assoreamento são posteriores a 1950 (CARVALHO, 2008).

As primeiras equações de estimativa de perda de solo por erosão envolviam uma ou duas variáveis e eram determinadas para os locais de estudo. Na década de 1960, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) já estava praticamente definida, embora estivesse limitada a zonas agrícolas específicas. Na década seguinte surgiram modelos capazes de prever a perda de solos em bacias hidrográficas (CARVALHO, 2008).

3.8.2 Equação Universal de Perdas de Solo

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), conhecida também como *Universal Soil Loss Equation* (USLE), foi desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) e depois aprimorada em seus parâmetros por outros pesquisadores. A EUPS é a equação mais empregada para cálculo da erosão em termos médios anuais. Seus autores, antes de criá-la experimentaram a base de dados que os levou à equação em mais de 10.000 lotes (que tinham

⁸¹ Universidad Politécnica de Madrid. (1984). Metodología para evaluación de la erosión hídrica. Departamento de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

uma área definida de 22,10 m de comprimento por 1,80 m de largura), de 50 localidades diferentes (em 24 estados americanos) com diferentes situações de clima, solo, relevo e cultivo. Trata-se de uma equação de regressão múltipla, paramétrica, que prediz a quantidade de solo erodido em uma determinada área de encosta homogênea utilizando parâmetros que “[...] consideram a energia da chuva, a resistência do solo, o deflúvio superficial através da inclinação do terreno e práticas de cultura e de conservação do solo” (RIGHETTO, 1998). Esta estima erosão por sulcos, além da laminar, mas não estima a deposição de sedimentos (AMORIM; SILVA; PRUSKI, 2009). A EUPS é “calculada para um ano ou um tempo definido” (BERTONI; LOMBARDI⁸², 1985, citados por CARVALHO, 2008) e representada através da equação:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

A – perda de solo por unidade de área e tempo, em t.ha⁻¹.ano⁻¹ – valor final da equação;

R – fator de erosividade da chuva, em MJ.ha⁻¹.mm.ha⁻¹;

K – fator de erodibilidade do solo, em MJ.ha⁻¹.mm.ha⁻¹;

LS – fatores topográficos que expressam o comprimento (em metros) e a declividade do terreno (em porcentagem);

C – fator que expressa uso e manejo do solo e cultura (adimensional);

P – fator que expressa a prática conservacionista do solo (adimensional).

Os mesmos autores relatam que esta equação pode ser utilizada para:

[...] prever as perdas de solo por erosão, selecionar práticas de conservação do solo de tal forma que sejam mantidas as perdas dentro dos limites aceitáveis, determinar os declives máximos que podem ser cultivados sob determinados manejos e tipos de solo, e para estudos e pesquisas (BERTONI e LOMBARDI⁸³, 1985, citados por CARVALHO, 2008).

A seguir são discutidos brevemente os fatores desta equação e como obter seus valores.

Fator de erosividade da chuva (*R*) – Expresso em MJ.ha⁻¹.mm.ha⁻¹, este fator traduz a erosão potencial, ou o poder erosivo da precipitação média anual da região. De acordo com

⁸² Os autores são citados (Cap. 2, p. 48) na obra de Carvalho (2008), no entanto não constam nas referências bibliográficas do capítulo.

⁸³ Os autores são citados (Cap. 2, p. 48) na obra de Carvalho (2008), no entanto não constam nas referências bibliográficas do capítulo.

Carvalho (2008) este fator tem como definição “[...] o produto da energia cinética de uma chuva pela sua máxima intensidade em 30 minutos”. Determinado através de registros pluviográficos, o valor do fator R para uma dada região é dado em termos anuais. Quanto maior o registro de eventos pluviográficos, melhores são os resultados para este fator. Lombardi Neto e Moldenhauer⁸⁴ (1980) citados por Bertoni e Lombardi Neto (2008) desenvolveram uma expressão para a obtenção do índice médio mensal de erosão, conforme apresentado na equação 2:

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

r – precipitação média mensal, em mm;

P – Precipitação média anual, em mm.

Para se obter o fator R (índice de erosão anual) deve-se somar os valores mensais da expressão mencionada acima. Esta expressão é simples e de fácil cálculo, pois exige apenas dados de precipitação média mensal (em mm). Ou seja, pluviometria ao invés de pluviografia. Necessita, no entanto, de um volume de registros de 20 anos ou mais para que o resultado seja dado com certa precisão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Fator de erodibilidade do solo (K) – Expresso em MJ.ha⁻¹.mm.ha⁻¹, o fator de erodibilidade do solo representa a capacidade do solo de sofrer erosão por uma determinada chuva. Este fator apresenta valores tabelados que foram experimentados e desenvolvidos por anos. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008) é muito difícil o isolamento do solo face ao efeito de outros fatores.

Fator topográfico (LS) – O comprimento de uma rampa (em metros) e o seu grau de declividade (em %) compreendem o fator topográfico desta equação. Bertoni⁸⁵ (1959) citado por Bertoni e Lombardi Neto (2008) desenvolveu uma equação destes dois fatores para o Estado de São Paulo, a qual é expressa através da equação 3:

⁸⁴ Lombardi Neto & Moldenhauer. (1980). Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 3, Recife, 1980. Anais...fl.13.

⁸⁵ Bertoni. J.O. (1959). O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. Bragantia, Campinas. SP, 18:113-140.

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} * D^{1,18} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

C – comprimento da rampa, em metros;

D – Grau de declive, em porcentagem.

Fator de uso e manejo do solo (C) – Este fator diz respeito à cobertura vegetal do solo, à sequência das culturas e às práticas de manejo realizadas. Seu valor é a relação esperada entre as perdas de solo de uma área cultivada e essa mesma área descoberta. Como trata-se de um fator adimensional, os valores são tabelados para algumas culturas e variações de uso e manejo do solo. Por serem cíclicas, as culturas agrícolas foram divididas em períodos uniformes (preparo do solo, plantio, estabelecimento, crescimento e colheita). Cada período apresenta uma intensidade de perda. No entanto, quando se trata de carregadores, não se deve considerar este ciclo, pois os mesmos não se prestam para o cultivo agrícola, e sua superfície é considerada solo exposto (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Fator da prática conservacionista (P) – O último fator considerado na EUPS é adimensional e refere-se à perda de solo de uma determinada área comparativamente com e sem práticas conservacionistas. Supondo que a área não apresente nenhuma prática conservacionista, o valor de “P” equivale a uma cultura cultivada no sistema de “plantio morro abaixo”, onde a probabilidade de erosão é muito maior.

Detendo-se o valor destes fatores é possível prever a erosão do solo, de uma maneira geral, para uma determinada área.

Amorim, Silva e Pruski (2009) relatam que a USLE apresenta a vantagem de ser um instrumento que exige um volume pequeno de informações se comparado aos modelos mais complexos. Outra vantagem é a de ser uma equação bastante conhecida e estudada. Como limitação, os mesmos autores afirmam que os valores obtidos são uma representação média da área, não sendo considerados as variabilidades espacial e temporal.

3.8.3 Outras equações e ferramentas para predição da erosão do solo

Carvalho (2008) cita diversas equações desenvolvidas com o objetivo de estimar a perda de solo por erosão. Algumas equações foram desenvolvidas para regiões ou condições específicas.

De acordo com Pontes⁸⁶ (1977), citado por Carvalho (2008), foi utilizada no noroeste do Paraná (em uma região cafeeira) a seguinte equação (4) para estudos de um empreendimento:

$$E = 9,347 * Tx^{1,1425} * Dummy^{0,82249} * L^{0,10064} * P^{0,07805} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

E - perda de solo por erosão, em t.ha⁻¹.ano⁻¹;

Tx - textura (% areia horizonte A/% argila horizonte B);

Dummy - uso agrícola (café 10, pastagem 1);

L - Comprimento de rampa, em m;

P - declividade, em %.

A equação de Smith e Whitt, de 1947 e 1948 (Equação 5), foi desenvolvida para estimar perda de solo em áreas no Missouri, nos EUA (Universidad Politécnica de Madrid⁸⁷, 1984, citada por CARVALHO, 2008):

$$A = C * S * L * K * P \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

A - média anual de perdas de solo;

C - média anual de perdas de solo em lotes experimentais submetidos à rotatividade de cultivo;

S, L, K e P - fatores de ajuste de perdas de solo no lote experimental no qual se conhece o fator C; correspondem ao gradiente de declive, comprimento do declive, tipo de solo e práticas de conservação de solo, respectivamente.

Carvalho (2008) cita que Musgrave desenvolveu em 1947 sua equação, após analisar inúmeros casos em lotes experimentais (Equação 6):

⁸⁶ Pontes, A. B. (1977). Controle da erosão na região noroeste do Estado do Paraná, Brasil. DNOS. Curitiba, PR.

⁸⁷ Universidad Politécnica de Madrid. (1984). Metodología para evaluación de la erosión hídrica. Departamento de Hidráulica e Hidrologia de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

$$E = (0,00527) I * R * S^{1,35} * L^{0,35} * P_{30}^{1,75} \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

E - perdas de solo, em mm.ano⁻¹;

I - erodibilidade do solo, referente a um lote de 10% de declividade e 22 m de comprimento do declive, em mm.ano⁻¹;

R - fator de cobertura vegetal;

S - declividade em %;

L - comprimento do declive, em m;

P_{30} - precipitação máxima, em 30 minutos, com tempo de recorrência de 2 anos, em polegadas.

Esta última equação serviu de base para o desenvolvimento da Equação Universal de Perdas de Solo (CARVALHO, 2008).

Outro modelo que pode ser citado (ROCHA; FERREIRA⁸⁸, 1980, apud CARVALHO, 2008) é o de Fournier, de 1960, que desenvolveu 3 expressões (Equações 7, 8 e 9) as quais estimam a produção de sedimentos em uma bacia, ou sua “degradação específica”.

$$E = 6,14 * (p^2/P) - 49,78 \quad (\text{Eq. 7})$$

$$E = 91,78 * (p^2/P) - 737,6 \quad (\text{Eq. 8})$$

$$E = 52,49 * (p^2/P) - 513,21 \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que:

E – Erosão ou degradação específica, em t/(km².ano);

p – precipitação do mês mais chuvoso, em mm;

P – precipitação anual, em mm.

Deve-se destacar que o emprego da primeira equação dá-se para bacias com relevo pouco acidentado ou em que a proporção $p^2/P < 20$. A segunda é usualmente empregada para bacias com relevo acidentado e a terceira é aplicável em bacias de relevo acidentado e clima úmido.

O Modelo de Djorovic (desenvolvido em 1974), citado por Carvalho (2008), foi desenvolvido pelo Instituto Florestal e de Indústrias da Madeira (na Iugoslávia). Este modelo é indicado para o emprego em bacias não muito extensas, mas com fortes precipitações. A Equação 10 refere-se ao modelo:

⁸⁸Rocha, J.S.; Ferreira, J.P.C.L. (1980). A erosão hídrica na bacia do Rio Guadiana e o assoreamento da albufeira de Alqueva. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (Memória n.541). Lisboa.

$$W = T * F * h * \pi \sqrt{Z^3} \quad (\text{Eq. 10})$$

Em que:

W – Produção de sedimento, em $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$;

T – Fator de temperatura, obtido através da equação $T = \sqrt{t_0/10+1}$ (t_0 – Temperatura média anual, em $^{\circ}\text{C}$);

F – Área da bacia, em km^2 ;

h – Precipitação média anual, em mm;

π – 3,1416;

Z – Coeficiente de erosão que reflete a intensidade e extensão do fenômeno erosivo de uma bacia. Por sua vez, este coeficiente é obtido a partir da Equação 11:

$$Z = Y * X\alpha * (\varphi + \sqrt{p}) \quad (\text{Eq. 11})$$

Em que:

Y – Coeficiente adimensional de erosividade do solo. Tem variação de 0,5 para solos com boa estrutura e 2 para areias, solos soltos e pedregulhos;

X α – Coeficiente adimensional que quantifica o estado da cobertura vegetal e as práticas conservacionistas do solo. Sua variação é de 0,05 para bosques e vegetações arbustivas que confirmam uma boa cobertura, até 1 para solos desnudos, sem lavoura;

φ – Coeficiente adimensional que quantifica o estado erosivo da bacia. Os valores variam de 0,2 para bacias com pouquíssima erosão, a 0,1 para bacia que apresentem processos erosivos avançados;

p – Declividade média da bacia, em porcentagem.

O valor de Z é obtido através do cálculo da média ponderada dos distintos valores deste coeficiente, obtidos para cada um dos valores parciais, que integram os diferentes coeficientes representativos dos fatores (Equação 12).

$$Z = \sum Z_i F_i / F \quad (\text{Eq. 12})$$

Em que:

F – Área da bacia, em km²;

Z_i e F_i - são os valores parciais, que correspondem ao coeficiente de erosão e aos limites de aplicação, respectivamente. Este modelo, em função dos valores de coeficiente Z obtidos, estabelece uma classificação dos processos erosivos, que podem ser apresentados a partir da Tabela 23:

Tabela 23 – Classificação dos processos erosivos para o modelo de Djorovic

Classe do processo erosivo	Tipo de processo erosivo	Valor de Z
I	Erosão excessiva	de 1,01 a 1,50
II	Erosão intensa	de 0,71 a 1,00
III	Erosão média	de 0,41 a 0,70
IV	Erosão fraca	de 0,20 a 0,40
V	Erosão muito fraca	de 0,01 a 0,19

Fonte: Carvalho (2008)

Em 1975 foi desenvolvida por Willians a Equação Universal de Perdas de Solo Modificada (MUSLE). Esta foi derivada da EUPS, se aplica a pequenas e médias bacias hidrográficas e seu diferencial é o de estimar a perda de solos por conta de chuvas individuais (AVANZI et al., 2008).

A *RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)* é uma equação derivada da EUPS, com a diferença que nesta demanda-se a inclusão de dados provenientes de novas medições e são considerados processos físicos mais refinados de erosão, aumentando a faixa de aplicação do modelo. Por ser mais específica, esta equação ficou restrita à aplicação em locais que apresentem novas coletas de dados ou que tenham as características exatas dos processos físicos incluídos (SILVA; CRESTANA, 2003).

Além das equações apresentadas existem modelos computacionais capazes de prever a erosão do solo, desde pequenas áreas até grandes bacias hidrográficas. Alguns desses modelos são citados a seguir.

O modelo *Areal Non-point Source Watershed Environmental Response Simulation (ANSWERS)* foi desenvolvido na década de 70, concebido inicialmente para o gerenciamento e planejamento de qualidade da água. Embora atualmente apresente um submodelo de erosão

do solo, seu foco maior é voltado para a qualidade da água, onde simula, por exemplo, a interação entre diferentes componentes em um corpo hídrico, como o nitrogênio orgânico, nitrato e amônia. Neste modelo, a área em estudo é subdividida em células uniformes que variam de 0,4 a 1 hectare. Os parâmetros referentes ao uso da terra, inclinação, propriedades do solo, nutrientes existentes, cultivo e práticas agrícolas são considerados de forma uniforme em cada célula. A diferença entre as células irá denotar a heterogeneidade da bacia. O *software* apresenta várias versões e a mais atual (ANSWERS – 2000) teve seus parâmetros de nutrientes e infiltração melhorados (SILVA; CRESTANA, 2003).

Outro modelo que pode ser citado é o EPIC (*Erosion-Productivity Impact Calculator*), desenvolvido pelo Serviço de Pesquisa Agrícola, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-ARS). Trata-se de um modelo de simulação que avalia o impacto da erosão na produtividade agrícola, prevendo quais seriam os efeitos de uma gestão em uma determinada bacia sobre o solo, água, nutrientes e produtos químicos utilizados, considerando além de seus impactos, sua movimentação (AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, 2012).

Srinivasan e Galvão⁸⁹ (1995) citados por Silva e Crestana (2003), descrevem o modelo WESP (*Watershed Erosion Simulation Program*) como um modelo físico de parâmetro distribuído, de evento orientado, não linear. Para a sua aplicação, demanda que sejam fornecidos três grupos de dados: características da bacia, parâmetros de erosão e deposição e características de precipitação.

Simões⁹⁰ (2001) apud Silva e Crestana (2003), relata que o CHDM – *Catchment Hydrology Distributed Model* – é um dos modelos computacionais que utilizam parâmetros espacialmente distribuídos. Ou seja, variações de vegetação, topografia, solos e usos da terra são considerados ao invés de valores médios. O mesmo autor afirma ainda que este modelo “[...] pode ser útil para prever o efeito das mudanças na utilização da terra, o movimento dos sedimentos e contaminantes”, além da resposta hidrológica de bacias que não apresentem dados disponíveis para calibração de um modelo empírico.

O modelo *European Soil Erosion Model* – EUROSEM – proposto por Morgan et al.⁹¹ (1998) apud Silva e Crestana (2003), possui estrutura modular e “[...] simula o transporte de

⁸⁹ Srinivasan, V.S.; Galvão, C.O. (1995). Evaluation of runoff and erosion loss in micro-basins utilizing the hydronamic model WESP. *Advances in Engineering Software*, n.22, pp. 79-85.

⁹⁰ Simões, L.B. (2001). Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias. Botucatu. 2001. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

⁹¹ Morgan, R.P.C.; Quinton, J.N.; Smith, R.E.; Govers, G.; Poesen, J.W.A.; Auerswald, K.; Chisci, G.; Torri, D.; Styczen, M.E. (1998). The European soil erosion model EUROSEM: documentation and user guide. Silsoe College, Cranfield University, UK. <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/nsri/research/erosion/>.

sedimentos pela água gerada por uma série de superfícies planas uniformes interligadas”. Este modelo, no entanto, “[...] requer mais de 30 parâmetros de cada elemento espacial a ser modelado”. Além disso, a escala temporal requerida (minutos) exige um grande volume de informações climáticas.

O modelo *Limburg Soil Erosion Model* – LISEM – é um modelo físico, integrado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG). Tem sido aplicado em pequenas bacias hidrográficas (entre 10 e 300 hectares) e “[...] simula o transporte de sedimentos e os aspectos hidrológicos durante e imediatamente depois de um único evento de chuva” (SILVA; CRESTANA, 2003). De acordo com os mesmos autores, no LISEM, são passíveis de estimativa o “[...] escoamento superficial, interceptação, depósito em microdepressões, infiltração e movimento vertical do solo”. Destacam ainda que este modelo ganhou desenvolvimento, como a obtenção de “[...] múltiplas classes de sedimento para erosão e deposição, perda de fósforo (P), nitrato (NO₃) e amônia (NH₄) em solução e propensão à formação de sulcos”.

De acordo com Gassman et al. (2007), o SWAT – *Soil and Water Assessment Tool* – é um modelo computacional, fruto de 30 anos de estudos do Serviço de Pesquisa Agrícola, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-ARS). Foi desenvolvido para medir em tempo contínuo, balanço hídrico, produção de sedimentos, balanço de nutrientes e persistência de produtos químicos agrícolas dentro de bacias hidrográficas. Alguns fatores para inclusão e trabalho desse modelo são a hidrografia destas bacias, histórico de pluviosidade, uso e ocupação do solo e clima, entre outros.

O modelo WEPP – *Water Erosion Prediction Project* – é um modelo computacional desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Sua validação foi feita através da tomada de escoamento de água e produção de erosão em 1000 parcelas de 15 bacias hidrográficas diferentes dos Estados Unidos. Seu emprego pode ser feito para a predição de erosão do solo em terras agrícolas, pastagens e florestas (BECKER, 1997).

Podem ser citados outros modelos para a predição da erosão hídrica, como o AGNPS - *Agricultural Non-Point Source Pollution Model* (AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, 2012) e CREAMS - *Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems* (CREAMS, 1980), entre outros.

4 Materiais e métodos

4.1 Aquisição de informações

4.1.1 Informações gerais

As informações gerais sobre o local de estudo (caracterização, área, atividades agrícolas desenvolvidas, histórico de ocupação) foram adquiridas através do Comitê de bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, Raízen – Usina da Serra (Ibaté/SP), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), profissionais, pesquisadores, professores, levantamento bibliográfico proveniente de bibliotecas e sites especializados da internet.

Já as informações sobre erosão do solo, montagem do estudo observacional, estudos e dados correlatos foram obtidas através de comunicação pessoal e levantamento bibliográfico.

Os dados de pluviometria e pluviografia foram obtidos, através da Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA/USP) e também com a instalação de pluviômetros em campo. Embora a estação climatológica se situe em uma bacia hidrográfica vizinha à bacia do Ribeirão do Feijão, sua distância em linha reta à montagem dos estudos observacionais era de aproximadamente 1.000 metros. Para efeito de comparação foram instalados pluviômetros de plástico nas parcelas observacionais e na estação climatológica.

4.1.2 Mapas

Foram adquiridos 18 mapas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC), em escala 1:10.000 (IGC, 1979) para digitalização da bacia do Ribeirão do Feijão e delineamento da topografia, com curvas de 5 em 5 metros. A referência horizontal destes mapas é Córrego Alegre (MG), referência vertical, Marégrafo de Imbituba (SC), projeção UTM (Universal Transversa Mercator), fuso 23. A junção dos mapas e seu delineamento foram feitos com auxílio do *software Autodesk Map* – 2004. A representação da junção dos mapas pode ser observada através da Figura 14.

Folha 55/85 São Carlos I	Folha 55/86 São Carlos II		
Folha 56/85 São Carlos IV	Folha 56/86 Fazenda Capão de Antas	Folha 56/87 Fazenda Água Turva	Folha 56/88 Fazenda Córrego Seco
Folha 57/85 Córrego Santa Maria	Folha 57/86 Estação Conde do Pinhal	Folha 57/87 Morrinho	Folha 57/88 Serra da Estrela
Folha 58/85 Rio Jacaré-Guaçu	Folha 58/86 Fazenda Conde do Pinhal	Folha 58/87 Estação Visconde do Rio Branco	Folha 58/88 Rio Corumbataí
Folha 59/85 Represa do Lobo	Folha 59/86 Córrego do Geraldo	Folha 59/87 Fazenda São José	
		Folha 60/87 Fazenda Mutuca II	

Figura 14 – Disposição das folhas topográficas utilizadas para digitalização

Fonte: IGC (1979)

4.1.3 Imagens

As imagens de satélite foram obtidas junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos – SAAE. Foi realizada a junção de 7 imagens de 2008 e 10 imagens de 2010. Em relação às imagens, suas características são apresentadas nas Tabelas 24 e 25:

Tabela 24 – Características das imagens de satélite utilizadas, de 2008

Imagens de satélite de 2008	
Data aproximada das imagens	2008
Resolução espacial	61 centímetros
Resolução radiométrica	11 bits
Projeção/Datum/Fuso	UTM/SAD/69/23
Formato	Geotiff
Sensor	Pancromático
bandas espectrais	1 (Pancromático)
Áreas das imagens	517 km ²
Pontos de coleta de campo, com GPS, para controle	-

Fonte: SAAE⁹²

⁹² Serviço Autônomo de Água e Esgoto. (2012). Informações sobre as imagens de satélite cedidas. Informação recebida eletronicamente em: 14 mai. 2012.

Tabela 25 – Características das imagens de satélite utilizadas, de 2010

Imagens de satélite de 2010	
Data aproximada das imagens	Novembro de 2010
Resolução espacial	50 centímetros
Resolução radiométrica	8 bits
Projeção/Datum/Fuso	UTM/SAD 69/ 23
Formato	Geotiff
Sensor	GeoEye 1
bandas espectrais	3
Áreas das imagens	220 km ²
Pontos de coleta de campo, com GPS, para controle	35

Fonte: SAAE⁹³

O perímetro (máscara) da bacia também foi cedido pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos.

4.1.4 Documentação visual do estudo

A documentação visual do estudo foi feita com o auxílio de uma câmera digital da marca *Sony*, modelo *Cyber Shot – DC-W320*, com resolução de 14.1 *mega pixels*. Todas as etapas, desde as visitas a campo, montagem do experimento, coletas de amostras, finalização dos trabalhos de campo e análises de laboratório, foram registradas em aproximadamente 2.000 fotos.

4.2 Manipulação dos dados

Foi cedido pela Raízen – Usina da Serra - o arquivo contendo o contorno dos talhões, matas e carregadores da Fazenda Santo Antonio do Lobo georeferenciado, para inserção na bacia.

Com posse das imagens de satélite, do perímetro da bacia e da área de estudo, foi realizada a classificação e interpretação do uso e ocupação do solo da bacia, sendo consideradas as seguintes classes de uso de solo (em ordem alfabética):

- Cana-de-açúcar;
- Construção (terreiros, casas, estufas, galpões e outras construções em alvenaria);
- Estrada de terra;

⁹³ Serviço Autônomo de Água e Esgoto. (2012). Informações sobre as imagens de satélite cedidas. Informação recebida eletronicamente em: 28 fev. 2012.

- Estrada de asfalto;
- Ferrovia;
- Floresta plantada (reflorestamento);
- Mata;
- Outras culturas (excetuando-se as culturas da cana, reflorestamentos e pastagens);
- Outros (áreas pertencentes a concessionárias de estradas, por exemplo, ou outras áreas não aplicáveis aos demais itens citados);
- Pastagem;
- Represa.

Para a classificação de uso e ocupação do solo foram usados como ferramentas os *softwares* de geoprocessamento *ArcGis 9.3* e *Auto Desk Map - 2004*.

4.3 Caracterização da área de estudo

A Fazenda Santo Antonio do Lobo, situada no município de Itirapina (SP) foi adotada como estudo de caso. Esta localiza-se na bacia do Ribeirão do Feijão, com área de 234,36 km² e inserida na bacia do Tietê-Jacaré/SP. A Figura 15 apresenta a área de estudo.

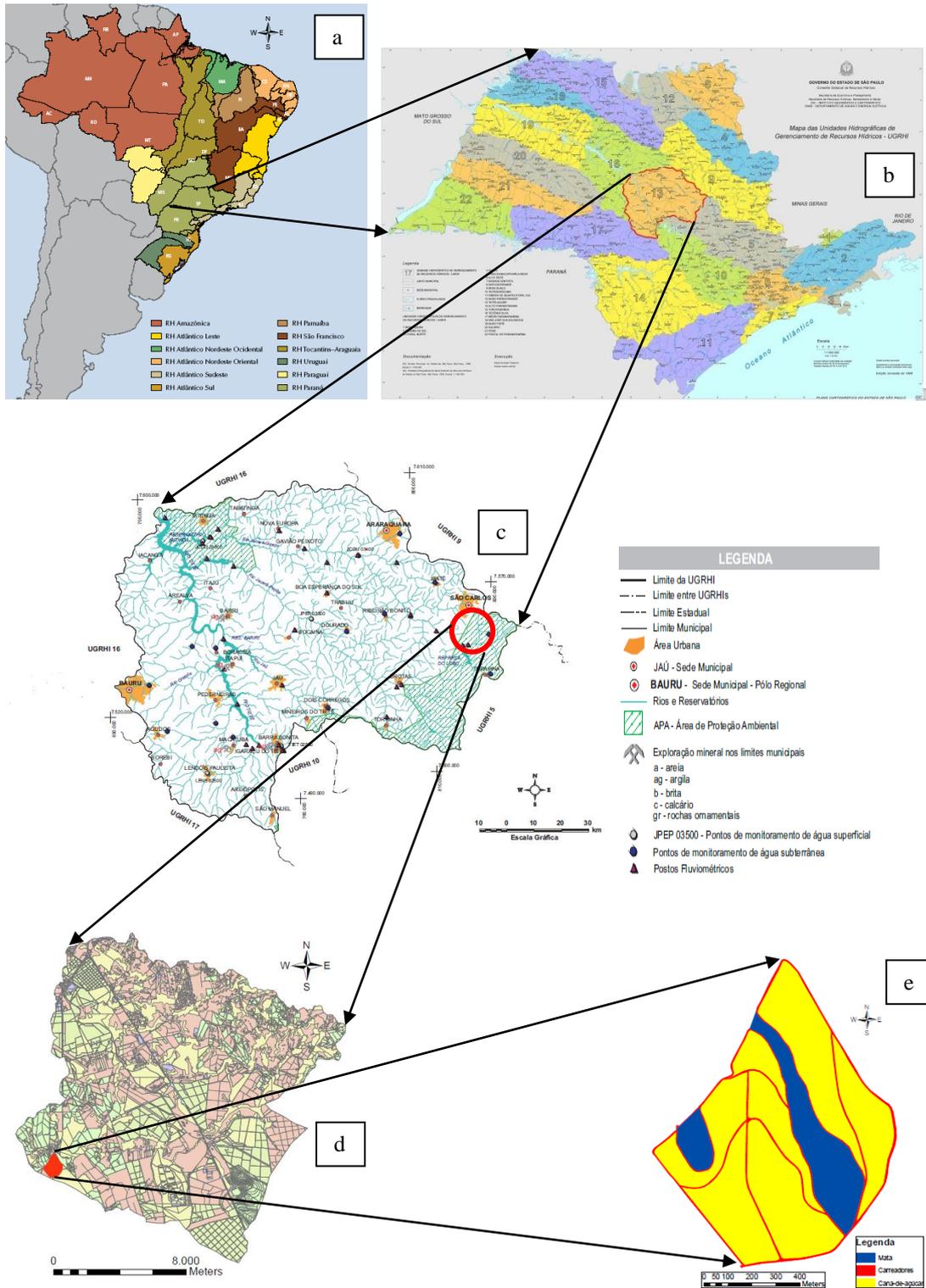


Figura 15 - (a) Mapa do Brasil e as grandes bacias hidrográficas.; (b) O Estado de São Paulo e suas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com destaque para a UGRHI 13 – Tietê-Jacaré.; (c) Bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, com destaque para a região da bacia do Ribeirão do Feijão.; (d) – Bacia do Ribeirão do Feijão, com destaque para a área de estudo; (e) Área de estudo – Fazenda Santo Antônio do Lobo
 Fontes: (a) MMA; ANA; PNUMA (2007). Mapa sem escala definida; (b) Instituto Geográfico e Cartográfico – IGC, 1996; (c). Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré, 2000; (d) Scarpinella (2012); (e) Modificado de Raízen⁹⁴

⁹⁴ Raízen. (2011). Envio eletrônico de arquivo da área estudada em: 18, fev. 2011.

