

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNO AFONSO MAGRO

PERDA DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DE
SOLO FLORESTAL

CURITIBA

2012

BRUNO AFONSO MAGRO

PERDA DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DE
SOLO FLORESTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração Silvicultura, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann

Co-orientadores: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Prof^a. Dr^a. Nerilde Favareto

CURITIBA

2012

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Magro, Bruno Afonso

Perda de solo, água e nutrientes em três sistemas de preparo de solo florestal /
Bruno Afonso Magro. – 2012
82 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann

Coorientadores: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

Profa. Dra. Nerilde Favareto

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa:
Curitiba, 27/08/2012.

Área de concentração: Silvicultura.

1. Solos - Erosão. 2. Solos - Preparo. 3. Solos - Análise. 4. Escoamento. 5.
Teses. I. Reissmann, Carlos Bruno. II. Dieckow, Jeferson. III. Favareto, Nerilde.
IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 631.45

CDU – 631.42



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 939

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Bruno Afonso Magro* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**PERDA DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO FLORESTAL**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA.

Ildegardis Bertol
Dr. *Ildegardis Bertol*

Universidade do Estado Santa Catarina - UDESC
Primeiro examinador

Josiléia Acordi Zanatta
Dr. *Josiléia Acordi Zanatta*

Embrapa Florestas
Segundo examinador

Carlos Bruno Reissmann
Dr. *Carlos Bruno Reissmann*

Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 27 de agosto de 2012.

Antonio Carlos Batista
Antonio Carlos Batista

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Carlos Roberto Sanquetta
Carlos Roberto Sanquetta

Vice-coordenador do curso

Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III - CEP 80210-170 - Curitiba - Paraná
Tel: (41) 360-4212 - Fax: (41) 360-4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>

AGRADECIMENTO

À Deus, pela saúde concedida, pela força e pelos desafios que sempre foram a mim concedidos como forma de crescimento.

À minha esposa Jorgeane, que sempre esteve ao meu lado, incentivando-me quando dificuldades apareciam, motivando-me e também desfrutando comigo das conquistas obtidas.

Aos meus pais Esidoro e Ilseni Maria Magro, pela educação, ensinamentos e exemplo de vida que são.

Ao Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann pela confiança em meu trabalho desde o primeiro instante que conversamos.

Ao Prof. Dr. Jeferson Dieckow, pelo apoio em todos os momentos, amizade e ensinamentos proporcionados, inclusive, pegando pesado na hora da instalação do experimento.

À Prof^a. Dr^a. Nerilde Favareto, pelas observações na redação da dissertação.

À empresa Klabin, pela oportunidade da realização do mestrado e pelo financiamento de todo o experimento.

Ao gerente florestal na unidade de Santa Catarina Aldezir de Luca Pucci, pela confiança; ao coordenador de silvicultura Giovani Lazzarotti, pela confiança e apoio neste desafio; aos colegas Eder Lemam, Eclair Moraes, Alcioneide Daboite, Emerson Schoeningher, James Sthal, Romullo Luiz Simão e Marcia Simonete pela ajuda e amizade. Ao Dr. Djalma Müller Chaves, pelo incentivo e pelas críticas no período inicial do experimento; Ao Engenheiro Florestal Maurício Moreira, pela amizade e ensinamentos.

À equipe móvel da Região de Otacílio Costa, pela seriedade e dedicação que tiveram no auxílio da coleta de dados durante todo o período.

À UFPR pela oportunidade de realizar este mestrado.

À Prof^a. Dr^a. Christel Lingnau pelo empenho em firmar o convênio entre UFPR e Uni-Freiburg, o que facilitou muito minha vida na Alemanha.

Um especial e saudoso agradecimento ao Prof. Dr. Ernst Hildebrand (*in memoriam*) do Instituto de solos da Universidade de Freiburg pela acolhida, amizade e ensinamentos a mim dispensados no tempo em que estive no Instituto.

RESUMO

As atividades de manejo do solo modificam as características físicas da camada superior do perfil e, dessa forma, quando realizadas inadequadamente, levam ao aumento da erosão hídrica, conduzindo a degradação do solo, além do risco de contaminação e assoreamento de rios. Com o objetivo de estudar as perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico do escoamento superficial em três sistemas de preparo de solo para plantio de *Eucalyptus benthamii* no planalto serrano catarinense, um experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com três repetições, durante um ano (fevereiro de 2010 a janeiro de 2011), sob chuva natural, num Cambissolo Háptico alítico latossólico com declividade média de 14,8%. Os sistemas de preparo de solo testados foram: (i) Subsolagem com “*Ripper*” de haste dupla a favor do declive (SFD); (ii) subsolagem com “*Ripper*” de haste dupla cortando o declive (SCD); e, (iii) coveamento manual com picareta (CM). As parcelas apresentam dimensões 12mX24m e foram delimitadas por chapas metálicas cravadas 20 cm no solo e permanecendo 20 cm acima. O escoamento foi coletado e medido em tanques localizados na porção inferior da parcela. O CM foi o sistema mais eficiente na diminuição das perdas de solo ($0,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enquanto o SFD apresentou as maiores perdas ($19,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). O volume de água perdido por escoamento foi maior no sistema SFD e o menor foi apresentado pelo sistema SCD. As maiores perdas acumuladas dos nutrientes, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, em suas formas total e solúvel e também de carbono orgânico total, foram apresentados pelo sistema SFD, enquanto as menores foram observadas no CM. As concentrações dos nutrientes nas formas solúveis de nitrogênio (N-NH_4^+ e N-NO_3^-) e potássio foram maiores nos três sistemas após as fertilizações. Temporalmente, as maiores perdas de solo foram observadas no período inicial do estudo, independentemente do sistema, e são relacionadas ao período de realização do preparo de solo, como também à maior precipitação pluviométrica do período. Os resultados obtidos indicaram que tanto o sistema SCD quanto o CM são boas opções para reduzir as perdas causadas pela erosão hídrica em ambientes florestais, sendo estas as recomendadas para áreas com condições similares as apresentadas por este estudo.

Palavras-chave: Erosão hídrica, Escoamento, Preparo de solo

ABSTRACT

The soil management activities modify the physical characteristics of the upper layer of the profile and, when improperly performed, leading to the increase of the water erosion and to the impoverishment of the soil in its place of origin, besides the risk of contamination and siltation of rivers. In order to study the loss of soil, water, nutrients and organic carbon of surface runoff in three different systems of soil tillage for planting *Eucalyptus benthamii* in Santa Catarina highlands, an experiment under natural rainfall in a Haplic Cambisol, with 14,8% slope, conducted during one year (Feb 2010 to Jan 2011), was carried out in a randomized complete block design (3 blocks). The tillage systems were: (i) subsoiling with "Ripper" with two shanks, up-and-downhill; (ii) subsoiling with "Ripper" with two shanks on the contour, and (iii) manual tillage. Plot dimensions were 14x24 m and delimited by metal sheets (20 cm buried and 20 cm above surface). Runoff volume was collected and measured in containers located on the lower end of the plot. Manual tillage showed the lowest soil loss ($0,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), while subsoiling up-and-downhill had the highest soil losses ($19,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). The volume of water lost by runoff was larger in subsoiling up-and-downhill and less in the subsoiling on the contour. The largest accumulated losses of the nutrients nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium, in total and soluble forms, as well as total organic carbon, were showed by the system of subsoiling up-and-downhill, while the lowest were observed by manual tillage. The concentrations of nutrients in soluble forms of nitrogen (N-NH_4^+ and N-NO_3^-) and potassium, showed higher concentrations in runoff from three systems after fertilization. Temporally, the highest soil losses in the three systems were observed in the initial part of the study and are related to the time of the soil tillage, but also to increased rainfall during that time. The results show the systems subsoiling on the contour and manual tillage are good options to reduce the consequences caused by water erosion in forest areas, and these systems are recommended to the same conditions of this study.

Key-words: Water erosion, Runoff, Soil tillage.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DO ESTADO DE SANTA CATARINA COM LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE OTACÍLIO COSTA	27
FIGURA 2. PERFIL DE SOLO NA ÁREA EXPERIMENTAL: CAMBISSOLO HAPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO COM A PROEMINENTE.....	28
FIGURA 3. PRECIPITAÇÃO MENSAL OBSERVADA NA ÁREA EXPERIMENTAL E PRECIPITAÇÃO HISTÓRICA (32 ANOS) DA CIDADE DE OTACÍLIO COSTA	29
FIGURA 4. ÍNDICE DE EROSIVIDADE MÉDIO E PRECIPITAÇÃO MENSAL DE FEV 2010 A JAN 2011.	31
FIGURA 5. PERFIL DE SOLO PREPARADO PELO CONJUNTO SUBSOLADOR NOS TRATAMENTOS SFD E SCD.	33
FIGURA 6. A) TRATOR ESTEIRA COM IMPLEMENTO LIMPA TRILHO ACOPLADO; b) TRATOR ESTEIRA COM IMPLEMENTO SUBSOLADOR ACOPLADO.	34
FIGURA 7. VISTA DA PARCELA EXPERIMENTAL COM CHAPAS GALVANIZADAS E CAIXAS COLETORAS.	37
FIGURA 8. PERDA DE ÁGUA MENSAL NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: (SFD) - SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE, (SCD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE, (CM) - COVEAMENTO MANUAL; (BARRA INDICA DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY).	41
FIGURA 9. PERDA DE SOLO NOS MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE, (SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM). (BARRA INDICA DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY).....	44
FIGURA 10. CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO NA ÁGUA DE ESCOAMENTO NOS MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM), (BARRA INDICA DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY).....	46
FIGURA 11. PERDA ACUMULADA DE SOLO POR ESCOAMENTO NOS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM).....	47
FIGURA 12. PERDA ACUMULADA DE ÁGUA POR ESCOAMENTO NOS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM).....	47
FIGURA 13. COMPORTAMENTO DA ÁGUA DE ESCOAMENTO NOS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO TESTADOS: a) SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD); b) SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD); c) COVEAMENTO MANUAL (CM).	48
FIGURA 14. (A) CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL; (b) PERDA DE NITROGÊNIO TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS DIFERENTES METODOS DE PREPARO DO SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E	

COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....	51
FIGURA 15. (a) CONCENTRAÇÃO DE N-NH ₄ ⁺ ; (b) PERDA DE N-NH ₄ ⁺ NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....	53
FIGURA 16. (a) CONCENTRAÇÃO DE N-NO ₃ ⁻ ; (b) PERDA DE N-NO ₃ ⁻ NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....	55
FIGURA 17. (a) CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL; (b) PERDA DE P TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....	58
FIGURA 18. (a) CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO SOLÚVEL; (b) PERDA DE P SOLÚVEL NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO De SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....	59
FIGURA 19. (a) CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO TOTAL; (b) PERDA DE POTÁSSIO TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO De SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....	61
FIGURA 20. (a) CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO SOLÚVEL; (b) PERDA DE POTÁSSIO SOLÚVEL NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO De SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.	62
FIGURA 21. (a) CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO TOTAL; (b) PERDA DE CÁLCIO TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO De SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....	63
FIGURA 22. (a) CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO SOLÚVEL; (b) PERDA DE Ca SOLÚVEL NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL	

(CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....64

FIGURA 23. (a) CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO TOTAL; (b) PERDA DE MAGNÉSIO TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....65

FIGURA 24. (a) CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO SOLÚVEL; (b) PERDA DE MAGNÉSIO SOLÚVEL NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.66

FIGURA 25. (a) CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL; (b) PERDA DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERIODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.....68

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	28
TABELA 2. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	29
TABELA 3. PERDAS TOTAIS DE ÁGUA E SOLO NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM).	41
TABELA 4. PERDAS ACUMULADAS DE NUTRIENTES NA FORMA TOTAL POR EROSÃO HÍDRICA NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD): SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD): COVEAMENTO MANUAL (CM).....	49
TABELA 5. PERDAS ACUMULADAS DE NUTRIENTES NA FORMA PARTICULADA POR EROSÃO HÍDRICA NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD): SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD): COVEAMENTO MANUAL (CM).....	51
TABELA 6. PERDAS ACUMULADAS DE NUTRIENTES NA FORMA SOLÚVEL POR EROSÃO HÍDRICA NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD): SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD): COVEAMENTO MANUAL (CM).....	52

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. CONCENTRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA FORMA TOTAL NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	79
ANEXO 2. CONCENTRAÇÕES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA FORMA TOTAL NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	80
ANEXO 3. CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO, POTÁSSIO, N-NH ₄ ⁺ E N-NO ₃ ⁻ NA FORMA SOLÚVEL NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	81
ANEXO 4. CONCENTRAÇÕES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA FORMA SOLÚVEL NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO	15
2.2 FATORES DETERMINANTES PARA OCORRÊNCIA DE EROÇÃO HÍDRICA	16
2.3 PERDA DE SOLO E ÁGUA	19
2.4 PERDA DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO	21
2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA EROÇÃO	24
2.6 MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO EM ÁREAS FLORESTAIS	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1 LOCALIZAÇÃO	27
3.2 RELEVO, GEOLOGIA E SOLO	27
3.3 CLIMA E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	29
3.4 HISTÓRICO DE USO E MANEJO DA ÁREA EXPERIMENTAL	31
3.5 TRATAMENTOS	32
3.6 QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E COBERTURA POR RESÍDUOS	34
3.7 MANEJO DO EUCALIPTO	35
3.8 INSTALAÇÃO DAS PARCELAS DE ESTUDO	36
3.9 QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA E SOLO	37
3.10 QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE NUTRIENTES	38
3.11 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ESTATÍSTICA	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 PERDAS DE ÁGUA	40
4.2 PERDAS DE SOLO	43
4.3 CONCENTRAÇÕES E PERDAS TOTAIS DE NUTRIENTES NO ESCOAMENTO	49
4.3.1 Nitrogênio total	49
4.3.2 Nitrogênio na forma de amônio (N-NH ₄ ⁺)	52
4.3.3 Nitrogênio na forma de nitrato (N-NO ₃ ⁻)	54
4.3.4 Fósforo total e solúvel	56
4.3.5 Potássio total e solúvel	59
4.3.6 Cálcio total e solúvel	62
4.3.7 Magnésio total e solúvel	64
4.4 CARBONO ORGÂNICO TOTAL	66
5 CONCLUSÕES	69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	79

1 INTRODUÇÃO

Na última década o setor florestal vem se destacando dentro do agronegócio, fato que vem ocorrendo devido ao crescimento econômico e principalmente pelas demandas dos países em desenvolvimento, por produtos madeireiros e seus diversos subprodutos. Esse crescimento baseado no abastecimento do mercado por florestas plantadas exercem fundamental importância para a diminuição da pressão sobre as florestas nativas, o que permite condições para se trabalhar em sua preservação (BARROS e COMERFORD, 2002).

No Brasil os primeiros plantios florestais iniciaram ainda antes dos incentivos fiscais de 1966, mas se mantiveram estáticos até aprovação da lei 5106/66 onde a silvicultura brasileira passou por uma rápida expansão, ganhando espaço no agronegócio brasileiro e se mostrando como alternativa para muitas pessoas e empresas, que tinham no plantio florestal uma forma de investir parte dos impostos devidos ao governo em benefício próprio.

Essa fase de incentivos, que durou até 1980 foi muito importante para a criação da base do setor florestal brasileiro (ABRAF, 2011), contudo, foi marcada pelo crescimento do setor sem que houvesse um suporte técnico adequado, que conduzisse aos melhores resultados da floresta, ou que tivessem parâmetros produtivos baseados na sustentabilidade do setor. Fato este, que resultou em questionamentos em alguns projetos quanto à credibilidade do investimento no setor florestal, além de questionamentos ambientais relacionados à implantação de florestas com espécies exóticas (COUTO e DUBÉ, 2001).

Hoje no Brasil, a área florestal segue baseada em plantios de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp, chegando em 2011 a 6.515.844 ha de área plantada, apresentando 53,9 bilhões de VBPF (Valor Bruto da Produção Florestal), onde se destaca o setor de papel e celulose com 57,1% no VBPF nacional (ABRAF, 2012). A contribuição tributária do setor florestal foi de 7,6 bilhões no ano, representando 0,51% do total arrecadado no país. Com relação aos empregos, manteve 4,7 milhões de empregos, sendo 600 mil diretos, 1,5 milhões indiretos e 2,61 milhões resultantes do efeito das atividades relacionadas (ABRAF, 2012).

Num contexto nacional, o estado de Santa Catarina é responsável por representativa fatia da área total com florestas plantadas no país, com 9,9%

(ABRAF, 2012). O principal gênero cultivado é o *Pinus* com 538.254 ha, seguidos pelo gênero *Eucalyptus* com 106.686 ha (ABRAF, 2012).

As práticas de manejo do solo e manejo silvicultural também vêm evoluindo nos últimos anos por meio do crescimento das áreas plantadas com florestas no país, o que alavancou a demanda por pesquisas específicas ao meio florestal que respondessem questões fundamentais para obtenção de florestas produtivas e acima de tudo alicerçadas por formas de manejo sustentáveis.

O preparo de solo para espécies florestais é um importante alicerce para a formação de florestas, e tem por objetivo, romper a compactação do solo, desagregando-o e diminuindo sua resistência à penetração das raízes, favorecendo também o armazenamento de água no perfil pelo aumento da porosidade no solo, o que contribui para melhorar fatores como sobrevivência e crescimento das mudas. De forma geral há uma relação positiva entre o volume de solo preparado e o ritmo de crescimento das plantas, porém, ao mesmo tempo, aumentam-se os riscos de perdas de solo por erosão, principalmente em áreas com maiores declividades.

As perdas por erosão hídrica são amplamente discutidas pelo setor agrícola, contudo, no setor florestal, ainda são incipientes as pesquisas para compreender a relação entre as diferentes formas de preparo de solo e sua influência nas perdas por erosão hídrica, e conseqüente perda da produtividade dos sítios.

Deste modo, o presente estudo buscou identificar e quantificar o efeito de três sistemas de preparo de solo florestal em relação à erosão hídrica, a citar, subsolagem a favor do declive, subsolagem cortando o declive e coveamento manual, tendo os seguintes objetivos:

- 1 – Quantificar as perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico por erosão hídrica ocorridas em cada sistema de preparo;
- 2 – Avaliar a eficiência de cada sistema de preparo de solo na contenção da erosão hídrica;
- 3 – Identificar o(s) período(s) do ano em que ocorrem as maiores perdas por erosão.

Deste modo, acompanhou-se durante um ano as perdas por erosão hídrica testando-se as seguintes hipóteses:

- i- Os sistemas de preparo de solo mais intensivos (mecanizados) apresentam maiores perdas por erosão hídrica do que o sistema de preparo menos intensivo (coveamento manual);
- ii- O sistema de preparo a favor do declive favorece o escoamento e por consequência, perdas por erosão hídrica;
- iii- A manutenção dos resíduos florestais na superfície do solo auxilia para a diminuição da erosão hídrica;
- iv- O direcionamento da subsolagem e arranjo de resíduos na superfície do solo podem influenciar nas perdas por erosão;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EROSIÃO HÍDRICA DO SOLO

A erosão hídrica é tida como um problema sério no meio rural, sendo um dos principais fatores responsáveis pela redução da produtividade dos solos, o que culmina em investimentos consideráveis no aporte dos nutrientes perdidos para que se mantenha a produtividade esperada (FREITAS e CASTRO, 1983; BERTOL *et al.*, 2007a). Além dos problemas monetários, a saída destes nutrientes do sistema produtivo também pode vir a causar sérios problemas ambientais, sendo estes relacionados à contaminação de mananciais em decorrência de sua deposição, vindo a comprometer a qualidade das águas e a vida aquática (DANIEL *et al.*, 1994; FAVARETTO, 2002; SHARPLEY *et al.*, 1982).