A bacia do Ribeirão do Feijão é tributária da bacia do Rio Jacaré-Guaçu, inserida na Bacia do Tietê-Jacaré, que por sua vez é tributária do rio Tietê, importante rio do Estado de São Paulo. Como vizinhos, a bacia do Ribeirão do Feijão apresenta: a noroeste, a bacia do Monjolinho; a norte, a bacia do rio Mogi-Guaçu; a leste, a bacia do rio Corumbataí e a sudeste, a bacia do Ribeirão do Lobo (SILVA FILHO, 1998).

Em relação à hidrografia, a bacia do Ribeirão do Feijão apresenta o ribeirão do Feijão como principal curso d'água da bacia, merecendo destaque ainda o Ribeirão da Laranja Azeda, seguido dos córregos do Macaco, do Pinhal, São José e Monjolinho (SILVA FILHO, 1998). A Figura 16 apresenta a altimetria da bacia do Ribeirão do Feijão e sua hidrografia respectiva. Destacado em vermelho, pode ser observado o Ribeirão do Feijão.

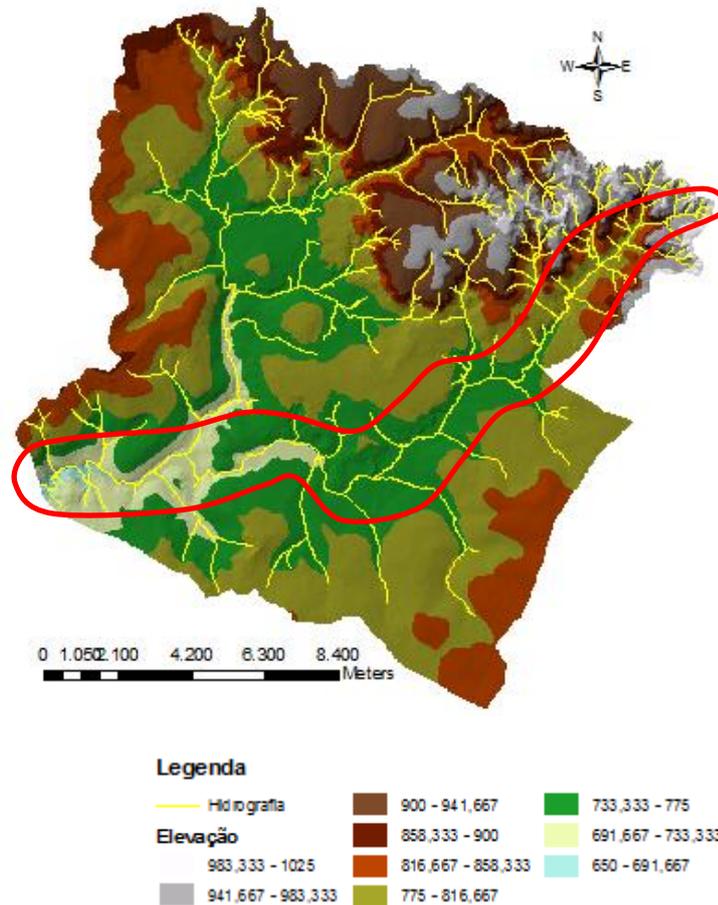


Figura 16 – Altimetria da bacia do Ribeirão do Feijão (SP) e sua hidrografia

Fonte: Scarpinella (2012)

A Figura 17 apresenta a bacia do Ribeirão do Feijão e sua localização entre os municípios de São Carlos, Itirapina e Analândia.



Figura 17 – Localização da Bacia do Ribeirão do Feijão, entre os municípios de São Carlos, Itirapina e Analândia

Fonte: Adaptado de Oliveira (2011)

Fazenda Santo Antonio do Lobo

A Fazenda Santo Antonio do Lobo foi arrendada pela Raízen em 2001. Apresenta uma área total de 70 ha onde a cana-de-açúcar é cultivada em 55,87 ha, com uma produtividade média histórica de 75 t.ha^{-1} (a produtividade média de cana para o Estado de São Paulo na safra de 2009/2010 foi de $83,6 \text{ t.ha}^{-1}$). Os carreadores tomam 3,13 ha da área e o restante (11 ha) é formado pelas matas remanescentes. Antes de ser cultivada cana, a fazenda era destinada à atividade de pecuária extensiva.

A variedade de cana-de-açúcar cultivada atualmente é conhecida como RB 867515. Trata-se de uma variedade de “ano e meio” plantada em um espaçamento de 1,50 m. A Tabela 26 apresenta outras características desta variedade.

Tabela 26 – Características da variedade de cana RB 867515

Variedade RB 867515			
Item	Característica	Item	Característica
Brotação		Doenças e pragas	
Cana-planta	muito boa	Carvão	resistente
Cana-soca - colh. man. queimada	boa	Escaldadura	resistente
Cana-soca - colh. mec. crua	boa	Ferrugem	resistente
Perfilhamento		Estrias vermelhas	intermediária
Cana-planta	baixo	Falsa estrias vermelhas	intermediária
Cana-soca	médio	Mosaico	resistente
Velocidade de crescimento	rápido	Podridão abacaxi	resistente
Porte	alto	Nematóides	intermediária
Hábito de crescimento	ereto	Complexo broca-podridão	resistente
Fechamento entrelinhas	bom	Destaques	
Tombamento	eventual	Boa opção para plantio como cana-de-ano.	
Produção agrícola	alta		
Maturação	média		
Teor de açúcar	alto	Apresenta alto teor de sacarose, com curva de maturação semelhante à da RB72454.	
Teor de fibra	médio		
PUI	longo		
Floração	eventual	Ótima brotação das socas, mesmo colhidas sem queima.	
Chochamento	pouco		
Adaptabilidade	ampla		
Estabilidade	boa	Crescimento rápido com alta produtividade agrícola.	
Resistência à seca	média		
Herbicidas	tolerante		
Época de corte	ago. a nov.	Observação	
Densidade do colmo	alta	Variedade indicada para ambientes de médio a baixo potencial de produção. Contra-indicada para solos argilosos de boa fertilidade.	
Despalha	boa		
Ambiente para a produção	sem restrição		

Fonte: Universidade Federal de São Carlos (2012)

Foram empregados terraços a cada 5 metros de diferença vertical⁹⁵ (DV) na área. Os tratos culturais realizados entre os períodos de colheita são descritos na Tabela 27.

Tabela 27 - Tratos culturais realizados na Fazenda Santo Antônio do Lobo

Tratos culturais	Período de realização	Máquina utilizada
Cultivo com leve escarificação nas entrelinhas	20 dias após a colheita	Trator de 145 cv
Adubação de cobertura	20 dias após a colheita	Trator de 145 cv
Aplicação de herbicida	No máximo, 30 dias após a colheita	Trator de 105 cv

Fonte: Raízen⁹⁶

⁹⁵ Conceito usado na implementação de terraços, visando o controle da erosão do solo.

É realizada uma adubação em cobertura na área de plantio (como especificado na Tabela 27) recorrendo-se à fórmula 18-00-27, com um volume aplicado de 550 kg.ha⁻¹. A cada 2 anos há também uma adubação fosfatada (superfosfato simples), a qual não consta na Tabela 27, com volume aplicado de 500 kg.ha⁻¹.

Na ocasião da instalação, desenvolvimento e conclusão do estudo, a cultura da cana encontrava-se na quarta rebrota. Empregam-se, em média, 5 rebrotas para um canavial. Após isso há a eliminação das soqueiras e um novo canavial é instalado. Geralmente há um intervalo para “descanso” da terra, realizando-se o cultivo de leguminosas, que garantem uma ciclagem e reposição de nutrientes, como o nitrogênio.

4.3.1 Solo

A caracterização pedológica da área de estudo foi baseada no Levantamento Pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo, de 1981, em escala 1:100.000, quadrícula de São Carlos, elaborado pelo Convênio Embrapa, Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária e Instituto Agrônomo (EMBRAPA-SAA, 1981). Os tipos de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, bem como suas áreas e porcentagens respectivas são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Classificação dos tipos de solo na bacia do Ribeirão do Feijão

Classificação	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Neossolo quartzarênico	28,8	12,3
Neossolo quartzarênico + Latossolo Vermelho Amarelo álico	67,6	28,9
Latossolo Roxo distrófico	8	3,4
Latossolo Roxo distrófico + Latossolo Roxo eutrófico	0,3	0,1
Latossolo Roxo distrófico + Argissolo	5,6	2,4
Latossolo Roxo distrófico + Latossolo Roxo eutrófico + Argissolo	4,3	1,8
Latossolo Vermelho Amarelo, álico. A moderado, textura média. Unidade Coqueiro	10,4	4,4
Latossolo Vermelho Amarelo, álico. A moderado, textura média. Unidade Laranja Azeda.	2,7	1,1
Latossolo Vermelho Amarelo, álico. A moderado, textura argilosa ou média. Unidade Canchin.	7,7	3,3

⁹⁶ Raízen. (2012). Informações sobre tratos culturais na Fazenda Santo Antonio do Lobo. Informação recebida eletronicamente em: 25 fev. 2012.

Classificação	Área (km²)	Porcentagem (%)
Latossolo Vermelho Amarelo, álico. A proeminente, textura muito argilosa ou argilosa. Unidade Itororó + Plintossolo	6,3	2,7
Argissolo (Podzólico Vermelho amarelo. Distrófico A proeminente ou chernozêmico/ textura média/argilosa, fase pedregosa I. Unidade Santa Clara).	3,4	1,5
Argissolo (Terra Roxa estruturada distrófica ou eutrófica, intermediária para latossolo roxo. A moderado. Unidade Itaguaçu).	44,1	18,8
Neossolo quartzarênico + Argissolo	8,1	3,5
Neossolo litólico eutrófico	14,6	6,2
Neossolo litólico eutrófico e distrófico	13,6	5,8
Latossolo vermelho escuro álico, A moderado, textura média. Unidade Hortolândia.	4,9	2,1
Latossolo vermelho escuro, álico, A moderado, textura argilosa. Unidade Limeira.	3,2	1,4
Gleissolo	2	0,9
TOTAL	234,4	100

Fonte: Embrapa-Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (1981) e Santos et al. (2006)

Dentre os tipos de solo apresentados na Tabela 28, o Neossolo Quartzarênico é o único tipo que ocorre na área estudada.

Prado (1991) conceitua os Neossolos Quartzarênicos como sendo minerais pouco desenvolvidos, de textura arenosa, formados por material arenoso virtualmente destituído de minerais primários, menos resistentes ao intemperismo. Macedo (1994) caracteriza tais tipos de solo como muito pobres, muito permeáveis e mal estruturados, com baixa capacidade de retenção de água, bastante suscetíveis à erosão, originários de arenitos ou sedimentos areno-quartzosos e com teor de argila inferior a 15%.

Apresentam alta capacidade de transmissão de água ou ar (a percolação da água é superior a 150mm/hora em testes de laboratório (Prado, 1991). Por outro lado, dada esta característica, há maior risco de contaminação do lençol freático quando são adicionados líquidos tóxicos ao solo (FRANÇA⁹⁷, 1989, apud PRADO, 1991).

⁹⁷ França, G.V. (1989). Curso de planejamento do uso da terra. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Anotações de aula.

4.3.2 Clima

De acordo com o sistema de classificação climática de *Koppen*, o clima na bacia do Ribeirão do Feijão é do tipo Cwa (Figura 18), ou seja, clima tropical de altitude, com 6 meses definidos de verão chuvoso e 6 meses definidos de inverno seco. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C (CEPAGRI, 2012). A precipitação média do mês mais seco é inferior a 30 mm e a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C (ROLIM et al., 2007).



Figura 18 – Classificação climática de Koppen para o Estado de São Paulo, com destaque (círculo) para a área de estudo

Fonte: Modificado de CEPAGRI (2012). Sem escala definida

4.3.3 Vegetação

A ocorrência vegetal natural para a bacia do Tietê-Jacaré é de trechos remanescentes de Cerrado. O IPT (2000) conceitua Cerrado como sendo:

um complexo de formações vegetais que apresenta fisionomia e composição florística variáveis: campestres (campo limpo), savânicas (campo sujo, campo cerrado e cerrado stricto sensu) e florestais (cerradão), formando um mosaico ecológico IPT (2000).

Dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, o ambiente vegetal natural encontra-se restrito às proximidades dos cursos d'água e regiões de várzea. Apesar do avanço da atividade pecuária e do cultivo da cana-de-açúcar e eucalipto (entre outros) a vegetação nativa ainda cobre aproximadamente ¼ da superfície da bacia do Ribeirão do Feijão.

4.3.4 Geomorfologia e geologia do local de estudo

De acordo com o IPT (2000) a bacia do Tietê-Jacaré (onde se localiza a bacia do Ribeirão do Feijão) está inserida na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista e das Cuestas Basálticas.

O Planalto Ocidental abrange apenas porção da parte oeste da bacia do Tietê-Jacaré. Almeida⁹⁸ (1964) citado pelo IPT (2000) relata que esta formação corresponde a “[...] derrames basálticos que cobrem as unidades sedimentares do final do ciclo de deposição da Bacia do Paraná e às coberturas sedimentares que, por sua vez, foram depositadas na Bacia Bauru, acima desses basaltos”. De maneira geral, esta formação apresenta relevo suave ondulado, de colinas, com densidade de drenagem variando bastante. As cabeceiras geralmente apresentam uma ramificação maior da drenagem conferindo a estas uma densidade de média a alta⁹⁹.

Já as Cuestas Basálticas apresentam-se “[...] sob a forma de diversos planaltos e transições interplanálticas que correspondem às cabeceiras dos rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu, configurando um vasto interflúvio, que avança sobre a Depressão Periférica”. O IPT (2000) caracteriza este Planalto como tendo duas variações: Planalto de Torrinha e Planalto de São Carlos. O Planalto de Torrinha, que abrange o município de Torrinha (SP), está modelado sobre basalto, com extensa cobertura de rochas da formação Itaqueri. Há a ocorrência de colinas médias e altitudes que variam entre 700 e 900 metros. O Planalto de São Carlos (onde se localiza a bacia do Ribeirão do Feijão) abrange a região de São Carlos e Ibaté. Também modelado sobre basaltos, este planalto é formado por relevo de morros arredondados e colinas médias. No entanto, os mesmos autores relatam que a sua cobertura sedimentar é mais jovem que a formação Itaqueri.

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão apresenta uma variação na elevação entre 691 e 1025 metros.

⁹⁸ Almeida, F.F.M. de. (1964). Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Bol.Inst.Geogr. e Geol.*, São Paulo, (41):169-263.

⁹⁹De acordo com Vilela e Mattos (1975), a variação da densidade de drenagem para uma bacia pode variar 0,5km/km² (densidade pobre, ou baixa) a 3,5km/km² (densidade de drenagem excelente, ou alta).

4.4 Montagem do estudo observacional

4.4.1 Escolha do local de estudo

A escolha de uma área para a montagem de um estudo observacional, em que seja aferida a produção de sedimento em carreadores de cana após a ocorrência natural de chuva, deve levar em consideração aspectos como logística, custos e outras facilidades. Considerando que as parcelas observacionais deveriam receber visitas diárias por um período de aproximadamente 2 meses, buscou-se uma área próxima ao Núcleo de Hidrometria, pertencente ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA/USP), localizado no município de Itirapina/SP. O rápido transporte de material de amostra (parte, para imediato congelamento), a possibilidade de mais de uma visita diária, a localização próxima a uma estação climatológica e o volume de dados disponíveis a respeito da região foram decisivos para a escolha de um local próximo.

A empresa Raízen (unidade Usina da Serra – Ibaté) foi contactada e apresentou algumas áreas que poderiam ser disponibilizadas para o desenvolvimento do estudo dentro da bacia do Ribeirão do Feijão. Despertou maior interesse uma fazenda arrendada, que dista aproximadamente a 1 quilômetro do CRHEA (Figura 19).



Figura 19 – Vista parcial da Reserva do Lobo, com destaque para o Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA – e o local das parcelas observacionais selecionadas

Fonte: adaptado de Google Earth (2010)

Após a autorização formal para a instalação do estudo, foram realizadas algumas visitas com o objetivo de se definir os pontos mais representativos dentro da Fazenda.

4.4.2 Instalação das parcelas

Foram selecionados 4 pontos diferentes, em diferentes carregadores internos, com inclinações aparentemente distintas. A idealização de como seria a captação dos sedimentos nas parcelas foi obtida a partir de consulta com Zuquette¹⁰⁰.

A Figura 20 destaca as parcelas adotadas para estudo e a constituição do solo na fazenda.

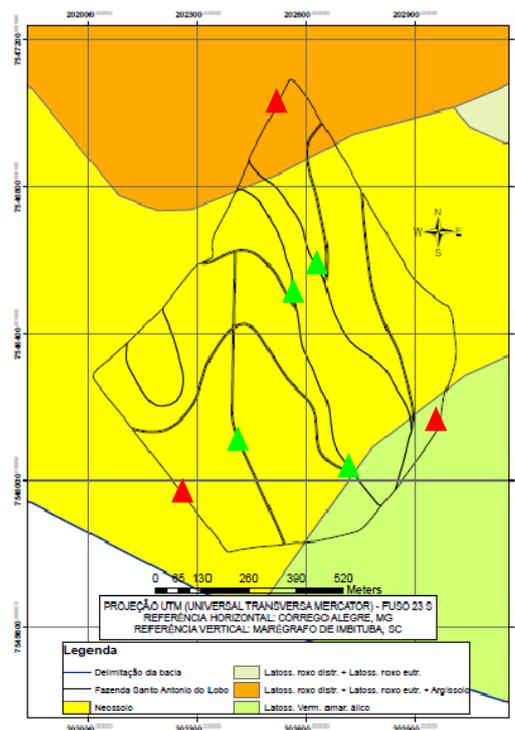


Figura 20 – Área de estudo – Fazenda Santo Antônio do Lobo – e seu perfil pedológico, com destaque para a seleção do local das parcelas instaladas e não instaladas

Parcelas observacionais instaladas (verde); Parcelas não instaladas (vermelho)

Fonte: Scarpinella (2012).

¹⁰⁰ Zuquette, L. V. (2011). Informações sobre montagem do estudo observacional. Informações recebidas pessoalmente em: 18 jan. 2011.

No princípio das visitas à fazenda, haviam sido selecionados 7 pontos para a instalação das parcelas. No entanto, deveriam ser levadas em consideração algumas questões restritivas:

a) incêndio - o risco de incêndio no canavial (em dias quentes e períodos mais secos) e a necessidade de caminhos desobstruídos (para a passagem do caminhão do corpo de bombeiros ou do caminhão-pipa pertencente à organização gerenciadora da área), fizeram com que as parcelas fossem montadas em carregadores internos. Foram deixados livres os carregadores perimetrais da Fazenda para possibilitar que a mesma fosse visitada ou vistoriada, sempre que necessário. Por isso, em caso de incêndio (criminoso ou natural), o estudo montado em campo corria risco de ser destruído pela passagem dos caminhões ou até mesmo pelo fogo.

b) vandalismo e roubo de material - outro risco que se corria era o de vandalismo e roubo do material utilizado em campo. Antes do início de montagem do mesmo, a fazenda apresentava diversos pontos com rompimento da cerca de arame farpado e três vias de acesso abertas para veículos e pedestres, tornando-a completamente acessível e vulnerável. As parcelas observacionais deveriam, então, ficar fora do alcance visual daqueles que passassem pelas vias asfaltadas próximas à fazenda.

Temendo atos de vandalismo a gerenciadora da área decidiu fechar todas as entradas e deixar apenas uma que seria acessível somente para aqueles que tivessem o cadeado da porteira. Foi uma decisão acertada, uma vez que alguns dias depois ocorreria o carnaval. A represa do Lobo (Itirapina/SP) recebe normalmente milhares de visitantes que, eventualmente, poderiam transitar pela fazenda. A fazenda faz divisa com o asfalto em uma grande extensão (praticamente metade de seu perímetro) e localiza-se a poucos metros do acesso principal ao reservatório.

c) escavação das bacias - as bacias, que seriam escavadas com tratores, deveriam servir como armazenadoras da produção de sedimentos da chuva de um dia. Porém, uma preocupação era causar a mínima destruição possível das soqueiras (solicitação da empresa responsável pela área), uma vez que estas ficariam localizadas próximas aos carregadores. Optou-se por montar 2 parcelas em trechos de carregadores que tivessem em sua margem apenas capim plantado. Dessa maneira, a destruição de soqueiras seria minimizada. Apenas 1 parcela ocasionou a retirada de soqueiras já desenvolvidas.

Por conta das restrições citadas, a ideia de se montar parcelas observacionais nos carregadores perimetrais foi abandonada. Foram selecionados, por fim, 4 trechos de carregadores internos e distintos.

4.4.3 Preparo das parcelas

A estimativa de produção de sedimentos dos carregadores para as bacias de acumulação foi feita através de isolamento de 4 parcelas em diferentes trechos de diferentes carregadores dentro da Fazenda Santo Antonio do Lobo. Foram assim denominadas as parcelas: 1, 2, 3 e 4. Estes trechos têm dimensões similares, ou seja, 10 metros de comprimento por 3,30 metros de largura (largura média dos carregadores do local).

4.4.4 Dimensionamento das bacias de acumulação

Com o auxílio de dois tratores e aproveitando a inclinação natural do terreno, foram cavadas bacias de acumulação (com o objetivo de acumular os sedimentos de uma área devidamente isolada) em apenas um lado da parte inferior de cada parcela. O lado selecionado era para o qual o carregador naturalmente se inclinava. Após o trabalho com os tratores, o acabamento foi feito manualmente com auxílio de pá, enxada e enxada, a fim de se obter as bacias dimensionadas com ângulos retos, o que facilitaria as futuras medições, conforme ilustrado na Figura 21.



Figura 21 – Escavação de uma das bacias de acumulação, (a) mecânica e (b) manualmente.
 (c) Bacia de acumulação escavada
 Fotos: Gustavo Scarpinella

Teoricamente, o dimensionamento destas bacias deveria ser calculado em função da maior precipitação registrada para a região, para não haver risco de perda de coleta durante o andamento do estudo. O maior evento chuvoso que se tem registro na Estação Climatológica do CRHEA (desde janeiro de 1973) ocorreu em 2 de janeiro de 2011 e foi de 158 mm para o período de 24 horas. Para isso o cálculo, descrito por Bertoni e Lombardi Neto (2008), deveria ser o da Equação 13:

$$V = p * A * c \quad (\text{Eq. 13})$$

Em que:

V – Volume da bacia de acumulação, em m³;

p – Precipitação, em mm;

A – Área de captação de chuva, em m²;

c – Coeficiente de enxurrada.

Considerando os dados do cálculo como:

- Precipitação: 158 mm (0,158 m);
- Área de captação da chuva: 33 m²;
- Coeficiente de enxurrada: 0,65¹⁰¹.

Tem-se o seguinte:

$$\text{Volume da bacia} = 0,158 \text{ m} * 33 \text{ m}^2 * 0,65 = 3,3891 \text{ m}^3 \cong 3,4 \text{ m}^3 \quad (\text{Eq. 13})$$

Uma bacia de 3,4 m³ de volume poderia ter as dimensões aproximadas de 1,5 metros de comprimento, 1,5 metros de largura x 1,5 metros de profundidade. Lembrando que a profundidade deve ser aquela registrada abaixo da bica de metal (responsável por garantir o escoamento da enxurrada e dos sedimentos da área isolada à bacia de acumulação). Acima desta altura, toda a água e sedimento canalizados poderiam vazar por baixo do encerado plástico ou mesmo extravazarem da bacia de acumulação.

Tal dimensionamento gerou algumas preocupações operacionais. Uma delas seria o acesso ao fundo destas bacias. A outra seria a retirada de água e sedimento após todos os eventos chuvosos, além da limpeza do encerado e recolocação do mesmo. Caso o dimensionamento acima não fosse respeitado, corria-se o risco de perder a produção de chuvas mais intensas e volumosas.

As dimensões destas bacias de acumulação, portanto, teriam que apresentar viabilidade no manuseio dos sedimentos produzidos. Sendo mais rasas facilitariam seu esvaziamento após cada evento chuvoso. Além disso, dispensariam o trabalho constante de no mínimo duas pessoas, reduzindo os custos do estudo.

Para análise de um possível redimensionamento (em virtude dos problemas citados anteriormente), foi feita uma breve pesquisa do histórico de pluviosidade da estação climatológica do CRHEA. Foram agrupados os eventos de maior pluviosidade de fevereiro e março (período para o qual estava previsto o desenvolvimento do estudo), entre os anos de 1973 e 2010. De cada mês, foi selecionado o maior evento chuvoso. Obteve-se, portanto, 72 eventos, que variaram de 9,5 mm a 89,3 mm. Ao ser analisada a mediana destes eventos, constatou-se a marca de 43,1 mm e a média de 47,1 mm. A partir destes valores foi adotado o

¹⁰¹ O coeficiente de enxurrada, adotado por Bertoni & Lombardi Neto (2008) varia de 0,20 a 0,90. O valor do índice utilizado representa terrenos com topografia ondulada (5 a 10%) em que o uso e manejo é considerado de médio a alto.

volume de 40 mm como evento máximo de pluviosidade esperado, o que representaria $\frac{1}{4}$ da maior pluviosidade registrada nesta estação climatológica.

Embora houvesse o risco de se perder dados das chuvas mais volumosas, decidiu-se pelo redimensionamento das bacias de acumulação. Dessa forma, o cálculo para dimensionamento das bacias passou a ser o seguinte:

- Volume máximo esperado de pluviosidade para 1 dia: 40 mm;
- Área de captação da chuva: 33 m²;
- Coeficiente de enxurrada: 0,65

$$\text{Volume máximo da bacia} = 0,04 * 33 * 0,65 = 0,858 \text{ m}^3 \cong 0,86 \text{ m}^3 \text{ (Eq. 13)}$$

Ainda em relação aos dados utilizados no estudo para a correlação da intensidade de chuva e a produção de sedimentos, foram adotados os valores obtidos do Pluviógrafo IH da Estação Climatológica do CRHEA, através do registro cronológico da chuva a cada 10 minutos (I 10).

4.4.5 Montagem das parcelas observacionais

Visando uma redução nos custos e um aproveitamento de material proveniente de descarte, foram utilizadas placas de compensado de portas e divisórias do CRHEA. O material utilizado é composto por duas lâminas de compensado com uma camada interna de papelão que serve para dar espessura e isolamento acústico às portas e divisórias. As estruturas foram desmontadas e os papelões colados foram removidos com auxílio de uma espátula de metal. Após estarem limpas, as placas foram delimitadas com trena e lapiseira. Foram então cortadas com dimensões de 30 centímetros de altura e 0,4 m a 1,20 m de comprimento, com o auxílio de um serrote. Todas as atividades de preparo das placas foram realizadas manualmente e com uso de Equipamentos de Proteção Individual - EPI (luvas e óculos de proteção). As placas foram transportadas até os locais onde seriam montadas as parcelas observacionais.

Para evitar que fosse removida ou revolvida terra das parcelas a serem estudadas, foi utilizada uma cavadeira manual (vanga), sendo aberta apenas uma fenda no solo para que fossem encaixadas as placas de isolamento (Figura 22).



Figura 22 – Montagem das parcelas, com destaque para a abertura das fendas (a), junção das placas (b) e colocação da bica de metal

Fotos: Gustavo Scarpinella

As placas foram presas umas às outras com o auxílio de fita adesiva (48 mm X 50 m), até que completassem a extensão desejada. Após isso, foram envolvidas com encerado de plástico preto (P15) e presas novamente com fita adesiva. Recorreu-se ao uso deste plástico para evitar que a ação do tempo (chuva e sol) provocasse um estufamento prematuro das placas e prejudicasse o estudo antes de seu término. Presas por estacas de bambu e ganchos de ferro (para complementar sua fixação), as placas foram pousadas sobre as fendas abertas com a cavadeira. Estacas e ganchos foram utilizados nas partes interna e externa das parcelas para sua fixação ser mais eficaz. As quinas das parcelas foram presas com auxílio de fita adesiva. Além disso, com auxílio de enxada, amontoou-se terra (nas partes externas) para evitar que houvesse escavação e infiltração (para o interior da parcela) e para garantir uma maior fixação das placas. As dimensões das placas e a profundidade a serem enterradas, bem como a altura que ficaria à superfície, foram adotadas conforme descrevem Bertoni e Lombardi Neto (2008).

A Figura 23 apresenta o esquema de uma parcela observacional como as montadas em campo.

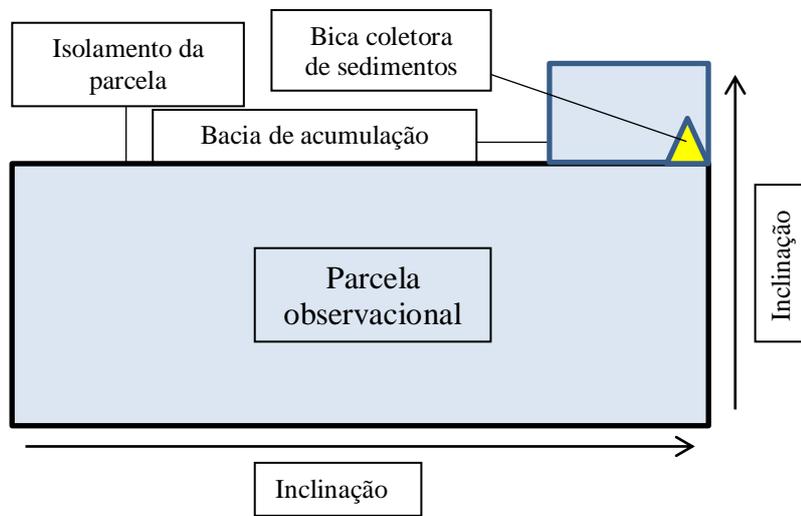


Figura 23 – Esquema de uma parcela observacional

Fonte: Scarpinella (2012)

Após dois dias de montagem, passando-se pelas etapas de demarcação, escavação mecânica e manual das bacias de acumulação, fixação das placas de isolamento e da bica de metal, e da colocação do encerado sobre as bacias de acumulação, as parcelas ficaram prontas para o início das coletas (Figura 24).

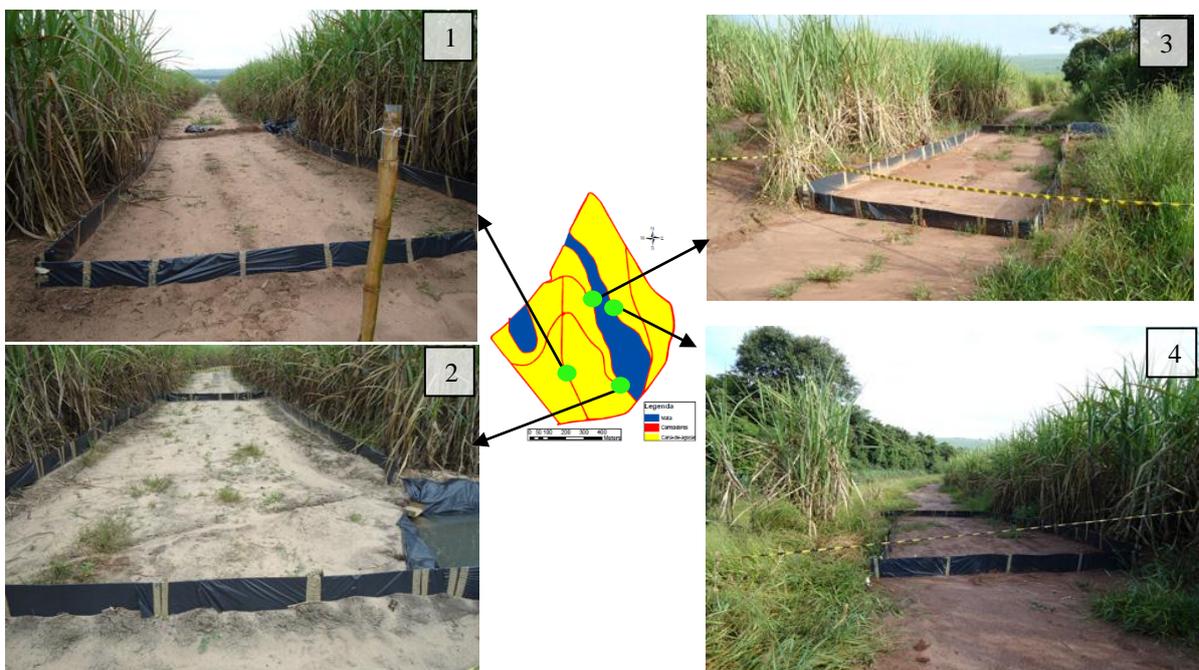


Figura 24 – Área de estudo, com destaque às parcelas observacionais

Fotos: Gustavo Scarpinella

Para que a produção de sedimento nas parcelas fosse devidamente coletada, foram instaladas bicas de metal, para impedir que o escoamento fizesse seu caminho por baixo do encerado. Desse modo, o escoamento proveniente da parcela foi todo destinado à bacia de acumulação.

4.4.6 Coleta de material

As coletas foram feitas a partir das 7:00 horas da manhã após cada evento chuvoso. Seu início não poderia passar das 9:00 horas, dado o tempo demandado com o volume de trabalho manual e a necessidade de garantir as bacias limpas (sem água e sedimento) para o próximo evento chuvoso. Foi escolhido este horário por conta de a estação climatológica do CRHEA considerar o ciclo de suas medições o período das 7:00 horas da manhã de um dia até às 7:00 horas da manhã do dia seguinte.

O primeiro passo após a chegada em cada parcela era a leitura de chuva no pluviômetro. Feita a leitura, o valor era anotado e a água do pluviômetro descartada.

O segundo passo era o exame visual seguido da coleta de amostras da bacia. Caso houvesse uma lâmina com opacidade (água barrenta) e superior a 10 cm¹⁰², eram realizadas duas coletas: inicial e final. Antes da coleta inicial, o volume era medido com trena (altura, largura e comprimento) e anotado no caderno de campo. A trena era pousada no fundo da bacia, buscando o ponto de apoio mais próximo ao centro da mesma. Sem que o fundo fosse revolvido, a amostra da superfície era retirada e colocada em um pote plástico de 1.000 ml, devidamente identificado com a letra “i” (tomada inicial), o número da parcela e a data da coleta. Após a coleta da primeira amostra, o excesso de água era retirado com auxílio de uma seringa (para drenar tanque), ou balde plástico, com cuidado para não se revolver o material terroso depositado no fundo da bacia. Após estes procedimentos era feita uma nova medida de volume do material restante. Se a altura da lâmina já estivesse marcando um valor inferior a 10 centímetros, os sedimentos depositados na bica eram raspados para o interior da bacia de acumulação com o auxílio de uma espátula de metal. Uma nova tomada de nota era feita com as medidas finais do volume. Para que não fosse carregado material terroso para dentro da bacia no momento da coleta da amostra final, adentrava-se com bota de borracha que tinha os

¹⁰² O nível de 10 centímetros foi adotado intuitivamente, visando a padronização e uma facilitação no momento de tomada das medidas, uma vez que nem todas as amostras se apresentaram com soluções transparentes. A adoção de tal medida foi aplicada para todas as amostras de todas as parcelas.

seus solados lavados momentos antes com água trazida em garrafas plásticas. Todo o conteúdo era revolvido manualmente por 5 segundos e com o auxílio de um recipiente pequeno de metal (com 5 despejos alternados pelos revolvimentos), o pote plástico era cheio, antes que o material mais pesado se depositasse novamente no fundo da bacia. O pote recebia a identificação de “f” (tomada final), além do número da parcela e a data da coleta.

Caso a altura da lâmina inicial fosse inferior a 10 centímetros, era feita apenas 1 tomada de amostra. Neste caso, o pote plástico recebia a identificação com o número da parcela, a data e a palavra “única”, destacando que aquela amostra representava a única tomada de amostra do evento chuvoso naquela parcela. O procedimento para a retirada da amostra se repetia, conforme descrito anteriormente.

Para a análise de matéria orgânica, nitrogênio total e fósforo total, uma outra amostra era retirada em cada parcela. Neste caso, potes plásticos menores (de 350 ml) eram identificados com a parcela e a data da coleta. A Figura 25 apresenta alguns momentos do estudo observacional em campo.



Figura 25 – (a) Procedimento de coleta, com exame visual, (b) medições e (c) acondicionamento das amostras coletadas

Fotos: Gustavo Scarpinella/Érika Scarpinella

Todas as amostras foram tampadas e vedadas com fita adesiva, até que fossem levadas ao laboratório. As amostras específicas para nitrogênio, fósforo e matéria orgânica eram prontamente congeladas no Núcleo de Hidrometria – CRHEA. As demais (análise quantitativa) eram submetidas à secagem natural inicialmente e, posteriormente, secas em estufa, a 40°C (por conta de estarem em recipientes plásticos).

4.4.7 Limpeza das bacias de acumulação após as coletas

Após a retirada de amostras, as bacias eram esvaziadas e limpas para a coleta do evento seguinte. Parte dos ganchos de metal era solta com auxílio de um martelo e o volume excedente de água e sedimentos, descartados na própria bacia. Uma remoção do sedimento não coletado era feita através de lavagem despejando-se água trazida em garrafas plásticas para assegurar a limpeza total do encerado plástico. Tal procedimento mostrou-se simples e rápido.

A cada 3 eventos chuvosos, o encerado era parcialmente retirado para escavação do fundo da bacia. A escavação era feita com o auxílio de uma vanga e a retirada do material com auxílio de enxada e pá. O objetivo desta escavação era manter as dimensões e ângulos internos da bacia mais próximos possível a um retângulo (ou quadrado) regular (Figura 26), evitando-se que o descarte de material tornasse com o tempo as quinas demasiadamente arredondadas, dificultando assim as medições (e acarretando em erro na obtenção dos resultados).



Figura 26 – (a) Escavação da bacia de acumulação e (b) recolocação do encerado plástico

Fotos: Gustavo Scarpinella

Após a limpeza do encerado plástico e a aferição da regularidade do fundo e das laterais da bacia, o plástico era colocado de volta, sendo preso pelos ganchos de metal.

4.4.8 Finalização do estudo em campo

Com a finalização da parte observacional em campo, as 4 parcelas foram desmontadas para que a equipe responsável pelo canal pudesse se deslocar por todos os carregadores internos. As atividades desta equipe (no momento) deveriam ser a coleta de colmos para

análise das condições de maturação da sacarose dos talhões e o trabalho de nivelamento dos carregadores. Ambos antecediam a atividade da colheita.

Todo o material foi recolhido e levado de volta ao Núcleo de Hidrometria - CRHEA. Os plásticos foram lavados para a retirada de terra. Aqueles em bom estado foram reaproveitados e os demais foram destinados à reciclagem.

As bacias de acumulação foram cobertas com auxílio de trator e finalizadas manualmente com o uso de enxada, conforme apresentado na Figura 27.



Figura 27 – Fechamento das bacias de acumulação: com trator (a), manual (b) e serviço finalizado

Fotos: Gustavo Scarpinella

4.4.9 Manutenção dos carregadores

Após a finalização do estudo observacional e alguns dias antes da colheita, foi utilizada uma máquina motoniveladora (também conhecida como plaina ou patrol) para a manutenção dos carregadores. Foi feito um nivelamento e alargamento dos mesmos com a intenção de se formar um aceiro e corrigir as imperfeições ocasionadas pela erosão do solo até aquele momento. Choctawhatchee, Pea and Yellow Rivers Watershed Management Authority (2000) discorre sobre o trabalho da motoniveladora: esta máquina possui uma lâmina que, voltada para frente, tem a função de nivelar o leito, eliminando irregularidades. A lâmina é ajustada com um ângulo entre 30 e 45 graus para o lado em que houver a intenção ou necessidade da remoção de um maior volume de terra. Os pneus dianteiros do trator devem estar inclinados entre 10 e 15 graus para o lado da remoção de solo. De acordo com a fabricante desta máquina (CATERPILLAR, 2012), o modelo 12K (Figura 28 (a)) tem as seguintes especificações técnicas: peso bruto do veículo em torno de 14 toneladas, largura da lâmina de 3,66 metros, potência básica (em todas as marchas) líquida de 147 cv e reservatório de combustível para 340 litros.



Figura 28 – (a) Motoniveladora em ação; (b) carregador após as duas passagens da Motoniveladora

Fotos: Gustavo Scarpinella

Além da motoniveladora, tratores e caminhões (no momento da colheita) são os veículos mais pesados que trafegam pelos carregadores. Especificamente na fazenda Santo Antonio do Lobo, a frota presente durante a colheita foi de 3 colhedoras e 6 treminhões. Cada compartimento de um treminhão (carregado) chega a pesar 18 toneladas. As colhedoras usadas foram da marca John Deere, modelo 3510. A colheita foi realizada em 2 dias inteiros (1 e 2 de maio de 2011)¹⁰³.

4.5 Análises de laboratório

Após a coleta dos sedimentos em campo, foram realizadas em laboratório as análises de nitrogênio total, fósforo total, matéria orgânica e granulometria, além da estimativa de produção de sedimento por parcela e por evento. As amostras para estes parâmetros foram coletadas separadamente: aquelas em potes de 350 ml foram usadas para se estimar as produções de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica. Já as amostras em potes de 1000 ml foram usadas para a análise de granulometria e estimativa da produção de sedimentos.

Nos casos em que houve tomada inicial e final de amostra, estas foram secas e pesadas. Os volumes foram calculados em m³ (dos potes de amostra e das medições nas bacias de acumulação) e seus valores somados. No caso de tomadas únicas, o conteúdo também foi seco e pesado. O procedimento para determinação da produção de sedimento é igual ao anterior.

Uma alíquota da amostra foi retirada para a análise granulométrica de todas as amostras que contivessem uma produção mínima próxima de 120 g.

¹⁰³ Bertoli, D.N. (2011). Informações sobre a colheita da cana na Fazenda Santo Antonio do Lobo. Informações recebidas por telefone em: 19 mai. 2011.

4.5.1 Metodologias adotadas em laboratório

A análise de nitrogênio total das amostras foi baseada na metodologia proposta pela American Public Health Association (1999). A análise de fósforo total adotada no laboratório foi baseada na metodologia proposta por Andersen (1976). Para cálculo da matéria orgânica, a metodologia empregada foi a mesma utilizada por Trindade (1980). Os ensaios granulométricos foram realizados de acordo com a NBR 7181 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). As análises foram realizadas no laboratório do Núcleo de Hidrometria (CRHEA) e no laboratório da Geotecnia (EESC/USP).

4.6 Tratamento dos dados obtidos

4.6.1 Análise estatística

O trabalho desenvolvido em campo foi um estudo observacional. São medidas características específicas (produção qualitativa e quantitativa de sedimentos), mas não há manipulação ou emprego de tratamentos diferentes para aquilo que foi observado. Do produto deste estudo foi feita uma correlação da intensidade da chuva com a produção de sedimento. Foram inicialmente comparadas as produções de sedimento em cada uma das 4 parcelas, e depois foi feita uma comparação entre as parcelas.

Os resultados de nitrogênio total, fósforo total e matéria orgânica não foram analisados estatisticamente. O objetivo da análise destes nutrientes e da matéria orgânica foi tomar conhecimento se na produção quantitativa de sedimento após cada evento chuvoso, havia carreamento dos mesmos à bacia de acumulação.

A análise estatística foi realizada com emprego do *software* SAS (*Statistical Analysis System*), e também com auxílio do Excel. Foi aplicado o modelo de análise de variância (ANOVA) considerando como variação a produção de sedimento das parcelas. Como complemento, foi usado o teste de comparação das médias (teste de Tukey).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora a cultura da cana se apresente em expansão no Estado de São Paulo, sua cobertura na Bacia do Ribeirão do Feijão ainda é pequena: pouco mais de 10%. As pastagens para a pecuária extensiva são as mais expressivas em termos de ocupação do solo. As florestas plantadas também merecem destaque como atividade econômica da bacia. As matas encontram-se preservadas em ¼ da área da bacia, conforme mostra a Tabela 29.

5.1 Uso e ocupação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão

Tabela 29 – Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão

Atividade/uso do solo	Área (em km ²)	%
Cana-de-açúcar	24,95	10,64
Construções	3,91	1,67
Estradas de terra	5,78	2,47
Estrada de asfalto	1,14	0,48
Ferrovia	0,12	0,05
Floresta plantada	39,33	16,78
Mata	60,78	25,94
Outras culturas*	25,37	10,83
Outros**	8,09	3,45
Pastagem	63,92	27,27
Represas	0,99	0,42
Total	234,36	100

Fonte: Scarpinella (2012). *Café, citrus, milho, etc. **Áreas pertencentes a concessionárias (beira de estradas) e outras sem uso definido

Embora tenha sido delineada, a hidrografia da bacia não consta na Tabela 29, pois seu recorte encontra-se, em sua maior parte, sobre o recorte das matas existentes.

A seguir são apresentadas algumas das cartas elaboradas de uso e ocupação do solo para a bacia do Ribeirão do Feijão (Figuras 29 a 32). Estas foram divididas por tipo de uso e ocupação para se facilitar a visualização. As demais cartas, com exceção daquelas que apresentam a bacia do Ribeirão do Feijão e suas curvas de nível de 5 em 5 metros, altimetria e hidrografia, áreas com cana-de-açúcar e estradas de terras, podem ser observadas no Apêndice deste trabalho.

Através das Figura 29 e 30 pode ser observado que a região norte e nordeste da bacia apresentam maior elevação (atingindo 1025 metros) e declividade sendo vertida para a região sudoeste, onde encontra-se o exutório da bacia, com uma elevação de 650 metros.

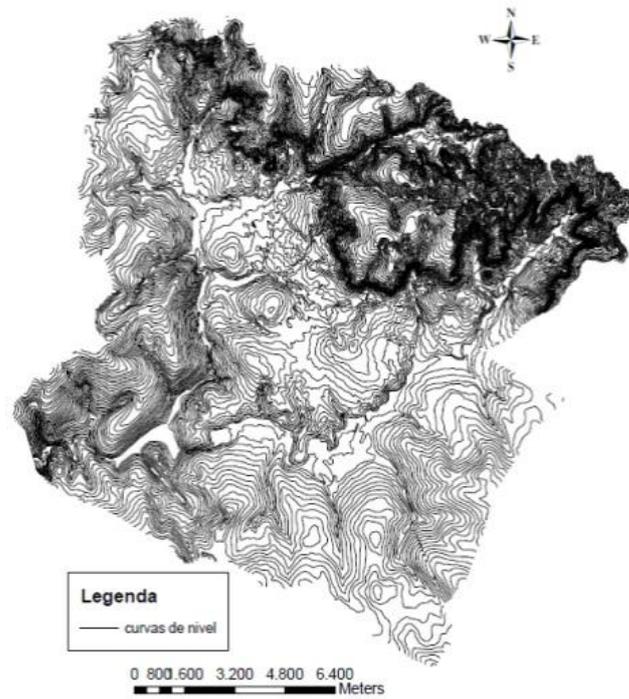


Figura 29 – Bacia do Ribeirão do Feijão e sua representação em curvas de nível, de 5 em 5 metros.

Fonte: Scarpinella (2012)

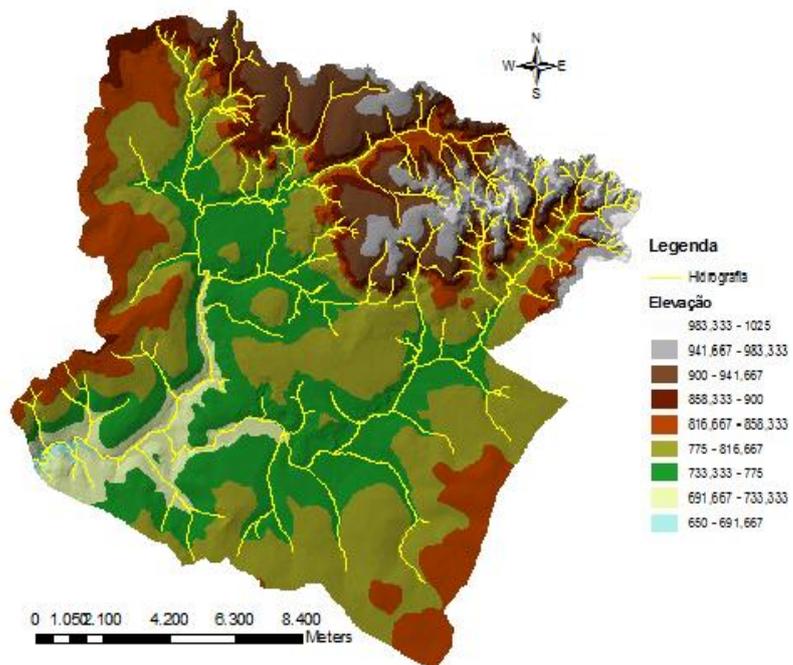


Figura 30 – Altimetria e hidrografia da Bacia do Ribeirão do Feijão.

Fonte: Scarpinella (2012)

A Figura 31 apresenta as áreas de ocorrência de cana-de-açúcar na bacia do Ribeirão do Feijão. É interessante observar que as plantações de cana concentram-se em três regiões diferentes da bacia.

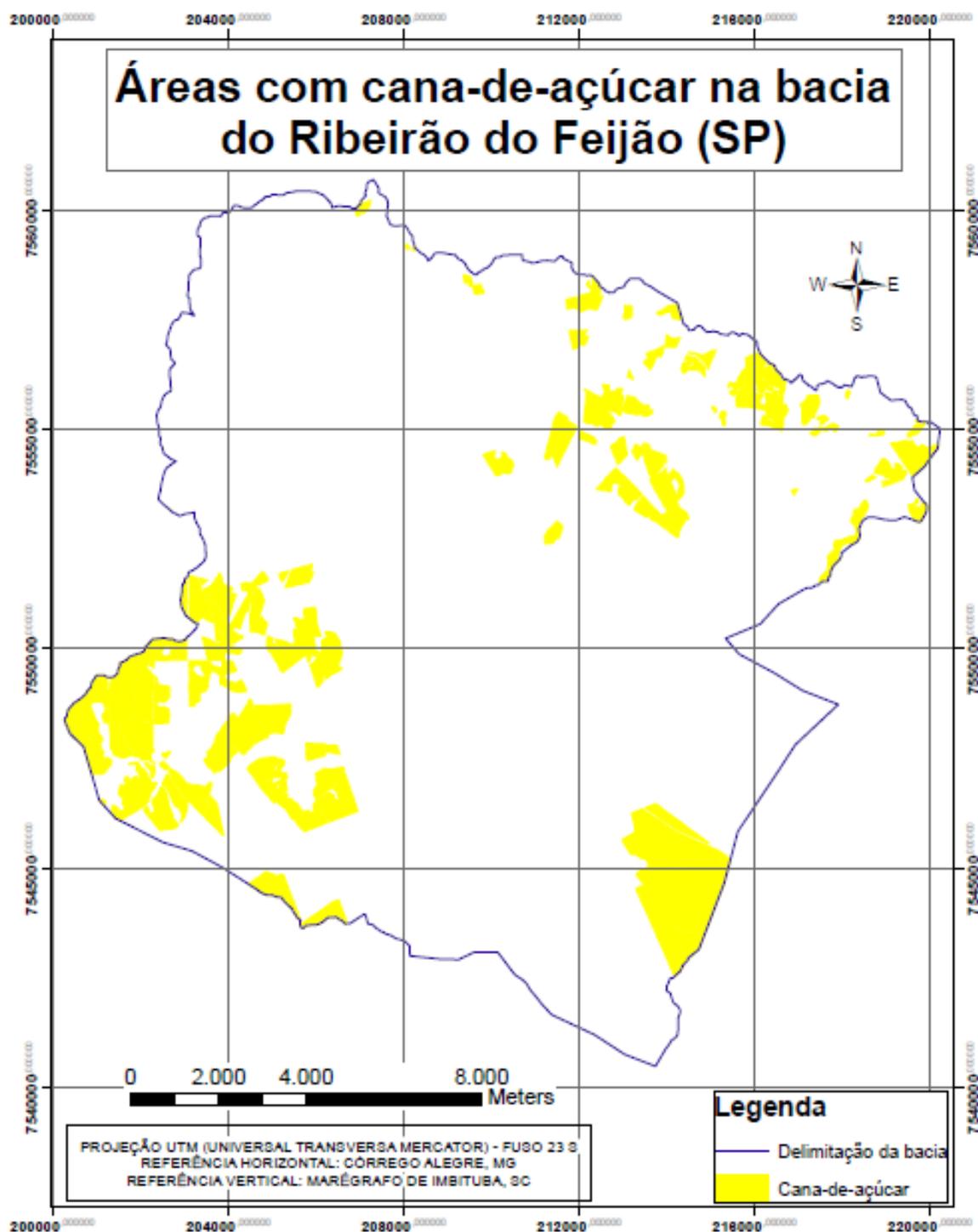


Figura 31 – Áreas com cana-de-açúcar na bacia do Ribeirão do Feijão (SP)

Fonte: Scarpinella (2012)

Na Figura 32, pode ser observada a malha viária de terra da bacia do Ribeirão do Feijão, conectando as diferentes culturas e usos da bacia. As estradas de terra representam 2,47% do total de uso e ocupação de área.

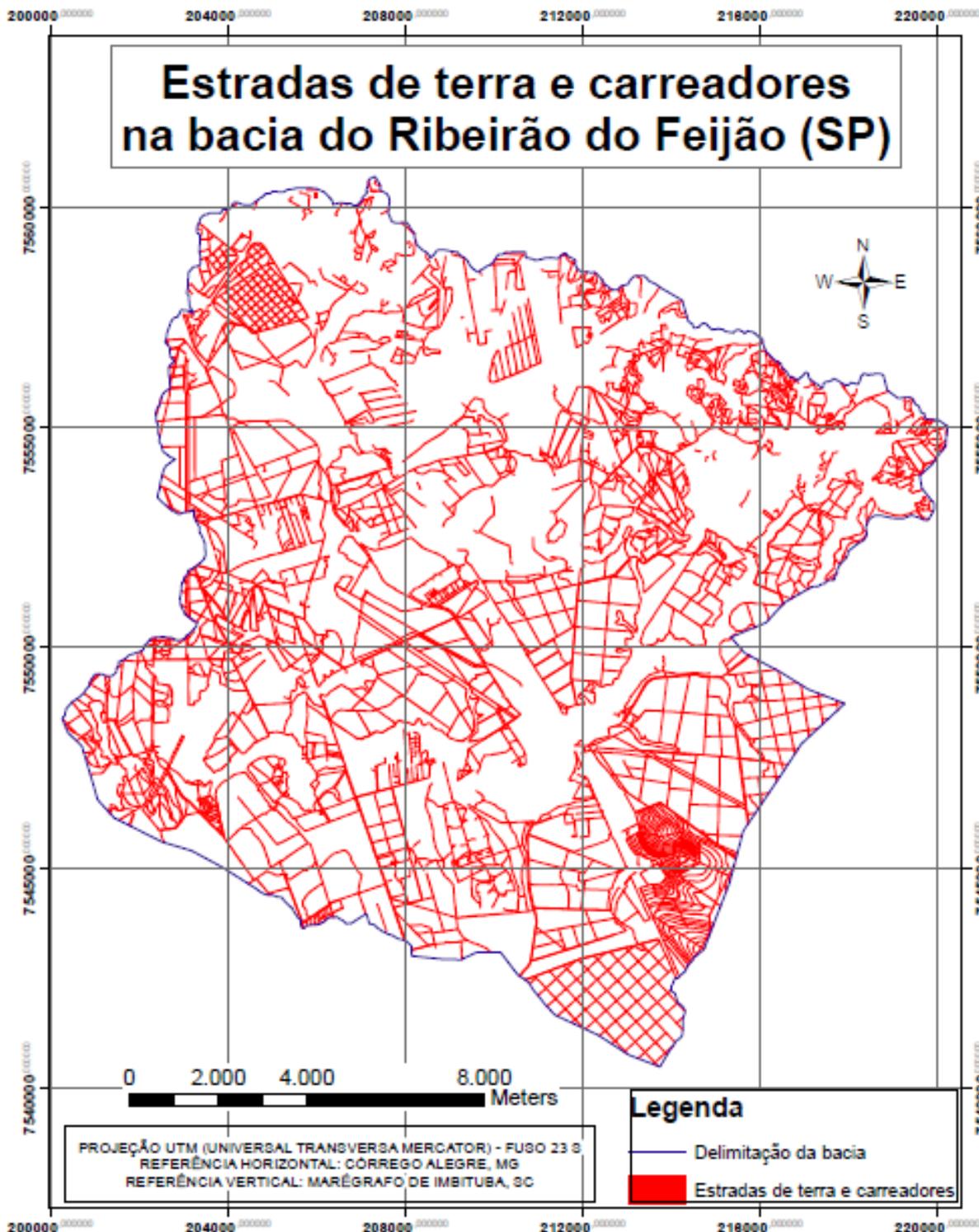


Figura 32 – Estradas de terra e carreadores na bacia do Ribeirão do Feijão

Fonte: Scarpinella (2012)

A Figura 33 apresenta a ocorrência de plantações de cana-de-açúcar e a malha viária de terra dentro da bacia do Ribeirão do Feijão.

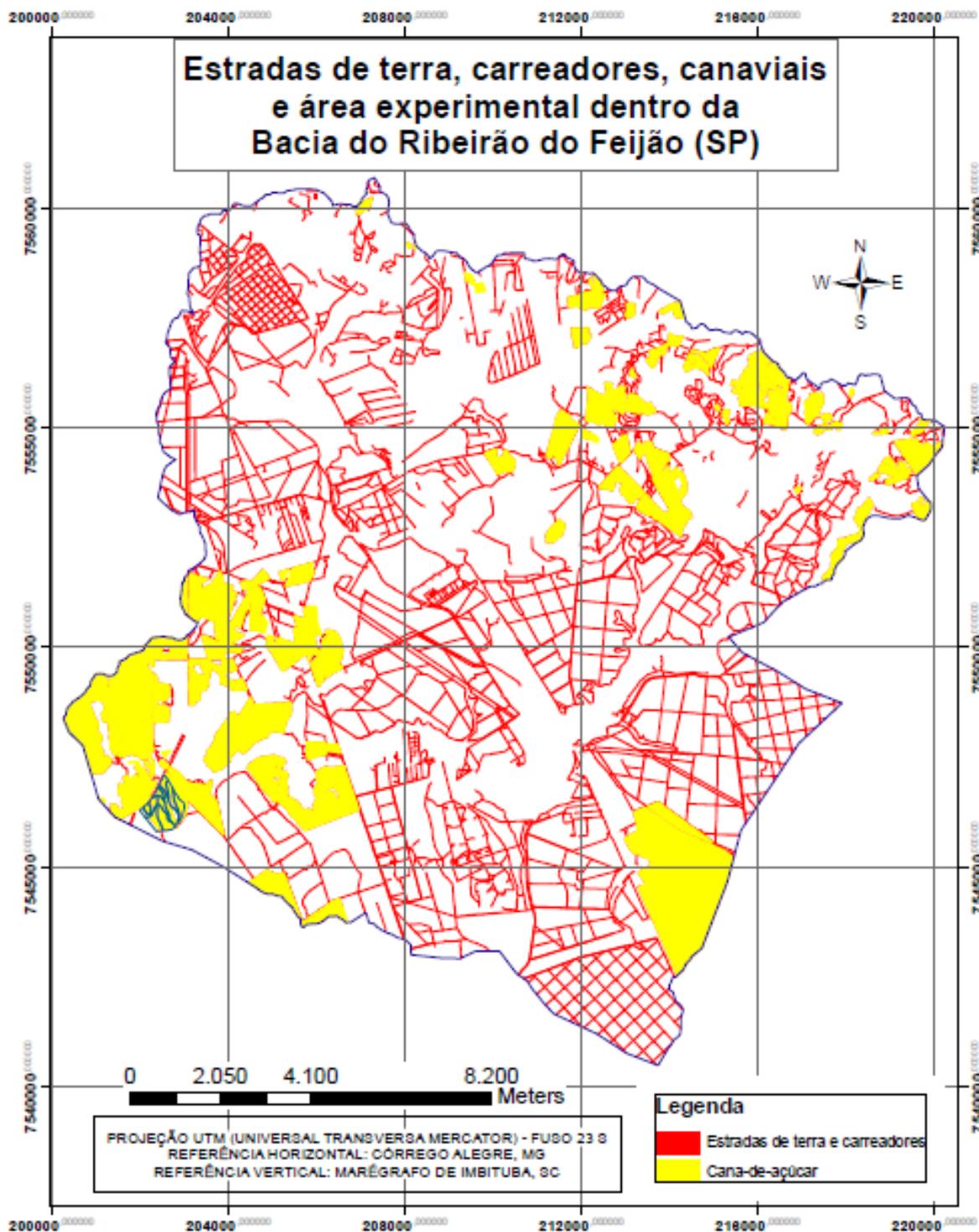


Figura 33 – Estradas de terra, carreadores, canaviais e área experimental dentro da bacia do Ribeirão do Feijão (SP)

Fonte: Scarpinella (2012)

Através do *software* Arc Gis foi possível obter as declividades em áreas de cana e as declividades dos carregadores diretamente ligados às áreas de cana. As declividades das áreas com cana e suas respectivas porcentagens são apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30 – Ocorrência de cana-de-açúcar na bacia do Ribeirão do Feijão e suas declividades

Declividade (%)	Área (ha)	Ocorrência (%)
0-12	1.198,4	80,1
12-22	405,2	16,2
22-100	91,3	3,7
TOTAL	2.494,9	100

Fonte: Scarpinella (2012)

A maior parte das áreas onde a cana é cultivada localiza-se em trechos com declividade inferior a 12%. No entanto, praticamente a quinta parte de todo o cultivo de cana nesta bacia (19,9%) deverá futuramente ser realocada (por não ser possível a mecanização da cultura em terrenos com declividades superiores a 12%), cedendo espaço para outras atividades. Em 2017 a queima da cana deverá ser totalmente banida do Estado de São Paulo, obrigado assim os canavieiros a mecanizarem as suas lavouras.