Em termos conceituais, a erosão hídrica pluvial pode ser definida como um fenômeno iniciado pelo impacto das gotas da chuva no solo e seu posterior escoamento na superfície, ocasionando a separação das partículas de solo de sua massa original, seu transporte e deposição (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Deve-se ressaltar que as fases que compõem o processo de erosão hídrica podem ocorrer simultaneamente, o que torna ainda mais complexa sua distinção (ELLISON, 1947).

O processo de erosão pode ser dividido em dois grupos, a erosão normal ou geológica e a erosão acelerada (BAHIA *et al.*, 1992). A erosão em escala geológica pode ser considerada como um processo natural no ambiente, tendo o potencial de causar pequenas e contínuas mudanças na superfície do solo e estando intimamente relacionada à formação dos mesmos. Ela é determinante na esculturação do relevo e desta forma não traz preocupações (McEVOY, 1989; BAHIA *et al.*, 1992). A erosão acelerada, no entanto, é um processo influenciado pela ação do homem, onde o uso e manejo do solo pode mudar a dinâmica natural da erosão, vindo a causar efeitos mais significativos no ambiente natural (BAHIA *et al.*, 1992; FAO, 1989).

As características apresentadas pelo processo de erosão, que se referem a sua grandeza e forma de ocorrência, estão relacionadas ao tipo de escoamento (BERTOL *et al.*, 2010). Meyer *et al.* (1975) divide a erosão hídrica do solo em dois grupos, erosão em sulcos e erosão entre sulcos, sendo elas diferenciadas de acordo com a caracterização do fluxo superficial de cada uma. O fluxo superficial, por sua

vez, está relacionado a fatores como, condições climáticas, topografia, cobertura do solo e propriedades do mesmo, sendo eles os responsáveis pela grandeza do escoamento superficial (SMITH e WISCHMEIER, 1962; GONÇALVES, 2002)

A erosão entre sulcos, normalmente é mais seletiva e carrega partículas de menor diâmetro. Seu início basicamente é dado pelo impacto das gotas da chuva no solo, que por efeito da energia cinética destas, causam pressão e cisalhamento, realizando a desagregação do solo em sua superfície (BERTOL *et al.*, 2007a). Pode-se dizer que o transporte por este tipo de erosão ocorre em curtos trechos, sendo a força exercida pelo escoamento não suficiente para o transporte de partículas maiores (GABRIELS e MOLDENHAUER, 1978). Assim, este tipo de erosão transporta exclusivamente sedimentos mais finos por meio do escoamento superficial raso e não concentrado, sendo, porém responsável por carregar altas concentrações de elementos minerais consigo, e deste modo considerado como potencialmente poluidor (FOSTER, 1992).

A erosão em sulcos pode ser definida como a segunda fase do processo erosivo, caracterizando-se pela mudança do tipo de escoamento, de difuso na fase inicial, a concentrado em sulcos na segunda fase (CANTALICE *et al.*, 2005). Ao ocorrer esta segunda fase, as lâminas superficiais de escoamento raso juntam-se formando um canal de escoamento que desenvolve maior força ou tensão de cisalhamento pelo aumento de sua espessura, o que eleva a capacidade tanto de desagregar quanto transportar o solo (GABRIELS e MOLDENHAUER, 1978; CANTALICE *et al.*, 2005). Neste processo, materiais desagregados em atividades de manejo que estejam dispostos na superfície do terreno podem ser carregados, aumentando ainda mais o efeito de desagregação pela mistura formada entre eles e o escoamento (NEARING *et al.*, 1988).

2.2 FATORES DETERMINANTES PARA OCORRÊNCIA DE EROSÃO HÍDRICA

A erosão hídrica dos solos apresenta grande variabilidade, e é relacionada a vários fatores, que de forma distinta acabam influenciando na grandeza do processo. Gonçalves *et al.* (2002) e Bertol *et al.* (2002) citam como principais fatores, os relacionados às condições climáticas, topográficas, uso e cobertura do solo, características intrínsecas do solo e as práticas conservacionistas utilizadas.

D'Agostini (1999), afirma que a interação humana sobre estes fatores, ou aos passíveis de interação, tem como objetivo diminuir a ação do impacto das gotas de chuva que atingem a superfície e também da água que escoar sobre ela, diminuindo assim os efeitos do processo.

No que se referem às características climáticas de uma região, os índices pluviométricos como quantidade, intensidade, duração e distribuição estão entre os fatores que mais afetam o potencial de erosão (GONÇALVES *et al.*, 2002; BERTOL, 1993). Estas características juntas influenciam no volume do escoamento, determinando assim a grandeza do processo erosivo (CAVICHIOLO, 2005). O conhecimento destas variáveis através do estudo de seu comportamento em cada mês do ano para cada região auxilia na adequação e economicidade do planejamento direcionado para a conservação dos solos (BERTOL, 1993).

A topografia, principalmente no que se refere à inclinação do terreno, extensão e forma da encosta também são consideradas como diretamente relacionadas às perdas de solo e água por erosão hídrica (WISCHMEIER e SMITH, 1978; CAVICHIOLO, 2005). Segundo os autores, esses fatores têm grande influência na convergência e/ou divergência do escoamento, onde o comprimento da rampa e inclinação são diretamente relacionados à velocidade que o escoamento pode obter. Com o aumento da velocidade e volume, há também um aumento na tensão relacionada ao fluxo superficial, aumentando a capacidade de desagregação e transporte das partículas (COGO *et al.*, 2003)

A cobertura proporcionada pelos resíduos vegetais é um fator importante para a diminuição da erosão, pois estes agem de forma a interceptar as gotas de chuva e evitam seu impacto direto com o solo, dissipando a energia cinética da queda e reduzindo assim o grau de desagregação (CASSOL, 1981; FOSTER, 1982 e COGO *et al.*, 2003). Além disso, a cobertura vegetal funciona como uma rede, filtrando e retendo na área parte dos sedimentos suspensos, além de reduzir a velocidade do escoamento das águas superficiais pela formação de barreiras físico-mecânicas (VOLK *et al.*, 2004). A cobertura do solo também tem importância fundamental, evitando o selamento superficial, fenômeno que contribui muito para o aumento das taxas erosivas (ASSOULINE e BEN-HUR, 2006)

A manutenção dos resíduos culturais auxilia também diminuindo a amplitude térmica na camada superficial, auxiliando na manutenção de sua umidade no solo (DULEY, 1939). Esse processo também auxilia para a realização de atividades

biológicas, onde a decomposição da matéria orgânica dos resíduos provoca aumento das taxas de liberação dos nutrientes que estavam armazenados na biomassa, auxiliando a ciclagem biogeoquímica de nutrientes (GONÇALVES *et al.*, 2002).

As formas de manejo do solo de forma geral têm capacidade de alterar as características físicas do solo, seja pela influência do tráfego de equipamentos, como também por atividades de preparo de solo. Com isso, estas atividades podem contribuir para o aumento da erosão hídrica do solo (AMARAL *et al.*, 2008). A mobilização mecânica proporcionada ao solo pelas atividades de preparo, aliada a remoção dos resíduos culturais, tende a aumentar a quantidade e diâmetro de sedimentos desagregados, aumentando assim a disponibilização dos mesmos para o transporte pelo escoamento (BERTOL *et al.*, 2010). Por outro lado, as microdepressões e rugosidades proporcionadas pelos métodos de preparo apresentam também importantes funções sobre a condição física da superfície sendo fundamental na retenção da água da chuva e aumento da infiltração, o que é possibilitado pelo aumento do espaço poroso total da camada preparada, auxiliando na redução do escoamento superficial (VOLK *et al.*, 2004).

A erodibilidade do solo deve ser considerada quando da determinação da erosão para uma determinada área. A erodibilidade é a susceptibilidade do solo aos efeitos da erosão, onde as partículas são desprendidas e transportadas pela influência do fluxo hídrico superficial (CHUQUIPIONDO, 2007; BARROSO, 2005). Os solos são classificados de acordo com a sua erodibilidade como mais, ou menos erodíveis. Solos com textura mais arenosa, por exemplo, apresentam tendência a serem mais erodíveis do que solos com textura mais argiloso, devido ao componente argila possuir capacidade agregadora maior devido ao tamanho das partículas muito menores e com maior força de coesão do que as partículas de areia, por exemplo. As características que mais influenciam na erodibilidade são as que afetam a permeabilidade do solo, a capacidade de armazenamento de água e os fatores que conferem resistência a dispersão, salpicamento, abrasão e forças de transporte do escoamento (GONÇALVES *et al.*, 2002).

As práticas conservacionistas de suporte exercem papel fundamental na diminuição da erosão, pois tem como princípio reduzir a velocidade e a capacidade de transporte do escoamento (FOSTER, 1982) e estabelecem a relação entre as perdas de solo de uma determinada área com a prática conservacionista nela

utilizada e as perdas de solo em uma área sem nenhuma prática conservacionista (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Estas práticas se referem às formas de preparo de solo e plantio em contornos, além do cultivo em faixas com rotação de culturas como também pelo terraceamento, sendo todas de caráter mecânico (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Segundo Cogo et al. (1997) o uso das práticas conservacionistas pode proporcionar uma redução da erosão de 50 a 75% quando comparadas a áreas sem estas práticas.

2.3 PERDA DE SOLO E ÁGUA

Dentre as perdas ocasionadas pelos processos erosivos, as perdas de solo e água estão entre as mais evidentes e têm sido muito estudadas.

As perdas de solo ocorridas pelas formas de erosão hídrica podem ser expressas em Mg ha^{-1} que representa a quantidade de solo perdido durante um determinado período, geralmente ano, em uma determinada área (ha) (WICHERT, 2005). A determinação da perda de solo, seja ela anual ou para cada estação do ano em diferentes regiões, é uma ferramenta fundamental para avaliação das práticas de manejo adotadas (NEARING *et al.*, 1988). Para se avaliar a magnitude das perdas de solo ocorridas, é necessário o conhecimento da tolerância admitida para cada classe de solo em cada região, servindo assim como uma importante informação para auxiliar na escolha do mais adequado método de manejo (BERTOL e ALMEIDA, 2000).

A perda de solo “aceitável” pode ser definida como o limite de perda que ainda possa manter alto nível de produtividade das culturas, de forma econômica e indefinidamente (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Bertol e Almeida (2000), estabeleceram tolerância de 1,88 e 14,5 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para solos Litólicos e Terra Bruna Estruturada, respectivamente, em Santa Catarina. Lombardi Neto e Bertoni (1975) em estudo para o estado de São Paulo, de 4,5 e 13,4 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para solos com horizonte B textural e B Latossólico respectivamente. FAO (1967) admite perdas de 2 e 12,5 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para solos rasos e com impedimentos, e profundos e bem drenados, respectivamente.

Em solos florestais Martins *et al.* (2003) encontrou, para os principais classes de solo em Aracruz - ES, perdas de média de 0,68 - 0,60 - 1,05 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para Argissolo Amarelo textura média, Plintossolo Háplico e Argissolo Amarelo

moderadamente rochoso, respectivamente. Já Lima (1988) encontrou perdas que variaram de 1 a 10,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no primeiro ano de cultivo de eucalipto, em estudo realizado sob Areia quartzosa, valor esse que decresceu consideravelmente no quarto ano de idade do cultivo devido ao fechamento do sub bosque pelas copas do eucalipto e pela presença de serrapilheira, chegando a perdas de 0,01 a 0,10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Wichert (2005) apresenta perdas anuais de 12,9 Mg ha⁻¹ano⁻¹ e 2,4 Mg ha⁻¹ano⁻¹ para subsolagem a favor do declive sem presença de resíduos e em sistema de coveamento manual com resíduos, respectivamente, em um Argissolo Vermelho Amarelo textura média no primeiro ano de cultivo de Eucalyptus no Vale do Paraíba-SP; Cardoso (2003) cita perdas em sua pesquisa de 2,38 Mg ha⁻¹ano⁻¹ em sistema de coveamento manual com declividade de 28,8 % em Argissolo moderado rochoso com plantio de eucalyptus com 2 anos na Região de Aracruz-ES. Cavichiolo (2005) encontrou perdas de solo de 3,5 Mg ha⁻¹ano⁻¹ e 1,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em sistema de preparo de subsolagem no sentido do declive e coveamento manual, num Argissolo Vermelho Distrófico típico com textura argilosa e declividade entre 9 e 12% realizado para plantio de *Pinus taeda* na região de Itaiópolis-SC; Em diferentes formas de manejo, Baptista (2008) obteve perdas de 11,05 e 0,16 Mg ha⁻¹ano⁻¹ para subsolagem a favor do declive sem resíduos e coveamento manual, respectivamente em área em Arroio dos Ratos- RS.

Os fatos citados anteriormente, relacionados à perda de solo, demonstram que sistemas de preparo que proporcionam menor revolvimento no perfil, basicamente os realizados por coveamento manual, citados por Wichert (2005), Cardoso (2003), Cavichiolo (2005) e Baptista (2008), proporcionam menores perdas de solo, fazendo desta prática a mais eficiente para este critério. A forma de preparo e o resíduo que permanecem na superfície nestes sistemas geralmente auxiliam proporcionando melhores condições físicas ao solo e menor taxa de mineralização da matéria orgânica (RAIJ, 2011), o que favorece a maior estabilidade dos agregados (BERTOL *et al.*, 2004). Embora, porém, os sistemas de preparo com menor revolvimento proporcionem a menor perda de solo, o mesmo nem sempre ocorre com as perdas de água (AMARAL *et al.*, 2008), considerando que todo o solo tem uma capacidade máxima de absorção e armazenamento de água, sendo que após este ser saturado, o excesso escoar sobre a área de forma semelhante independentemente da forma de preparo (KOHNKE, 1968).

Assim, percebe-se que existe extrema variação das perdas de solo sob diferentes formas de uso, manejo, tipo de solo e região, sendo imprescindível o estudo em cada região produtora e de acordo com o sistema de manejo aplicado e tipo de solo do local para a determinação das perdas para a correta abordagem e ação.

2.4 PERDA DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO

A perda de nutrientes tanto na suspensão do escoamento como no sedimento erodido variam em função do teor dos nutrientes no solo (FAVARETTO, 2002), o qual varia de acordo com o tipo de solo, fertilizações e forma de manejo (SCHICK *et al.*, 2000b). Já a quantidade total de nutrientes perdida é influenciada tanto pela concentração no escoamento ou material, quanto pelo volume total deste (SEGANFREDO *et al.*, 1997; SCHICK *et al.*, 2000b).

A perda dos nutrientes disponíveis para as plantas, ou solúveis, como N, P, K, Ca e Mg, pela erosão hídrica é uma das principais causas pela diminuição da produtividade das culturas, além de ser responsável pelo aumento nos custos de produção (SCHICK *et al.*, 2000; PIMENTEL *et al.*, 2005; BERTOL *et al.*, 2007b). Na maioria das vezes, a reposição dos nutrientes é realizada e os processos erosivos ainda continuam agindo sobre a superfície, o que disponibiliza através do escoamento, água e sedimentos ricos em nutrientes, sendo estes potencialmente contaminadores de cursos d'água principalmente pela carga de P e N à eles adsorvida.

Elementos como P e N podem levar ao processo de eutrofização de cursos d'água, onde principalmente o P pode causar sérios problemas por ser limitante na maioria dos ambientes aquáticos (SHARPLEY *et al.*, 1987), já que o N pode ser fixado simbioticamente pelas algas por meio do N₂ atmosférico, proporcionando seu desenvolvimento de forma induzida (DANIEL *et al.*, 1998).

Dentre as formas de P perdidos via escoamento, pode-se destacar a forma particulada, onde o P fica adsorvido a partículas minerais ou orgânicas, e também a forma solúvel, esta contida na solução do solo e prontamente disponível às plantas e de certa forma aos efeitos do escoamento superficial (HAYGARTH e SHARPLEY, 2000).

Tanto as perdas de P quanto de N são diretamente relacionadas aos teores desses elementos no solo e formas de fertilização utilizadas, podendo estas serem potencializadas pelos sistemas de preparo utilizados. A intensidade do preparo do solo tem o potencial de influenciar enormemente o volume do escoamento o que possibilita facilidade para transporte dos elementos químicos adsorvidos tanto nas partículas como contidos na solução do solo (RICHARDSON e KING, 1995).

Geralmente, sistemas de manejo mais conservacionistas disponibilizam maiores concentrações de nutrientes ao escoamento em comparação aos convencionais, pois os adubos são adicionados na maioria das vezes na superfície sem incorporação, ficando mais predisposto ao transporte pelo escoamento (SHARPLEY *et al.*, 1991. SCHICK *et al.*, 2000). Já as perdas acumuladas destes nutrientes tende a diminuir sob uso dos sistemas conservacionistas em função da maior cobertura da superfície por resíduos, menor área preparada e conseqüente redução das perdas de solo e água (McDOWELL e McGREGOR, 1984).

A minimização da eutrofização por P pode ser feita controlando o input deste elemento no sistema, assim como, através do conhecimento da dinâmica do nutriente no solo e no fluxo laminar na área em questão (POTE *et al.*, 1996). Áreas mais críticas para perda de P por escoamento podem ser consideradas aquelas onde os efeitos do escoamento são mais significativos e o arraste de partículas é maior (SHARPLEY *et al.*, 2001). O mesmo autor ao avaliar a dinâmica da perda de P total, apresenta que o comportamento da perda do nutriente adsorvido na partícula do solo aumenta à medida que aumenta a concentração e perda total de sedimentos, sendo que com o P solúvel o oposto ocorre. Sharpley *et al.* (1981), também afirmam que este comportamento pode ocorrer pois o P solúvel tem capacidade de ser readsorvido pelas partículas mais finas do solo, e assim, devido a maior presença delas no escoamento, o P que estava na solução passa a fazer parte na fração particulada.

O N total é basicamente o elemento com maior relação com a fração orgânica do solo, correspondendo à aproximadamente 5% desta, sendo que ao longo do tempo suas perdas do sistema podem ser relacionadas às perdas de matéria orgânica (RAIJ, 2011). A mineralização das formas orgânicas de N, passando para as formas inorgânicas de N-NH_4^+ e NO_3^- (solúveis às plantas), ficam restritas a diversos fatores, basicamente relacionados às condições climáticas, relação C:N dos resíduos presentes, revolvimento do solo e elevações bruscas do pH (RAIJ, 2011).

Desta forma o mesmo autor escreve que o comportamento destas formas solúveis de N no solo ao longo do tempo pode variar em função das condições citadas, sendo muito difícil identificar qual a fase produtiva em que o mesmo estará disponível para as plantas.

Estudos demonstram que as perdas de N-NH_4^+ por escoamento tendem a diminuir significativamente já no início do ciclo da cultura, e esta está relacionada à perda de N amoniacal devido principalmente a aplicação de uréia (BARBOSA, 2008). Já o NO_3^- por apresentar baixa interação química com os minerais do solo, que possuem cargas negativas, fica solúvel e susceptível a lixiviação no perfil dependendo da quantidade de água que infiltra (SHARPLEY *et al.*, 1987; BARBOSA, 2008).