Foram selecionados os carregadores de cana, dentre as estradas de terra que compunham a bacia. A tabela 31 apresenta as declividades destes carregadores e as suas áreas respectivas.

Tabela 31 – Ocorrência de carregadores de cana dentro da bacia do Ribeirão do Feijão e suas declividades

Declividade (%)	Área (ha)	Ocorrência (%)
0-12	150,8	76,2
12-22	34,2	17,3
22-100	12,9	6,5
TOTAL	197,9	100

Fonte: Scarpinella (2012)

Foram também consideradas as estradas que faziam conexão destes carregadores com a malha viária de asfalto, visando o escoamento da matéria-prima. Os carregadores, com área total de 197,9 hectares, constituem 34,24% do total de estradas de terra desta bacia. Se for considerada uma largura média de 3,3 metros (ocorrência na área de estudo), a bacia conta atualmente com 599 km de extensão em carregadores.

5.2 Dados Quantitativos

Com o início do reconhecimento local, montagem das parcelas e primeiras coletas (17 de fevereiro de 2011) até seu término (2 de abril de 2011), foram realizadas ao todo 52 visitas a campo, sendo feitas coletas de dados em 30 eventos chuvosos. Após se alcançar esta marca, decidiu-se pelo término da parte observacional em campo. As parcelas observacionais foram desmontadas e retiradas do local para que a empresa responsável pelo gerenciamento do canavial pudesse fazer suas vistorias do grau de maturação dos talhões, atividade que antecede a colheita da cana. Os carregadores também deveriam estar livres de qualquer obstáculo para a passagem da motoniveladora. A Tabela 32 apresenta a divisão de dias trabalhados por tarefa

Tabela 32 – Dias trabalhados em campo

Atividade	Dias
Visitas de reconhecimento	2
Medições e montagem	2
Dias de visita a campo	46
Desmontagem das parcelas	2
Total - dias de campo	52

Fonte: Scarpinella (2012)

A Tabela 33 apresenta o cronograma de atividades, da montagem à desmontagem das parcelas observacionais. As parcelas observacionais receberam visita mesmo em dias de pouca ou nenhuma precipitação. Recorreu-se a esta metodologia para constatação da integridade das parcelas e das bacias de acumulação.

Tabela 33 – Cronograma de atividades de campo

14/fev	15/fev	16/fev	17/fev	18/fev		
19/fev	20/fev	21/fev	22/fev	23/fev		
	V					
24/fev	25/fev	26/fev	27/fev	28/fev		
1/mar	2/mar	3/mar	4/mar	5/mar		
6/mar	7/mar	8/mar	9/mar	10/mar	Legenda	
			V	V	Montagem	
11/mar	12/mar	13/mar	14/mar	15/mar	Visita para verificação	V
V				V	Evento chuvoso	
16/mar	17/mar	18/mar	19/mar	20/mar	Desmontagem	
	V		V	V		
21/mar	22/mar	23/mar	24/mar	25/mar		
		V	V	V		
26/mar	27/mar	28/mar	29/mar	30/mar		
V		V		V		
31/mar	1/abr	2/abr	3/abr	4/abr		
V	V					

Fonte: Scarpinella (2012)

A pluviosidade nas 4 parcelas observadas variou de 0,3 mm a 52,3 mm. No entanto, devido à variação de intensidade das chuvas, houve eventos com pluviosidade que chegaram a 5,6 mm, por exemplo, e nenhuma produção de sedimento nas bacias de captação. Em outros casos, precipitações de apenas 1,3 mm promoveram produção de sedimentos. A produção de sedimento pôde ser observada em 20 eventos da parcela 1, 17 eventos da parcela 2, 21 eventos da parcela 3 e 22 eventos da parcela 4. Os dados referentes ao evento de 16 de fevereiro (primeiro dia de coleta), foram desconsiderados por conta de sua coleta ter sido realizada de forma incoerente com as demais.

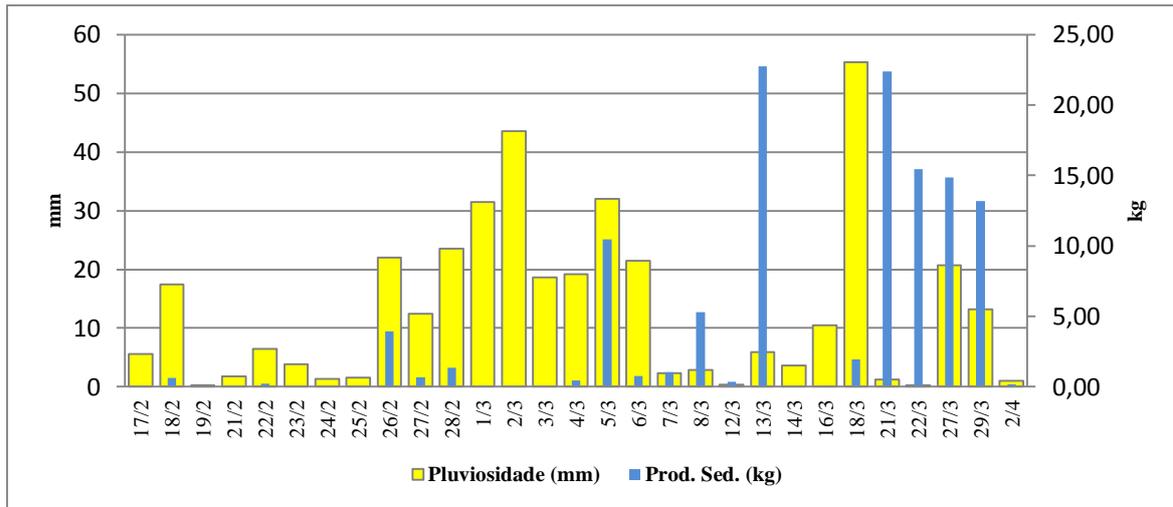


Figura 34 – Pluviosidade e produção de sedimentos na parcela observacional 1

Fonte: Scarpinella (2012)

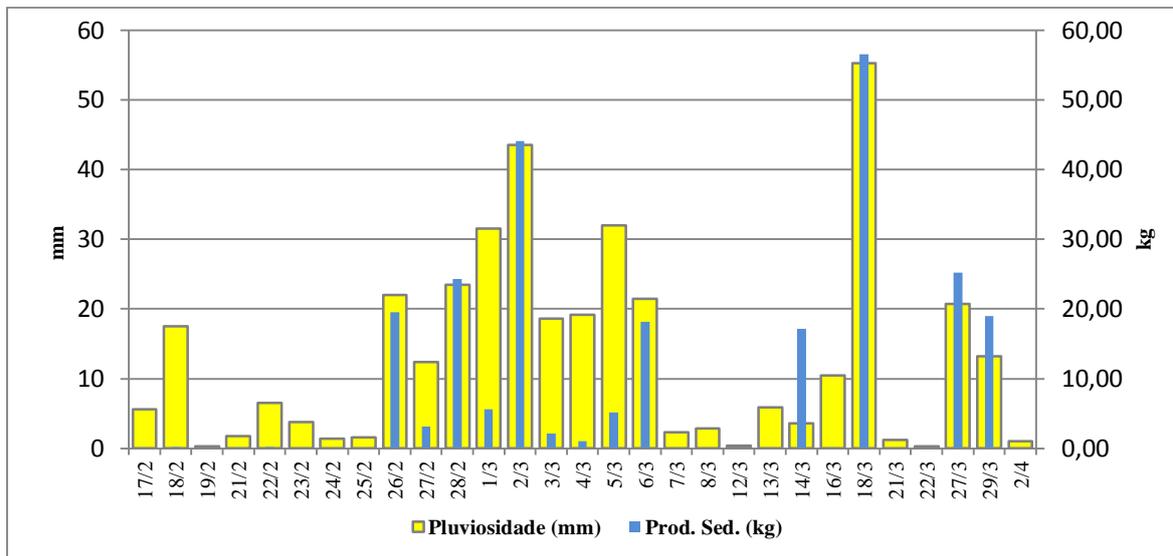


Figura 35 – Pluviosidade e produção de sedimentos na parcela observacional 2

Fonte: Scarpinella (2012)

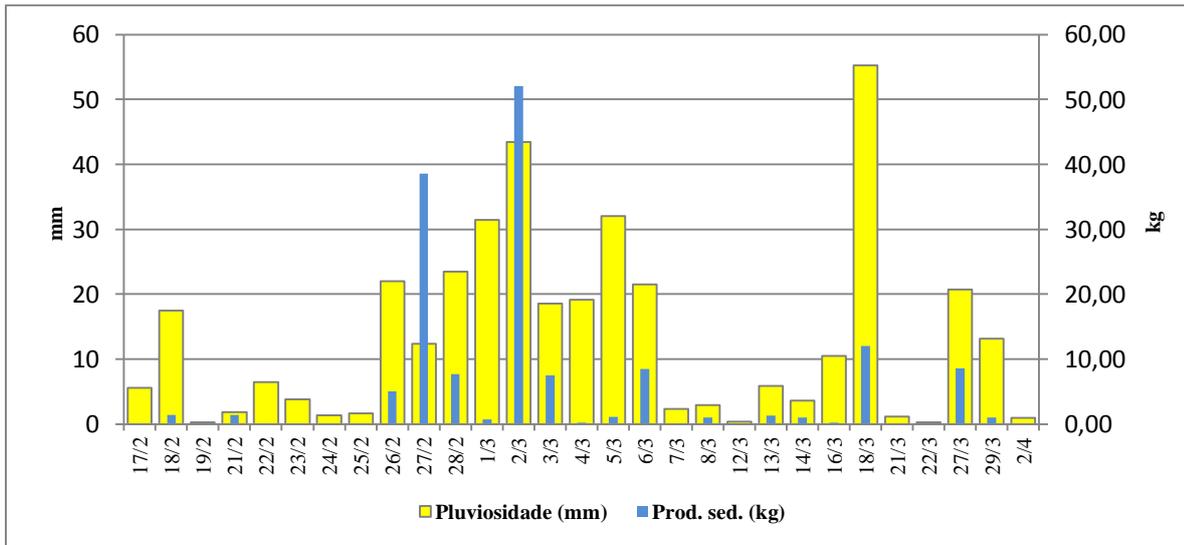


Figura 36 – Pluviosidade e produção de sedimentos na parcela observacional 3

Fonte: Scarpinella (2012)

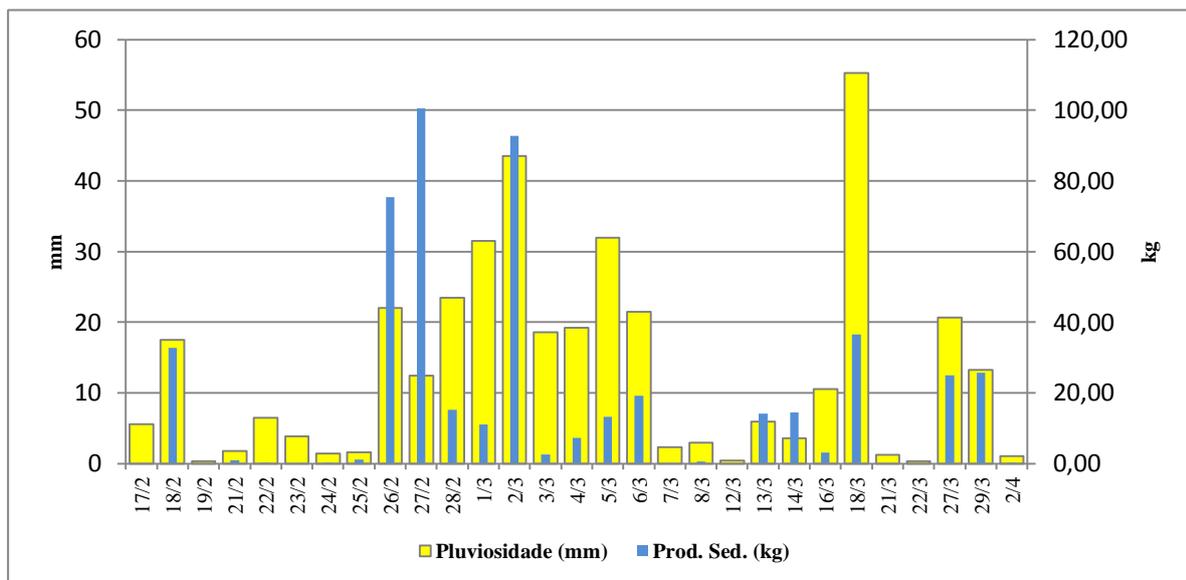


Figura 37 – Pluviosidade e produção de sedimentos na parcela observacional 4

Fonte: Scarpinella (2012)

Como pode ser observado das Figuras 34 à 37, a produção de sedimentos não acompanhou necessariamente o volume de precipitação.

5.3 Dados Qualitativos

A partir dos sedimentos coletados em campo, em termos qualitativos, foram realizados os ensaios laboratoriais de granulometria conjunta, nitrogênio total, fósforo total e matéria orgânica. A Tabela 34 apresenta a relação de todos os eventos chuvosos observados em

campo e suas respectivas coletas quantitativas e qualitativas realizadas para nitrogênio e fósforo. A primeira coleta ocorreu no dia 16 de fevereiro. No entanto, os resultados para esta data foram desconsiderados pelo fato de ter havido uma inconsistência na metodologia de coleta deste dia com os demais.

Embora o foco maior deste estudo tenha sido dado para a produção quantitativa, a produção de nitrogênio total e fósforo total não podem ser desprezadas. As análises laboratoriais apontaram a presença destes dois nutrientes em todas as parcelas observacionais. Como será discutido mais adiante, a contribuição de nutrientes a corpos d'água pode levar a efeitos ambientalmente danosos, como a eutrofização.

Tabela 34 – Valores quantitativos e qualitativos obtidos

Data do evento	Pluv. (mm)	Intens. (mm/h)	P 1			P 2			P 3			P 4		
			Prod. sed. (kg)	N tot. mgN kjeldhal/g	P tot. (mg/g de sed.)	Prod. sed. (kg)	N tot. mgN kjeldhal/g	P tot. (mg/g de sed.)	Prod. sed. (kg)	N tot. mgN kjeldhal/g	P tot. (mg/g de sed.)	Prod. sed. (kg)	N tot. mgN kjeldhal/g	P tot. (mg/g de sed.)
17/fev	5,6	0,9	-	302,4	1,1	-	28	0,07	0,02	235,2	0,71	0,1	-	-
18/fev	16,7	4	0,63	-	-	0,19	-	-	1,4	67,2	0,07	32,77	124,32	0,25
19/fev	0,3	0,4	-	28	0,09	-	22,4	0,27	-	11,2	0,08	-	57,68	0,14
21/fev	1,8	1,8	0,09	-	-	-	-	-	1,04	-	-	0,88	-	-
22/fev	6,4	1,5	0,23	72,8	0,11	17,19	-	-	1,35	-	-	0,07	50,4	0,22
23/fev	3,8	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-
24/fev	1,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25/fev	1,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/fev	22	4,7	3,96	-	-	19,57	-	-	5,07	-	-	75,41	29,68	0,2
27/fev	12	1,5	0,66	302,4	0,08	3,12	16,8	0,05	38,55	128,8	0,15	100,57	36,96	0,24
28/fev	23	6,3	1,38	84	0,08	24,28	5,6	0,04	7,68	-	0,09	15,22	72,24	0,18
01/mar	31,4	7	0,44	33,6	0,05	5,61	11,2	0,04	0,75	22,4	0,06	10,98	64,4	0,13
02/mar	41,2	3,1	10,48	33,6	0,08	44,11	22,4	0,04	52,1	16,8	0,06	92,83	75,04	0,2
03/mar	18,6	1,7	0,78	11,2	0,08	2,12	22,4	0,04	7,55	28	0,13	2,54	81,2	0,15
04/mar	19,2	2	1,02	5,6	0,05	1	-	0,03	0,22	5,6	0,06	7,24	29,68	0,15
05/mar	32	2,6	5,28	-	0,05	5,13	28	0,03	1,12	16,8	0,05	13,18	38,08	0,1
06/mar	21,5	4,3	22,76	5,6	0,06	18,17	28	0,03	8,48	33,6	0,05	19,24	95,76	0,16
07/mar	2,3	1,3	-	-	0,06	-	11,2	0,06	-	22,4	0,06	-	53,2	0,11
08/mar	2,7	3,2	0,06	-	-	-	-	-	0,06	22,4	0,05	0,57	76,16	1,19
12/mar	5,6	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13/mar	5,9	3,5	1,93	-	-	0,08	-	-	0,07	-	-	14,08	-	-
14/mar	3,5	3,1	15,45	5,6	0,06	0,08	16,8	0,04	0,97	33,6	0,06	14,46	52,08	0,01
16/mar	10,2	10,1	0,38	11,2	0,05	0,21	-	-	0,24	-	-	3,08	-	-
18/mar	52,3	0,7	22,3	16,8	0,06	56,54	-	0,05	12,03	67,2	0,09	36,53	66,08	0,28
21/mar	1,6	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22/mar	0,3	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45,36	-
27/mar	10,4	3,6	14,86	-	-	25,18	-	-	8,6	-	-	24,97	-	-
29/mar	12,5	1,3	13,18	11,2	0,06	18,95	11,2	0,04	0,97	-	-	25,62	-	0,21
02/abr	1,3	1,3	0,19	-	-	-	-	-	1,45	-	-	1,02	-	-

Fonte: Scarpinella (2012)

5.3.1 Granulometria

O ensaio granulométrico foi realizado com densímetro para as partículas mais finas, e peneiramento para as partículas mais grossas, conforme a NBR 7181 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Embora as figuras abaixo apresentem a estratificação granulométrica da argila ao pedregulho, os pedregulhos não constaram na análise, sendo detectados apenas a areia (grossa, média e fina), silte e argila. As Figuras 38 a 41 apresentam as análises granulométricas das 4 parcelas.

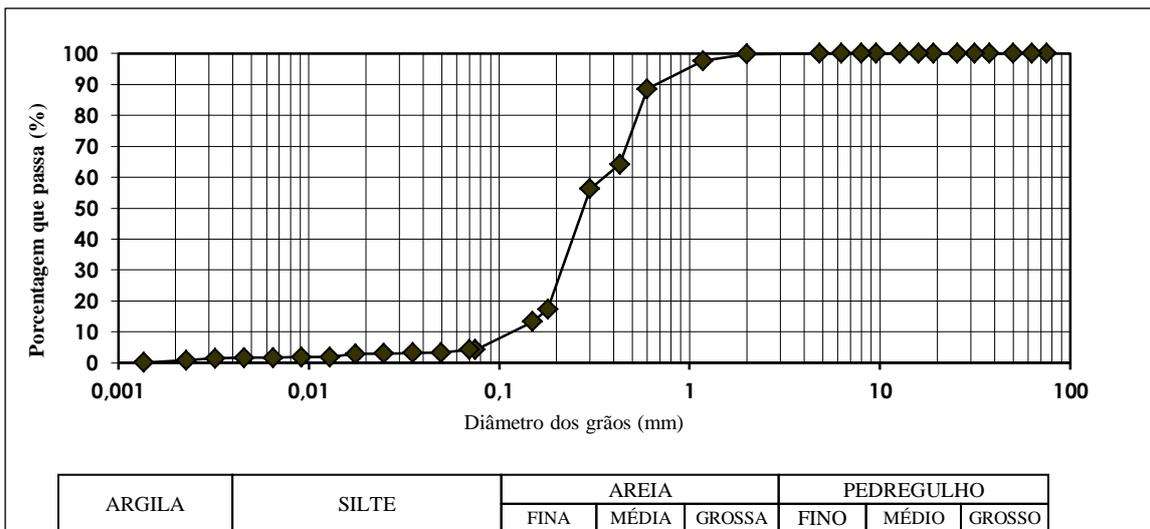


Figura 38 – Curva de distribuição granulométrica – Parcela 1 (19/03/2011)

Fonte: Scarpinella (2012)

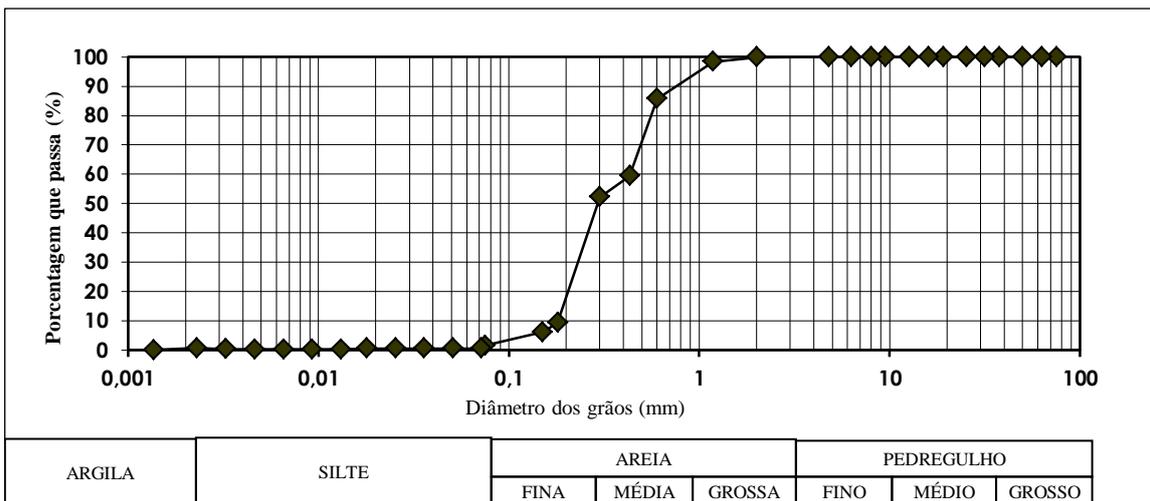


Figura 39 – Curva de distribuição granulométrica – Parcela 2 (19/03/2011)

Fonte: Scarpinella (2012)

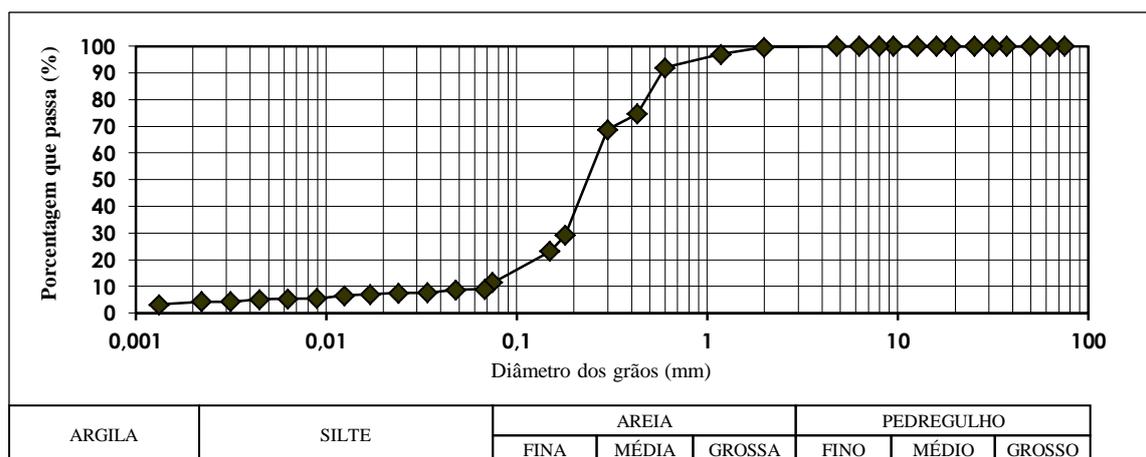


Figura 40 – Curva de distribuição granulométrica – Parcela 3 (03/03/2011)

Fonte: Scarpinella (2012)

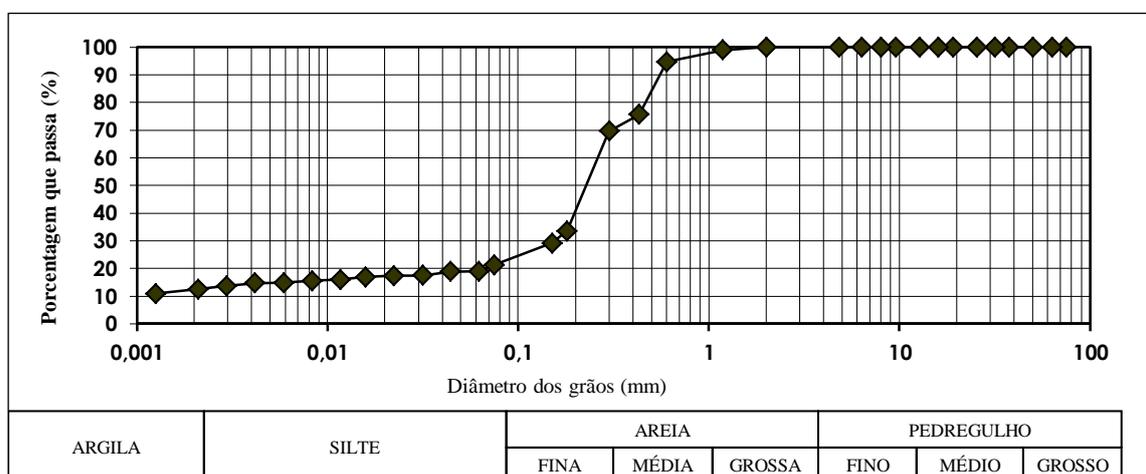


Figura 41 – Curva de distribuição granulométrica – Parcela 4 (19/03/2011)

Fonte: Scarpinella (2012)

Tabela 35 – Granulometria das parcelas apresentadas

Parcela	P 1	P 2	P 3	P 4
Data	19/03/2011	19/03/2011	03/03/2011	19/03/2011
Areia grossa (%)	11,5	14,3	8,0	5,4
Areia média (%)	71,2	76,4	63	61,1
Areia fina (%)	14	7,8	20,3	14,5
Silte (%)	3,2	0,8	4,6	6,5
Argila (%)	0	0	4,1	12,5

Fonte: Scarpinella (2012)

Através das Figuras 38 a 41 e da Tabela 35, pode-se observar que as 4 parcelas apresentam uma alta porcentagem de areia. A parcela 4, apresentou o menor teor de areia, com 81%, sendo seguida em ordem crescente pelas parcelas 3 (91,3%), 1 (96,7%) e 2 (98,5%). Portanto, tais resultados corroboram com o mapeamento pedológico que caracteriza

a área de estudo como um Neossolo Quartzarênico. A Tabela 35 também ratifica a afirmação de Macedo (1994) de que o teor de argila deste tipo de solo é inferior a 15%. As parcelas 3 e 4 apresentaram as maiores porcentagens de argila, sendo que as parcelas 1 e 2 não continham argila na análise. Teores com alta porcentagem de areia e baixa (ou nula) de argila denotam uma área com pouca presença de matéria orgânica e mais propensa à erosão do solo.

5.3.2 Nitrogênio total

Foram realizados os ensaios laboratoriais para a análise da presença de nitrogênio total, obtendo-se os resultados em mgNKjeldal/g de sedimento. A Tabela 36 apresenta a produção de nitrogênio por parcela e por evento em função da pluviosidade e da produção de sedimentos.

Tabela 36 – Produção de nitrogênio total em função da pluviosidade e da produção de sedimentos

Data do evento	Pluv. (mm)	Intens. (mm/h)	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3		Parcela 4	
			Prod. sed. (kg)	N tot. mgN kjeldhal/g	Prod. sed. (kg)	N tot. mgN kjeldhal/g	Prod. sed. (kg)	N tot. mgN kjeldhal/g	Prod. sed. (kg)	N tot. mgN kjeldhal/g
17/fev	5,6	0,9	-	302,4	-	28	0,02	235,2	0,1	-
18/fev	16,7	4	0,63	-	0,19	-	1,4	67,2	32,77	124,32
19/fev	0,3	0,4	-	28	-	22,4	-	11,2	-	57,68
21/fev	1,8	1,8	0,09	-	-	-	1,04	-	0,88	-
22/fev	6,4	1,5	0,23	72,8	17,19	-	1,35	-	0,07	50,4
23/fev	3,8	1,4	-	-	-	-	-	-	0,03	-
24/fev	1,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
25/fev	1,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
26/fev	22	4,7	3,96	-	19,57	-	5,07	-	75,41	29,68
27/fev	12	1,5	0,66	302,4	3,12	16,8	38,55	128,8	100,57	36,96
28/fev	23	6,3	1,38	84	24,28	5,6	7,68	-	15,22	72,24
01/mar	31,4	7	0,44	33,6	5,61	11,2	0,75	22,4	10,98	64,4
02/mar	41,2	3,1	10,48	33,6	44,11	22,4	52,1	16,8	92,83	75,04
03/mar	18,6	1,7	0,78	11,2	2,12	22,4	7,55	28	2,54	81,2
04/mar	19,2	2	1,02	5,6	1	-	0,22	5,6	7,24	29,68
05/mar	32	2,6	5,28	-	5,13	28	1,12	16,8	13,18	38,08
06/mar	21,5	4,3	22,76	5,6	18,17	28	8,48	33,6	19,24	95,76
07/mar	2,3	1,3	-	-	-	11,2	-	22,4	-	53,2
08/mar	2,7	3,2	0,06	-	-	-	0,06	22,4	0,57	76,16
12/mar	5,6	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-
13/mar	5,9	3,5	1,93	-	0,08	-	0,07	-	14,08	-
14/mar	3,5	3,1	15,45	5,6	0,08	16,8	0,97	33,6	14,46	52,08
16/mar	10,2	10,1	0,38	11,2	0,21	-	0,24	-	3,08	-
18/mar	52,3	0,7	22,3	16,8	56,54	-	12,03	67,2	36,53	66,08
21/mar	1,6	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
22/mar	0,3	4,8	-	-	-	-	-	-	-	45,36
27/mar	10,4	3,6	14,86	-	25,18	-	8,6	-	24,97	-
29/mar	12,5	1,3	13,18	11,2	18,95	11,2	0,97	-	25,62	-
02/abr	1,3	1,3	0,19	-	-	-	1,45	-	1,02	-
TOTAL	380	-	116,14	-	241,54	-	149,73	-	491,38	-

Fonte: Scarpinella (2012)

A produção acumulada de nitrogênio total foi de aproximadamente 1,5 kg (P1), 2 kg (P2), 7 kg (P3) e 25 kg (P4). As maiores produções isoladas foram de aproximadamente 0,4 kg (P1), 1 kg (P2), 5 kg (P3) e 7 kg (P4). Estes valores foram obtidos através da conversão das produções de nitrogênio total em microgramas para gramas, multiplicando este resultado pelo valor da produção de sedimento do mesmo evento, de quilograma para grama.

As maiores concentrações de nitrogênio ocorreram nas parcelas 3 e 4, onde há também uma maior presença de argila no solo (fato constatado a partir da realização da granulometria dos sedimentos de cada parcela). Segundo Margalef (1983), a dimensão da partícula possui relação direta com a adsorção de nutrientes. Quanto menor a partícula (silte e argila), mais nutrientes podem estar adsorvidos nela.

Nas plantas, o nitrogênio possibilita o desenvolvimento (crescimento) vegetal, aumentando a folhagem. Sua presença geralmente está associada ao verde intenso das plantas (plantas amareladas denotam a deficiência deste nutriente). É absorvido pelas raízes na forma de nitrato, em sua maior proporção (MALAVOLTA, 1989). De acordo com o autor o nitrogênio “alimenta os microorganismos do solo que decompõem a matéria orgânica”.

O nitrogênio é o nutriente mais exigido em quantidade pelas culturas agrícolas. Diferente do fósforo, apresenta grande mobilidade, podendo ser volatilizado ou mesmo alcançar camadas mais profundas do solo. Tais características obrigam o produtor a realizar adubações com nitrogênio, em volume e frequência geralmente maiores que os demais nutrientes (FURTINI NETO et al. 2001).

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2012), as áreas agrícolas podem contribuir com diversas formas de nitrogênio através do escoamento das águas pluviais. Como foi analisada a presença e concentração de nitrogênio total (nitrogênio orgânico e amoniacal), parte da contribuição pode ter se dado na forma de amônia, a qual é tóxica e restringe a vida dos peixes a uma concentração acima de 5 mg/L. Além disso, a amônia consome o oxigênio dissolvido na água, acelerando o processo de eutrofização dos corpos d'água. Portanto, se estes sedimentos provenientes dos carreadores alcançarem um corpo hídrico pode haver a contribuição para a eutrofização deste meio.

A Tabela 36 evidencia eventos com alta produção de nitrogênio total, chegando a 6,96 kg deste macronutriente em apenas uma parcela (P4) e um único evento (2 de março). Neste dia houve uma pluviosidade de 41,2 mm, embora a intensidade da chuva tenha sido baixa (3,1 mm/h). As parcelas 1, 2 e 3 também apresentaram produção de nitrogênio. No entanto, suas produções ocorreram em menor escala, se comparadas à parcela 4. Não houve relação entre a intensidade de chuva e a produção de nitrogênio total.

5.3.3 Fósforo total

Foram realizados os ensaios laboratoriais para a análise da presença de fósforo total, obtendo-se os resultados em $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ de sedimento. A Tabela 37 apresenta os resultados obtidos para produção de fósforo total nas parcelas observacionais, em função da pluviosidade e da produção de sedimentos.

Houve produção de fósforo nas 4 parcelas, sendo a parcela 4 a que mais apresentou este nutriente. Tal fato se deve à maior porcentagem de argila na parcela 4, onde o fósforo fica adsorvido e por isso ocorre também em maior porcentagem. A produção acumulada aproximada de fósforo para as parcelas foi a seguinte: 6 g (P1), 6g (P2), 12 g (P3) e 92 g (P4). Estes valores foram obtidos através da conversão das produções de fósforo total em microgramas para grama, multiplicando este resultado pelo valor da produção de sedimento do mesmo evento, de quilograma para grama.

Tabela 37 – Produção de fósforo total em função da pluviosidade e da produção de sedimentos

Data do evento	Pluv. (mm)	Intens. (mm/h)	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3		Parcela 4	
			Prod. sed. (kg)	P tot. (mg/g de sed.)	Prod. sed. (kg)	P tot. (mg/g de sed.)	Prod. sed. (kg)	P tot. (mg/g de sed.)	Prod. sed. (kg)	P tot. (mg/g de sed.)
17/fev	5,6	0,9	-	1,1	-	0,07	0,02	0,71	0,1	-
18/fev	16,7	4	0,63	-	0,19	-	1,4	0,07	32,77	0,25
19/fev	0,3	0,4	-	0,09	-	0,27	-	0,08	-	0,14
21/fev	1,8	1,8	0,09	-	-	-	1,04	-	0,88	-
22/fev	6,4	1,5	0,23	0,11	17,19	-	1,35	-	0,07	0,22
23/fev	3,8	1,4	-	-	-	-	-	-	0,03	-
24/fev	1,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
25/fev	1,6	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
26/fev	22	4,7	3,96	-	19,57	-	5,07	-	75,41	0,2
27/fev	12	1,5	0,66	0,08	3,12	0,05	38,55	0,15	100,57	0,24
28/fev	23	6,3	1,38	0,08	24,28	0,04	7,68	0,09	15,22	0,18
01/mar	31,4	7	0,44	0,05	5,61	0,04	0,75	0,06	10,98	0,13
02/mar	41,2	3,1	10,48	0,08	44,11	0,04	52,1	0,06	92,83	0,2
03/mar	18,6	1,7	0,78	0,08	2,12	0,04	7,55	0,13	2,54	0,15
04/mar	19,2	2	1,02	0,05	1	0,03	0,22	0,06	7,24	0,15
05/mar	32	2,6	5,28	0,05	5,13	0,03	1,12	0,05	13,18	0,1
06/mar	21,5	4,3	22,76	0,06	18,17	0,03	8,48	0,05	19,24	0,16
07/mar	2,3	1,3	-	0,06	-	0,06	-	0,06	-	0,11
08/mar	2,7	3,2	0,06	-	-	-	0,06	0,05	0,57	1,19
12/mar	5,6	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-
13/mar	5,9	3,5	1,93	-	0,08	-	0,07	-	14,08	-
14/mar	3,5	3,1	15,45	0,06	0,08	0,04	0,97	0,06	14,46	0,01
16/mar	10,2	10,1	0,38	0,05	0,21	-	0,24	-	3,08	-
18/mar	52,3	0,7	22,3	0,06	56,54	0,05	12,03	0,09	36,53	0,28
21/mar	1,6	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
22/mar	0,3	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-
27/mar	10,4	3,6	14,86	-	25,18	-	8,6	-	24,97	-
29/mar	12,5	1,3	13,18	0,06	18,95	0,04	0,97	-	25,62	0,21
02/abr	1,3	1,3	0,19	-	-	-	1,45	-	1,02	-

Fonte: Scarpinella (2012)

Uma menor produção de fósforo para as parcelas, em relação ao nitrogênio, pode ser relacionada à sua menor ocorrência natural e baixa mobilidade. Além disso, devem ser considerados dois fatores:

- É realizada uma adubação de cobertura logo após cada colheita da cana, sendo aplicados 550 kg.ha^{-1} da fórmula 18-00-27 (proporção de 18 partes de nitrogênio, 0 partes de fósforo e 27 partes de potássio). Na fórmula deste adubo aplicado não há presença de fósforo;
- Todo ano é feita uma análise de solo na área para constatação dos níveis de fósforo. Se os níveis encontrados forem inferiores a 15ppm deste nutriente, procede-se com uma adubação fosfatada sendo empregado o superfosfato simples¹⁰⁴. Há uma aplicação a cada 2 anos deste adubo, a uma concentração de 500 kg.ha^{-1} . Houve aplicação do fertilizante em 2009, aproximadamente 14 meses antes da montagem do estudo observacional (que ocorreu em fevereiro de 2011)¹⁰⁵.

As intensidades de chuva também não foram diretamente proporcionais às maiores produções de fósforo: enquanto que a chuva (registrada) mais intensa (10,1 mm/h) produziu 0,05 mg/g (16/03), eventos de pouca intensidade (0,9 mm/h) na mesma parcela ocasionaram uma das mais altas produções registradas: 1,1 mg/g de sedimento (17/02). Comparando-se estas duas coletas tem-se que um evento 11 vezes menos intenso provocou uma produção de fósforo 22 vezes maior. Isto não significa que chuvas menos intensas produzam quantidades maiores de fósforo. A maior produção de fósforo (1,19 mg/g) ocorreu na parcela 4 (12/03) proveniente de uma baixa pluviosidade (2,7 mm) e baixa intensidade deste evento (3,2 mm/h).

De acordo com Rajj (1981), o fósforo é um nutriente de baixa mobilidade no solo devido à sua baixa solubilidade. O mesmo autor relata ainda que o fósforo em sua fase sólida pode ser encontrado em combinação com compostos de ferro, alumínio, cálcio e também matéria orgânica. Furtini Neto et al. (2001) destacam que dentre os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, o fósforo é aquele demandado em menores quantidades pelas

¹⁰⁴ O superfosfato simples é um dos principais fertilizantes fosfatados usados na agricultura. Sua composição conta com 18% de fósforo (P_2O_5), 25% de cálcio (CaO) e 12% de enxofre (S). Fonte: < <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijaoComumRO/calagem.htm>>. Acesso em: 13 jun. 2012.

¹⁰⁵ Para o caso da Fazenda Santo Antonio do Lobo, as aplicações são realizadas nos anos ímpares, logo após a colheita, através de adubação de cobertura. No período de desenvolvimento do estudo observacional a cana estava em sua fase final de desenvolvimento (maturação da sacarose), às vésperas da colheita. Portanto, a adubação fosfatada foi realizada provavelmente em dezembro de 2009. BERTOLI, D. N. (2012). Informações sobre adubação fosfatada na área de estudo. Informação recebida por telefone em: 13 jun. 2012.

plantas. No entanto, dadas as suas características de baixa mobilidade e também que este é o único nutriente que “envelhece”¹⁰⁶ no solo, há uma necessidade de adubação ou reposição deste nutriente para atender às necessidades da planta.

Assim como o nitrogênio, o fósforo é um macronutriente importante para os processos biológicos. As plantas demandam fósforo principalmente para a formação da ATP¹⁰⁷, sua principal fonte energética. Tal energia é utilizada para a divisão e crescimento celular e transferência de informações energéticas, entre outras funções (SENGIK, 2003). De acordo com o mesmo autor, 3g de fósforo por quilo de matéria seca são considerados suficientes para gramíneas.

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2012), os esgotos sanitários no Brasil (maiores fontes contribuintes de tal nutriente, através de detergentes fosfatados) apresentam concentração de fósforo total entre 6 e 10 mg/L, onde tal presença não compromete os tratamentos biológicos da água.

5.3.4 Umidade e matéria orgânica

Foram realizados os ensaios laboratoriais para a análise de umidade e matéria orgânica, obtendo-se os resultados em porcentagem, conforme mostra a Tabela 38.

Tabela 38 – Umidade e matéria orgânica em função da chuva, por amostra e por parcela

Data	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3		Parcela 4	
	Umidade (%)	Matéria orgânica (%)						
17/fev	-	-	20,71	0,43	26,42	0,88	-	-
18/fev	-	-	-	-	26,42	0,88	27,35	3,66
19/fev	28,24	1,14	23,53	1,01	22,74	1,04	21,71	2,08
21/fev	-	-	-	-	-	-	-	-
22/fev	26,4	1,32	-	-	-	-	23,11	2,1
23/fev	-	-	-	-	-	-	-	-
24/fev	-	-	-	-	-	-	-	-
25/fev	-	-	-	-	-	-	-	-
26/fev	-	-	-	-	-	-	-	-
27/fev	27,29	0,82	22,39	0,25	20,58	1,18	-	-
28/fev	27,5	0,44	21,19	0,26	27,29	-	-	2,3
01/mar	20,7	0,35	25,89	0,21	24,22	0,56	1,81	2,36
02/mar	-	-	27,5	0,25	23,93	0,47	2,68	1,98
03/mar	21,14	0,72	23,24	1,05	27,48	0,93	25,71	2,72
04/mar	23,24	0,79	26,42	0,17	23,15	0,57	-	-
05/mar	22,37	0,24	28,12	0,17	20,71	0,37	23,38	1,73
06/mar	27,09	0,36	27,34	0,2	22,59	0,44	21,15	2,61
07/mar	27,02	0,28	28,12	0,22	21,1	0,5	26,4	1,32
08/mar	-	-	-	-	21,82	0,36	22,05	2,32

¹⁰⁶ De acordo com os mesmos autores, quando o fósforo é removido da solução (por precipitação ou adsorção) pode haver formações mais estáveis através de sua ligação com Alumínio, Ferro ou Cálcio. Tal ligação faz com que sua disponibilidade no solo seja reduzida com o passar do tempo.

¹⁰⁷ A ATP - adenosina trifosfato – é uma molécula energética responsável por todos os processos da célula que necessitam de energia.

Data	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3		Parcela 4	
	Umidade	Matéria	Umidade	Matéria	Umidade	Matéria	Umidade	Matéria
12/mar	-	-	-	-	-	-	-	-
13/mar	27,09	0,36	-	-	-	-	-	-
14/mar	27,29	0,4	27,1	0,29	23,58	0,65	27,09	1,23
16/mar	28,3	0,28	-	-	-	-	-	-
18/mar	27,34	0,39	21,18	0,18	22,76	0,95	27,29	3,57
21/mar	-	-	-	-	-	-	-	-
22/mar	-	-	-	-	-	-	-	-
27/mar	-	-	-	-	-	-	-	-
29/mar	28,07	0,38	-	-	-	-	25,02	3,21
02/abr	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Scarpinella (2012)

De acordo com a Tabela 38, os eventos dos dias 23, 24, 25, 26 (fevereiro), 12, 21, 22, 27 (março) e 2 de abril não produziram sedimento suficiente para que fosse aferida a porcentagem de matéria orgânica nas parcelas. Além dos dias mencionados, nas células da Tabela 38 em que aparece um traço, denota-se a não produção de sedimento para o evento específico. Nas demais análises, a porcentagem apresentada de matéria orgânica foi inferior a 10% caracterizando tal sedimento como mineral (NAUMANN¹⁰⁸, 1930, apud ESTEVES, 1988).

A porcentagem de matéria orgânica foi maior na parcela 4, acompanhando também os maiores valores de nitrogênio e fósforo. Como as análises desses nutrientes consideraram apenas a fração total, pode-se inferir que a parte orgânica desses nutrientes esteja contida nesta matéria orgânica encontrada.

De acordo com Rajj (1981), a matéria orgânica ocorre em maiores quantidades em solos mais argilosos, ratificando os resultados da Tabela 38, que apresentam maiores teores de matéria orgânica na parcela 4, onde se constatou ser a parcela com maior teor de argila dentre as 4 parcelas observacionais. A matéria orgânica incorpora ao solo dois elementos que geralmente não existem no material de origem - carbono e nitrogênio - sendo este último o de maior ocorrência em termos quantitativos. O fósforo também é encontrado em proporções importantes em locais onde há matéria orgânica, segundo o mesmo autor.

Furtini Neto et al. (2001) descrevem dentre as diversas qualidades da matéria orgânica, a retenção de água. De acordo com os autores, a M.O. retém até 20 vezes o seu peso em água. Tal característica pode conferir ao solo uma maior ocorrência de microorganismos, maior aeração do solo por conta da micro-fauna, manutenção da temperatura do solo e menores riscos de fendilhamento do mesmo (o que diminui também os riscos de erosão).

¹⁰⁸ Naumann, E. (1930). Einführung im die Bodenkunde der Seen. StuttgartE. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 126 p.

5.4 Análise estatística

A análise estatística foi realizada somente para a produção quantitativa do estudo. Os resultados obtidos em laboratório para nitrogênio total, fósforo total e matéria orgânica serviram para se constatar a produção de nutrientes por parte dos carreadores através de eventos pluviométricos. Para granulometria, o objetivo foi traçar um perfil do material desprendido, também sem uma preocupação maior com a análise estatística.

Após as coletas, secagem e pesagem dos sedimentos, foi obtida a relação da produção de material desprendido e acumulado nas bacias, por evento e por parcela. A Tabela 39 mostra apenas aqueles dias em que houve chuva e produção de sedimento em pelo menos uma das parcelas.

Tabela 39 – Eventos chuvosos e produção de sedimento por parcela

Data do evento chuvoso	Pluviosidade (mm)	Intensidade (mm/h)	P1 Prod.sed. (kg)	P2 Prod.sed. (kg)	P3 Prod.sed. (kg)	P4 Prod.sed. (kg)
fev-17	5,6	0,9	-	-	0,02	0,1
fev-18	16,7	4	0,63	0,19	1,4	32,77
fev-21	1,8	1,8	0,09	-	1,04	0,88
fev-22	6,4	1,5	0,23	17,19	1,35	0,07
fev-23	3,8	1,4	-	-	-	0,03
fev-26	22	4,7	3,96	19,57	5,07	75,41
fev-27	12	1,5	0,66	3,12	38,55	100,57
fev-28	23	6,3	1,38	24,28	7,68	15,22
mar-01	31,4	7	0,44	5,61	0,75	10,98
mar-02	41,2	3,1	10,48	44,11	52,1	92,83
mar-03	18,6	1,7	0,78	2,12	7,55	2,54
mar-04	19,2	2	1,02	1	0,22	7,24
mar-05	32	2,6	5,28	5,13	1,12	13,18
mar-06	21,5	4,3	22,76	18,17	8,48	19,24
mar-08	2,7	3,2	0,06	-	0,06	0,57
mar-13	5,9	3,5	1,93	0,08	0,07	14,08
mar-14	3,5	3,1	15,45	0,08	0,97	14,46
mar-16	10,2	10,1	0,38	0,21	0,24	3,08
mar-18	52,3	0,7	22,38	56,54	12,03	36,53
mar-27	10,4	3,6	14,86	25,18	8,6	24,97
mar-29	12,5	1,3	13,18	18,95	0,97	25,62
abr-02	1,3	1,3	0,19	-	1,45	1,02
Média	-	-	5,81	14,21	7,13	22,33
Desvio padrão	-	-	7,74	16,54	13,37	29,68

Fonte: Scarpinella (2012)

Após ser aplicado o teste de comparações múltiplas de Tukey, chegou-se à conclusão de que as parcelas 1 e 4 diferem entre si, conforme apresentado na Tabela 40.

Tabela 40 – Resultados para as parcelas através do teste de Tukey

Parcela	Média	Tukey
4	22,33	A
2	14,21	AB
3	7,13	AB
1	5,81	B

Fonte: Scarpinella (2012)

Foi feita também uma correlação entre a intensidade de chuva e a produção de sedimentos, obtendo-se os seguintes valores, por parcela (Tabela 41):

Tabela 41 – Correlação da intensidade de chuva e a produção de sedimentos

Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
0,413	0,688	0,428	0,438

Fonte: Scarpinella (2012)

Trata-se de uma correlação baixa, com exceção da parcela 2, que apresenta o maior valor se comparado às outras parcelas (uma correlação de dados é considerada boa a partir de 0,7¹⁰⁹). Portanto não se pode afirmar que existe forte correlação entre a intensidade das chuvas e a produção quantitativa de sedimentos.

5.5 Emprego da EUPS para estimativa de perdas de solo

Foram realizados os cálculos de predição para perda de solos para as três inclinações das parcelas estudadas: (P1 e P2) 5%, (P3) 6% e (P4) 7%. Para isso, foi empregada a Equação Universal de Perda de Solos, desenvolvendo seu cálculo na planilha Excel através da Equação 14:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (\text{Eq. 14})$$

¹⁰⁹ Pião, A.C.S. (2012). Informações sobre a correlação entre as parcelas observacionais. Informações recebidas pessoalmente em: 28 fev. 2012.

Em que:

A – perda de solo por unidade de área e tempo, em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$;

Desenvolvendo a equação, tem-se que:

R – fator de erosividade da chuva, em $tm/ha \cdot mm/h$ – é possível obter o valor de R através da expressão desenvolvida por Lombardi Neto e Moldenhauer¹¹⁰ (1980) citados por Bertoni e Lombardi Neto (2008):

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85} \quad (\text{Eq. 15})$$

Em que:

EI – média mensal do índice de erosão, em $MJ \cdot mm/ha \cdot L$

r – precipitação média mensal em mm ;

P – precipitação média anual em milímetros;

A soma dos valores mensais resulta no valor anual. Foram calculados os valores mensais do período de 2001 a 2011 (adotando os valores históricos da Estação Climatológica do CRHEA), chegando-se aos resultados apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 – Valores de R para o período de 2001 a 2011

Ano	Valor de R	Ano	Valor de R
2001	7.268,6	2007	8.119,2
2002	6.955,2	2008	6.924,8
2003	6.543,6	2009	7.337,5
2004	7.881,5	2010	7.571,7
2005	7.048,6	2011	8.596,1
2006	6.040,8	-	-

Fonte: Scarpinella (2012)

Calculando-se a média destes valores na planilha Excel, obteve-se o valor final de R , igual a **7.301**.

K – fator de erodibilidade do solo, em t/ha ($MJ/ha \cdot mm/h$) – foi adotado o valor citado por Fujihara (2002). O tipo de solo considerado para esta equação é o Neossolo quartzarênico.

$K = 0,0296$.

¹¹⁰ Lombardi Neto & Moldenhauer. (1980). Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 3, Recife, 1980. Anais...fl.13.

LS – fatores topográficos que expressam o comprimento (em metros) e a declividade do terreno (porcentagem) – para a obtenção do fator *LS*, foi utilizada a Equação 16, desenvolvida por Bertoni¹¹¹ (1959) e citada por Bertoni e Lombardi Neto (2008):

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} * D^{1,18} \quad (\text{Eq. 16})$$

Em que:

C – Comprimento do declive, em metros;

D – Grau do declive, em porcentagem;

Considerando que as rampas apresentavam 10 metros de extensão e que as declividades medidas foram de 5% (para as parcelas 1 e 2), 6% (para a parcela 3) e 7% (para a parcela 4), os valores de *LS* obtidos foram:

Para declividade de 5% - LS = 0,2804

Para declividade de 6% - LS = 0,3477

Para declividade de 7% - LS = 0,4170

C – fator que expressa uso e manejo do solo e cultura – Como o carreador serve a cultura para escoamento de sua produção, sua função é manter-se livre de cobertura vegetal e sem impedimentos físicos que dificultem o trânsito pelo mesmo. Portanto, o valor de *C* para os carreadores deve ser considerado como solo exposto (VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ et al., 1996), apresentando assim o valor adimensional de **1,0**.

P – fator que expressa a prática conservacionista do solo – conforme a Tabela 43, retirada de Bertoni e Lombardi Neto (2008).

Tabela 43 – Valor de P para emprego na Equação Universal de Perda de Solo, de acordo com algumas práticas conservacionistas

Práticas conservacionistas	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de campinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (2008)

¹¹¹ Bertoni, F. (1959). O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. Bragantia, Campinas, SP. 18:113-140.

Embora os carregadores estejam em um local onde o cultivo se dá em contorno, (a linha de plantação segue uma elevação plana), os mesmos não recebem nenhum tratamento conservacionista, com exceção do nivelamento às vésperas da colheita. Por este motivo, decidiu-se pela adoção do valor referente ao plantio morro abaixo, igual a **1,0**.

Substituindo-se os valores dos fatores obtidos para a Equação 14, tem-se que:

- A predição de perda de solo por unidade de área e tempo, para a inclinação de 5% (representando as parcelas 1 e 2) é a seguinte:

$$A = 7301 * 0,0296 * 0,2804 * 1,0 * 1,0$$

$$\mathbf{A = 60,6 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}}$$

- A predição de perda de solo por unidade de área e tempo, para a inclinação de 6% (representando a parcela 3) é a seguinte:

$$A = 7301 * 0,0296 * 0,3477 * 1,0 * 1,0$$

$$\mathbf{A = 75,1 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}}$$

- A predição de perda de solo por unidade de área e tempo, para a inclinação de 7% (representando a parcela 4) é a seguinte:

$$A = 7301 * 0,0296 * 0,4170 * 1,0 * 1,0$$

$$\mathbf{A = 90,1 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}}$$

Portanto, como evidenciam os cálculos através da EUPS, há uma alta produção quantitativa de sedimentos para estas características específicas de tipo de solo, inclinações e práticas de uso e manejo. Estas taxas de perdas de solo parecem conservadoras diante de dados apresentados por Telles¹¹² (1999), que estima uma perda de 175 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para

¹¹² Telles, D.D.A. (1999). Água na Agricultura e Pecuária. Cap. 9, Quadro 15, p. 331.

estradas periurbanas (Tabela 14); ou até mesmo por Toy (1982) apud Simões e Coiado (2003) onde é apresentado um limite de $338 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para construção de estradas (Tabelas 15). No entanto, encontram-se muito acima das perdas médias estimadas para o Estado de São Paulo, de $19 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (ALMEIDA, 1981, citado por PRUSKI, 2009) – Tabela 19), e também para a tolerância média de perdas de solo para o Neossolo Quartzarênico, de $6,8 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, conforme Fujihara (2002), na Tabela 20.

5.6 Gerenciamento dos canaviais

O raio de atuação de uma usina é pouco variável não devendo passar de 20 quilômetros. Geralmente devem ser considerados vários fatores, prevalecendo a localização das propriedades que deverão ceder a matéria-prima, e seu trajeto (tempo e distância) até a agroindústria.

Em relação à condução e gerenciamento dos canaviais, pode-se considerar três modalidades, como segue na Tabela 44:

Tabela 44 - Modalidades de gerenciamento de um canavial

Modalidade	Característica
Área de parceria	Arrendamento da área por um período determinado mediante contrato. A usina gerencia o cultivo em todo o seu processo produtivo.
Área própria	A área onde a cana é cultivada pertence à usina e esta tem a responsabilidade no gerenciamento de todas as atividades, do preparo do solo à colheita da matéria-prima.
Área terceirizada	A usina apenas colhe a produção, não tendo nenhuma obrigação (dentro do campo) ou atividade vinculada até esta etapa.

Fonte: Bertoli¹¹³

A Fazenda onde ocorreu o estudo é uma “área de parceria”. Este é um fato importante a ser mencionado, pois eventualmente as “áreas de parceria” podem receber uma menor atenção frente às “áreas próprias” da agroindústria, responsável e arrendadora.

Os carregadores foram mantidos com traços de erosão até as vésperas da colheita, quando procedeu-se o nivelamento do leito com a motoniveladora (Patrol). Sendo uma área

¹¹³ Bertoli, D.N. (2011). Informações sobre o gerenciamento de canaviais. Informação recebida pessoalmente em 26, abr. 2011.

arrendada, o revestimento primário (ou qualquer outro tipo de tratamento primário) é economicamente inviável, ou não desperta interesse por parte do arrendador. O custo é menor quando se recorre ao nivelamento. No entanto, há uma maior movimentação de solo (compactação e revolvimento) e também maiores chances de futuras perdas quantitativas e qualitativas. Significa supor que outras áreas sob este regime de gerenciamento, podem estar recebendo a mesma metodologia na manutenção de seus carreadores.

No caso de “áreas terceirizadas” a manutenção também ocorre por conta do proprietário (que não é a agroindústria). É certo supor que propriedades particulares geralmente não têm o poder aquisitivo de uma agroindústria, nem maquinário pesado à disposição. Portanto, o grau de manutenção dos carreadores pode ser ainda menor. Uma exceção pode ocorrer caso algum carreador faça parte da malha viária (estrada municipal). Nesse caso, o mesmo pode receber um tratamento primário pelo proprietário, pelo município ou até mesmo por algum programa governamental (como citado no item “Iniciativas governamentais no combate à erosão do solo em estradas de terra” – Revisão bibliográfica).

5.7 Comparação de custo entre nivelamento e revestimento primário dos carreadores

É possível fazer uma breve comparação de custo para um revestimento primário do subleito e apenas a passagem da motoniveladora. O objetivo para tal cálculo é se chegar a uma aproximação do valor a ser gasto, caso a gerenciadora da fazenda optasse pelo revestimento primário, tratamento mais eficaz para estradas de terra e que garante boas condições de trafegabilidade. A fazenda Santo Antonio do Lobo recebe apenas a passagem da motoniveladora em seu subleito.

a) Nivelamento através da motoniveladora

Sabendo que a cana está instalada na Fazenda há 10 anos e que a variedade tem o ciclo de um ano e meio, a motoniveladora realizou o nivelamento completo dos carreadores provavelmente por 7 vezes (10 anos * 12 meses, dividido por 18 meses). Considerando que a máquina desenvolve a operação a uma velocidade de 6 km/h, apresenta um consumo de combustível de 25 litros/hora e deve passar duas vezes em todos os carreadores, que têm a extensão total de 9.480 metros dentro da fazenda (BERTOLI¹¹⁴), tem-se um gasto aproximado de 80 litros de óleo diesel para esta atividade

¹¹⁴ Bertoli, D.N. (2012). Informações sobre a manutenção dos carreadores da Fazenda Santo Antonio do Lobo. Informações recebidas por telefone em: 11, abr. 2012.

a cada vez que ela ocorre. Para se percorrer todos os carregadores 2 vezes, serão necessárias aproximadamente 3,16 horas de deslocamento a 6km/h. Considerando os custos de consumo de combustível e remuneração do tratorista/hora (R\$ 26,26/hora, com encargos embutidos¹¹⁵), e trazendo estes custos para um valor total atual, tem-se para o período de 10 anos os seguintes valores para cálculo:

- Número de operações realizadas com a motoniveladora desde o início do gerenciamento da fazenda: 7;
- Gasto de combustível a cada operação: 80 litros;
- Custo do combustível (óleo diesel): R\$ 1,738/litro¹¹⁶;
- Custo da mão-de-obra (tratorista): R\$ 26,26/hora;
- Tempo de operação para cada vez em que os carregadores são submetidos a nivelamento: 3,16 horas;

Para o cálculo deste valor pode ser empregada a Equação 17.

$$C = O * (Cg * Cc) + O * (To + Mo) \quad (\text{Eq. 17})$$

Em que:

C - Custo de nivelamento do subleito (R\$);

O - número de operações;

Cg - combustível gasto, em litros;

Cc – custo do combustível, em R\$;

To – Tempo de operação, em horas;

Mo – Custo horário da mão-de-obra.