Com relação às perdas de K do sistema, Bertol (2007b) apresenta que foi possível observar com aumento do tamanho das partículas de sedimento perdidas pela erosão hídrica, também o aumento dos teores de K nestas adsorvidas. Na maioria das vezes as maiores partículas são disponibilizadas por sistemas de preparo com maior revolvimento do solo, aos quais se pode fazer essa inferência. Com relação ao P, o mesmo autor relata o comportamento inverso, sendo esse observado em maiores proporções adsorvidos a partículas finas, sendo desta forma mais sensível a escoamentos menos intensos como possivelmente, sob preparos mais conservacionistas.

As perdas de nutrientes por erosão hídrica podem ser expressas de duas formas: através do teor do elemento em suspensão na água do escoamento, usando-se assim o termo mg L^{-1} , como também por meio da quantidade perdida por unidade de área, kg ha^{-1} ou Mg ha^{-1} (CAVICHIOLO, 2008)

Diversos autores citam a matéria orgânica como um bom indicador de qualidade do solo, tendo a mesma o potencial de regular uma série de processos que normalmente ocorrem, dentre eles, a disponibilidade de água e nutrientes (BARROS e COMERFORD, 2002). Assim, solos com elevado teor de matéria orgânica teriam maiores condições de sustentar a produtividade de um sítio (BARROS E COMERFORD, 2002), agindo também de forma a evitar os processos de escoamento e erosão devido à maior capacidade de infiltração e manutenção de água no solo (ALISSON, 1973).

O estoque de matéria orgânica contido no solo é afetado de forma significativa tanto por fatores ambientais como antrópicos (BRUM, 2008). A fração de carbono que faz parte da matéria orgânica pode atingir aproximadamente 58% de sua composição (MENDONÇA e SILVA MATOS, 2005), sendo que desta forma o estudo das perdas de carbono orgânico no solo pode ser considerado como um indicativo da sustentabilidade do sistema, além de servir como parâmetro para avaliar as perdas dos nutrientes relacionados à matéria orgânica do solo.

2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA EROSÃO

A estimativa da perda de solo e água causados por erosão hídrica pode ser feita pela forma direta e indireta. Na forma direta, as perdas são avaliadas diretamente no campo, com parcelas de coleta, enquanto que da forma indireta são utilizados modelos matemáticos com parâmetros definidos por experimentação de campo (CAVICHIOLO, 2005).

Os estudos mais rigorosos de avaliação das taxas erosivas utilizam o sistema de coleta de solo e água em áreas retangulares denominadas parcelas padrão (WICHERT, 2005). O mesmo autor cita que neste método uma área retangular é delimitada, normalmente utilizando-se chapas metálicas cravadas no solo e dispostas no sentido de maior declive do terreno, tendo na parte inferior uma calha para direcionar a erosão para tanques de sedimentação e coleta de água, onde são feitas as coletas e mensurações.

2.6 MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO EM ÁREAS FLORESTAIS

O preparo de solo indiferentemente da cultura a ser implantada, é efetuado com o objetivo de modificar as propriedades físico-hídricas do solo, possibilitando o melhor estabelecimento e desenvolvimento das plantas por meio do aumento da capacidade de captura, armazenamento e disponibilidade de água e de nutrientes (RANEY e ZINGG, 1957; BARROS e COMERFORD, 2002; GATTO *et al.*, 2003). Quando usado de forma adequada, o preparo de solo pode elevar os índices de produtividade da floresta (GONÇALVES *et al.*, 2002), e quando usados de forma inadequada pode causar a degradação do solo, recurso que demorou milhões de anos para se formar.

Strudley *et al.* (2008) escrevem que práticas de manejo muitas vezes são aplicadas como eventos isolados, não se levando em consideração que os efeitos por elas causados podem ficar presentes no meio durante longo período de tempo. Os mesmos autores ainda comentam que muitas formas de manejo proporcionam condições desejadas de forma imediata, sendo que outras demonstram seus resultados somente no futuro, mas o importante é saber qual o efeito cumulativo de cada uma.

O preparo de solo na área florestal, até meados dos anos 80 seguia basicamente o molde de preparo convencional utilizados no setor agrícola, com revolvimento intenso da camada superficial, aliado a queima total dos resíduos da cultura anterior (GATTO *et al.*, 2003). Segundo o autor, o crescimento inicial das mudas com uso deste sistema era muito satisfatório, porém decrescia rapidamente à medida que os nutrientes proporcionados pela queima do resíduo e pelo revolvimento do solo eram perdidos por processos de convecção, erosão e lixiviação.

No final da década de 80 e início de 90 o conceito de cultivo mínimo já havia se difundido mais, impulsionado pelo melhor conhecimento da dinâmica de crescimento das espécies florestais, em detrimento das experiências sem sucesso com equipamentos da área agrícola, e também pela necessidade de se diminuir custos de implantação florestal (ZEN *et al.*, 1995).

Conceitualmente o cultivo mínimo se caracteriza pela manutenção dos resíduos na superfície do solo, e pelo revolvimento reduzido do mesmo, sendo este somente realizado na linha do plantio ou em forma de covas (ZEN *et al.*, 1995). Gonçalves e Stape (2002) caracterizam um sistema como conservacionista, aquele que permite uma permanência de pelo menos 30% da superfície coberta por resíduos vegetais.

Nas áreas florestais sob cultivo mínimo, os implementos mais utilizados para o preparo do solo são o subsolador mono-haste, utilizado para áreas mais declivosas; o subsolador haste-dupla usado em áreas mais planas e suave onduladas, e o coveador mecânico usado em áreas com impedimento físico que dificulta ou impossibilita o trabalho com subsoladores (GONÇALVES *et al.*, 2002), sendo eles tracionados por tratores agrícolas ou de esteiras. Segundo Wichert (2005), geralmente o efeito dos subsoladores se dá em profundidades de trabalho maiores que 30 cm enquanto coveadores mecânicos profundidades de até 30 cm.

Na forma de preparo manual, o revolvimento do solo é executado com picaretas e basicamente em locais de difícil acesso ou locais com impedimentos físicos, proporcionando profundidade de trabalho similares ao coveador mecânico.

Segundo Gonçalves *et al.* (2002), o efeito de desagregação dos implementos no solo é muito variável e depende da profundidade de subsolagem de cada um e da umidade do solo no momento da realização da atividade. Os mesmos autores escrevem que geralmente, ao ser realizada uma subsolagem com 40 cm de profundidade, proporciona-se um volume de solo preparado de $531 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, sendo que sob coveamento mecânico essa área se reduz a $83 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ e com coveamento manual a $45 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$.

O manejo dos resíduos florestais em atividade precedente ao preparo de solo também apresenta importância fundamental no sistema de cultivo mínimo. Nesta atividade, os resíduos lenhosos de galhos e copas que ficam no talhão são afastados lateralmente e dispostos sobre a linha de tocos do antigo plantio, permitindo assim maior facilidade na atividade de subsolagem, evitando o embuchamento dos implementos, permitindo melhor contato entre a haste subsoladora e o solo mineral e melhorando o rendimento da atividade (GONÇALVES *et al.*, 2002). O acúmulo do resíduo sobre a linha de tocos auxilia também na diminuição de brotações indesejáveis, principalmente em cultivo de eucalipto (GAVA, 2002).

Sharpley e Smith (1994) salientam que as formas de preparo de solo devem ser estudadas determinando seus efeitos produtivos, mas também estudando qual o melhor método de preparo a ser utilizado de acordo com a susceptibilidade de perda de solo e água por erosão de cada local, minimizando assim os impactos ambientais desta atividade.

A escolha do melhor sistema de preparo de solo é uma tarefa complexa e a melhor opção depende de uma análise da variabilidade dos fatores do meio físico e do material genético disponível, exigindo assim do técnico um conhecimento das condições do solo, da planta e também do clima para compreender as interações entre o preparo e o sítio (CAVICHIOLO, 2005). Outro fator importante a ser avaliado, além da eficiência técnica, é a viabilidade econômica, onde ambos, aliados ao contexto, possibilitam aumento da produtividade florestal e sustentabilidade da atividade (ZEN *et al.*, 1995).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO

O experimento foi conduzido sob condição de campo no município de Otacílio Costa SC (FIGURA 1), em área florestal produtiva denominada fazenda Gropp, situada as bordas do rio Canoas, a 49 km da cidade de Lages no Planalto Serrano Catarinense. A área utilizada para instalação do experimento é de propriedade da empresa Klabin SA, apresentando o local do experimento coordenadas geográficas W 50°05'14" e S 27°33'33" e uma altitude de 841 m do nível do mar.

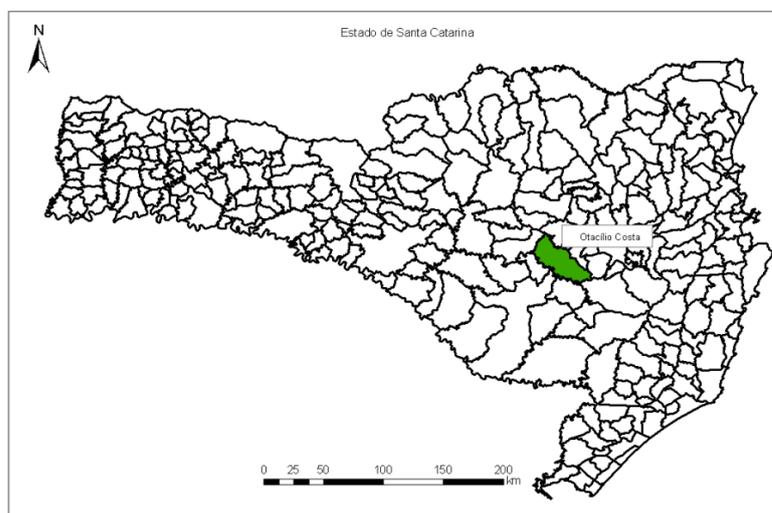


FIGURA 1. MAPA DO ESTADO DE SANTA CATARINA COM LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE OTACÍLIO COSTA

3.2 RELEVO, GEOLOGIA E SOLO

A região apresenta relevo com superfícies planas levemente onduladas e onduladas e se localiza na unidade geomorfológica do planalto de Lages, drenada esta pelos rios Canoas e Pelotas (ATLAS..., 1986). O município de Otacílio Costa pertence à formação geológica do grupo Passa Dois, do Paleozóico, período Permiano, ocorrendo no município à formação Rio do Rastro, Terezina e Serra Alta compreendendo nestes, material composto de depósitos marinhos representados por alternância de argilitos, folhelhos, siltitos e arenitos (ATLAS..., 1986).

O solo na área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HAPLICO Alítico latossólico, de acordo com EMBRAPA (2006), cuja classificação, foi realizada por equipe técnica da empresa Klabin através da abertura de perfil na área experimental.

A declividade média da área foi de 14,8% numa encosta com cerca de 50 m de comprimento de rampa apresentando exposição fase norte.



FIGURA 2. PERFIL DO SOLO CAMBISSOLO HAPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO COM A PROEMINENTE NA ÁREA EXPERIMENTAL

A caracterização química e granulométrica do solo é apresentada na TABELA 1 e TABELA 2, respectivamente.

TABELA 1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Profundidade	pH		P -mg/dm ³ -	K %	MO %	Al	Ca	Mg	Al+H
	H ₂ O	SMP							
0-20	3,8	3,8	3,2	31	4,7	7,6	1,1	0,8	49,9
20-40	4,0	3,9	3,9	21,1	3,7	7,1	1,0	0,7	46,3

TABELA 2. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Profundidade	Argila	Areia		Silte
		Grossa	Areia fina	
g kg^{-1}				
0-20	340	189	234	237
20-40	345	246	184	225

3.3 CLIMA E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

O clima da região é do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen, apresentando temperatura máxima de 35° C e mínima podendo chegar a -5°C, com geadas freqüentes no inverno com média de 22 eventos na estação. A precipitação pluviométrica média anual fica em 1600 mm e se apresenta bem distribuída ao longo de todo o ano não apresentando assim período de déficit hídrico.

Na FIGURA 3 estão apresentadas as precipitações mensais observadas durante o estudo e os dados históricos dos registros efetuados pela empresa Klabin.

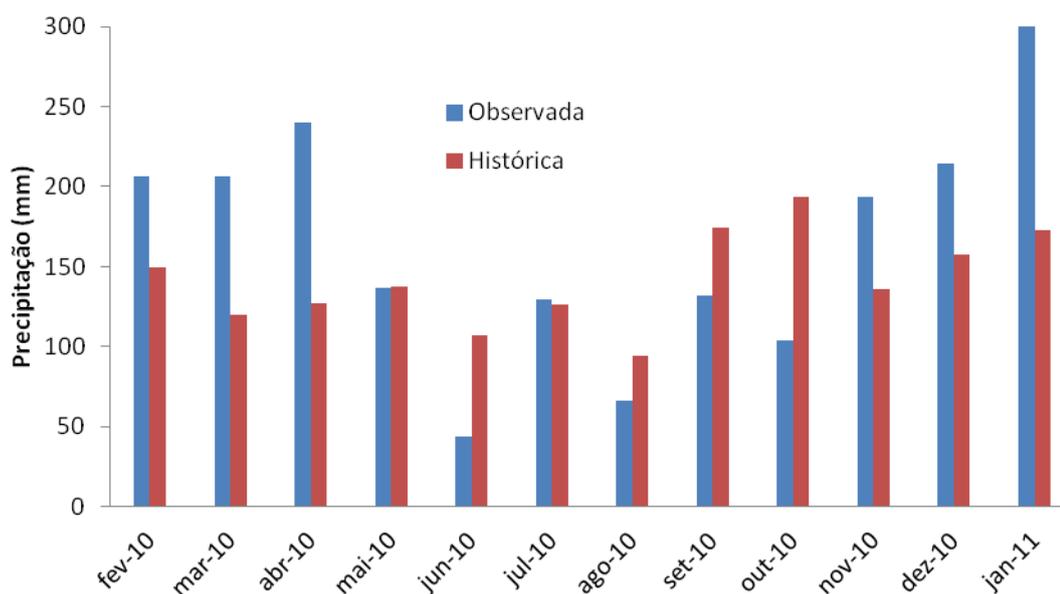


FIGURA 3. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MENSAL INTERNA NA ÁREA EXPERIMENTAL E HISTÓRICA (32 ANOS) DA CIDADE DE OTACÍLIO COSTA.

A precipitação interna foi obtida por meio de dois pluviômetros instalados dentro da área experimental cerca de 50 metros de distância um do outro, onde os dados eram coletados semanalmente e por meio de média dos dois instrumentos, foi obtida a precipitação ocorrida na área.

As maiores chuvas foram observadas nos períodos de verão/outono e primavera/verão, que corresponderam aos meses de fevereiro a abril, e novembro a janeiro, respectivamente, demonstrando variação neste período que oscilou de 44 a 300,5 mm e com total anual de 1972,5 mm precipitados (FIGURA 4). É importante ressaltar que os dados de precipitação foram coletados semanalmente, e deste modo representam resultados acumulados de mais de uma chuva, impossibilitando a estimativa da energia cinética de cada evento. Em virtude disso, calculou-se a média mensal do índice de erosão utilizando equação proposta por Rufino *et al.* (1993), a qual é apresentada por Silva (2004) como equação representativa para a região, que leva em consideração a divisão do país em regiões homogêneas em termos de características de precipitação.

Assim sendo, a equação utilizada foi:

$$R = 19,55 + (4,2)$$

Onde:

R= erosividade da chuva para cada mês ($\text{Mj ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

Mx = Precipitação média mensal.

A distribuição mensal da estimativa do índice de erosividade médio é demonstrado na FIGURA 4, apresentada juntamente com precipitação ocorrida durante o período de estudo.

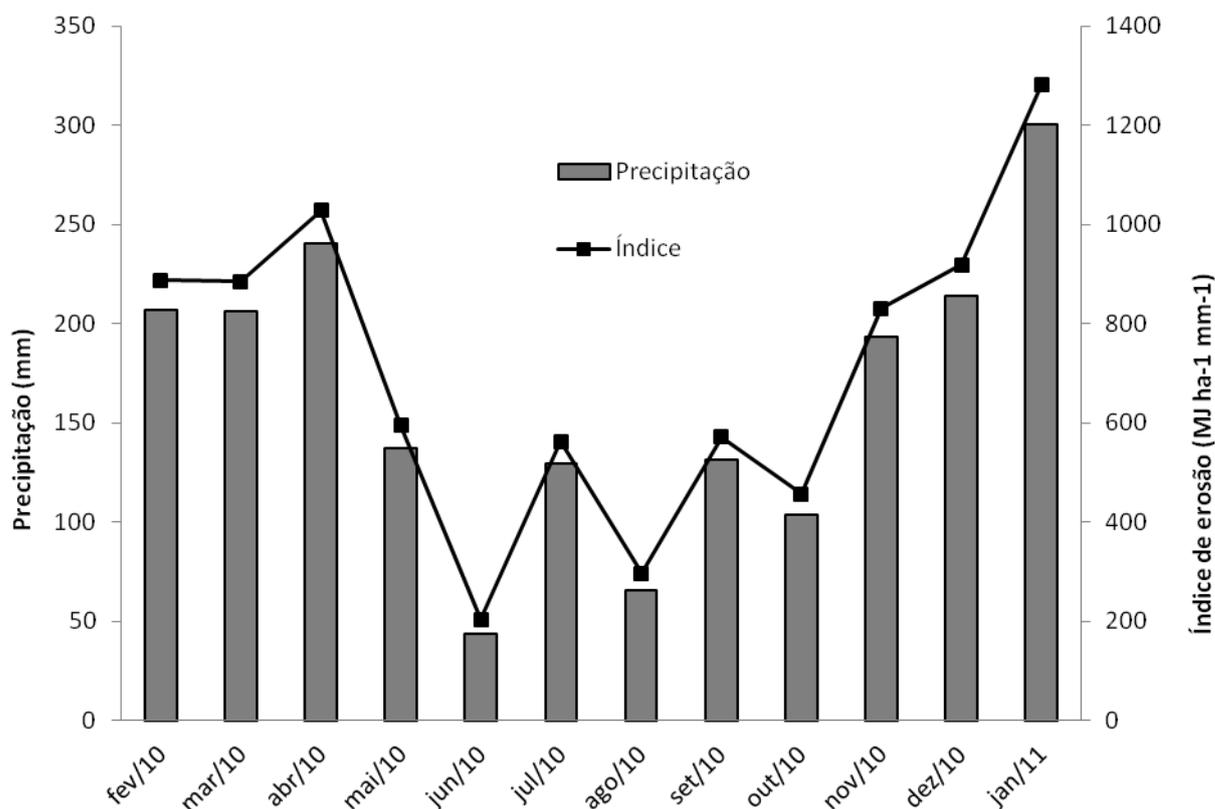


FIGURA 4. ÍNDICE DE EROSIVIDADE (MJ ha⁻¹ mm⁻¹) E PRECIPITAÇÃO MENSAL DE FEV 2010 A JAN 2011 NA ÁREA EXPERIMENTAL.