Substituindo-se os valores, tem-se que:

$$\text{Custo de nivelamento (R\$)} = 7 * (80 * \text{R\$ } 1,738) + 7 * (3,16 * \text{R\$ } 26,26) \cong \mathbf{1.554,00}$$

É importante destacar que não estão sendo contabilizados os gastos de combustível com deslocamento (ou transporte) desta máquina até a Fazenda. Isso porque a motoniveladora pode realizar o serviço durante a sua locomoção dentro do itinerário estabelecido, na ida, na

¹¹⁵ Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (2011).

¹¹⁶ Preço médio praticado no Estado de São Paulo para o período de 20/05/2012 a 26/05/2012. Fonte: Agência Nacional de Petróleo (2012).

volta, ou em ambas. A contabilização para o custo do nivelamento acima também considerou que a área já conte com a motoniveladora.

No caso de uma área independente das agroindústrias (área terceirizada, conforme Tabela 44), deve ser somado o custo do aluguel de uma motoniveladora para trabalho no local, tendo a Equação 17 o seguinte acréscimo (em negrito):

$$C = O * (Cg * Cc) + O * (To + Mo) + \mathbf{O * (To * Cm)} \quad (\text{Eq. 18})$$

Em que:

C - Custo de nivelamento do subleito (R\$);

O - número de operações;

Cg - combustível gasto, em litros;

Cc – custo do combustível, em R\$;

To – Tempo de operação, em horas;

Mo – Custo horário da mão-de-obra;

Cm – Custo horário do aluguel de uma motoniveladora;

Substituindo-se os valores, tem-se que:

$$\mathbf{\text{Custo de nivelamento (R\$)} = 7 * (80 * \text{R\$ } 1,738) + 7 * (3,16 * \text{R\$ } 26,26) + 7 * (3,16 * 135,11^{117}) \cong \mathbf{4.542,00}}$$

b) Revestimento primário

Se para estes mesmos carregadores se recorresse ao revestimento primário seria necessário haver uma camada com espessura entre 12 e 15 cm sobre o subleito, conforme relato de Lucchino¹¹⁸. Considerando a extensão (9.480 m) e a largura média (3,3 m) dos carregadores, tem-se uma superfície de 31.284 m². De acordo com a Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (2011), o custo para o revestimento primário é de R\$ 58,77/m³. Se for adotada a menor espessura sugerida, ou seja, 12 cm, tem-se que:

$$\text{Volume necessário de material (m}^3\text{)} = 31.284 \text{ m}^2 * 0,12 \text{ m} = 3.754,08 \text{ m}^3$$

¹¹⁷ Fonte: Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (2011).

¹¹⁸ Lucchino, A. Informações sobre técnicas de tratamento primário em estradas de terra. Informações recebidas por telefone em: 23 abr. 2012.

Custo total do revestimento primário (R\$) = 58,77 * 3.754,08 \cong 220.627,28

De acordo com a Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (2011), estão incluídas na contabilidade total do revestimento primário, a camada acabada revestida com pedra britada n° 2 misturada ao solo local, escarificação, umedecimento, compactação e ensaios.

Convertendo os custos totais para a unidade de metro quadrado, tem-se que:

<p>Motoniveladora = R\$ 1.554,00/31.284 m² \cong R\$ 0,05/m²</p> <p>Revestimento primário = R\$ 220.627,28/31.284 m² \cong R\$ 7,00/m²</p>
--

Portanto, o revestimento primário teria um custo aproximadamente 140 vezes superior à simples operação de nivelamento com a motoniveladora, a qual a agroindústria utiliza neste caso. Deve-se ressaltar que o agulhamento, por exemplo, é um tratamento primário mais barato que o revestimento primário e que também pode empregar materiais alternativos - como composto granular (proveniente de sobras da construção civil) - barateando todo o processo, conforme relata Lucchino¹¹⁹. Em qualquer um dos casos, desde que sejam seguidas as recomendações técnicas de dimensão granular e composição da mistura do material granular e material ligante, pode-se obter uma malha viária satisfatória com menos riscos de erosão. É certo que quanto maior o fluxo ou quanto mais pesadas forem as máquinas a transitar nos carregadores, maior deverá ser a espessura do revestimento para que seja atendida a capacidade de suporte.

5.7.1 Aspectos ambientais

Ambientalmente, ambos tratamentos discutidos podem trazer vantagens e desvantagens.

Quando é feito o nivelamento de um terreno, há o arraste de material para uma das laterais do carregador e a compactação do subleito por conta da passagem da motoniveladora (que pesa aproximadamente 14 toneladas). A terra revolvida, amontoada e agora solta, poderá ser arrastada a cotas inferiores, através do processo de salpicamento, nas próximas chuvas. O solo compactado pode favorecer o aparecimento de micro-ravinas no terreno, ao invés de

¹¹⁹ Lucchino, A. (2012). Informações técnicas sobre material alternativo para uso no revestimento primário em estradas de terra. Informações recebidas por telefone em: 23 abr. 2012.

infiltrar a água da chuva. Talvez a única vantagem de se proceder com o nivelamento é que assim não se contribui com a subtração de material granular (pedras) e ligante (argila) de outras áreas, o que também é um impacto não contabilizado até o momento.

Já o revestimento primário traz como principal vantagem ambiental a redução do processo erosivo do subleito. Sua desvantagem, no entanto, é a subtração de material granular e material ligante de alguma fonte provedora destas matérias-primas. Além disso, há consumo de água para o preparo da mistura, que será compactada sobre o subleito.

Para ambos os casos há também consumo de óleo diesel, o qual garantirá o trabalho das máquinas (motoniveladora, caminhão-pipa e rolo compressor, entre outros). Tal consumo leva à queima deste derivado de petróleo e à emissão de dióxido de carbono, além de outras partículas poluidoras da atmosfera.

5.8 Custos do estudo observacional

Para a realização do estudo observacional em campo e suas respectivas análises de laboratório, foram envolvidos diretamente diversos itens, descritos na Tabela 45.

Tabela 45 – Itens e custos envolvidos na atividade de campo e de laboratório

Atividade de campo e laboratório	
Item	Valor (R\$)
Ajudante (5 dias)	400,00
Combustível	600,00
Abertura das bacias de acumulação (máq. e mão-de-obra)	300,00
Alimentação	136,00
Fita zebrada para sinalização	7,00
Pote plástico (1000ml) 24 unid. (10)	147,6
Pote plástico (350ml) 24 unid. (5)	32,75
Encerado plástico preto	250,40
Tábuas para isolamento das parcelas	-
Pluviômetro com escala (5)	39,95
Ganchos de ferro	63,00
Balde e garrafa plástica	34,14
Fita adesiva	16,50
Seringa para drenar tanque e mangueira	93,19
Cavadeira, enxadão, vanga, lima e facão	79,00
Sacho coração	14,20
Bota de borracha	34,00
Bica de metal (4)	130,00
Jaleco para laboratório	30,00
Reagentes	-
Técnico de laboratório (mão-de-obra)	-
Sub-total	2.407,73

Fonte: Scarpinella (2012)

Alguns custos relacionados acima podem variar bastante, como auxílio nas atividades de campo (custo da mão-de-obra por dia e frequência de trabalho), custos com deslocamento (combustível), alimentação, uso de reagentes (para os casos de análise de nitrogênio e fósforo) e auxílio de técnico para as análises laboratoriais. Se a área a ser estudada for próxima ao local de trabalho, armazenamento das amostras e análises laboratoriais, os custos com combustível poderão apresentar uma queda significativa. Se houver demanda por um ajudante para visitação das parcelas, diariamente, os custos podem aumentar significativamente. No entanto, é interessante que um ajudante esteja presente pelo menos na montagem e na desmontagem das parcelas observacionais. Não é necessária a presença de uma segunda pessoa no decorrer dos estudos observacionais, com exceção de casos em que um maior número de parcelas esteja sendo observado ao mesmo tempo e em localidades distantes umas das outras.

Deve-se ressaltar na Tabela 45 que para o presente estudo não foi preciso arcar com os custos de reagentes e técnico de laboratório, por haver disponibilidade dos mesmos no Núcleo de Hidrometria. As tábuas usadas para isolamento das parcelas foram provenientes de descarte, também do Núcleo de Hidrometria, não incorrendo em custos adicionais.

Itens como ganchos de ferro podem eventualmente ser substituídos por estacas de bambu, que servirão para fixação das barreiras que isolam as parcelas e dos encerados sobre as bacias de acumulação. A abertura das bacias de acumulação pode ser feita de forma manual e os potes plásticos podem ser reaproveitados, caso as amostras dos primeiros dias já tenham sido secas, pesadas, devidamente utilizadas para as análises em questão e descartadas. Adaptações como as mencionadas podem baixar os custos para implementação de um estudo observacional, assim como o descrito no presente trabalho.

Dentro dos moldes apresentados, tais custos poderiam ser transpostos para toda a bacia do Ribeirão do Feijão, considerando duas hipóteses:

- a) **área de cana plantada** - Se for adota esta hipótese, tem-se a proporção de 4 carregadores analisados por 55 hectares de área, aproximadamente (o que aconteceu para o presente estudo). Haveria, portanto, para toda a bacia, que conta com 2.494,9 hectares de cana, a demanda de instalação de aproximadamente 180 parcelas observacionais, com o custo total de R\$ 108.347,85.
- b) **tipos de solo onde a cultura está instalada** - Nesta hipótese tem-se que, dos 18 tipos de solo que ocorrem na bacia do Ribeirão do Feijão (e apresentados na Tabela 28), a cana encontra-se instalada em 13 deles. Se houver o desenvolvimento de 4 parcelas

observacionais por cada tipo de solo, seriam necessárias 52 parcelas, com um custo total aproximado de R\$ 31.000,00.

Poderiam ainda ser consideradas outras possibilidades para a estimativa de custos deste estudo observacional, como a implementação de parcelas observacionais por propriedade onde a cana é cultivada; por tipo de gerenciamento dos canais dentro da bacia ou outras características (declividade, trafegabilidade, etc).

5.9 Metodologias e informações não utilizadas no estudo

Algumas técnicas para auxílio na aferição dos processos erosivos foram adotadas no início e não utilizadas, por conta dos argumentos a seguir.

a) Pinos erosivos – Os pinos erosivos são utilizados para se medir visualmente a ocorrência de rebaixamento de camada de solo em pequenas áreas, como descrito por Bertoni e Lombardi Neto (2008). São enterrados parcialmente e o aparecimento das marcas graduadas facilita a leitura e comprova a movimentação de solo (conforme descrito por ZUQUETTE¹²⁰). Neste caso foram feitas marcas graduadas a cada 2 mm. Foram empregados 5 pinos erosivos, distribuídos nas 4 parcelas, conforme ilustrado na Figura 42.

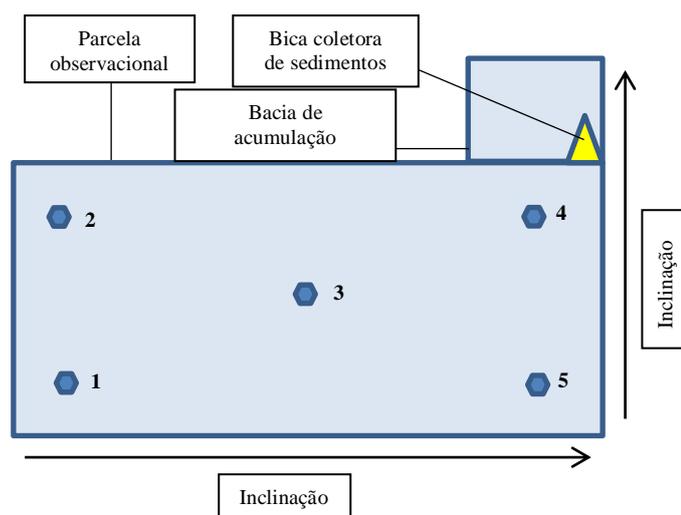


Figura 42 - Disposição dos pinos erosivos nas parcelas observacionais

Fonte: Scarpinella (2012)

¹²⁰ Zuquette, L. V. (2011). Informações sobre metodologias empregadas para medições de perdas de solos. Informações recebidas pessoalmente em: 8 fev. 2011.

Além disso, foram instalados pinos erosivos em outros trechos de carreadores para acompanhamento da evolução do processo erosivo dentro do período de tempo estudado, conforme ilustra a Figura 43. A adoção desta metodologia demonstrou uma difícil aferição talvez por conta de haver poucos pinos dispostos no local. Uma possibilidade para se obter informações mais ricas e precisas seria aumentar o número de pinos por unidade de área.



Figura 43 – Representação da instalação de pinos erosivos em trecho de carregador
Foto: Gustavo Scarpinella

A Figura 44 apresenta 3 casos de movimentação de sedimento através da instalação de pinos erosivos. Nos dois primeiros casos, foi possível aferir a remoção de material onde o pino estava instalado (5 mm na primeira imagem e aproximadamente 20 mm na segunda). Na terceira imagem houve uma deposição de material cobrindo completamente o primeiro pino. Foi instalado um segundo pino e após um evento chuvoso foi iniciada a remoção de material, fazendo aparecer a primeira marca graduada (de 0 a 2 mm).



Figura 44 – Pinos erosivos instalados em campo
Fotos: Gustavo Scarpinella

b) Cápsulas para detecção do nível de filetes d'água - Foram produzidas manualmente pequenas cápsulas (de acordo com ZUQUETTE¹²¹) com o objetivo de mensurar filetes d'água dentro das parcelas durante os eventos chuvosos. Trata-se de tubos transparentes com aberturas fusiformes horizontais para a entrada de água, e base com ponta de metal para fixação no solo (Figura 45) Tais cápsulas não se mostraram eficazes já nos primeiros eventos chuvosos. Durante uma chuva que eventualmente gerasse microfiletes no terreno, a abertura desta cápsula deveria armazenar em seu interior parte do escoamento, demonstrando a altura da lâmina d'água naquele evento. Para isso foram produzidas cápsulas com as alturas de entrada d'água de 1 e 2 cm em relação ao nível da superfície do solo.



Figura 45 – Cápsula para captação de filete d'água durante evento chuvoso

Foto: Gustavo Scarpinella

Esta metodologia, no entanto, foi abandonada, pois as cápsulas apresentaram tombamento, provavelmente devido à sua curta base de fixação no solo (cerca de 2,5 cm).

c) Histórico fotográfico erosivo de pontos específicos - Foram selecionados alguns pontos na área de estudo para um acompanhamento fotográfico ao longo do período de visitas a campo. O objetivo seria observar a movimentação de massa adotando-se locais precisos para a tomada de fotos. A Figura 46 ilustra tomadas de um mesmo ponto.

¹²¹ Zuquette, L. V. Informações sobre metodologias empregadas para medições de perdas de solos. Informações recebidas pessoalmente em: 8 fev. 2011.



Figura 46 – Acompanhamento do histórico erosivo de pontos específicos

Fotos: Gustavo Scarpinella

Tal metodologia se mostrou bastante interessante, pois o resultado é visível. Por fugir do escopo (observação de parcelas isoladas) esta prática não foi amplamente desenvolvida neste estudo.

d) Pluviômetro - foi instalado um pluviômetro graduado de plástico próximo a cada uma das 4 parcelas. Um quinto pluviômetro foi instalado na Estação Climatológica do CRHEA para aferir se a marcação deste era compatível com a marcação dos pluviômetros e pluviógrafos da Estação Climatológica.

Cada pluviômetro foi preso a um suporte de bambu e a uma altura de 1,50 m do solo (Figura 47). Este instrumento deveria ficar o mais distante possível do canavial e árvores próximas (que pudessem afetar a plena captação das águas pluviais), mas com uma distância máxima de 4 metros de cada parcela.



Figura 47 – Pluviômetro instalado em campo

Foto: Gustavo Scarpinella

Os pluviômetros graduados de plástico mostraram ser bastante precisos para a mensuração das chuvas. Na estação climatológica onde foi instalado um pluviômetro (15 de

março) para comparação, os valores dos dois tipos de pluviômetros (pluviômetro da estação e pluviômetro de plástico) foram praticamente idênticos. Das 7 tomadas, 6 foram idênticas entre estes dois instrumentos. No entanto, os dados não foram aproveitados, pois o objetivo do estudo foi comparar a intensidade de chuva (obtida através de pluviógrafo) com a produção de sedimentos.

e) Registro fotográfico da flora ao longo dos carregadores - Embora as espécies vegetais encontradas nos carregadores possam parecer aliadas ao controle da erosão por conta de sua cobertura vegetal, são de certa forma uma ameaça à plantação. Consideradas plantas daninhas¹²², elas competem (nas áreas plantadas) em luminosidade, água e nutrientes com a cultura instalada, sendo inclusive controladas mecanicamente¹²³ no período inicial de desenvolvimento da cultura.

Nos carregadores, estas plantas (Figura 48) podem ser propagadoras de fogo de áreas vizinhas para o canavial e vice-versa. Por isso, opta-se por mantê-los livres de quaisquer espécies vegetais. Assim, os carregadores desempenham também o seu papel de aceiros.



Figura 48 – Plantas daninhas ao longo dos carregadores

Fotos: Gustavo Scarpinella

f) Registro fotográfico da fauna ao longo dos carregadores – A cana, por ser uma monocultura, apresenta um número reduzido de espécies animais. Há, no entanto, dentro da fazenda, duas nascentes e sua área de preservação permanente (11 hectares) pode abrigar a fauna local. Os registros feitos (Figura 49) ocorreram necessariamente nos carregadores, nas parcelas isoladas e nas bacias de acumulação. Além das imagens desta figura, foram avistadas pequenas aves, cachorros do mato e diversos insetos.

¹²² São plantas não desejadas em um determinado local. Assim, um pé de feijão no meio do canavial pode ser considerado uma planta daninha.

¹²³ Controle mecânico consiste no arranquio das plantas daninhas com o auxílio de arado de disco ou grade, acoplados a um trator.



Figura 49 – Fauna pelos carregadores: (a) aranha marrom; (b) jararaca; (c) pegada de veado campeiro; (d) pegada de animal carnívoro; (e) escorpião marrom

Fotos: Gustavo Scarpinella

g) Registro fotográfico do lixo encontrado ao longo dos carregadores – O autor recolheu todo o lixo que encontrou pelos carregadores da Fazenda Santo Antonio do Lobo durante as visitas que realizou. Provavelmente aqueles resíduos que mais teriam oferecido riscos à plantação foram as velas e bitucas de cigarro (risco de incêndio). Foram ainda encontrados embalagens de marmita, copos plásticos, garrafas plásticas, garrafas de vidro, papéis de bala, embalagem de preservativo e diversos outros tipos de resíduos, provando que a fazenda antes de ser fechada recebia variadas visitas.



Figura 50 - Lixo recolhido nos carregadores durante as visitas de campo

Fotos: Gustavo Scarpinella

5.10 Intercorrências durante o estudo

Durante o estudo de campo, duas situações específicas prejudicaram a leitura da produção de sedimentos:

- a) **Infiltração de sedimentos** - Houve 4 casos de infiltração do escoamento antes da bica de metal (Figura 55 (a) e (b)). Todos ocorreram na Parcela 1 e o acúmulo de sedimento encontrado por baixo do encerado foi aparentemente de 2 kg (2 de março), 5 kg (3 de março), 5 kg (7 de março) e 3 kg (14 de março). A resolução deste problema deu-se com uma fixação diferente da bica, desta vez avançando a mesma para a parcela, recolocando-a em um nível um pouco mais baixo e além do ponto da infiltração.



Figura 51 – Intercorrências durante o estudo observacional: “a” e “b” – infiltração dos sedimentos antes da bica de metal; c – Encerado plástico rasgado

Fotos: Gustavo Scarpinella

- b) **Rompimento dos encerados plásticos** – O rompimento dos encerados plásticos ocorreu com uma baixa frequência. No entanto, todas as parcelas tiveram seus encerados substituídos, no mínimo duas vezes. O manuseio, o tipo de material acondicionado e a exposição do material à chuva e ao sol, fazem com que sua vida útil seja encurtada. Na Figura 55 (c) pode-se observar a marca a que chegou a acumulação de sedimento em um determinado evento. O rasgo do plástico neste caso foi em uma região intermediária, garantindo ainda uma retenção parcial dos sedimentos. Após a coleta da amostra, o encerado era retirado, a bacia tinha seu

molde refeito (retirando-se as quinas demasiadamente arredondadas) e um novo plástico era colocado.

6 CONCLUSÕES

Embora conte com algumas agroindústrias canavieiras ao seu redor, a bacia do Ribeirão do Feijão apresenta uma ocupação baixa da cultura da cana-de-açúcar (10,64%), sendo inferior a outras culturas (10,83%), às florestas plantadas (16,78%) e à atividade pecuária extensiva (27,27%). É interessante destacar que aproximadamente 20% da cana cultivada hoje na bacia encontra-se em terrenos com declividade superior a 12%. Até 2017 estas áreas terão migrado, pois a cultura deverá ser toda mecanizada, por conta da proibição da queima da palha da cana. Tal proibição deverá, de certa forma, trazer uma diminuição na erosão do solo, por dois motivos: um certo volume de palha ficará espalhado pela superfície (inclusive carregadores) servindo como interceptador das águas das chuvas e; as áreas mais declivosas usadas para a cultura hoje estarão indisponíveis no futuro próximo, diminuindo os riscos de erosão.

Os carregadores de cana constituem 34,24% da malha viária das estradas de terra da bacia do Ribeirão do Feijão e têm uma área total de 197,9 hectares. Se todos os carregadores apresentarem a largura média daqueles observados no estudo do presente trabalho (3,3 metros), existem na bacia aproximadamente 600 quilômetros lineares de carregadores de cana. A Fazenda Santo Antonio do Lobo representa 2,2% de toda a cana cultivada na bacia do Ribeirão do Feijão e o tipo de solo (Neossolo quartzarênico), 12% de toda a bacia. Portanto, não se pode afirmar que a abrangência deste estudo foi representativa.

Outras fazendas de cana dentro da bacia não puderam ser visitadas, pois as propriedades são particulares e em vários casos o seu acesso é restrito. As agroindústrias são fontes de interessante intermediação, por serem gerenciadoras de parte das plantações de cana da bacia. A organização (agroindústria) responsável pelo gerenciamento da área estudada se mostrou sempre disposta a ajudar, auxiliando com informações e cedendo o espaço para as observações e discussões que originaram este estudo.

Foram adotadas para o estudo 4 parcelas observacionais, evidenciando ao final do mesmo sua viabilidade operacional e econômica. Os custos para montagem e manutenção também se mostraram baixos e o dimensionamento das parcelas isoladas e de suas respectivas bacias de captação também se mostraram satisfatórios. Os encerados plásticos, utilizados como impermeabilizantes das bacias de captação, foram uma alternativa barata e de fácil manuseio, demandando apenas uma pessoa para o desenvolvimento de atividades como limpeza, recolocação ou substituição.

A erosão em carregadores de cana-de-açúcar pôde ser observada através das parcelas montadas em campo. Fora das parcelas também foi possível constatar diversos trechos de carregadores com problemas erosivos, provenientes de sua baixa capacidade de suporte e manutenção, além de um sistema de drenagem ineficiente.

Pôde ser observada uma produção acumulada de sedimentos que variou de 116 kg a 491 kg nas parcelas montadas. A parcela 4, foi a responsável pela maior produção de sedimentos, provavelmente pela sua maior inclinação em relação às demais parcelas e pelo seu maior teor de argila.

Com as análises de laboratório foi possível obter resultados também de aspectos qualitativos. Em relação ao nitrogênio total houve uma produção acumulada de 1,5 kg, 2 kg, 7 kg e 25 kg para as parcelas 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Somente na parcela 4, em 1 evento, houve a produção de aproximadamente 7 kg deste nutriente, para uma área isolada de 33 m².

A produção de fósforo total também pôde ser observada em todas as parcelas, embora em porções reduzidas: 6 g, 6 g, 12 g e 92 g para as parcelas 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

A matéria orgânica se mostrou pouco presente nas amostras analisadas revelando como resultado porcentagens sempre inferiores a 10%, conferindo ao solo um perfil de mineral.

Empregando a Equação Universal de Perdas de Solo para as inclinações das parcelas observadas (5%, 6% e 7%), pôde-se constatar uma predição de perdas de solo que variou de 60,6 a 90,1 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Não se pode afirmar, no entanto, que este valor serve à bacia inteira, pois os carregadores localizam-se em 13 tipos diferentes de solo, além de apresentarem características diversas de tratamento do subleito (ou ausência dele), declividade, hierarquia e grau de manutenção. Os resultados através da EUPS mostram que as máximas perdas esperadas estão abaixo de valores citados na literatura, para estradas de terra (175 t.ha⁻¹.ano⁻¹). Evidenciam, no entanto, uma marca superior à tolerância média de perdas de solo para o Neossolo Quartzarênico (6,8 t.ha⁻¹.ano⁻¹) ou até mesmo para a média de áreas agricultadas do Estado de São Paulo (19 t.ha⁻¹.ano⁻¹).

Os carregadores da área estudada apresentaram (no período de visitas a campo) focos erosivos em diversos trechos e problemas em sua malha, como produção de sedimentos com formação de rodeiros, atoleiros, erosão por filete, erosão por sulcos e ondulações. É muito provável, até pelo registro fotográfico que se tem, que a propriedade vizinha (a qual se encontra em uma cota altimétrica mais elevada) seja uma importante contribuinte de sedimentos à região estudada. A malha viária da fazenda poderia produzir menos sedimentos após as ocorrências de chuva, caso contasse com qualquer tratamento primário ou até mesmo

estruturas de retenção (embaciamento, sangras e barreiras) que evitassem as enxurradas sobre o subleito, ou recebecem sedimentos de áreas vizinhas.

Pode-se atribuir a baixa manutenção dos carreadores do local de estudo, ao custo que difere a passagem da motoniveladora com o revestimento primário e ao tipo de gerenciamento da fazenda. O custo para o revestimento primário é mais de 140 vezes superior à simples passagem da motoniveladora sobre o subleito. No caso da área estudada, sua forma de gerenciamento se dá por “parceria”, onde a agroindústria fica responsável por toda a manutenção das áreas plantadas e carreadores. O custo de manutenção dos carreadores é inferior (e mais interessante ao gerenciador) se for mantido como está. Em termos ambientais, a passagem da motoniveladora em carreadores (frente a um tratamento primário do subleito) pode trazer problemas de eutrofização (dado o desprendimento e arraste de material do subleito), caso a produção de sedimento (após a ocorrência de chuvas naturais) atinja corpos d’água próximos.

7 SUGESTÕES

Por haver uma escassez de estudos na área de erosão do solo em carreadores da cultura da cana-de-açúcar, este estudo deixa uma série de questões, problemas e demandas que não tiveram suas discussões desenvolvidas. As sugestões para futuros trabalhos que sigam esta linha de pesquisa são as seguintes:

1 – Estudo de um número maior de carreadores, com:

- a) inclinações variadas;
- b) diferentes revestimentos (tratamento primário do subleito e presença de cobertura vegetal);
- c) outros tipos de solo. O número de parcelas por tipo de solo e suas dimensões desenvolvidas neste estudo foram satisfatórios para a obtenção de dados e caracterização básica da produção de sedimentos;
- d) diferentes ciclos de cultivo. Na área onde o estudo foi realizado, a variedade de cana cultivada tem o ciclo de 18 meses (cana de ano e meio). Seria interessante uma comparação com carreadores onde o cultivo seja feito em 12 meses (cana de ano), onde o trânsito de veículos é mais frequente.

2 – Acesso a outras propriedades onde se cultiva a cana. Avaliação das condições dos carreadores e dos trabalhos de manutenção realizados nos mesmos. O ideal é que as agroindústrias possam fazer a intermediação entre o pesquisador e a área almejada para estudo. Isso porque diversas propriedades onde se cultiva cana (dentro de uma bacia hidrográfica) estão sob o gerenciamento destas agroindústrias. No entanto, o caminho mais difícil, mas talvez o mais rico quando se trata de produção de sedimentos, é o contato com produtores particulares. Sua condição financeira poderá ditar o grau de cuidado com os carreadores de sua propriedade e isso passa a ser uma característica determinante na erosão do solo da malha viária daquele local;

3 – Levantamento dos carreadores (quanto às suas características) na bacia hidrográfica, por importância na malha viária. Esta malha obedece às leis da topografia, desenho dos talhões e barreiras físicas já existentes (cursos d'água, matas, propriedades e estradas);

4 – Acompanhamento fotográfico de carreadores críticos e específicos, adotando-se pontos fixos de referência. Tal ponto, com altura também definida deverá ser o local exato das tomadas fotográficas. Através desta metodologia é possível observar em um curto espaço de tempo a movimentação de massa em um determinado trecho;

5 – Investigação da contribuição das áreas plantadas e áreas adjacentes à produção de sedimentos nos carreadores. Sabe-se que em alguns casos pode haver contribuição de sedimentos aos carreadores;

6 – Desenvolvimento de pesquisa sobre quais áreas de cana da bacia podem oferecer mais riscos de contribuição de sedimentos para corpos d'água próximos;

7 – Caso o objetivo de um estudo futuro seja o desenvolvimento de parcelas observacionais em campo, recomenda-se a maior proximidade possível do local de base (laboratório de análises). Além da distância ao local de estudo, o número de parcelas estudadas pode ditar a sua viabilidade. Isso porque as bacias de acumulação devem estar limpas para o próximo evento chuvoso que representará o ciclo de 1 dia. A proximidade entre parcelas também é um fator que poderá contribuir para o bom andamento das observações. O deslocamento em estrada de terra é mais lento e a localização e itinerário das coletas não devem ser fatores que comprometam a viabilidade da pesquisa;

8 – Desenvolvimento de uma ferramenta de gestão voltada ao combate da erosão do solo em carreadores. Assim como a cobrança pelo uso da água visa uma melhoria de serviços na bacia hidrográfica, a “cobrança pelo uso do solo” poderia ser uma ferramenta de auxílio no combate à erosão do solo de carreadores de cana. Diferente do ITR (Imposto Territorial Rural), a cobrança pelo uso do solo poderia ser efetuada em canaviais que fossem empregados para a produção do etanol, excetuando-se os canaviais destinados à produção de açúcar (por ser um item da cesta básica de alimentos). Os moldes de “cobrança pelo uso da terra” poderiam ser semelhantes aos da cobrança pelo uso da água, que já se encontra implementada em algumas bacias hidrográficas paulistas e vem apresentando resultados positivos nas dimensões social, econômica e ambiental.