Com relação à erosividade, esta acompanhou a mesma tendência dos valores de precipitação. A maior erosividade foi observada no mês de janeiro de 2011 com 1281,7 MJ ha⁻¹ mm⁻¹, e a menor, em junho com 204,4 MJ ha⁻¹ mm⁻¹. O valor estimado da erosividade total anual foi de 8.304 MJ ha⁻¹ mm⁻¹ano⁻¹, valor este superior ao encontrado por Bertol *et al.* (2002), onde os autores determinaram a erosividade para Lages - SC (distante 49 km), e encontraram valores em torno de 5.760 MJ ha⁻¹ mm⁻¹ano⁻¹, porém se mostrou condizente com faixa estabelecida no Brasil que varia de 5.000 a 12.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (COGO, 1988). Bertol *et al.* (2002) apresentam que as chuvas erosivas observadas durante o período de estudo referenciado, corresponderam a 84% do total precipitado, resultado este que requer preocupação por parte dos responsáveis pelo manejo do solo, sendo necessário o uso de práticas conservacionistas na região.

3.4 HISTÓRICO DE USO E MANEJO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A vegetação original da área faz parte do bioma Mata atlântica, caracterizando-se como Floresta Ombrófila Mista, já substituída décadas passadas

para diferentes usos agropecuários, porém ainda apresentando fragmentos principalmente próximos a cursos d'água e ao Rio Canoas, distante este cerca de 500 metros da área experimental.

A área suporta plantio de *Pinus taeda* há aproximadamente 32 anos, representando este período a dois ciclos culturais, onde o último, com 16 anos, foi colhido 7 meses antes do início da pesquisa, e possuía densidade de 1600 árvores ha⁻¹, com espaçamento de 2,5 x 2,5m entre árvores e linhas, respectivamente. A colheita foi realizada por *Feller Buncher* com esteira modelo Tigercat L879C, sendo as árvores após o corte, arrastadas até a borda do talhão por Skider de pneus (tração 6 x 6) modelo Tigercat 636C. Na borda do talhão todas as árvores foram desganhadas e destopadas por Harvester modelo 909L com cabeçote Waratah 622B, sendo os resíduos dispostos também na borda do mesmo para posterior picagem e retirada da área, sendo este material posteriormente utilizado como biomassa para caldeira fabril.

3.5 TRATAMENTOS

Foram testados os três principais métodos de preparo de solo utilizados na região para implantação florestal, consistindo eles em duas variações da subsolagem mecanizada, e uma forma de preparo manual, sendo todos realizados sob cultivo mínimo onde somente houve a retirada da cobertura de resíduos nas linhas de subsolagem ou local de realização das covas.

Deste modo, os tratamentos foram assim chamados:

- (i) Subsolagem a favor do declive (SFD);
- (ii) Subsolagem cortando o declive (SCD)
- (iii) Coveamento manual (CM).

Tanto o preparo no sistema de SFD quanto o SCD foram realizadas com trator de esteiras modelo Komatsu D-61ex, de 170 HP, provido com implemento subsolador "Ripper" com hastes duplas de 1 m de comprimento e distância de 2,5 metros cada uma, já definindo com esta distância espaçamento entre-linhas. Cada haste subsoladora é combinada com quatro discos dentados de 26 polegadas, que tem como função quebrar os agregados após a subsolagem. A profundidade média de trabalho do subsolador é de 0,45 m com rompimento lateral de 0,30 m para cada

lado da haste, formando na superfície 0,60 m desagregados, distância esta que vai decrescendo na profundidade proporcionando uma área de solo desagregado em formato de "V" (FIGURA 5).

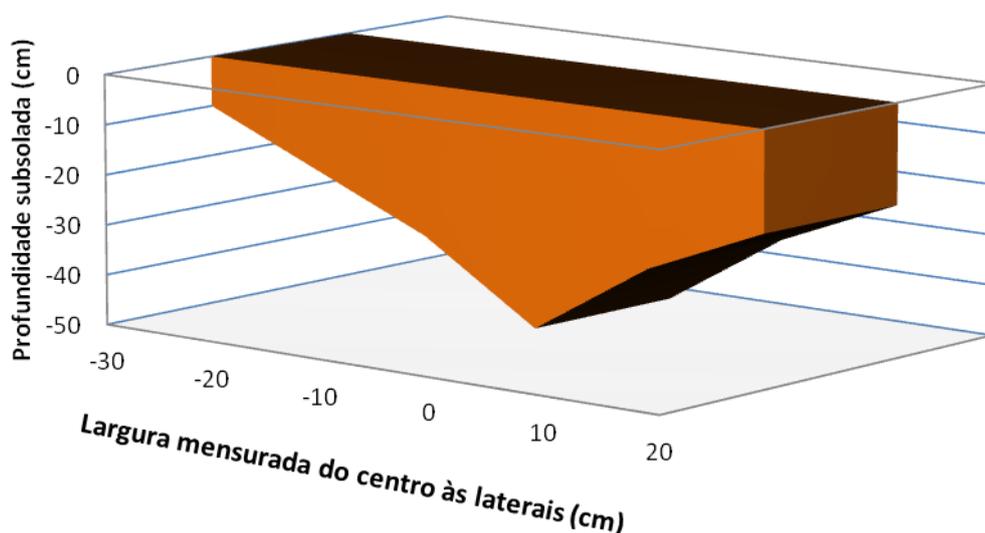


FIGURA 5. PERFIL DE SOLO PREPARADO PELO CONJUNTO SUBSOLADOR NOS TRATAMENTOS SFD E SCD.

O coveamento manual consistiu, de forma mais simples, na realização de covas com dimensões de 0,30 x 0,30 x 0,30 m de forma manual feitas com picareta.

Antes do início das atividades de preparo de solo, como procedimento padrão da empresa, foi realizada aplicação de calcário dolomítico (PRNT >75) na quantidade de 1000 kg ha⁻¹, o qual foi distribuído sobre os resíduos culturais por trator agrícola com distribuidor acoplado. Esta atividade foi realizada 1 mês antes da subsolagem e teve como objetivo aumentar os teores de Ca e Mg do solo.

Foi também realizado antes do preparo de solo, o afastamento dos resíduos de colheita das linhas de subsolagem (realizada no tratamento SFD e SCD), por meio de trator de esteira modelo Komatsu D-61ex acoplado com implemento limpa trilho (FIGURA 6A). Esta atividade consistiu na utilização de um implemento com lâmina frontal modificada, tendo esta forma de "V" na horizontal. Este implemento passa sobre a linha dos tocos do antigo povoamento, e com as pequenas hastes localizadas na extremidade inferior do implemento, empurra o resíduo para as bordas da linha, deixando-a desprovida de resíduos. Essa limpeza é realizada em

uma faixa de 50 a 60 cm de largura a cada 2,5 metros (em todas as linhas de plantio) e além de possibilitar melhor facilidade de tráfego do trator subsolador, permite um melhor contato entre haste subsoladora e solo mineral, conseguindo um melhor rompimento e conseqüentemente diminuição da compactação do solo.

No tratamento com coveamento manual, como atividade correspondente ao limpa trilho, foi realizada uma coroa de 0,80 m de diâmetro, objetivando a limpeza do local para posterior realização das covas e facilitação das atividades de adubação de base, cobertura e aplicação de herbicidas.

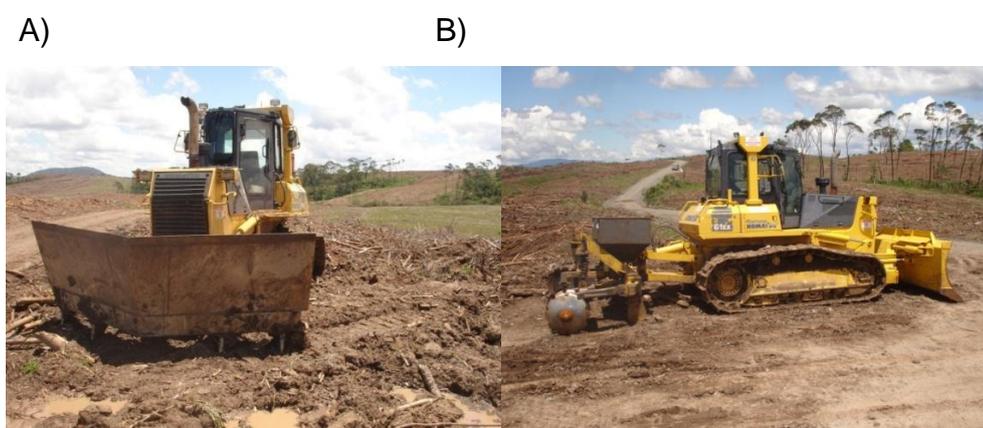


FIGURA 6. A) TRATOR ESTEIRA COM IMPLEMENTO LIMPA TRILHO ACOPLADO; B) TRATOR ESTEIRA COM IMPLEMENTO SUBSOLADOR ACOPLADO.

No momento da subsolagem, ocorreu simultaneamente aplicação de fosfato natural de rocha Arad (32% de P_2O_5 total, 11% solúvel), o qual foi incorporado ao sulco de subsolagem em forma de filete contínuo por sistema acoplado ao subsolador, a uma profundidade de 0,25 m, e na quantidade de 200 kg ha^{-1} . No coveamento manual o mesmo fosfato foi adicionado manualmente no momento da realização das covas na quantidade de 125 g cada uma, sofrendo breve incorporação no solo também com a picareta.

3.6 QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E COBERTURA DO SOLO POR RESÍDUOS

Para a quantificação da biomassa dos resíduos de colheita que permaneceram no local, foram instaladas 6 parcelas de forma aleatória ao lado da área experimental, tendo as mesmas dimensões de 4 x 4 metros. Todo o material contido nas parcelas foi coletado e pesado, retirando-se também uma amostra de resíduo de cada uma para posterior determinação do teor de umidade. O teor de

umidade foi determinado pela pesagem úmida do material, que após seguiu para estufa a 65°C até estabilização do peso, obtendo-se por subtração o peso total seco.

O valor médio de biomassa de resíduos de colheita obtido foi de 24,7 Mg ha⁻¹, variando de 19 a 32,4 Mg ha⁻¹, sendo que em média 76% correspondeu ao peso de acículas e 24 % correspondente ao peso de galhos finos com diâmetro menor de 8 cm.

O cálculo da porcentagem da área coberta por resíduos em cada tratamento foi realizado por meio da mensuração das faixas que ficaram sem cobertura, e por subtração destas em relação à área total, teve-se a área com cobertura de solo. Foi considerada como superfície coberta toda a área onde não houve influência dos implementos e equipamentos de limpeza e preparo de solo.

Desta forma os sistemas SFD e SCD demonstraram cobertura por resíduos em 74% da área, enquanto o CM 92%.

3.7 MANEJO DO EUCALIPTO

O Plantio da área foi realizado logo após a finalização das atividades de preparo de solo e montagem das parcelas e foi feito com mudas seminais de *Eucalyptus benthamii*, na densidade de 1600 mudas ha⁻¹ (45 mudas por parcela), e ocorreu no dia 01 de fevereiro de 2010.

A adubação de base foi realizada no dia seguinte ao plantio, a qual constou com a aplicação de 0,150 kg do adubo N-P₂O₅-K₂O 06-30-06 em cada muda, sendo esta dose dividida e aplicada na forma de duas covetas laterais com 0,75g cada uma. As covetas foram feitas a 10 cm de distância da muda em lados opostos, ficando o adubo concentrado nestas duas porções a cerca de 3 cm abaixo da superfície do solo e em uma coluna de aproximadamente 8 cm de profundidade. A quantidade de adubo aplicada nesta fertilização foi de 240 kg ha⁻¹, equivalendo a 14,4 kg ha⁻¹ de N (uréia), 72 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 14,4 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). A primeira adubação de cobertura ocorreu no dia 01 de abril e foi composta pela aplicação de 200 g do adubo N-P₂O₅-K₂O 10-05-20 por muda, totalizando 320 kg ha⁻¹ aplicados, sendo estes distribuídos na projeção da copa e sem incorporação, representando 32 kg ha⁻¹ N, 16 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 64 kg ha⁻¹ de K₂O. A segunda adubação de cobertura, que foi realizada em 27 de outubro foi

composta pela mesma quantidade, forma de aplicação e formulação do adubo citados na fertilização anterior. Assim, no primeiro ano de cultivo foram adicionados ao total em forma de fertilização 78,4 kg ha⁻¹ de N, 104 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 142 kg ha⁻¹ de K₂O.

Durante o ano, 3 aplicações de herbicida foram realizadas na área experimental com objetivo de evitar mato-competição. A primeira delas foi realizada pela aplicação de pré-emergente FORDOR WD 3 dias após o plantio, e realizada na linha de plantio. As aplicações seguintes foram realizadas com herbicida pós emergente SCOUT, e efetuadas em área total na dosagem de 1,5 kg de produto por ha, sendo estas nos meses de abril e outubro, respectivamente.

3.8 INSTALAÇÃO DAS PARCELAS DE ESTUDO

A avaliação das perdas foi realizada por meio da quantificação e qualificação do escoamento oriundo de parcelas instaladas no campo com dimensões de 12 x 24 m (288m²). Para a delimitação/contorno das parcelas utilizou-se chapas galvanizadas de 0,40 cm de altura, sendo que destes 40 cm, 20 cm foram enterrados e 20 cm permaneceram acima do nível do solo. Na base inferior das parcelas foram utilizadas chapas de 60 cm de altura, onde 40 cm ficaram enterradas e 20cm ficaram acima, sendo estas instaladas de forma a conduzir o escoamento até os tanques coletores, na parte mais baixa do declive. As parcelas foram dispostas com a parte de maior comprimento no sentido do declive, permitindo assim um maior comprimento de rampa.

Para a coleta do escoamento foram utilizados dois tanques de fibrocimento com capacidade de 500 litros, sendo o primeiro provido com um vertedouro tipo Geib com 13 janelas. A partir do vertedouro, um tubo galvanizado conduzia a água até o segundo tanque coletor. Assim, depois do enchimento do primeiro tanque de coleta, 1/13 de água passava para o segundo, para este compor a amostra do segundo tanque.

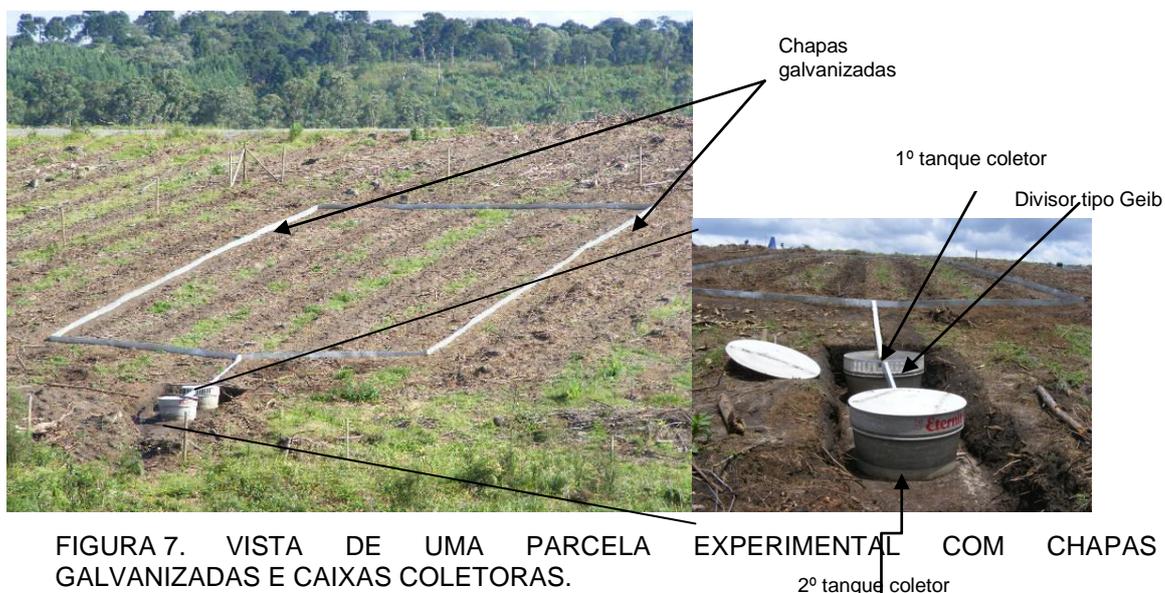


FIGURA 7. VISTA DE UMA PARCELA EXPERIMENTAL COM CHAPAS GALVANIZADAS E CAIXAS COLETORAS.

3.9 QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA E SOLO

A quantificação da água perdida por escoamento superficial foi realizada semanalmente por mensuração da água armazenada nos tanques coletores localizados na parte inferior das parcelas. Isso foi realizado com auxílio de uma haste graduada que era introduzida nos tanques, e por meio da leitura da altura da lâmina d'água de cada um, tinha-se a quantidade de água escoada. A perda mensal e anual de água por escoamento se deu pela soma do escoamento semanal mensurado nas caixas coletoras de cada tratamento.

As amostras de escoamento (água mais sedimento) para determinação da perda de solo foram coletadas semanalmente no período de 01 fevereiro de 2010 a 31 de janeiro de 2011, totalizando 40 coletas durante 12 meses. Em semanas com altos índices pluviométricos, duas coletas foram realizadas com objetivo de evitar transbordamento da 2º caixa coletora. Para a coleta das amostras utilizou-se o procedimento proposto por Cogo (1978), que consistiu na homogeneização de toda água e sedimento contido nas caixas, e ao mesmo momento desta, retirou-se duas amostras de um litro. Uma amostra foi utilizada na quantificação do solo perdido e a outra para quantificação da perda de nutrientes.

A quantificação do solo perdido foi realizada no laboratório florestal da empresa Klabin.

A metodologia para obtenção da concentração de sedimentos no escoamento sofreu modificação da utilizada por Bertol (1986), e consistiu na utilização de uma

alíquota de 200 ml bem homogeneizada de água do escoamento, que foi colocada em becker previamente pesado, seguindo para estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 105° até evaporação de toda água. Quando seco, procedeu-se com a pesagem do material remanescente no becker, sendo que com base no peso dos sedimentos restantes, e multiplicação deste pela quantidade de escoamento naquele evento, obteve-se a perda de sedimentos. A perda anual de sedimentos foi obtida por soma das perdas semanais.

3.10 QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE NUTRIENTES

Mensalmente foram realizadas as análises químicas do escoamento de cada tanque coletor. As amostras coletadas semanalmente ficavam armazenadas em geladeira com temperatura de 4°C até a finalização das coletas mensais para então compor uma só amostra mensal de cada tanque coletor. Esse procedimento foi realizado levando em consideração a quantidade de água escoada em cada parcela durante cada semana, sendo a amostra composta, baseada em uma ponderação de acordo com as perdas semanais de cada parcela e em cada tanque. Para a realização da amostra para análise, os frascos coletados durante as semanas anteriores foram agitados até que todo o sedimento se mostrasse em suspensão, e em seguida, rapidamente retirava-se a quantidade representativa daquela semana.

Assim, no final de cada mês foram realizadas análises da água do escoamento de cada um dos 18 tanques coletores.

Nas amostras de escoamento (água + sedimentos) foram determinados os teores dos nutrientes na forma solúvel e total. Os teores nas formas totais de K, Ca e Mg foram determinados por meio de digestão úmida completa da suspensão em HNO₃/HCl e leitura em ICP-OES conforme APHA (1995). As análises solúveis destes mesmos nutrientes foi realizada com prévia filtração da água do escoamento em filtro com abertura de 0,45 µm, que após passou também por leitura em ICP-OES. O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl e o carbono orgânico total por combustão úmida pelo método de Walkey Black, sendo os teores de N-NH₄⁺ e NO₃⁻ obtidos por destilação seguindo procedimento descrito por Tedesco *et al.* (1995). O teor de fósforo solúvel foi determinado pelo método do ácido ascórbico e o P total com digestão em H₂SO₄/K₂S₂O₈/ C₆H₈O₆, ambos seguindo metodologia descrita em APHA (1995).

A perda dos nutrientes mensal foi obtida multiplicando-se a concentração dos nutrientes de cada amostra pela quantidade escoada do mês, sendo a perda acumulada no ano obtida através da soma das perdas mensais. As perdas dos nutrientes na forma particulada foram obtidas pela diferença entre a perda na forma total e a forma solúvel.

3.11 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ESTATÍSTICA

O Delineamento utilizado para o ensaio foi o de blocos ao acaso com três repetições e os dados obtidos, que foram concentrações e perdas acumuladas mensais e anual foram analisadas pelo software SPSS, onde se realizou ANOVA e teste de Tukey a 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PERDAS DE ÁGUA

As perdas de água acumuladas por escoamento apresentaram-se diretamente influenciadas pelos diferentes sistemas de preparo utilizados, concordando com COGO (1981), VOLK *et al.* (2004) CAVICHIOLO (2005); BAPTISTA e LEVIEN (2010) (FIGURA 8 e TABELA 3).

A utilização do implemento limpa-trilho no SFD e SCD proporcionou diminuição de 26% na cobertura de solo em cada um deles (em função do afastamento do mesmo na linha de subsolagem/plantio). Esta redução se deu em faixas sem resíduos a favor do declive no SFD e perpendiculares ao declive no SCD. Este último, ao limpar a linha de forma perpendicular, possibilitou também afastamento lateral do resíduo formando pequenos patamares. O tratamento CM, por não passar pela atividade com o implemento limpa-trilho, teve menor mobilização dos resíduos, sendo esta restrita pela atividade de coroamento manual, que representou apenas 3,9% de diminuição da cobertura do solo.

Deste modo, a condição do resíduo na superfície influenciou as perdas por escoamento onde o sistema SFD apresentou maiores volumes escoados tanto de forma mensal (FIGURA 8) quanto anual (TABELA 3) em relação aos demais sistemas de preparo, o que pode ser comparado aos resultados encontrados por Mclsaac *et al.* (1989), Cogo *et al.* (2003), Cruz (2006) e Luciano (2008) para semeadura a favor do declive em relação a outros sistemas utilizados em áreas agrícolas. Estas perdas, de 275,5 mm anuais no SFD, foram 2,6 vezes maiores que a apresentada pelo CM e 3,4 vezes maiores que o SCD, evidenciando diferença significativa a 5% no teste de Tukey entre este e os sistemas SCD e CM (TABELA 3).

As perdas de água no SFD equivaleram a 14% da precipitação acumulada no ano, já o CM 4,7% e o SCD 3,7% do total. Os valores do CM e SCD ficaram na mesma faixa observada por outros autores em cultivos mais conservacionistas estudados, independentemente da cultura, tais como Martins (2005) para povoamento de eucalipto sob coveamento manual, e Leite *et al.*, (2004) para plantio de milho sob semeadura direta.

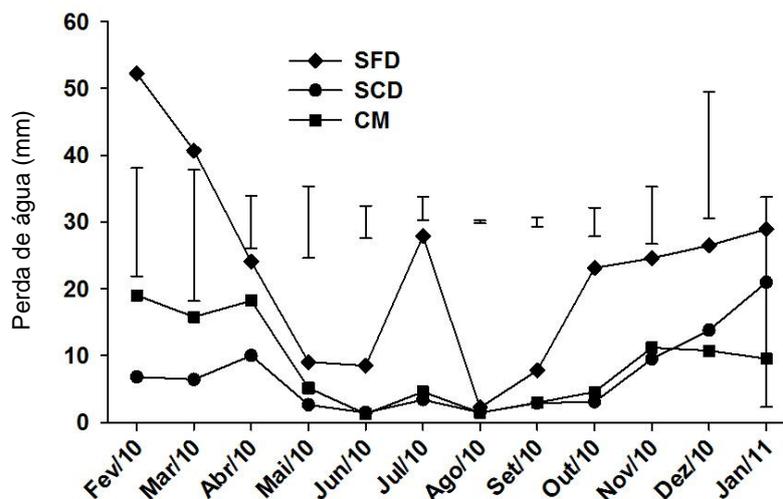


FIGURA 8. PERDAS DE ÁGUA MENSIS NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: (SFD) - SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE, (SCD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE, (CM) - COVEAMENTO MANUAL; (BARRA INDICA DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY).

Altos valores nos coeficientes de variação foram encontrados nas perdas de água por escoamento, sendo de 45,7%, 63,1% e 82,4% para SFD, SCD e CM, respectivamente. Estes são explicados pela distribuição irregular das chuvas durante o período, bem como pelas diferentes quantidades e possíveis erosividades, que refletiram em distintas taxas de perda de água, o que corrobora com Wichert (2005) e Martins (2005).

TABELA 3. PERDAS TOTAIS DE ÁGUA E SOLO NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE(SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM).

SISTEMA DE PREPARO	PRECIPITAÇÃO (mm)	ESCOAMENTO (mm)	SOLO (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
SFD		276 a	19,7 a
SCD	1972	82 b	2,2 b
CM		105 b	0,9 b

Nota: Valores seguidos de letras distintas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey

A amplitude das perdas de água ocorridas entre os meses variou de 2,2 a 52,2 mm no SFD; de 1,5 a 21,0 mm no SCD; e, de 1,3 a 19,0 mm no CM (FIGURA 8). O SCD e CM apresentaram maiores coeficientes de variação que o SFD devido as suas menores médias absolutas de perdas, e alto desvio padrão, que por sua vez se deve ao fato de que estes sistemas se mostraram eficazes na redução do escoamento até o ponto de saturação do solo, a partir de então, todos os

tratamentos responderam igualmente ao efeito das chuvas e conseqüente escoamento, conforme Kohnke (1968).

As menores perdas de água por escoamento apresentadas no tratamento SCD (FIGURA 8) podem ser explicadas pelo direcionamento do preparo de solo. Ao ser realizado de forma perpendicular ao declive possibilitou que a água se mantivesse por maior período de tempo na superfície sem que ocorresse o escoamento. Esse efeito de detenção superficial da água foi potencializado pelo arranjo formado pelos resíduos no momento da limpeza da linha, que proporcionaram a formação de pequenos patamares de forma perpendicular a subsolagem. Assim houve aumento da capacidade de retenção superficial, aumentando gradualmente a infiltração da água no solo pela maior permanência da lâmina de água na superfície e com isso diminuindo o escoamento. (WISCHMEIER, 1973).

A subsolagem possivelmente proporcionou aumento da porosidade total pela movimentação e aeração do solo, favorecendo a infiltração e manutenção de maior quantidade da água no perfil e ocasionando diminuição da taxa de escoamento superficial, o que é comprovado por Mclsaac *et al.*, (1991); Strudley *et al.*, (2008) e Cavichiolo (2005). A rugosidade superficial proporcionada pelo implemento subsolador também pode ter auxiliado na diminuição do escoamento, pois tem potencial de proporcionar maior retenção da água principalmente em períodos iniciais de precipitação. Micro e macro-depressões também foram observados pelo rompimento de raízes do ciclo florestal anterior, favorecendo ancoramento de resíduos e aumentando as ondulações e rugosidades na faixa subsolada.

As maiores perdas de água observadas no sistema SFD, são explicadas pelo livre escoamento que ocorreu neste tratamento, proporcionado pelo afastamento do resíduo com o limpa-trilho e posterior subsolagem, ambos realizados a favor do declive. Como a linha de subsolagem apresentou reduzida cobertura por resíduos, e a subsolagem possibilitou uma predisposição à formação de canais, foram criadas rotas preferenciais para a ocorrência do processo de escoamento, que ganhou velocidade e força ao longo da rampa devido a inexistência dos resíduos, que teriam a função de exercer barreira física contra o escoamento, concordando com Luciano (2008). A rugosidade superficial proporcionada pelo implemento subsolador possivelmente pouco auxiliou no SFD, já que se apresentou direcionada ao declive, e assim, com baixa resistência aos efeitos do escoamento.

O CM apresentou perdas de água intermediárias entre os três sistemas testados (TABELA 3). Quando comparadas suas perdas às apresentadas pelo SFD, por exemplo, estas foram menores em função basicamente de não existirem canais preferenciais para canalização do escoamento neste tratamento e, em função da maior cobertura por resíduos. Já comparadas ao SCD, foram maiores possivelmente em função do baixo revolvimento do solo e possível menor porosidade total, como também pela menor rugosidade, já que a cobertura do solo por resíduos possibilita à superfície maior uniformidade, concordando com conclusões de Cavichiolo (2005).

Avaliando os três sistemas de forma mensal, as maiores perdas de água por escoamento foram observadas nos períodos de maior precipitação total (FIGURA 4), períodos estes que foram observadas diferenças significativas entre o sistema SFD e os demais, obtidas pelo teste de Tukey a 5% em 9 dos 12 meses avaliados (FIGURA 8).

4.2 PERDAS DE SOLO

Da mesma forma que nas perdas de água, as perdas de solo também foram superiores no SFD em relação aos demais tratamentos, apresentando $19,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de solo perdido, valor este respectivamente 9 e 23 vezes superior aos apresentados pelo SCD e CM (TABELA 3).

Com isso, as perdas no SFD, de $19,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, se mostraram superiores as apresentados por Bertol e Almeida (2000), como tolerável para a classe Cambissolo (textura argilosa), de $9,25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e também acima dos parâmetros estabelecidos pela FAO (1967), de $12,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para solos profundos e bem drenados, merecendo atenção e cuidado quanto a operacionalização deste sistema de preparo em função dos prejuízos ambientais e de sustentabilidade do solo inerentes destas altas perdas (BERTOL e ALMEIDA, 2000).

Os altos coeficientes de variação para perda de solo encontrados nos sistemas de preparo testados, (118% para SFD, 98% para SCD e 140% para CM), podem ser explicados pela mesma razão apresentada nas perdas de água. Assim, os sistemas de preparo de solo SFD e CM, que foram os que perderam mais água (TABELA 3), tenderam a maiores coeficientes de variação nas perdas de solo, já

que estes são reflexos da variação das quantidades de chuva e de suas características físicas, como também, do maior escoamento total ocorrido.

Todos os tratamentos apresentaram tendência de maiores perdas de solo no início do estudo, concordando com resultados Lima (1988), porém as maiores perdas foram apresentadas pelo SFD (FIGURA 9). Estas perdas iniciais podem ser atribuídas a maior desagregação do solo causada pela subsolagem, tornando a massa do solo mais susceptível de ser arrastada pelo escoamento, o que corrobora com Bertol *et al.* (2010).

Pesquisas realizadas por Cogo *et al.* (1983) e Leite *et al.* (2004) demonstraram que o preparo de solo, além de aumentar a quantidade de sedimentos desagregados, tende a aumentar a quantidade de sedimentos grandes em relação aos pequenos, o que também pode ser relacionado aos resultados obtidos neste estudo. Já Bertol *et al.* (2010), apresentaram que a quantidade dos sedimentos perdidos por erosão diminui no tempo a medida que o tamanho dos sedimentos diminui. Assim, é possível analisar que, sedimentos maiores e resultantes do efeito de desagregação pelo preparo de solo são perdidos preferencialmente nos primeiros meses após o preparo, ocasionando maiores perdas no período inicial, e a diminuição das perdas nos meses subseqüentes se deve parcialmente também por influência da diminuição do tamanho das partículas perdidas.

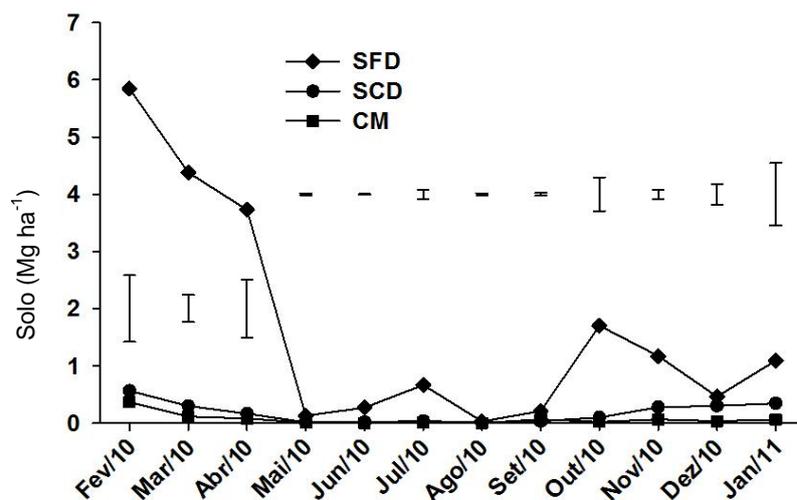


FIGURA 9. PERDAS DE SOLO MENSIS NOS MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE,(SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM). (BARRA INDICA DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY).

A grandeza absoluta das perdas de solo, tanto mensal quanto anual, observadas no SFD, se deve às maiores concentrações de sedimentos na água do escoamento (FIGURA 10), como também pelo maior escoamento ocorrido neste tratamento na maioria dos meses (FIGURA 8). A concentração de sedimentos no escoamento neste sistema se manteve mais elevada que nos demais na maioria dos meses, porém pode-se observar que nos três primeiros meses, os valores foram mais significativos. Isto pode ser atribuído, além da maior predisposição às perdas neste tratamento (devido à subsolagem), à maior precipitação pluviométrica do período (FIGURA 4) e alteração que ocorreu ao longo da chuva, tanto na superfície como na umidade do solo, sendo que quando ocorreram os picos de maior intensidade, a desagregação e transporte foram facilitados, devido ao solo já estar úmido, concordando com Pires *et al.*, (2006) e Martins (2005), Wichert (2005).

Após os três primeiros meses, houve uma diminuição das concentrações de sedimentos e do próprio escoamento ocorrido nos três tratamentos (FIGURA 10), decorrentes da diminuição das precipitações nesta fase (FIGURA 4). Nos meses seguintes, com exceção de um pico ocorrido no mês de outubro, as concentrações mantiveram-se relativamente constantes (FIGURA 10), mesmo havendo um aumento das precipitações nos três últimos meses de estudo (FIGURA 4). Essa diminuição da concentração de sedimentos no período final também é relacionada ao início de fechamento do dossel pelo crescimento do eucalipto, que possibilitou interceptação e diminuição da chuva que caiu na superfície, evitando seu impacto direto no solo e diminuindo a desagregação, o que concorda com resultados de Lima (1988), Gonçalves *et al.* (2002), Wichert (2005).

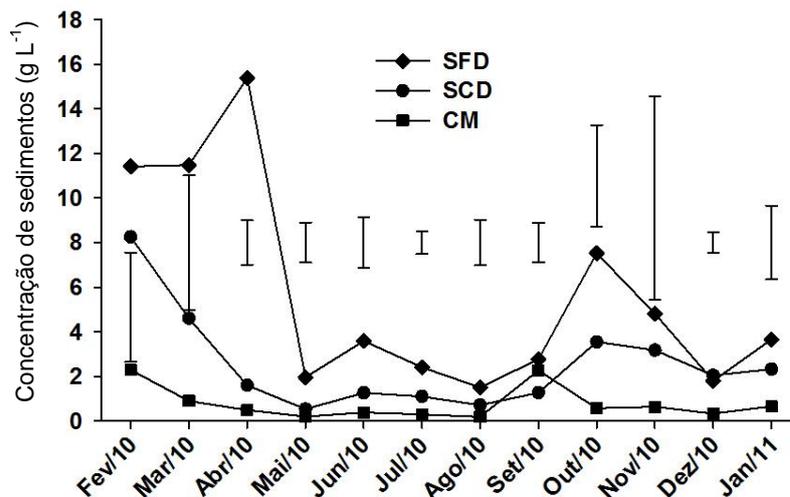


FIGURA 10. CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS NA ÁGUA DE ESCOAMENTO NOS MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM), (BARRA INDICA DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY).

No SFD embora a concentração de sedimentos no escoamento tenha de certa forma apresentado tendência de estabilizar a partir do mês de maio, as perdas de sedimentos acumuladas foram crescentes ao longo do ano (FIGURA 11), impulsionadas pelo maior escoamento neste sistema principalmente a partir de setembro (FIGURA 08), que, por sua vez, é condizente com os períodos de maior precipitação ocorridos na área (Figura 04). Os sistemas SCD e CM apresentaram comportamento distinto em relação ao primeiro, onde as perdas de solo acumuladas praticamente ficaram estabilizadas durante todo o ano, o que evidencia que nestes tratamentos as maiores perdas ocorreram no período inicial do estudo (FIGURA 11).

Com relação às perdas acumuladas de água por escoamento nos três sistemas, estas seguiram a mesma tendência ao longo do ano (FIGURA 12), porém em proporções diferentes. Esse comportamento parecido entre os sistemas de preparo demonstra que as perdas de água são mais relacionadas com os totais precipitados (FIGURA 4) do que com as perdas de solo que, por sua vez, estão mais relacionadas com a erosividade dos eventos de chuva.

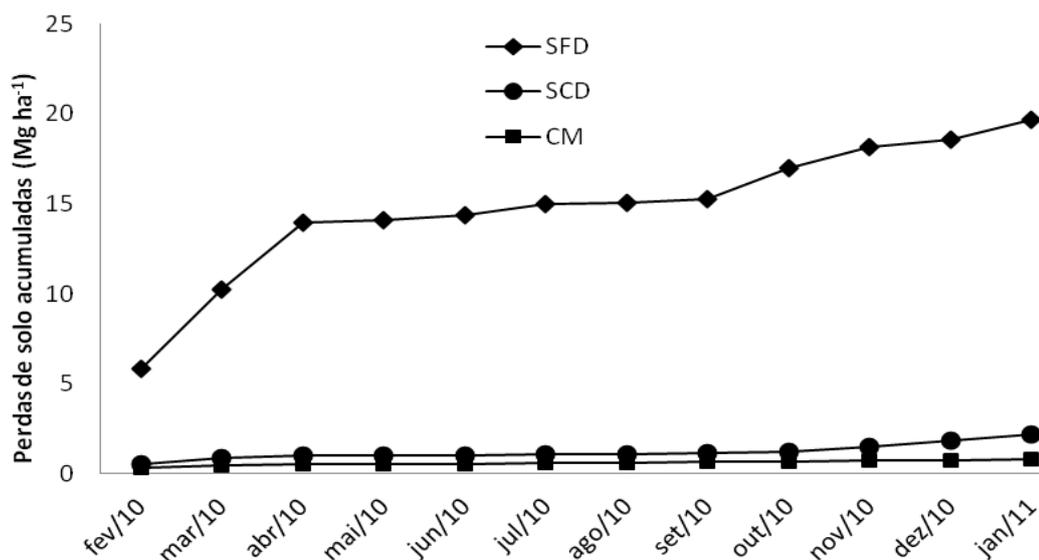


FIGURA 11. PERDAS DE SOLO ACUMULADAS POR ESCOAMENTO NOS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE(SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM).