REFERÊNCIAS¹²⁴

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2007). **Disponibilidade de demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA. (Caderno de Recursos Hídricos, 2).

_____. (2009). **Programa produtor de água**. Brasília: ANA.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. (2012). **Síntese dos preços praticados (óleo diesel)**. Disponível em: < http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Semanal_Estado.asp>. Acesso em: 25 maio 2012.

AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. (2012). **Erosion productivity - impact calculator**. Disponível em: < <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=9791>>. Acesso em: 15 May 2012.

AHRENS, S. (2005). Sobre a legislação aplicável à restauração de florestas de preservação permanente e de reserva legal. In: GALVÃO, A.P.M.; SILVA, V.P. **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: Embrapa Florestas. p.13-26.

ALCARDE, A.R. (2012). **Cana-de-açúcar: outros produtos**. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html> Acesso em: 2 mar. 2012.

ALFONSI, R. R. et al. (1987). Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargil.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION . (1999). **APHA Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington: APHA.

AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. (2009). Principais modelos para estimar solos em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. (Ed.). **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Ed.UFV. Cap. 4, p.74-107.

ANDERSEN, J. M. (1976). An Ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. **Water Research**, Amsterdam, v.10, n.4, p. 329 – 331.

ANUÁRIO da indústria automobilista brasileira = brazilian automotive industry yearbook . (2011). Brasília: ANFAVEA.

ANTONANGELO, A.; FENNER, P. T. (2005). Identificação dos riscos de erosão em estradas de uso florestal através do critério do fator topográfico LS. **Energia Agrícola**, Botucatu, v. 20, n.3, p.1-20.

ARANHA, C; YAHN, C.A. (1987). Botânica da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargil. Cap.1, p. 3-13.

¹²⁴ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). **NBR 7181** - Solo – análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. (2011). **Anuário estatístico da ABRAF 2011 ano base 2010**. Brasília.

AVANZI, J.C. ET AL. (2008). Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos tabuleiros costeiros brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.563-569.

BAKKER, H. (1999). **Sugar cane cultivation and management**. New York: Springer.

BARRETO, A.G.O. P.; LINO, J. S.; SPAROVEK, G. (2009). Bibliometria da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo: instituições, temas, espaço e cronologia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.1845-1854.

BARROS, W.D. (1956). **A Erosão no Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas. Serviço de Documentação. (Coleção Mauá, 6).

BECKER, H. (1997). **Model provides major advance in controlling water erosion**. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/is/pr/1997/970430.htm>>. Acesso em: 15 May 2012.

BELTRÃO, N.E.M.; OLIVEIRA, M.I.P. (2008). Produção de energia e produtividade: ricinus communis l. x saccharum officinale l. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, ENERGIA E RICINOQUÍMICA, 13., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: SEAGRI; Embrapa Algodão.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (2008). **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo: Ícone.

BONOMI, M.M.; ROSA, R.F. (2007). Planejamento agrícola. In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; PINTO, A.S. (org.). **Expansão e renovação de canal**. Piracicaba: PLD Livros.

BORDAS, M.P.; SEMMELMANN, F.R. (1993). Elementos de Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre. Ed.Universidade. Cap.24, p.915-943.

BRASIL. (1975). **Decreto nº 76.593, de 14 de Novembro de 1975**. Institui o Programa Nacional do Alcool e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-76593-14-novembro-1975-425253-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 26 out. 2011.

BRASIL. (1989). **Lei nº 7.876, de 13 de novembro de 1989**. Institui o Dia Nacional da Conservação do Solo a ser comemorado, em todo o país, no dia 15 de abril de cada ano. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7876.htm>. Acesso em: 20 jul. 2011.

BRASIL. (1990). **Lei nº 8.029 de 12 de abril de 1990**. Dispõe sobre a extinção e dissolução de entidades da administração pública federal, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/104130/lei-8029-90>> Acesso em: 9 jan. 2012.

BRASIL. (1997). **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. (1998). **Medida provisória nº 1.662, de 28 de maio de 1998**.

Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores, e dá outras providências. Disponível em:

<<http://anfiip.datalegis.inf.br/view/txato.php?TIPO=MPV&NUMERO=00001662&SEQ=000&ANO=1998&ORGAO=NI&TIPITEM=&DESITEM=&DESITEMFIM=>>. Acesso em: 27 out. 2011.

BRASIL. (2003). **Resolução Nº. 32, de 15 de outubro de 2003**. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Disponível em:

<http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/32_2003_divisao_hidrografica_nacional.pdf>. Acessado em: 13 fev. 2010.

BRASIL. (2006). **resolução cima nº 35 de 22 de fevereiro de 2006**. Dispõe sobre a adição de álcool anidro combustível à gasolina. Disponível em:<

http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_resolucoes/resolucoes_cima/2006/rcima%2035%20-%202006.xml>. Acesso em: 20 out. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento. (2011a). Disponível em:< http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_66_711200516719.html>. Acesso em: 18 jul. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento. (2011b). **Brasil:** projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021. Brasília. Disponível em:<

http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/PROJECOES%20DO%20AGRONEGOCIO%202010-11%20a%202020-21%20-%20202_0.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2007). **GEO Brasil:** recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas.

BRASKEM. (2012). **Parcerias inovadoras e sustentáveis**. Disponível em: <

http://www.braskem.com.br/plasticoverde/parcerias_cases.html>. Acesso em: 9 abr. 2012.

CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Ed.). (1993). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ.

CAMARGO, A.M.M.P.; CAMARGO, F.P.; CAMARGO FILHO, W.P.C. (2011). Ocupação do solo na agropecuária paulista e a composição da produção vegetal, 1996 e 2008.

Informações Econômicas, São Paulo, v.41, n.5, 10p. maio.

CANTARELLA, H. (2012). **Principais impactos ambientais da produção de cana-de-açúcar no solo e na água**. Mesa redonda: Impactos ambientais da cana-de-açúcar no solo e na água, Itirapina, 4 de abril.

CAPUTO, H.P. (1978). **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 5.ed.rev.amp. Rio de Janeiro: LTC. v.1.

CARVALHO, N.O. (2008). **Hidrossedimentologia prática**. 2.ed.rev.amp. Rio de Janeiro: Interciência.

CATERPILLAR. (2012). **Motoniveladora 12K**. Disponível em: <<http://brasil.cat.com/cda/layout?m=326395&x=12>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

CEPAGRI. (2012). **Clima dos municípios paulistas**: a classificação climática de Koppen para o Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

CHOCTAWHATCHEE, PEA AND YELLOW RIVERS WATERSHED MANAGEMENT AUTHORITY. (2000). **Recommended practices manual**: a guideline for maintenance and service of unpaved roads. Disponível em: <http://water.epa.gov/polwaste/nps/upload/2003_07_02_nps_unpavedroads_unpavedtxtonly.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2010.

COLETI, J.T. (1987). Técnica cultural de plantio. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargil. Cap.3, p.284-328.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-JACARÉ. (2000). **Relatório zero**. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/sigrh_home_colegiado.exe?TEMA=RELATORIO&COLEGIADO=CRH/CBH-TJ&lwactw=294344>. Acesso em: 15 maio 2010.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SÃO PAULO. (2011). **Programa melhor caminho**. Disponível em: <http://www.codasp.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=127>. Acesso em: 14 jul. 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (2012). **Variáveis de qualidade das águas**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas#serie>>. Acesso em: 12 abr. 2012.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRADA. (1997). **Portaria CATI nº 06, de 24 de junho de 1997**. Dispõe sobre o estabelecimento de critérios técnicos para efeito de fiscalização do uso do solo agrícola no Estado de São Paulo.

Disponível em: <<http://www.cda.sp.gov.br/www/legislacoes/popup.php?action=view&idleg=307>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

_____. (2012). **Programa estadual de desenvolvimento rural sustentável – microbacias II**. Disponível em: < <http://www.cati.sp.gov.br/microbacias2/index.php>>. Acesso em: 19 abr. 2012.

CREAMS. (1980). **Chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems**. General model information. Disponível em:< http://www.wiz.uni-kassel.de/model_db/mdb/creams.html>. Acesso em: 15 May 2012.

CRESTANA, S. (2011). **Terceiro ciclo de aperfeiçoamento técnico profissional da associação dos engenheiros, arquitetos e agrônomos de São Carlos**. Palestra em 21 de junho de 2011.

CRESTANA, S.; MINOTI, R.T.; NEVES, F.F. (2010). Modelagem e simulação aplicadas à avaliação dos impactos da perda de solo e dos dejetos de suínos na qualidade da água de microbacias: uma nova abordagem voltada ao planejamento ambiental de microbacias hidrográficas. In: GOMES, M.A.F.; PESOA, M.C.P.Y. (Ed.). **Planejamento ambiental do espaço rural com ênfase para microbacias hidrográficas: manejo de recursos hídricos, ferramentas computacionais e educação ambiental**. Brasília: Embrapa. Cap.7, p.167-199.

DAVISON, E.A. (2007). Dirt cheap soil. **Nature**, n.447, p.777-778. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v447/full/447777a.html>>. Acesso em : 14 June 2010.

DIAMOND, J.M. (2006a.). **Colapso: como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso**. 3.ed. Tradução de Alexandre Raposo. Rio de Janeiro: Record.

_____. (2006b.). **Armas, germes e aço: os destinos das sociedades humanas**. 8.ed. Rio de Janeiro: Record.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. (1981). **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. Escala 1:100.000. São Paulo.

ESTEVES, F.A. (1988). Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Intercência; FINEP.

FAOSTAT. (2012). Disponível em:<<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>>. Acesso em: 26 Mar. 2012.

FENDRICH, R. et al. (1997). **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4.ed. Curitiba: Ed.Universitária Champagnat.

FERNANDES, A.J. (1984). **Manual da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres.

FERRAZ, S.F.B. et al. (2007). Uso de indicadores hidrológicos para classificação de trechos de estradas florestais quanto ao escoamento superficial. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.75, p.39-49, set.

FOLTZ, R.B.; COPELAND, N.S.; ELLIOT, W.J. (2009). Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and

interrill erosion parameters. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v.90, n.8, p.2542–2550, June.

FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. (2009). Morfologia de gramíneas. In: FORRAGEIRAS para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira. Passo Fundo: Embrapa Trigo. Cap.2, p.33-40. Disponível em:<<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/li/li01-2009-Forrageiras/LivroFonta-Cap2.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2012.

FRANCO, L. (2011). O Choque do etanol: o que os brasileiros devem esperar do biocombustível após a lata recorde na entressafra da cana – que também surpreendeu o governo federal, os usineiros e até os americanos. **Globo Rural**, maio, p.28-33.

FUJIHARA, A.K. (2002). **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 111p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FURTINI NETO, A.E.F. ET AL. (2001). **Fertilidade do solo**. 261p. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação Lato Sensu à distância – Fertilidade do solo e nutrição de plantas no Agronegócio, Lavras, 2001.

GALETI, P.A. (1987). **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola.

GARCEZ, L.N. (1967). **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blucher.

GARCIA, A.R. et al. (2003). Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.4, p.535-542.

GASSMAN, P.W. et al. (2007). The Soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.50, n.4, p.1211-1250. Disponível em:<http://www.card.iastate.edu/environment/items/asabe_swat.pdf>. Acesso em: 15 May 2012.

GOOGLE EARTH. (2010). Imagem parcial da represa do Lobo e da área de estudo. Disponível em:<[HTTP://www.google.com/earth/index.html](http://www.google.com/earth/index.html)>. Acesso em: 19 out. 2010.

GUBISICH, J.C. (2011). **Análise**: etanol de cana tem várias vantagens. Disponível em:<<http://www.bioetanol.org.br/noticias/detalhe.php?ID=NDI4>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2011). Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=sp&tema=pecuaria2010>>. Acesso em: 2 mar. 2012.

_____. (2010). Disponível em:<www.ibge.gov.br>. Acesso em: 2 fev. 2010.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. (2011). **Série Informações estatísticas da agricultura**. São Paulo. (Anuário 2010, v.22, n.1).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. (1988). **Estradas vicinais de terra**: manual técnico para conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. (2000). **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré** – Relatório Final. São Paulo.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. (1996). **Mapa das unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos**. Disponível em:<www.igc.sp.gov.br>. Acesso em: 20 mai. 2009.

_____. (1979a). **Folha 058/85 – Rio Jacaré-Guaçu**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979b). **Folha 058/86 – Fazenda Conde do Pinhal**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979c). **Folha 059/85 – Represa do Lobo**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979d). **Folha 059/86 – Córrego do Geraldo**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979e). **Folha 059/87 – Fazenda São José**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979f). **Folha 060/87 – Fazenda Mutuca II**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979g). **Folha 055/85 – São Carlos I**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979h). **Folha 055/86 – São Carlos II**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. (1979i). **Folha 056/85 – São Carlos IV**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979j). **Folha 056/86 – Fazenda Capão de Antas**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. (1979k). **Folha 056/87 – Fazenda Água Turva**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979l). **Folha 056/88 – Fazenda Córrego Seco**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979m). **Folha 057/85 – Córrego Santa Maria**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000, 1979. São Paulo.

_____. (1979n). **Folha 057/86 – Estação Conde do Pinhal**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. (1979o). **Folha 057/87 – Morrinho**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979p). **Folha 057/88 – Serra da Estrela**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979q). **Folha 058/87 – Estação Visconde do Rio Branco**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

_____. (1979r). **Folha 058/88 – Rio Corumbataí**. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Escala 1:10.000. São Paulo.

LABORATÓRIO NACIONAL DE BIOCÊNCIAS. (2010). **Braskem e LNBio se unem para desenvolver pesquisas de plástico verde**. Disponível em: <<http://www.lnbio.org.br/site/interna.aspx?idConteudo=131>>. Acesso em: 9 abr. 2012.

LABORATÓRIO NACIONAL DE CIENCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL. (2012). Disponível em:<www.bioetanol.org.br>. Acesso em: 13 mar. 2012.

LIMA, G.A. (1984). **Cultura da cana-de-açúcar**. Fortaleza: [s.n].

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (Coord.). (1994a.). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. São Paulo: CATI. (Manual técnico, n.41).

_____. (1994b.). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. São Paulo: CATI. (Manual técnico, n.42).

LOWDERMILK, W.C. (1986). Man-made deserts. **Pacific Affairs**, v.8, n.4, p.409-419.

MACEDO, I. C. (Org.). (2005). **A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo: ÚNICA.

MACEDO, J. (1994). Solos dos cerrados. In: PEREIRA, V.P.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: FCAV – UNESP/SBCS. p.69-75.

MAFRA, N.M.C. (2010). Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro: [s.n]. Cap.9, p.301-322.

MALAVOLTA, E. (1989). **ABC da adubação**. 5.ed. São Paulo: Agronômica Ceres.

MANZATTO, C.V. ET al. (Org.). (2009). **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro : Embrapa Solos.

MARGALEF, R. (1983). **Limnologia**. Barcelona: Omega.

MARQUES, F. (2009). O Alvo é o bagaço. **Revista Fapesp**. Edição Impressa 163 - Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/?art=3934&bd=1&pg=1>>. Acesso em: 6 mar. 2012.

MARTINELLI, L.A.; FILOSO, S. (2007). Polluting effects of Brazil's sugar-ethanol industry. **Nature**, v.445, n.364. Disponível em:<www.nature.com>. Acesso em: 12 June 2011.

MORGAN, R.P.C. (1997). **Erosion Y conservacion del suelo**. Tradução de P.U. Madrid: Mundi-Prensa.

NASA SCIENCE. (2012). **Water cycle**. Disponível em: <<http://science.nasa.gov/earth-science/oceanography/ocean-earth-system/ocean-water-cycle/>> Acesso em: 2 Mar. 2012.

NOGUEIRA-NETO, P. (1994). **Os Grandes problemas ambientais do mundo contemporâneo**. Instituto de Estudos Avançados. Texto da conferência realizada em 25 de agosto de 1994 no IEA. Disponível em:<www.iea.usp.br/artigos>. Acesso em: 20 abr. 2011.

OLIVEIRA, J.A. (2011). **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. 76 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2011.

PACHECO, T.F. (2011). **Produção de etanol: primeira ou segunda geração?**. Brasília: Embrapa. (Circular técnica, 4). Disponível em:<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2012.

PAULINO, V.T.; TEIXEIRA, E.M.L. (2009). **Sustentabilidade de pastagens – manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa**. Disponível em: <<http://www.iz.sp.gov.br/pdfs/1261419672.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2012.

PENARIOL, A.L.; SEGATO, S.V. (2007). Importância da rotação de culturas na cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; PINTO, A.S. (Org.). **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: PDL Livros.

PEPLOW, M. (2005). **Alcohol fuels not so green**. Disponível em: <<http://www.nature.com/news/2005/050627/full/news050627-15.html>>. Acesso em: 22 June 2011.

PIMENTA, C.R.T.; OLIVEIRA, M.P. (1999). **Projeto geométrico e de terraplenagem de rodovias**. São Carlos: Departamento de Transportes. (Caderno da Disciplina, STT 402).

PIMENTEL, D.H.C. et al. (1997). Land use, erosion and water resources. In: BISWAS, A.K. **Water resources: environmental planning, management, and development**. New York: McGraw Hill. Cap.2, p.37-71.

PORTO, M.F.A.; PORTO, R.L.L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. In: DOSSIÊ água: estudos avançados, v.22, n.63, p.43-60, maio/ago.

PRADO, H. (1991). **Manejo dos solos**: descrições pedológicas e suas implicações. São Paulo: Nobel.

PRIMAVESI, A.B. (1952). **Erosão**. São Paulo: Melhoramentos. (Criação e Lavoura, n.18).

PRÓÁLCOOL – programa brasileiro de álcool. (2011). Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>>. Acesso em: 27 out. 2011.

PRUSKI, F.F. (Ed.) (2009). **Conservação do solo e água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Ed.UFV.

RAIJ, B.V. (1981). **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto de Potassa & Fosfato.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (1999). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras.

RIGHETTO, A. M. (1998). **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP. Cap.11: Erosão e transporte de sedimentos.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. (2009). **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: [s.n.].

ROLIM, G.S. et al. (2007). Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.711-720.

SACHS, I. (2005). Da Civilização do petróleo a uma nova civilização verde. **Estudos Avançados**, v.19, n.55, p.197-214.

SANTOS, H.G. et al. (Ed.). (2006). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

SÃO PAULO. (1988). **Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988** - Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/188439/lei-6171-88-sao-paulo-sp>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

SÃO PAULO. (1991). **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991** - Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/lrh2000/LE/Leis/03_LEI_n_7663_de_30_de_dezembro_de_1991.htm>. Acesso em: 21 jan. 2010.

SÃO PAULO. (1993). **Lei estadual nº 8.421, de 23 de novembro de 1993**. Altera a redação de dispositivos da Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988, que dispõe sobre uso, conservação e preservação do solo agrícola e dá outras providências. Disponível em:

<<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/176857/lei-8421-93-sao-paulo-sp>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

SÃO PAULO. (1997). **Decreto Estadual nº 41.719, de 16 de abril de 1997**. Regulamenta a Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988, alterada pela Lei nº 8.421, de 23 de novembro de 1993, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola.

SÃO PAULO. (1998). **Resolução SAA-15, de 27 de março de 1998**. Regulamenta o “Concurso Conservação do Solo” no Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cda.sp.gov.br/www/legislacoes/popup.php?action=view&idleg=696>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. (2012). **Zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro**. Disponível em: <<http://sma.visie.com.br/etanolverde/zoneamento-agroambiental/>>. Acesso em: 21 maio 2012.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS. (2011). **Tabelas de custos**. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/tabelas_de_custos/index.php?p=35445>. Acesso em: 22 maio 2012.

SEGATO, S.V. (Org.). (2006). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres.

SENGIK, E.S. (2003). **Os Macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. Disponível em:< <http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

SILVA, F.G.B.; CRESTANA, S. (2003). Reunião de modelos e Formulações para análise de erosão de solos em bacias hidrográficas voltados ao planejamento ambiental. In: SIMPÓSIO DOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO DA ENGENHARIA AMBIENTAL, 9., 2003, São Carlos. Anais... São Carlos: Rima. p.55-72.

SILVA FILHO, J.P. (1998). **Caracterização abiótica do Ribeirão do Feijão considerando-se dois regimes hidrológicos, chuva e seca (São Carlos – SP)**. 143p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

SILVEIRA, A.L.L. (2001). Ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade UFRGS. Cap.2, p.35-51.

SIMÕES, S.J.G.; COIADO, E.M. (2003). Processos erosivos. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. São Paulo: ABRH. Cap.10, p.283

SPAROVEK, G.; SCHNUG, E. (2001). Temporal Erosion-induced soil degradation and yield loss. **Soil Science Society of American Journal**, v. 65, n5, p.1479-1486, Sept.

SZMRECSÁNYI, T.; MOREIRA, E. P. (1991). O Desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a segunda guerra mundial. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v.11, n.5, p.57-79.

TEIXEIRA NETTO, A.S.T. (1980). **Manual de sedimentologia**. Salvador: Petrobras/Sepes/Diven; Setor de ensino na Bahia.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. (1962). Mecânica dos solos na prática da engenharia. Tradução de A.J.C.NUNES. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico.

TRINDADE, M. (1980). **Nutrientes em sedimento da represa do Lobo (Brotas-Itirapina/SP)**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos.

TUCCI, C.E.M. (2001). Hidrologia: ciência e aplicação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS. Cap.1, p. 25-33.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. (2011). **Comunicado DA nº 87, de 19.12.2011 – DOE SP de 21.12.2011**. *Divulga o valor da Unidade Fiscal do Estado de São Paulo – UFESP para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2012*. Disponível em: <<http://www.spednews.com.br/12/2011/sp-%E2%80%93-divulgado-o-valor-da-ufesp-para-o-exercicio-de-2012/>>. Acesso em: 30 abr. 2012.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. (2011). **Usinas no Brasil**. Disponível em: <http://www.udop.com.br/mapa/geral_mapa.php?estado=sp>. Acesso em: 30 abr. 2012.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. (2010). Disponível em: <<http://www.unica.com.br/downloads/estatisticas/exportetanolpaisdestino.xls>>. Acesso em: 28 out. 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. (2012). **Características agrônomicas das variedades RB**. São Carlos: Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Biotecnologia Vegetal. Programa de Melhoramento Genético da cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.coplana.com/gxpsites/hgxpp001.aspx?1,5,313,O,P,0,MNU;E;32;2;MNU;,>>>. Acesso em: 22 fev. 2012.

VARGAS, M. (1977). **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil.

VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G.A. et al. (1996). Determinação de sequências culturais em microbacia hidrográfica para caracterização do fator C da EUPS, utilizando fotografia aérea. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São Paulo: INPE. p.63-67.

VIAN, C.E.F. (2012). **Políticas e legislação**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_64_711200516718.html>. Acesso em: 9 jan. 2012.

VIEGAS, R. (2010). A Visão e o papel do setor governamental na produção sustentável do etanol. In: WOKSHOP SOBRE AVALIAÇÃO INTEGRADA DE SUSTENTABILIDADE NO CONTEXTO DO ETANOL, 2010, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC/USP.

VILAR, O.M.; PRANDI, E.C. (1992). Erosão dos solos. In: CINTRA, J.C.A.; ALBIERO, J.H. **Solos do interior de São Paulo**. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos – Núcleo Regional de São Paulo. Cap.7, p.177-206.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. (1975). **Hidrologia aplicada**. São Paulo: MccGraw-Hill do Brasil.

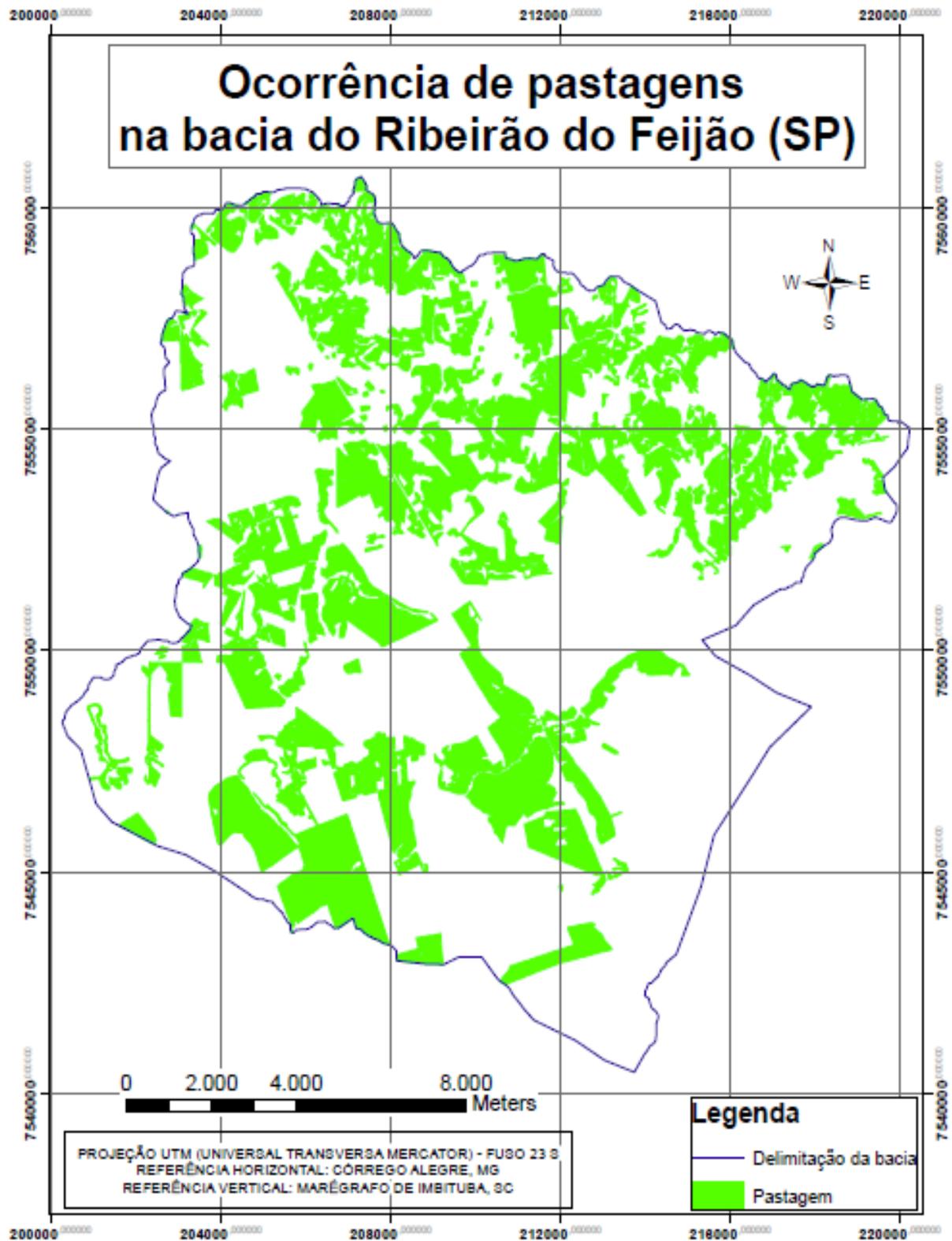
WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978). **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. [S.l.:s.n.]. (U.S. Department of Agriculture, n.537).

WORLD WATCH INSTITUTE. (2006). **Características de diversas culturas para produção de etanol**. Disponível em: <http://www.google.com.br/imgres?um=1&hl=pt-BR&sa=N&biw=1058&bih=496&tbm=isch&tbnid=EfxMvDHiBUxo7M:&imgrefurl=http://www.braskem.com.br/plasticoverde/canaacucar.html&docid=vayBrvuGJ0zhyM&imgurl=http://www.braskem.com.br/plasticoverde/includes/css/imagem/mapa-caracteristicas-diversas.jpg&w=700&h=640&ei=0FWkT_nJN8XVtgf_-4XuBA&zoom=1&iact=rc&dur=359&sig=102588817434642908003&page=1&tbnh=146&tbnw=160&start=0&ndsp=10&ved=1t:429,r:9,s:0,i:90&tx=100&ty=98>. Acesso em: 12 maio 2011.