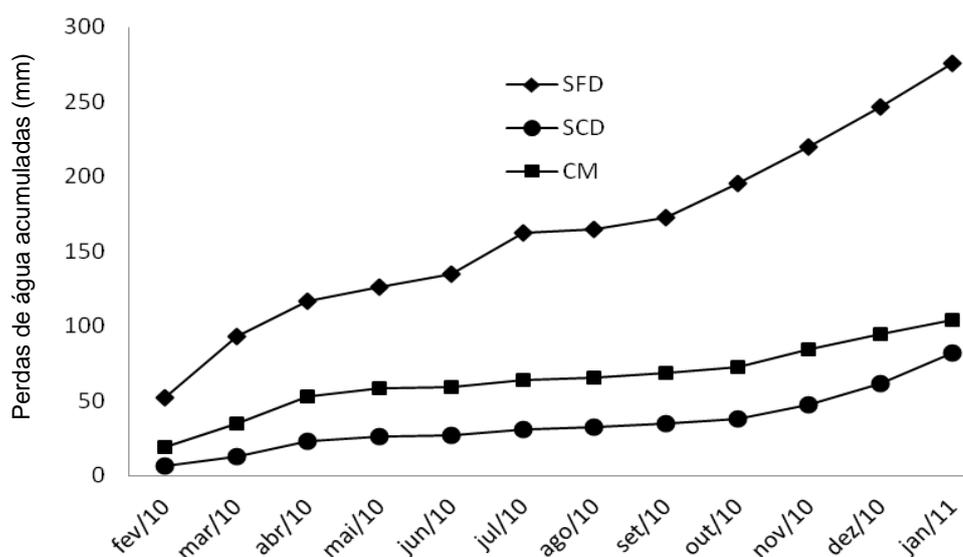


FIGURA 12. PERDAS DE ÁGUA ACUMULADA POR ESCOAMENTO NOS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD) - SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE(SCD) - COVEAMENTO MANUAL (CM).

Os resultados positivos apresentados pelo sistema de SCD com relação às perdas de solo corroboram com pesquisa de Cavichiolo (2005), que também relata resultados positivos em áreas de subsolagem cortando o declive, onde estas demonstraram perdas similares às áreas sem preparo, salientando que, embora tenha sido realizada a subsolagem, a mesma não refletiu em perdas de solo significativas em função principalmente de seu direcionamento. Já Pires *et al.*

(2006), concluem que o eucalipto cultivado cortando o declive foi o sistema que mais se aproximou da mata nativa em termos de perdas de solo.

No sistema CM, dentre os fatores positivos pode-se destacar a menor desagregação do solo, como também a menor movimentação dos resíduos, os quais dissiparam a energia cinética da chuva e do escoamento e, assim, reduziram sua capacidade de desagregação e transporte (SCHICK *et al.*, 2000). Bertol *et al.* (2010) afirma que em solos sem mobilização ocorre uma consolidação positiva, aumentando o DMP, que, aliado à presença de cobertura do solo, reduzem a quantidade e tamanho de sedimentos perdidos no processo de erosão hídrica.

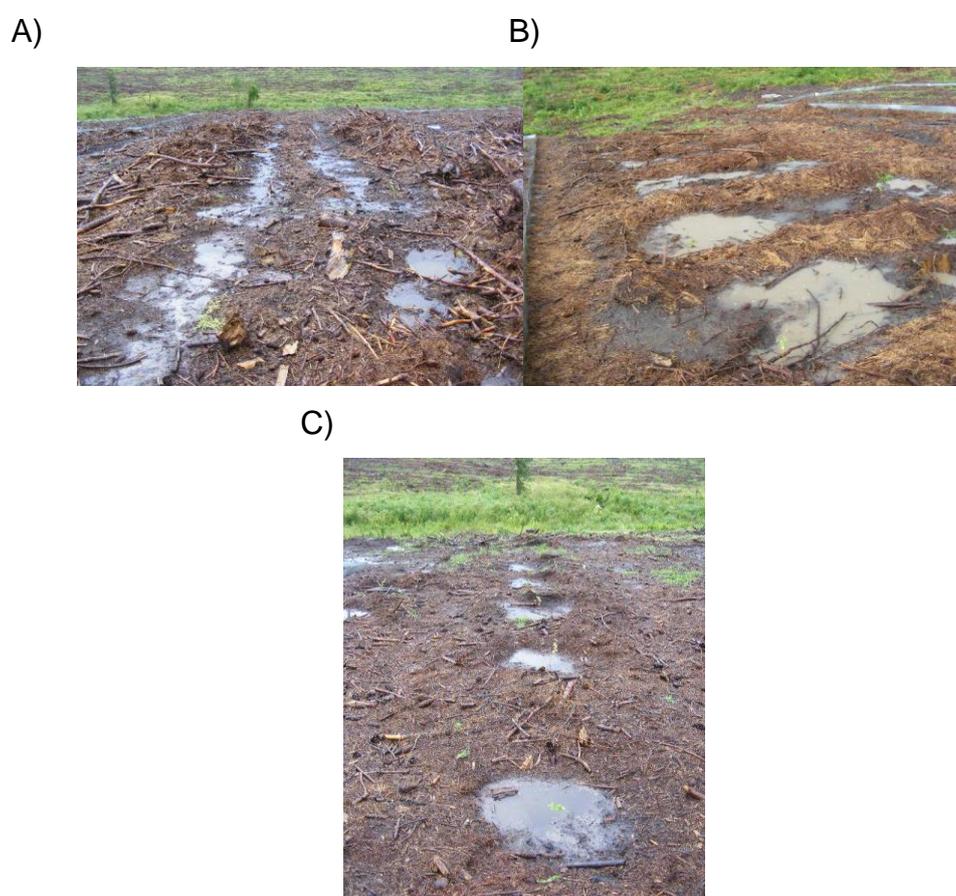


FIGURA 13. VISTA DA ÁGUA DE ESCOAMENTO NA SUPERFÍCIE DO SOLO DOS TRÊS SISTEMAS DE PREPARO TESTADOS: A) SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD); B) SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD); C) COVEAMENTO MANUAL (CM).

4.3 CONCENTRAÇÕES E PERDAS TOTAIS DE NUTRIENTES NO ESCOAMENTO

4.3.1 Nitrogênio total

As perdas de N total acumuladas no ano, que incluem N orgânico, particulado, amônio solúvel e nitrato, foram 8 e 11 vezes superiores no SFD em relação aos sistemas SCD e CM, respectivamente (TABELA 4). Estas perdas representaram uma média mensal de $2,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ de N total no SFD, de $0,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ no SCD, e de $0,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ no CM (Anexo 01).

TABELA 4. PERDAS ACUMULADAS DE NUTRIENTES NA FORMA TOTAL POR EROSÃO HÍDRICA NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD); SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD); COVEAMENTO MANUAL (CM).

Sistema de Preparo de solo	N total	P total	K total	Ca total	Mg total	CO Total
	$\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$					
SFD	32,1 a	1,3 a	38,5 a	22,5 a	35,6 a	556,9 a
SCD	4,1 b	0,2 b	4,9 b	5,9 b	2,5 b	60,7 b
CM	2,9 b	0,2 b	6,6 b	7,9 b	1,8 b	36,1 b

Nota: Valores seguidos de letras distintas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Temporalmente, as maiores perdas nos três sistemas foram observadas no primeiro trimestre do estudo. São atribuídas ao efeito causado pelo manejo do solo, onde as atividades de preparo/subsolagem ao agir na camada “arável” proporcionaram a movimentação do solo e, com isso, iniciaram uma nova dinâmica do fluxo da matéria orgânica e principalmente do N contido no perfil. Desta forma, houve possivelmente maior perda de matéria orgânica e N total, que em sua grande parte, está relacionada a uma grande variedade de compostos orgânicos. Raij (2011) explica que esse comportamento é normal e também os descreve, reforçando que parte da diminuição dos teores de N no solo também ocorre pela oxidação da matéria orgânica. O mesmo autor ainda descreve que o N total do solo diminui de forma exponencial no decorrer manejo e tratos culturais, decrescendo em proporção com o passar do tempo até que o solo atinja um novo equilíbrio, o que pode demorar

vários anos dependendo de fatores como condições do clima, adição de resíduos orgânicos, sistema de manejo utilizado e cultura implantada.

A FIGURA 14B demonstra a queda brusca nas perdas de N total pelo escoamento, principalmente no sistema SFD, tendendo a se estabilizar no tempo. O mesmo ocorreu com o SCD e CM, demonstrando que a perda de N total por erosão hídrica pode ser considerada um dos fatores que contribuem para a diminuição dos teores deste elemento no solo, concordando com McIsaac *et al.* (1989), Raji (2011).

Percebe-se também, que as maiores concentrações mensais de N total no escoamento (FIGURA 14A) não ocorreram exclusivamente, nos mesmos meses em que ocorreram as maiores concentrações de sedimentos no escoamento (FIGURA 10). Isso demonstra que a perda de N total pode ser sim influenciada pelos eventos de maior precipitação e erosividade da chuva, que tendem a carregar mais quantidade de partículas orgânicas, mas principalmente pelo período da realização do preparo de solo (RAJI, 2011). Por outro lado, as perdas acumuladas mensalmente de sedimento e N total, podem ser correlacionadas, pois os meses com maiores perdas de sedimento apresentaram também as maiores perdas de N total, e que ambas ocorreram em maiores magnitudes nos primeiros meses do estudo. Estas conclusões também podem ser comparadas as apresentadas por McIsaac e Hirschi (1989).

No acumulado anual, as perdas de N particulado no SFD (TABELA 5), equivaleram a 88% das perdas de N total (TABELA 4); no SCD a 83%; e no CM a 51% valores estes próximos do encontrado por Sharpley *et al.* (1987), que apresentam média de 64% de N perdido na forma particulada em estudo do escoamento em três bacias hidrográficas, resultados que também são reforçados por Smith *et al.* (1992), que relata que N particulado é a principal forma em que ocorrem perdas de N do sistema.

TABELA 5. PERDAS ACUMULADAS DE NUTRIENTES ($\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) NA FORMA PARTICULADA POR EROÇÃO HÍDRICA NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD); SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD); COVEAMENTO MANUAL (CM).

Sistema de Preparo de solo	N Particulado	P particulado	K particulado	Ca particulado	Mg particulado
	$\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$				
SFD	28,3 a	1,2 a	31,2 a	13,7 a	34,7 a
SCD	3,3 b	0,2 b	2,1 b	2,2 b	2,22 b
CM	1,4 b	0,16 b	1,1 b	1,9 b	1,3 b

Nota: Valores seguidos de letras distintas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey

Deste modo, os sistemas SCD e CM, por apresentarem menores perdas de sedimentos e água no escoamento durante o período, também apresentaram as menores perdas de N total, não apresentando diferenças significativas entre si nos 12 meses de estudo. Já o sistema SFD apresentou essa diferença significativa com relação aos demais tratamentos, em 9 dos 12 meses (FIGURA 14B).

O sistema SCD, apesar de ser constituído também por subsolagem se mostrou eficiente na contenção das perdas de N total, sendo estas comparáveis às obtidas pelo sistema CM, o mais conservacionista dos três tratamentos testados.

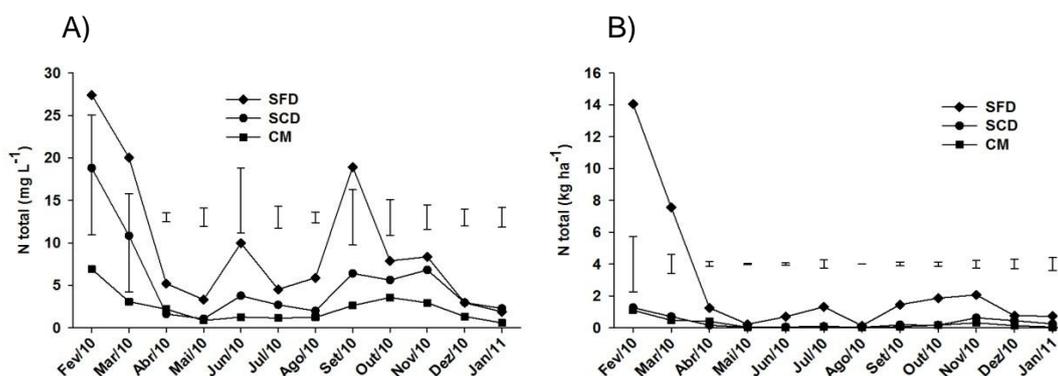


FIGURA 14. (A) CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL (mg L^{-1}); (B) PERDA DE NITROGÊNIO TOTAL (kg ha^{-1}) NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS DIFERENTES METODOS DE PREPARO DO SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

Em termos absolutos, os resultados mostram que os tratamentos com maiores perdas de solo apresentaram as maiores perdas de N total, concordando com Sharpley *et al.* (1987). A ordem de perdas tanto de sedimentos quanto de N

total foi SFD>SCD>CM, podendo-se dizer que os métodos de preparo de solo mais eficientes em relação aos aspectos de controle de erosão, evitaram perdas de N total, sendo estes resultados também apresentadas por Mc Isaac *et al.* (1989).

4.3.2 Nitrogênio na forma de amônio (N-NH₄⁺)

As perdas acumuladas de N-NH₄⁺ no ano apresentaram diferenças entre os tratamentos testados, com maiores perdas no SFD de 2,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹, valor este que representou 7,5 e 4,9 vezes mais, do que nos sistema SCD e CM, respectivamente (TABELA 6).

TABELA 6. PERDAS ACUMULADAS DE NUTRIENTES NA FORMA SOLÚVEL POR EROSÃO HÍDRICA NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD): SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD): COVEAMENTO MANUAL (CM).

Sistema de Preparo de solo	P solúvel	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	K solúvel	Ca solúvel	Mg solúvel
	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹					
SFD	0,08 a	2,2 a	1,5 a	7,2 a	8,8 a	0,9 a
SCD	0,02 b	0,3 b	0,4 b	2,8 a	3,7 b	0,3 b
CM	0,04 ab	0,4 b	0,9 b	5,4 a	6,0ab	0,5ab

Nota: Valores seguidos de letras distintas nas colunas diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey

Os teores de N-NH₄⁺ no escoamento variaram entre os sistemas de preparo e os meses do ano, apresentando as maiores amplitudes nas fases que ocorreram as fertilizações (FIGURA 15A). O SFD demonstrou as maiores concentrações com picos de 1,7 mg L⁻¹ e 1,49 mg L⁻¹ nos meses de abril e novembro, respectivamente (FIGURA 15A), períodos estes, relativos ou influenciados pelas fertilizações de cobertura no plantio. Nos mesmos períodos (abril e novembro), as concentrações apresentadas pelo SCD foram equivalentes a 28% e 48% às do SFD, enquanto o CM apresentou concentrações equivalentes a 61% e 70%.

As maiores concentrações no tratamento SFD nos períodos citados acima, podem ser explicadas pelo escoamento imediato que possivelmente ocorreu após as precipitações. Com isso, ao ser realizada a fertilização, a uréia (fertilizante utilizado) ao entrar em contato com o solo úmido sofreu hidrólise, liberando nitrogênio na

forma amoniacal e assim aumentou as concentrações de N-NH_4^+ no escoamento. O SCD apresentou as menores concentrações nesse período em função do retardo no início do escoamento, o que possibilitou maior permanência do nutriente na área, e devido ao N-NH_4^+ ser convertido em pouco tempo para a forma nítrica (SHARPLEY *et al.*, 1987), as concentrações foram consideravelmente reduzidas. O CM apresentou teores intermediários no mesmo período, o que demonstrou que a disposição do resíduo, mais homogêneo na superfície neste sistema de preparo, não desempenhou tanta eficiência quanto no SCD na contenção do escoamento, possibilitando as maiores perdas de N-NH_4^+ . Estes resultados condizem com os apresentados por Barbosa (2008).

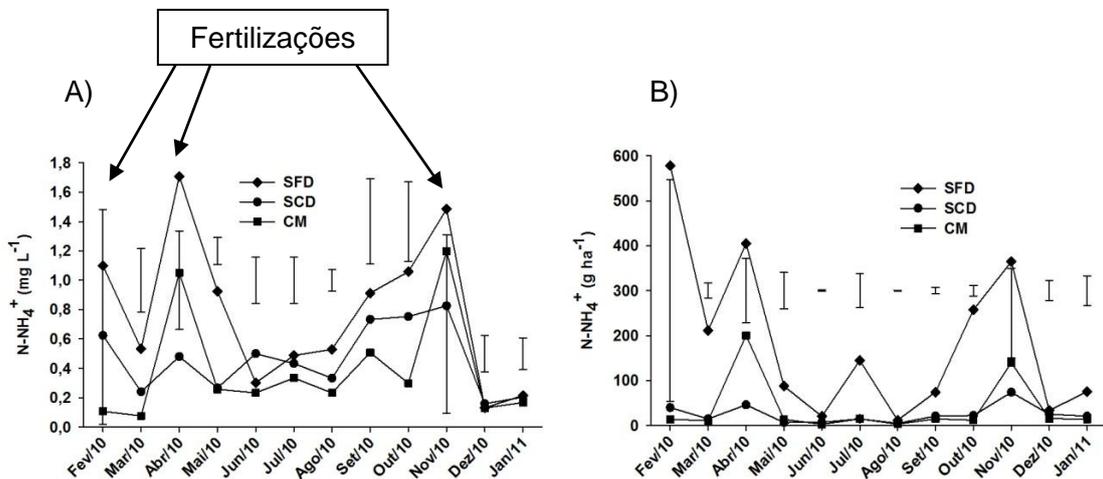


FIGURA 15. (A) CONCENTRAÇÃO DE N-NH_4^+ (B) PERDA DE N-NH_4^+ NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

As concentrações de N-NH_4^+ no escoamento dos três tratamentos, nos períodos de fertilização, demonstrou caráter momentâneo, ocorrendo escoamento mais concentrado no mês da fertilização e diminuindo no mês seguinte, comportamento que também é apresentado por Sharpley *et al.* (1982). Isso evidencia que o N via fertilização mineral é facilmente disponibilizado, porém da mesma forma é facilmente perdido, concordando com Raji (2011). Estes resultados também foram encontrados por Barbosa *et al.* (2009) e Leite (2003) que observaram maiores teores de N-NH_4^+ nos primeiros testes de chuva simulada, realizados logo após a semeadura das culturas e diminuindo com os testes sub-seqüentes, indicando que as primeiras chuvas foram mais representativas para o transporte do

nutriente pois a superfície do solo se mostrava mais enriquecida pelo fertilizante. Cassol *et al.* (2002) e Bertol O.J. *et al.* (2005), escrevem que quando as fertilizações são feitas sem incorporação no solo, as perdas por escoamento, principalmente sob as formas solúveis, são favorecidas.

A variação ou decréscimo das concentrações observadas nos meses onde não houve fertilizações pode ser relacionado a diversos fatores, dentre eles, ao consumo do nutriente pelas mudas de eucalipto durante seu crescimento, fato mais perceptível nos meses de dezembro e janeiro (FIGURA 15A). Também pelas diferentes taxas de mineralização, onde fatores climáticos, decomposição de resíduos e condições do solo podem ter influenciado, além da transformação N-NH_4^+ em N-NO_3^- , fato este último, que corrobora com Barbosa *et al.* (2009).

Com relação aos impactos ambientais causados pela liberação de N-NH_4^+ para o ambiente, nenhum dos tratamentos apresentou concentrações prejudiciais para água de consumo humano (após tratamento simplificado), para a vida aquática, e atividades de recreação humana. A maior concentração observada de $1,71 \text{ mg L}^{-1}$ (SFD), valor este abaixo do limite máximo permitido pela resolução do CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) de $3,7 \text{ mg L}^{-1}$ para $\text{pH} < 7,5$. Com relação às médias mensais, as concentrações apresentaram $0,78 \text{ mg L}^{-1}$ no SFD, $0,46 \text{ mg L}^{-1}$ no SCD e $0,38 \text{ mg L}^{-1}$ no CM.