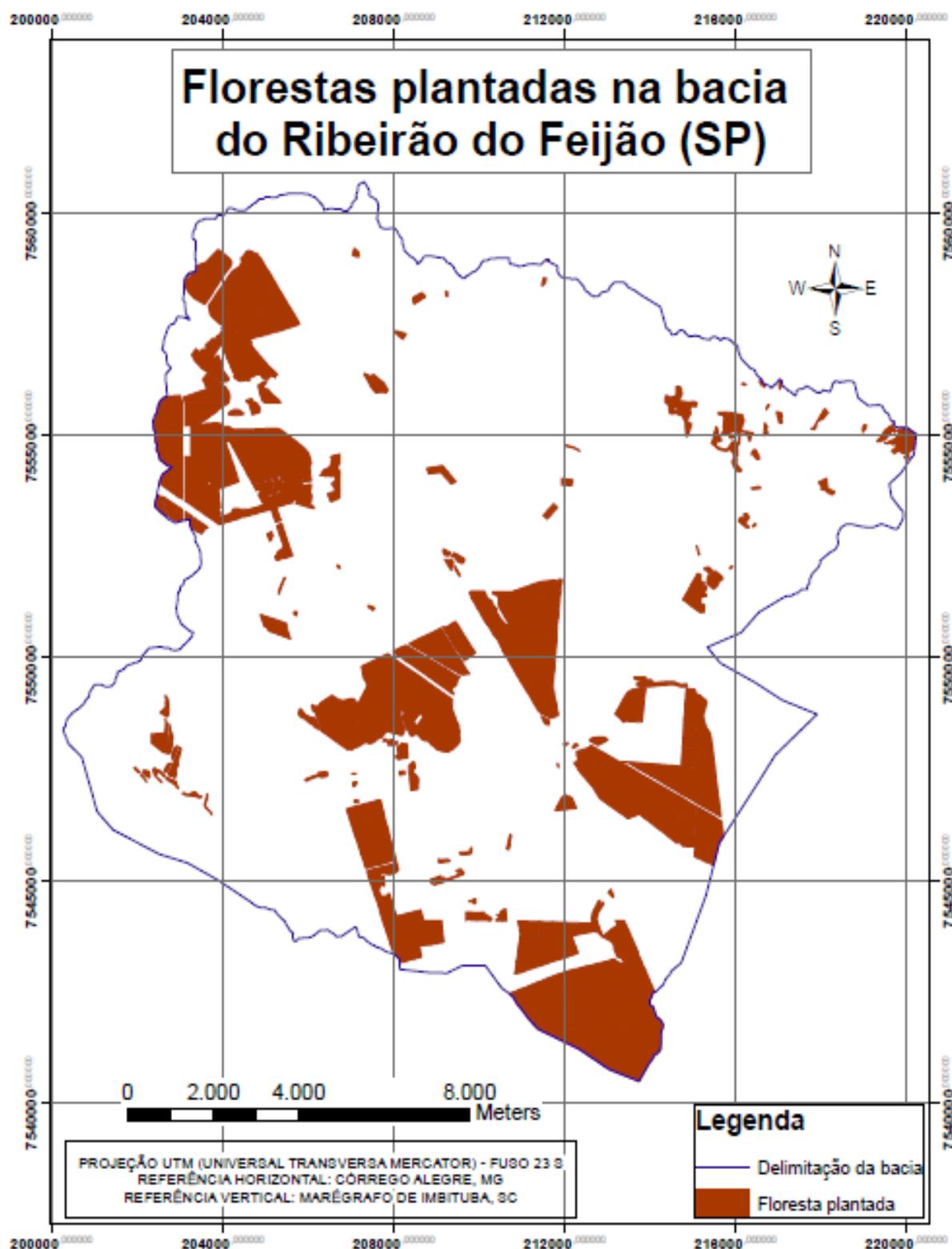
YONEDA, F. (2011). **Eventos comemoram o Dia Nacional da Conservação do Solo**. Disponível em: <<http://blogs.estadao.com.br/agricola/2011/04/14/eventos-comemoram-o-dia-nacional-da-conservacao-do-solo/>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

ZOCCAL, J.C. (2007). Adequação de erosões: causas, conseqüências e controle da erosão rural . **Soluções** - caderno de estudos em conservação do solo e água, Presidente Prudente, v.1n.1, maio.

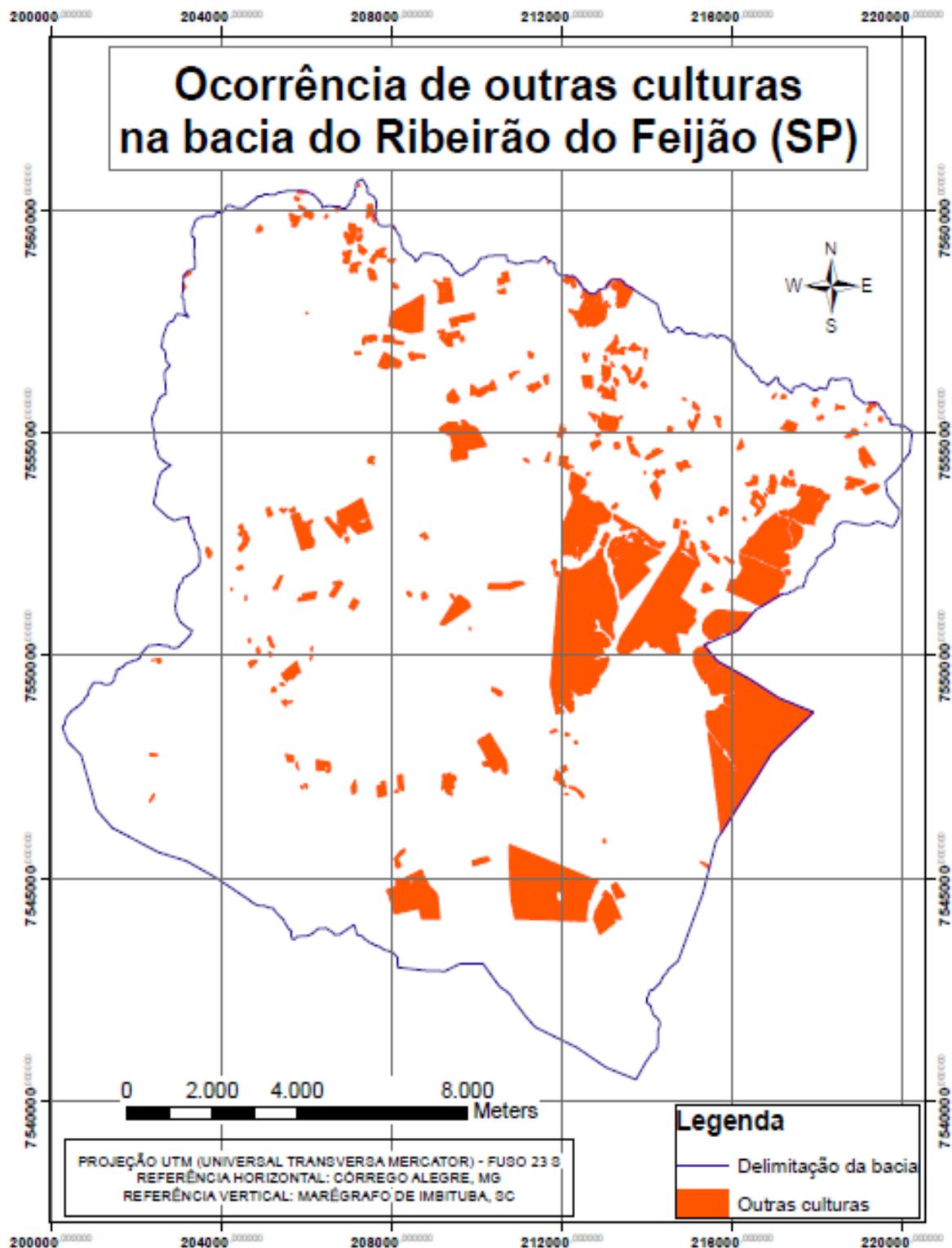
APÊNDICE A – Carta da ocorrência de pastagens na bacia do Ribeirão do Feijão (SP)



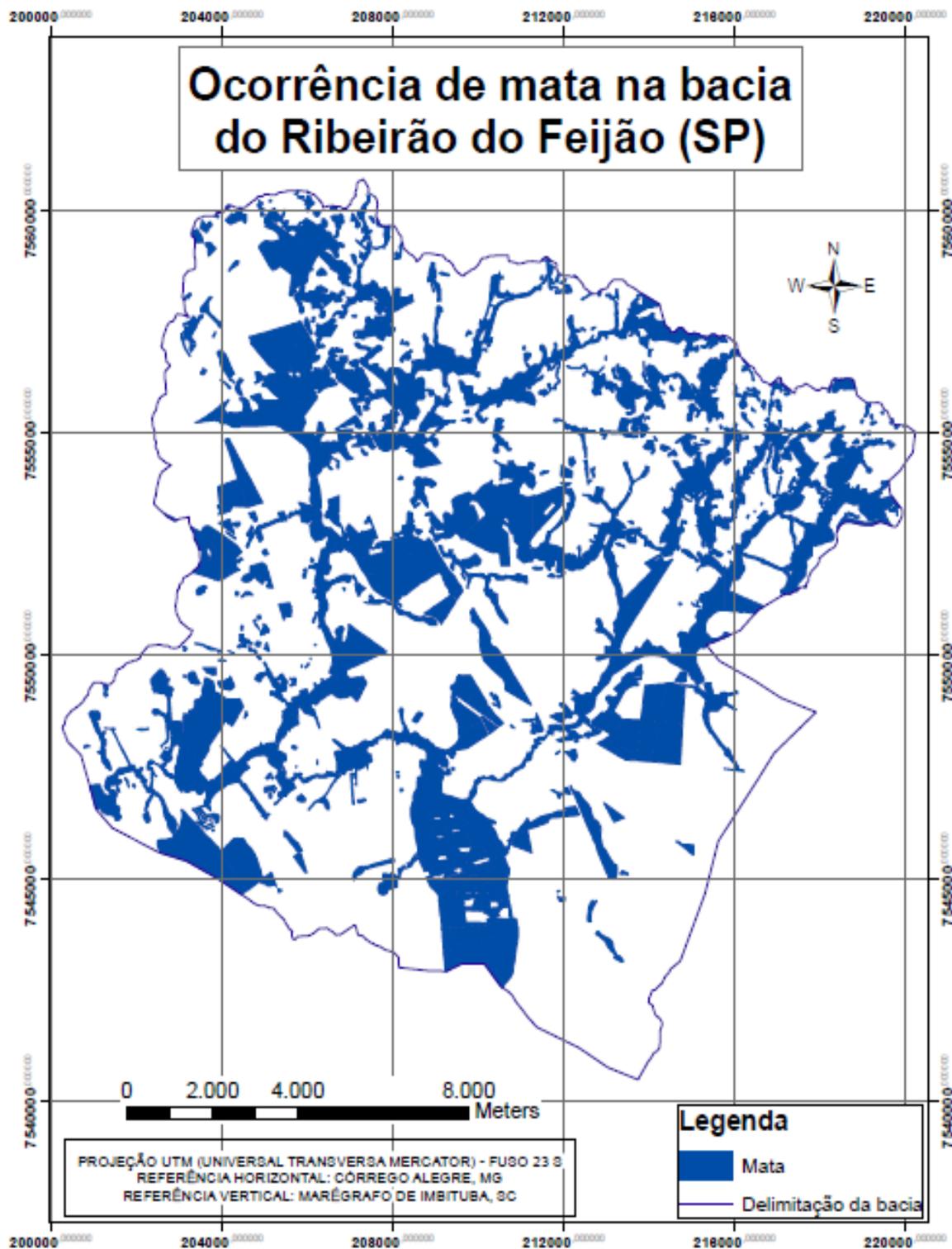
APÊNDICE B – Carta da ocorrência de florestas plantadas na bacia
do Ribeirão do Feijão (SP)



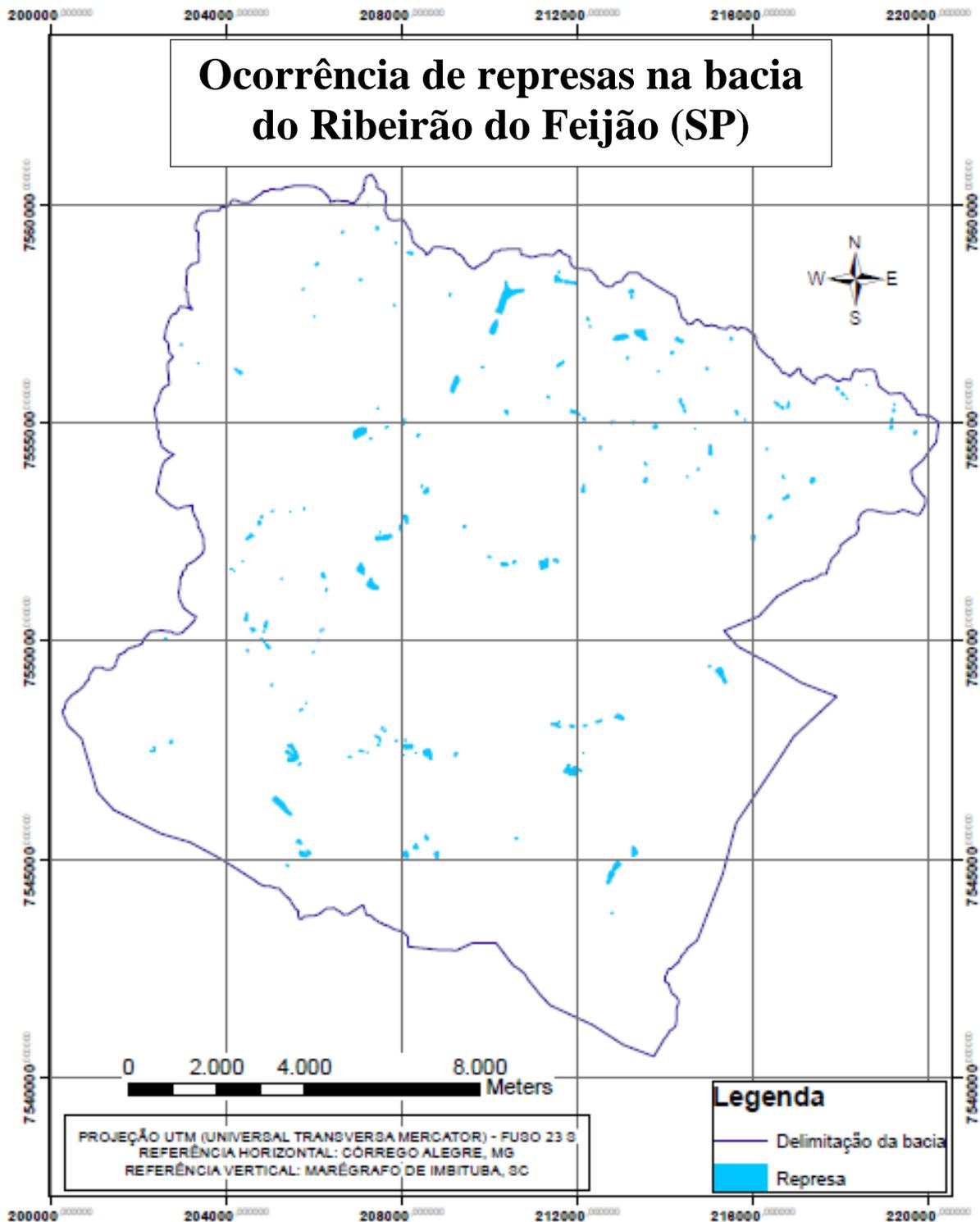
APÊNDICE C – Carta de ocorrência der outras culturas na bacia do Ribeirão do Feijão (SP)



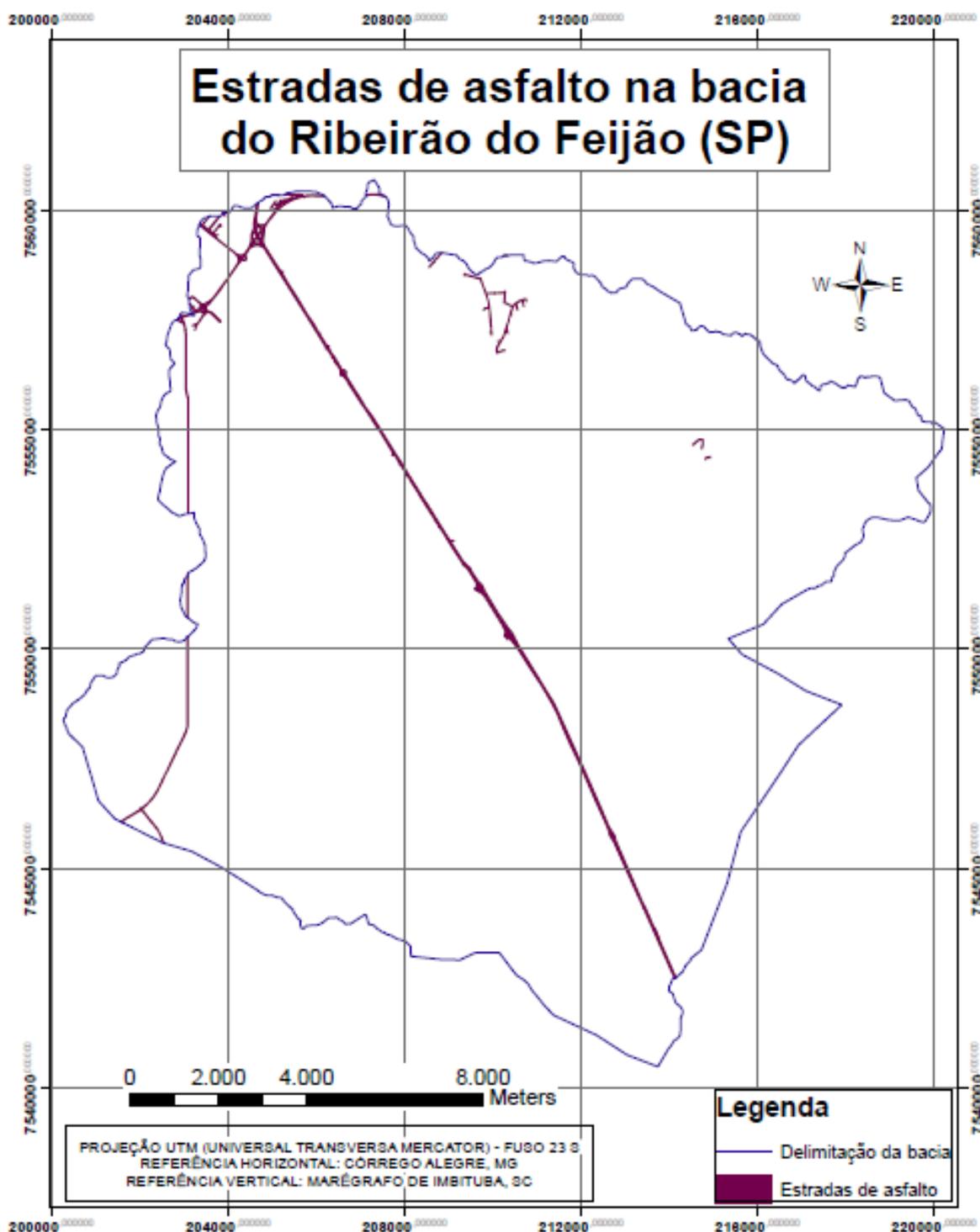
APÊNDICE D – Carta da ocorrência de mata na bacia do Ribeirão do Feijão
(SP)



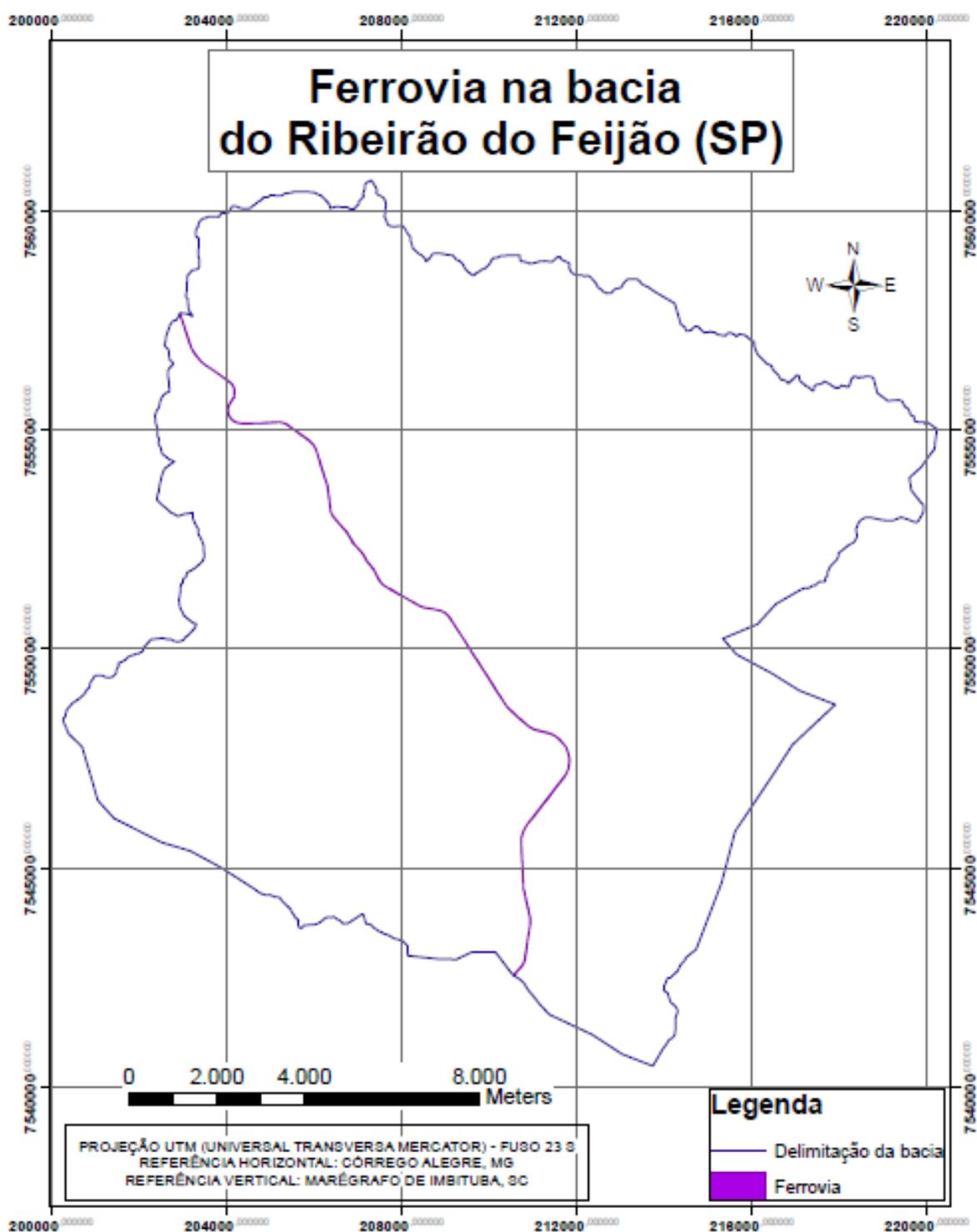
APÊNDICE E – Carta da ocorrência de represas na bacia do Ribeirão do Feijão (SP)



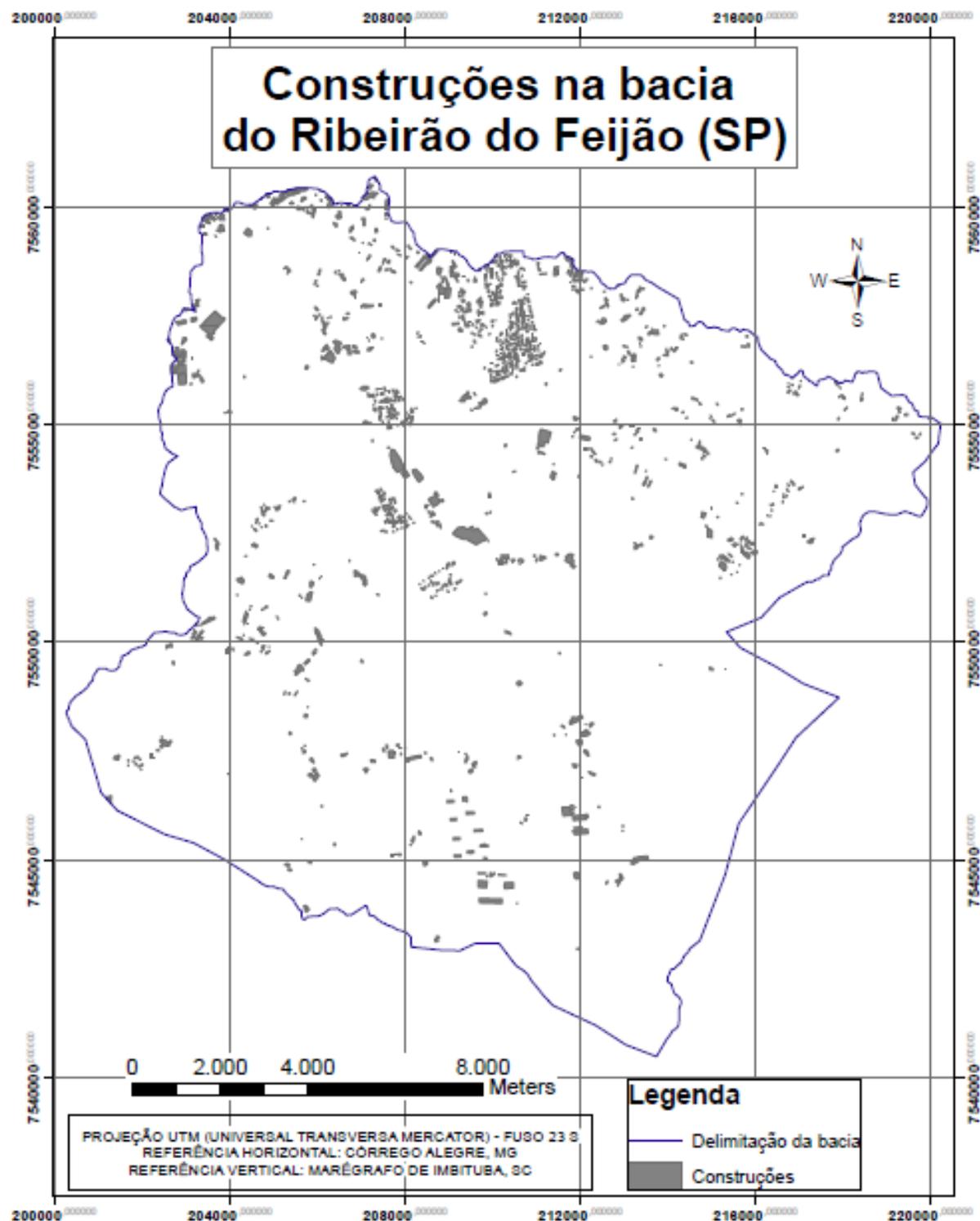
**APÊNDICE F – Carta da ocorrência de estradas asfaltadas na bacia do
Ribeirão do Feijão (SP)**



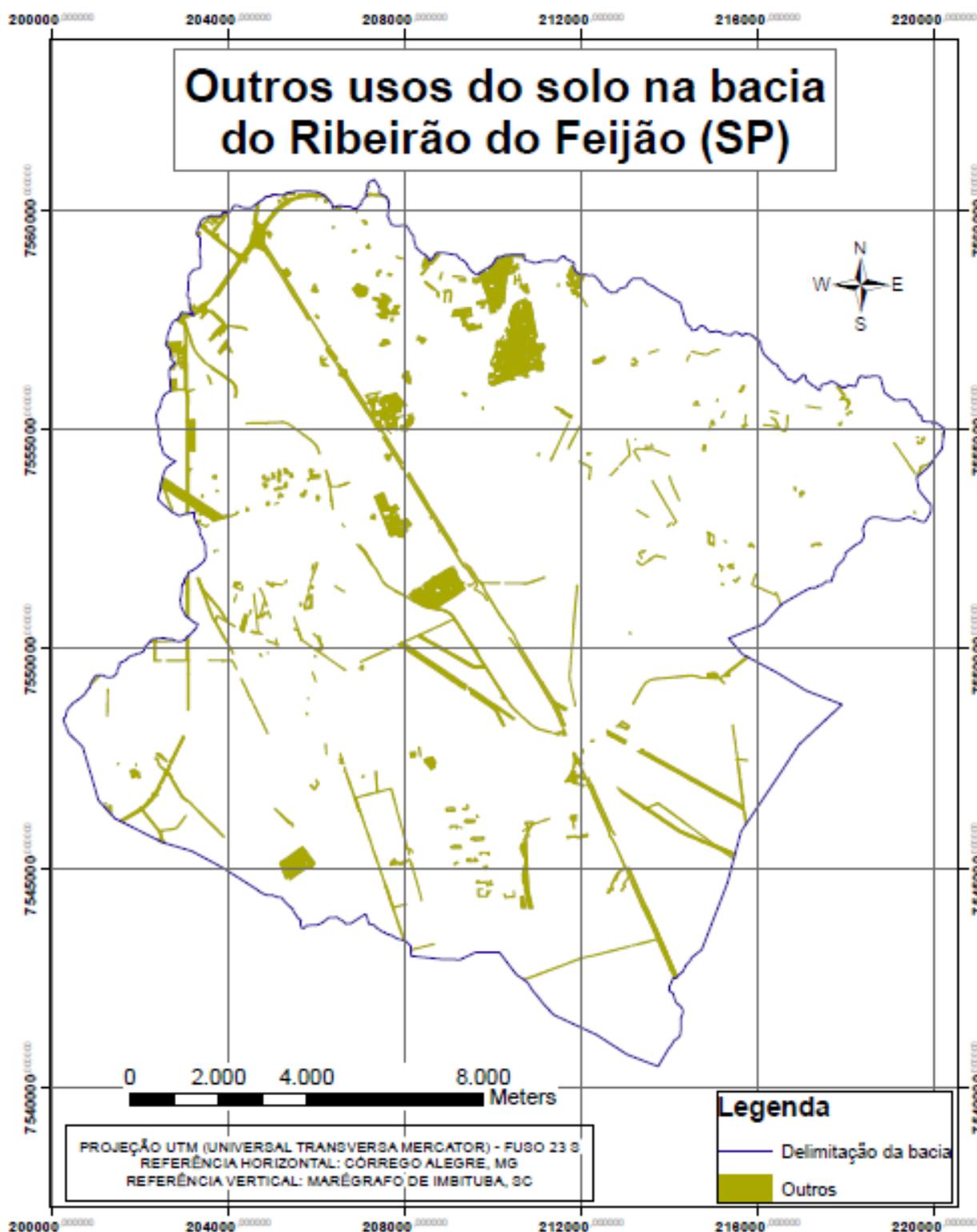
APÊNDICE G – Carta de ocorrência de ferrovia na bacia do Ribeirão do Feijão (SP)



APÊNDICE H – Carta da ocorrência de construções na bacia do Ribeirão do Feijão (SP)



**APÊNDICE I – Carta da ocorrência de outros usos do solo na bacia do
Ribeirão do Feijão (SP)**



APÊNDICE J – Carta de uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão do Feijão (SP)