4.3.3 Nitrogênio na forma de nitrato (N-NO_3^-)

Com relação ao N-NO_3^- , o comportamento das concentrações se mostrou irregular em todas as fases do estudo, podendo ser explicado pelo fato deste nutriente ser solúvel, e que, por possuir carga negativa, não se adsorveu as partículas de solo, sendo perdido facilmente via percolação (SHARPLEY *et al.*, 1987) (FIGURA 16A).

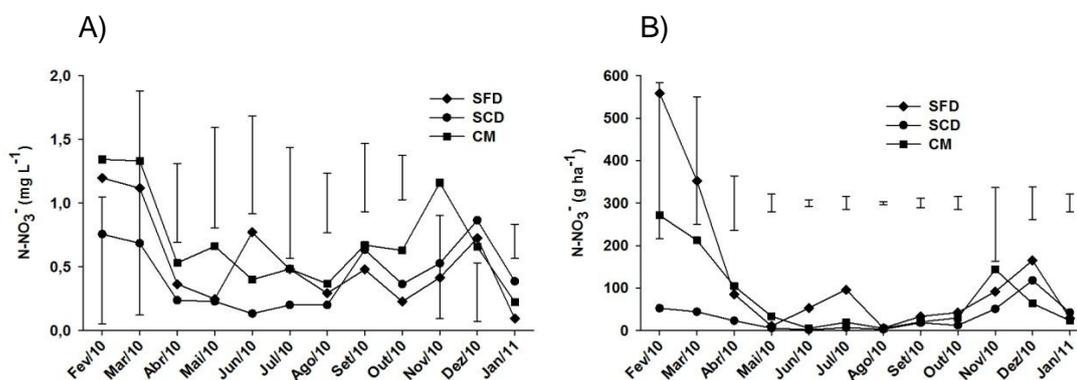


FIGURA 16. (A) CONCENTRAÇÃO DE N-NO₃⁻ (B) PERDA DE N-NO₃⁻ NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

As maiores concentrações observadas no sistema CM, embora não significativas pelo teste de médias em relação aos demais sistemas, podem ser explicadas também pelo comportamento do NO₃⁻ no solo, e por seu caráter mais propenso a flutuações pelo perfil (SHARPLEY *et al.*, 1982; CANTARELLA, 2007). Assim, devido à menor área preparada no CM, a infiltração de maiores quantidades de água ficou mais restrita no perfil, fazendo com que depois de saturada a capacidade de infiltração neste solo, o NO₃⁻ sofresse percolação e assim fosse retirado por escoamento, causando aumento das concentrações neste sistema, processo esse que também foi comentado por Sharpley *et al.* (1982).

O decréscimo das concentrações de N-NO₃⁻ no escoamento a partir de abril nos três tratamentos (FIGURA 16A), pode ser relacionado ao consumo do nutriente pelas plantas de eucalipto. Outra possível explicação principalmente para o mês de abril, é que na primeira fertilização de cobertura, realizada neste mês, grande parte do N solúvel foi perdida na forma de N-NH₄⁺, e que este, por ter ocorrido rapidamente após a fertilização, não permitiu a nitrificação do N, sendo perdido basicamente na forma de N amoniacal (FIGURA 16A).

A partir de maio, até outubro, o pequeno decréscimo observado nas concentrações do escoamento dos três tratamentos pode ser relacionado aos períodos mais frios desta época, que podem ter influenciado para a menor taxa de mineralização da matéria orgânica. Outro fator, possivelmente, foi a menor precipitação pluviométrica ocorrida neste período (FIGURA 4), que possibilitou

diminuição da percolação do nutriente, mantendo-o mais abaixo no perfil do solo e, assim, menos disponível ao transporte pelo escoamento superficial.

As concentrações de N-NO_3^- encontradas na água do escoamento na média dos 12 meses para os sistemas SFD, SCD e CM, ficaram respectivamente, 19, 23 e 14 vezes abaixo do limites definidos pela resolução do Conama 357;2005 (Brasil, 2005) para não causar problemas com relação a qualidade das águas. Nesta resolução, consta que os teores de N-NO_3^- para água doce não devem ultrapassar 10mg L^{-1} . Isso evidencia a eficiência dos três sistemas de preparo no aspecto discutido.

Embora as maiores concentrações de N-NO_3^- tenham ocorrido no tratamento CM na maioria dos meses, a quantidade de água escoada em cada tratamento influenciou nas perdas mensais do nutriente. Na FIGURA 16B, percebe-se que, embora não significativas, as perdas mensais foram superiores em vários meses no tratamento SFD, o que ocasionou, em termos de perda acumulada anual, $1,5\text{ kg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de N-NO_3^- (TABELA 6), quantidade essa, 4 e 1,6 vezes maior que nos tratamentos SCD e CM, respectivamente.

4.3.4 Fósforo total e solúvel

As quantidades de P total perdido nos sistemas SCD e CM foram inferiores ao SFD que apresentou $1,3\text{ kg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$. O SCD apresentou perda equivalente a 18%, enquanto o CM 15% daquela ocorrida no SFD (TABELA 4).

Tanto a concentração de P total quanto a quantidade de P perdido por hectare (FIGURA 17 A e B, respectivamente), podem ser relacionadas às épocas de fertilizações de cobertura (abril e final de outubro/novembro), porém principalmente com as maiores perdas de sedimentos, que também ocorreram nestes mesmos períodos (FIGURA 10).

Com relação às fertilizações, estas foram realizadas na superfície do solo e sem incorporação do fertilizante, possibilitando a retirada do nutriente do sistema via escoamento. Sharpley *et al.* (2001), citando Sharpley e Rekolainen (1997), explicam que as quantidades, formas de P aplicado, momento da aplicação, método de aplicação, quantidade e momento da precipitação pós fertilização, influenciam diretamente a concentração e perda deste elemento da área.

Neste estudo todos os tratamentos foram igualmente fertilizados sem incorporação do fertilizante, e com isso, as maiores concentrações de P total no escoamento apresentadas pelo SFD são explicadas pela facilidade que a água teve em carrear o fertilizante aplicado, já que o P estava adsorvido às partículas do solo, uma vez que este tratamento possui uma faixa na linha de plantio desprovida de resíduo, não havendo assim impedimento ou barreira física que dificultasse esse transporte.

Sharpley *et al.* (2001) escreve que a taxa de escoamento superficial influencia de forma direta as perdas de P do sistema, reforçando sua capacidade de carrear restos vegetais e de sedimentos enriquecidos com o nutriente, aumentando assim as perdas. Neste sentido, pode-se dizer que as perdas de P total também são relacionadas às maiores perdas de sedimentos ocorridas no SFD, representando que, grande parte do nutriente se encontrava retido aos colóides do solo, partículas e agregados (TABELA 5), sendo esta de origem do próprio teor contido no solo como também das fertilizações (WITHERS *et al.*, 2011; LOGAN, 1982).

Deste modo, as perdas anuais de P na forma particulada, representaram 94 % da perda na forma total no SFD, 92% no SCD e 80% no CM. Pionke e Kunishi (1992), encontraram resultados parecidos, relatando que até 80% do P perdido em seu estudo demonstrou relação com os sólidos em suspensão, mesmo sob baixa intensidade do fluxo superficial, o que demonstra que, independente da intensidade do escoamento, grande parte das perdas de P estão relacionadas aos sedimentos (SHARPLEY, 1980). Schick *et al.* (2000b) também encontraram maiores perdas de P em sistemas de cultivo que proporcionaram as maiores perdas de solo, mesmo que este solo não tenha demonstrado o maior teor do nutriente. Também reporta que as maiores perdas de P se devem a fração adsorvida aos sedimentos.

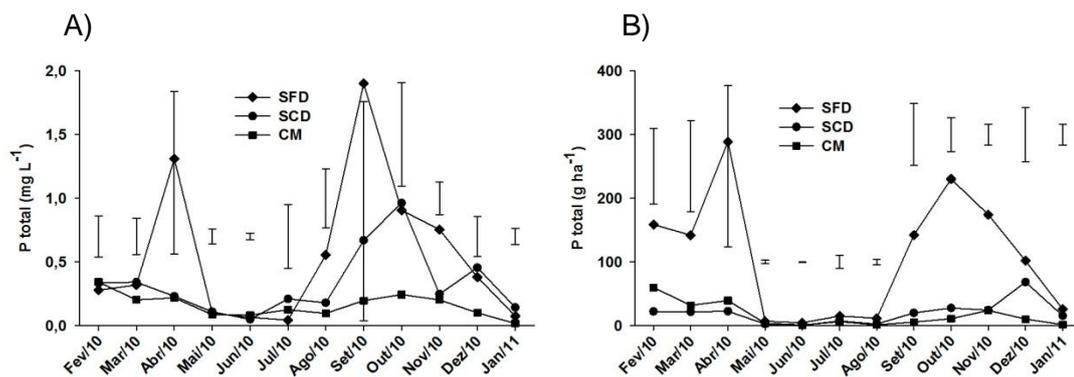


FIGURA 17. (A) CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL; (B) PERDA DE FÓSFORO TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MINIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

As concentrações de fósforo solúvel observadas durante o estudo nos três tratamentos podem ser consideradas baixas, sendo que, com exceção do mês de julho, onde o tratamento SCD apresentou concentração de $0,14 \text{ mg L}^{-1}$, no restante do ano todos variaram de $0,003$ a $0,07 \text{ mg L}^{-1}$ ficando na mesma faixa citada por Guadagnin (2003), Leite (2003) e Barbosa (2008). Esse comportamento pode ser atribuído ao fato do P ser pouco solúvel em água, o que o torna mais presente adsorvido nos colóides de solo e, assim, representado pela fração total avaliada neste estudo.

Os teores de fósforo solúvel não apresentaram diferença entre os tratamentos na maioria dos meses de análise, demonstrando não haver diferença entre as formas de preparo de solo mais intensivas e as menos intensivas quanto as concentrações deste nutriente no escoamento (FIGURA 18A). O comportamento dos teores de P solúvel (com exceção do pico observado no mês de julho), tendeu a diminuir do início ao final da pesquisa. Isto pode ser relacionado ao fato de ter havido duas fertilizações nos três primeiros meses após o plantio, sendo a primeira mais rica em P do que a seqüente, o que pode ter aumentado a concentração no início do estudo.

Conforme Sharpley (1980), Sharpley *et al.* (1981), quando a carga de sedimentos no escoamento é menor, menor também é a capacidade destes sedimentos adsorverem o fósforo solúvel em água, o que tende a aumentar os teores do elemento no escoamento. Esse fato pode explicar o pico de P solúvel no mês de julho nos sistemas SCD e CM (FIGURA 18A), mês este em que a

concentração de sedimentos foi menor nestes tratamentos (FIGURA 10). Porém, deve-se ressaltar que a barra de erro observada no mês em questão se mostrou muito maior que nos outros meses, fato que dificulta a interpretação deste resultado.

A quantidade de P solúvel no escoamento no ano demonstrou pequena variação entre os tratamentos, onde o SFD apresentou $0,08 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, diferindo dos demais tratamentos, em que o SCD apresentou perda equivalente a 25% e o CM a 50% daquela ocorrida no SFD (TABELA 6).

No SFD, a quantidade de P perdido na forma total foi 16 vezes maior do que o perdido da forma solúvel, o que demonstra o maior risco de eutrofização das águas e aumento do custo de produção quando as perdas de solo forem elevadas, concordando SCHICK *et al.* (2000b). Por outro lado, apesar do baixo teor de P solúvel no escoamento, o fato do mesmo ser totalmente biodisponível o torna potencialmente prejudicial, contribuindo para a eutrofização das águas (MCISAAC *et al.*, 1995). Segundo resolução do CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) o teor de P total em água doce não deve ser superior a $0,020 \text{ mg L}^{-1}$ para ambiente lântico, $0,025 \text{ mg L}^{-1}$ para ambiente intermediário e $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ para ambiente lótico.

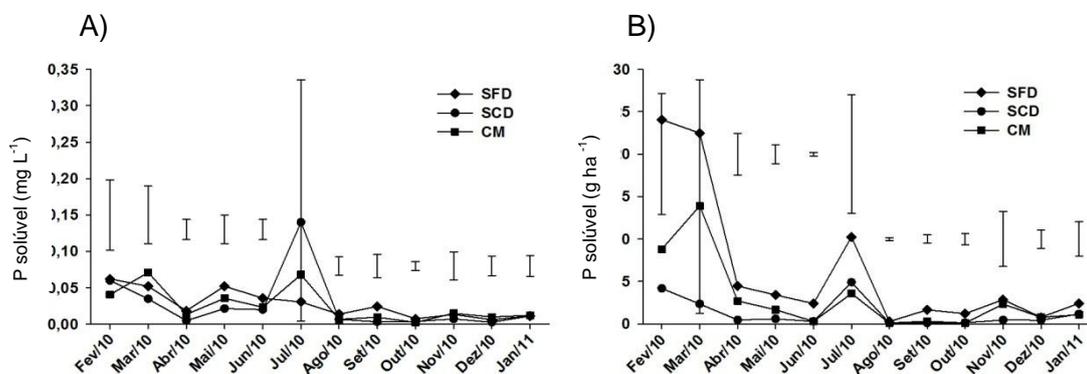


FIGURA 18. (A) CONCENTRAÇÃO DE FÓSFOROSOLÚVEL; (B) PERDA DE FÓSFOROSOLÚVEL NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

4.3.5 Potássio total e solúvel

Os teores de K total na água do escoamento foram superiores no tratamento SFD na maioria dos meses, com picos máximos de $34,8 \text{ mg L}^{-1}$ no mês de abril e $24,3 \text{ mg L}^{-1}$ no mês de setembro (FIGURA 19A). Este comportamento pode ser explicado pelas maiores perdas de sedimentos e carbono orgânico, nestas mesmas

épocas (FIGURA 9 e FIGURA 25, respectivamente). Deste modo, os sedimentos e carbono orgânico possibilitaram o aumento das concentrações de K total possivelmente por estarem enriquecidos com o nutriente.

Resultados obtidos por Bertol *et al.* (2007b) demonstram bom ajuste em modelo de regressão potencial entre o conteúdo de K nos sedimentos e o tamanho das partículas perdidas, mostrando que há um aumento dos níveis de K com o aumento do tamanho dos sedimentos perdidos pela erosão. Os mesmos autores ainda comentam que os métodos de preparo de solo convencionais possibilitam maior teor de K nos sedimentos devido ao aumento do tamanho dos sedimentos, além de possibilitar maior perda total do nutriente devido à maior perda acumulada de sedimentos. Assim, pode-se dizer que o sistema SFD pode ter apresentado comportamento parecido ao citado pelo estudo de Bertol *et al.* (2007b), pois além de ser o tratamento com maior revolvimento do solo, também demonstrou as maiores concentrações de K total nos mesmos meses das maiores concentrações de sedimentos, além de ter apresentado as maiores perdas acumuladas de sedimentos mensal e conseqüentemente anual.

Outros autores, como Seganfredo *et al.* (1997) e Martins, (2005), citam que a matéria orgânica perdida pode também ser enriquecida com o cátion K^+ e, por ser facilmente removida pela erosão, também proporciona perda do nutriente do sistema. O carbono orgânico total também pode conter K em sua composição, basicamente em função deste nutriente estar presente em fragmentos vegetais e lenhosos (RAIJ, 2011) que são arrastados pelo escoamento. Assim, os meses que apresentaram maiores concentrações de Carbono orgânico total no escoamento (FIGURA 25), também apresentaram as maiores concentrações de K total (FIGURA 19A).

Como reflexo das maiores perdas mensais deste nutriente pelo SFD (FIGURA 19B), obteve-se também a maior perda anual de K total, com $38,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os demais tratamentos demonstraram perdas totais consideravelmente menores, sendo o SCD apresentando perda equivalente a 13% e o CM a 17% daquela obtida no SFD (TABELA 4). Assim, as maiores perdas de K total podem ser explicadas pela maior perda acumulada de solo, cujos resultados corroboram com os apresentados por Schick *et al.* (2000) e Bertol *et al.* (2004).

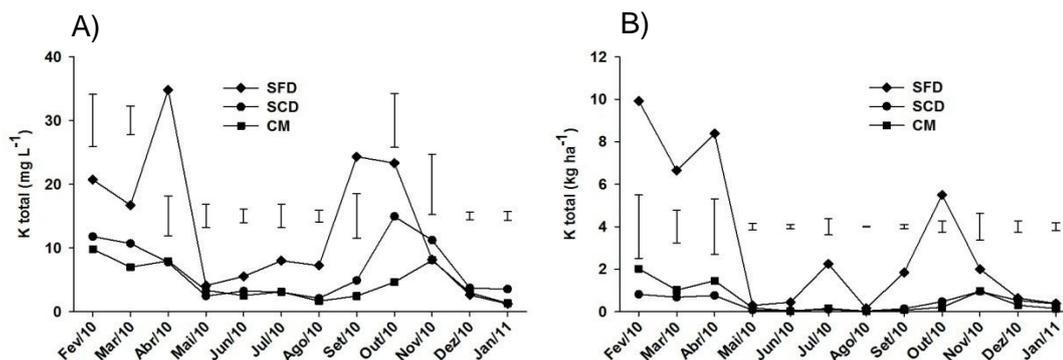


FIGURA 19. (A) CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO TOTAL; (B) PERDA DE POTÁSSIO TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

As concentrações de K solúvel não mostraram diferenças estatísticas significativas na maioria dos meses entre os tratamentos (FIGURA 20A), porém as oscilações observadas em todos eles demonstraram estreita relação com o momento das fertilizações que ocorreram nos meses de fevereiro, abril e novembro. Isso mostra que os escoamentos ocorridos após as fertilizações foram responsáveis por grande parte das perdas de K solúvel da área. Resultado semelhante é apresentado por Bertol *et al.* (2011), que percebeu aumentos nos teores de K solúvel após chuva simulada sobre área queimada, e diminuição nos testes seguintes, mostrando que da mesma forma que neste estudo, o K solúvel é perdido por escoamento nos primeiros eventos de chuva.

As máximas concentrações observadas nos meses de fevereiro, abril e novembro apresentaram valores de 8,5 mg L⁻¹, 2,7 mg L⁻¹ e 4,9 mg L⁻¹, respectivamente, e todas no tratamento CM. Assim, embora não diferindo significativamente, os maiores teores do nutriente no escoamento foram provenientes dos sistemas de preparo de solo mais conservacionistas. Várias pesquisas apresentam estes resultados, tais como Schick *et al.* (2000), Bertol *et al.* (2003), Bertol *et al.* (2007b).

As concentrações de K solúvel na água do escoamento (FIGURA 20A) foram maiores que as de fósforo (FIGURA 18A) em todos os meses de estudo, o que concorda com Guadagnin (2003) e Barbosa (2008) que obtiveram este resultado sob chuva simulada. Os sais de potássio apresentam na maioria das vezes alta solubilidade, o que pode elevar seus teores na solução do solo, fato porém que

depende do teor do anion presente. Essa característica possibilita maior mobilidade deste em comparação ao P, fato que da mesma forma propicia esgotamento com mais facilidade em função da absorção pelas plantas, como por processos erosivos (RAIJ, 2011).

As perdas mensais de K solúvel (FIGURA 20B) variaram em função da quantidade de água escoada em cada tratamento, possibilitando assim, maiores perdas em vários meses no tratamento SFD.

Nas perdas acumuladas de K solúvel do ano, as maiores foram observadas no SFD com $7,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valor este, 2,5 vezes maior que o apresentado pelo SCD e 1,3 vezes maior que o CM, porém sem demonstrar diferenças estatísticas significativas (TABELA 6).

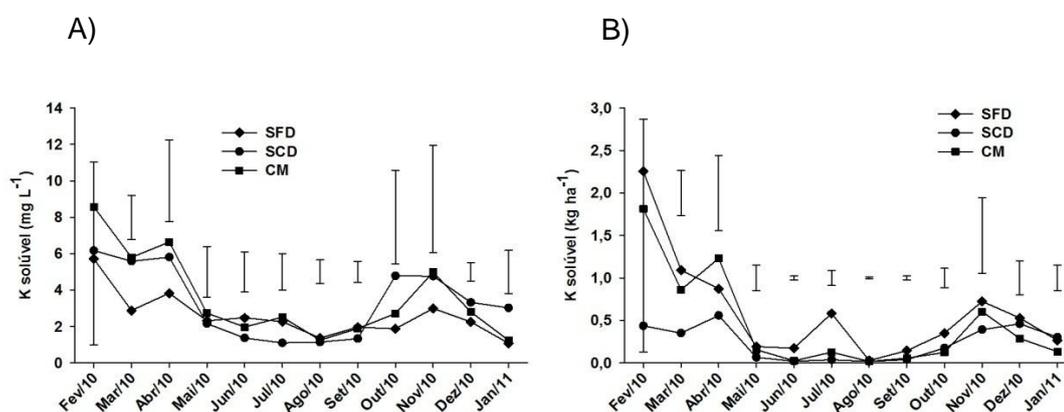


FIGURA 20. (A) CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO SOLÚVEL; (B) PERDA DE POTÁSSIO SOLÚVEL NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

4.3.6 Cálcio total e solúvel

Os teores de Cálcio total observados na água do escoamento foram parecidos entre os três tratamentos, não apresentando diferenças marcantes entre os sistemas com subsolagem mais intensiva e menos intensiva, o que concorda com resultados de SCHICK *et al.* (2000b). As concentrações observadas em cada tratamento ao longo dos 12 meses são apresentadas na FIGURA 21A.

As perdas mensais acumuladas de Ca total, por sua vez (FIGURA 21B), demonstraram clara diferença entre os tratamentos no decorrer do estudo, comportamento este impulsionado pelo maior escoamento no SFD (TABELA 3).

Assim, as perdas mensais possibilitaram no acumulado anual, superioridade no SFD, apresentando perda de $22,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Cálcio por ano, sendo este valor 3,8 vezes maior que o SCD e 2,8 maior que o CM. De uma forma geral, o Ca é perdido em grande quantidade nos sedimentos erodidos o que concorda com Dedecek *et al.* (1986), Bertol (1994) e Schick *et al.* (2000), fato que explica as maiores perdas totais no SFD, tratamento que apresentou também as maiores perdas de sedimentos (TABELA 3).

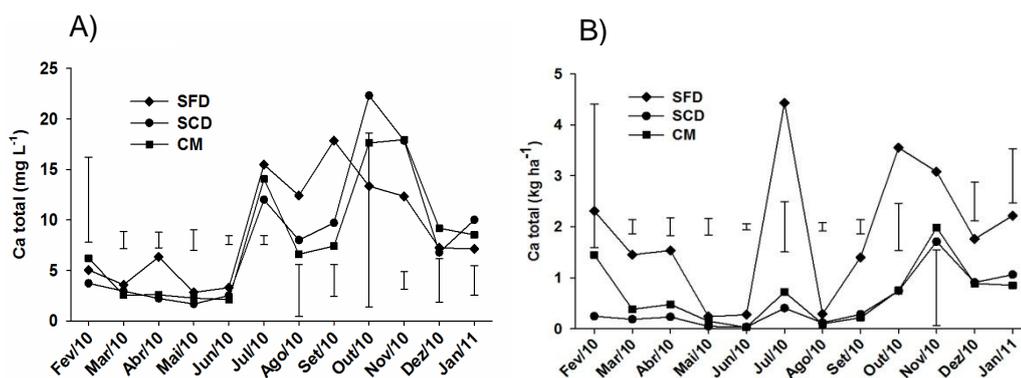


FIGURA 21. (A) CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO TOTAL; (B) PERDA DE CÁLCIO TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

Os teores de Ca solúvel perdidos por escoamento se mantiveram relativamente baixos e estáveis nos três sistemas de preparo, de fevereiro até julho (FIGURA 22A), possivelmente pelo baixo teor contido no solo (TABELA 1) e baixa mineralização do nutriente neste período. Estas concentrações, porém, sofreram considerável aumento a partir de agosto voltando a diminuir em dezembro, fato que pode ser relacionado à liberação do cálcio contido no solo como nos resíduos vegetais, principalmente nos galhos finos e serrapilheira.

Assim, as perdas de Cálcio solúvel acumuladas no sistema de preparo SFD foram de $8,79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ valor este 1,5 vezes maior que o CM e 2,4 vezes maior que o SCD (TABELA 6)

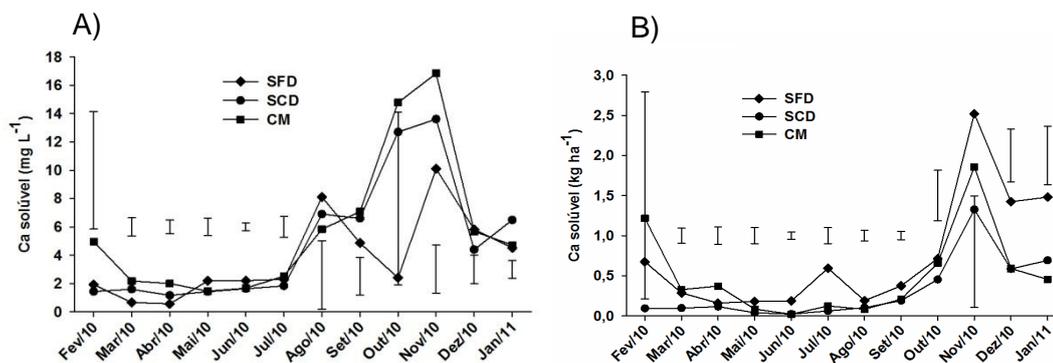


FIGURA 22. (A) CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO SOLÚVEL; (B) PERDA DE CÁLCIO SOLÚVEL NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

4.3.7 Magnésio total e solúvel

Os teores de Mg total na água do escoamento se mostraram baixos e constantes nos tratamentos SCD e CM durante todo o período (FIGURA 23A). Este comportamento pode ser relacionado às baixas perdas de água e principalmente sedimento que ocorreram nestes tratamentos, considerando que grande parte do Mg é perdido basicamente adsorvidos nos sedimentos da erosão (DEDECEK *et al.* 1986; BERTOL *et al.* 1994). O sistema SFD, porém, apresentou altos valores de concentração, onde o maior, de $42,6 \text{ mg L}^{-1}$ (FIGURA 23A), coincidiu com o pico de maior perda de sedimentos (FIGURA 10) o que corrobora com afirmações dos autores citados acima.

As perdas mensais de Mg total foram assim impulsionadas pelo escoamento e conseqüente perda de sedimentos de cada tratamento, o que proporcionou grande diferença mensal e, acumulada anual entre tratamentos, com $35 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no SFD, valor este 14,3 vezes maior que o SCD e, 19,3 vezes maior que o CM (TABELA 4).

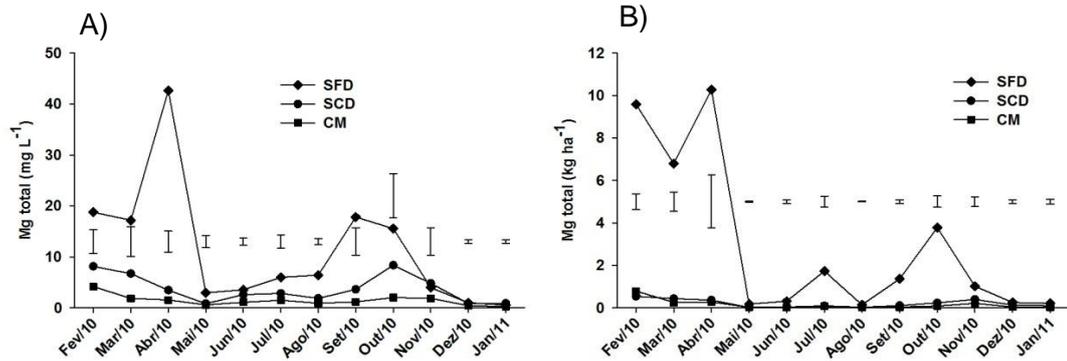


FIGURA 23. (A) CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO TOTAL (mg L^{-1}); (B) PERDA DE MAGNÉSIO TOTAL (kg ha^{-1}) NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

O Mg solúvel por sua vez demonstrou diferença no comportamento de suas concentrações na água do escoamento em relação a forma total, e com exceção de um pico no mês de outubro, no restante do período se manteve baixo e sem diferenças estatísticas significativas entre os sistemas testados (FIGURA 24A). Este pico observado em novembro pode ser explicado pelo efeito da fertilização de cobertura. Esta, por ser realizada com fertilizante NPK, o N que libera amônio, disponibiliza H^+ , prontamente incorporado ao solo em forma não dissociada, o que bloqueia as cargas negativas e favorece a liberação de bases em quantidades equivalentes as fornecidas. Isso faz com que nitrato que não foi adsorvido no solo fique na solução juntamente com os cátions que foram liberados, ficando assim disponíveis à percolação e sendo facilmente perdidos (RAIJ, 2011).

As perdas de Mg solúvel, porém, podem ser consideradas baixas, sendo que as maiores foram apresentadas pelo SFD com $0,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, quantidade esta 3,2 vezes maior que o SCD e 1,8 vezes maior que o CM (TABELA 6).

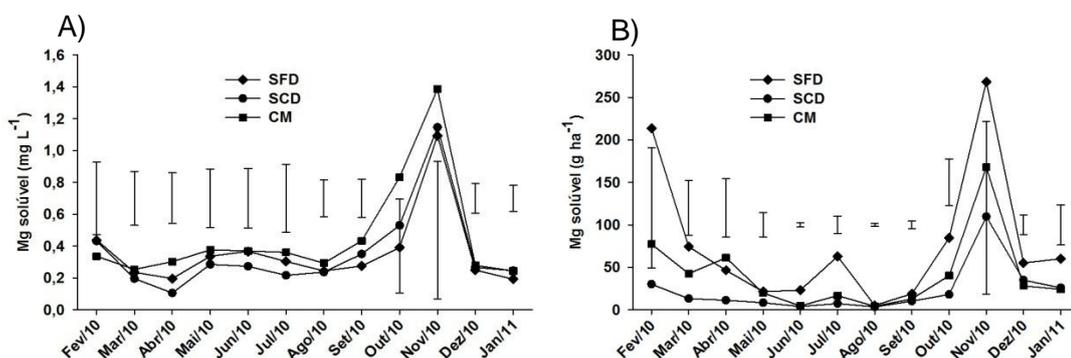


FIGURA 24. (A) CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO SOLÚVEL (mg L^{-1}); (B) PERDA DE MAGNÉSIO SOLÚVEL (g ha^{-1}) NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

4.4 CARBONO ORGÂNICO TOTAL

As maiores concentração de carbono orgânico com picos de $462,9 \text{ mg L}^{-1}$ e $257,5 \text{ mg L}^{-1}$ foram apresentadas nos meses de abril e novembro e ambos no sistema SFD (FIGURA 25A). Estes resultados já eram esperados neste período em função da maior perda de sedimentos que também ocorreu nestas mesmas fases no SFD (FIGURA 10A) o que indica que altas perdas de carbono orgânico são decorrentes as altas perdas de sedimentos, conforme também apresentado por Bertol *et al.* (2004) e Bertol *et al.* (2005).

Os sistemas SCD e CM apresentaram concentrações consideravelmente menores não diferindo entre elas estatisticamente, porém ambas, diferindo do SFD na maioria dos meses (FIGURA 25A). Graficamente, os teores de carbono orgânico total apresentados pelos três sistemas durante o ano seguiram praticamente a mesma tendência dos teores de sedimentos, o que reforça ainda mais o fato já citado de que o carbono orgânico possivelmente foi um dos constituintes nos sedimentos erodidos. Resultados que demonstraram este comportamento também são apresentados por Silva *et al.* (2005) e Schick *et al.* (2000).

As maiores perdas de carbono orgânico tanto mensal (FIGURA 25B) quanto anual (TABELA 4) foram demonstradas pelo tratamento SFD. Estas podem ser relacionadas a dois fatores, sendo o primeiro ao caráter de maior revolvimento do solo que ocorreu por meio da subsolagem e, o segundo, ao maior escoamento nesse tratamento. A subsolagem promoveu o revolvimento da camada superficial que, segundo Rangel e Silva (2007), é responsável pelo estoque das substâncias

orgânicas, basicamente folhas, galhos e outros fragmentos orgânicos. Ela também inferiu na camada sub-superficial, sendo esta a mais rica em matéria orgânica. Dessa forma, tanto o carbono orgânico composto pelos resíduos vegetais como o contido na matéria orgânica do solo puderam ser desagregados o que facilitou seu transporte pelo escoamento, que foi maior nesse tratamento.

Estudo de Faria *et al.* (2008) apresentam diminuição do carbono orgânico total do solo a profundidades de 0 a 20cm decorrentes do uso de sistemas de preparo mais intensivos para implantação de povoamentos de eucalipto. Os mesmos autores ainda apresentam tendência de aumento do teor de carbono orgânico total no solo em função do uso de sistemas de preparo mais conservacionistas, pois os mesmos possibilitam a diminuição das perdas, devido principalmente a baixa movimentação da camada superficial.

O tratamento SCD, embora também composto por subsolagem, possibilitou uma perda expressivamente menor de carbono orgânico do sistema, sendo esta equivalente a 10% das apresentadas pelo SFD (TABELA 4). Esse resultado obtido se deve em função da melhor eficiência que o tratamento proporcionou na contenção do escoamento que, por sua vez, foi possível em decorrência da realização do preparo perpendicular ao declive além do efeito proporcionado pelos resíduos (limpa-trilho) na estruturação dos patamares contra o escoamento.

No tratamento CM, foram observadas as menores perdas de carbono orgânico total, equivalendo a 6% das perdas do SFD (TABELA 4). Isso foi possível devido ao menor revolvimento do solo neste tratamento, como também pela menor movimentação dos resíduos na superfície do terreno, o que manteve o ambiente mais estável e possibilitando assim, menores perdas de sedimentos e de carbono orgânico total, concordando com Faria *et al.* (2008).

Pode-se dizer, em linhas gerais, que as duas formas mais intensivas de preparo de solo (aquelas com subsolagem) tenderam a aumentar as concentrações de carbono orgânico total no escoamento do que a menos intensiva, corroborando com resultados de Faria *et al.* (2008). Sistemas de preparo que proporcionaram as maiores perdas de solo proporcionaram também as maiores perdas de Carbono orgânico, seguindo a ordem SFD>SCD>CM.

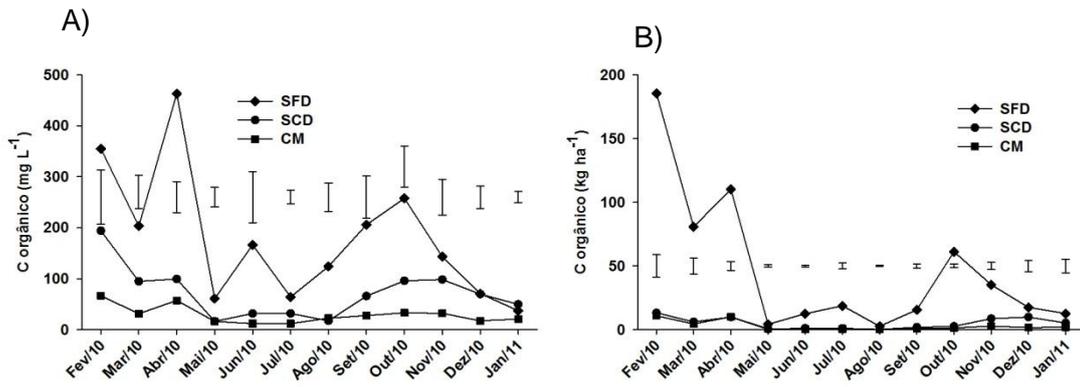


FIGURA 25. (A) CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL; (B) PERDA DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL NO ESCOAMENTO NO PERÍODO DE FEV/2010 A JAN/2011 NOS SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO (SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM CORTANDO O DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM)). BARRA INDICA A DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA A 5% PELO TESTE DE TUKEY.

5 CONCLUSÕES

O coveamento manual foi o sistema de preparo mais eficiente no controle das perdas de solo, sendo que o menor revolvimento do perfil e maior permanência de resíduos auxiliaram para este resultado.

O tratamento subsolagem cortando o declive foi o sistema mais eficiente no controle das perdas de água, possibilitando, também, as menores perdas de nutrientes solúveis no escoamento.

O sistema de subsolagem a favor do declive apresentou perdas de solo acima da tolerância admissível, além de uma alta perda de carbono orgânico, oferecendo riscos quanto à sustentabilidade do sistema produtivo em médio e longo prazo.

As maiores perdas de nutrientes na forma total e particulada foram apresentadas pelo sistema subsolagem a favor do declive, sendo que os picos destas, ocorreram nos mesmos meses que ocorreram as maiores perdas de sedimentos.

As fertilizações favoreceram o aumento das concentrações principalmente de N-NH_4^+ e K solúvel na água do escoamento dos três sistemas testados.

Nenhum dos tratamentos apresentou concentrações de N-NH_4^+ e N-NO_3^- na água do escoamento prejudiciais para saúde humana e ao meio ambiente, segundo parâmetros definidos por CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), mesmo após as fertilizações.

As maiores perdas de solo, nos três sistemas testados, foram observadas nos três primeiros meses do período de estudo, coincidentes com a realização do preparo de solo para plantio. Isso demonstra a fragilidade do solo após a realização das atividades relativas ao preparo de solo, reforçando a importância da utilização de sistemas de manejo de solo conservacionistas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuario estatístico da ABRAF**. Ano base 2011 / ABRAF. – Brasília: 2012. 150p.

ALISSON, F.E. Soil organic matter and its role in crop production. Amsterdam, ElsevierScientific,. **Developments in soil Science**, 3. 637 p. 1973.

AMARAL, A.J.; BERTOL, I.; COGO, N.P.; BARBOSA, F.T. Redução da erosão hídrica em três sistema de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, p.2145-2155, 2008.

ANON, Soil Erosion. **Science**, 69(1791), p.446-447. 1929.

APHA – American Public Health Association. **Standart Methods for the examination of water and wastewader**. 19. ed. Washington. 1995. 4-106; 4-113.

ASSOULINE, S. E BEN-HUR, M., Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. **Catena**, 66(3), p.211–220., 2006

ATLAS de Santa Catarina. Florianópolis, 1986. 176 p

BAPTISTA, J. **Métodos de preparo de solo e sua influência na erosão hídrica e desenvolvimento inicial de *Eucalyptus saligna* em um cambissolo háplico da depressão central do estado do rio grande do sul**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 73 p., 2008.

BAHIA, V. G.; CURTI, N.; CARMO, D.N; MARQUES, J. J. G. S. Fundamentos de erosão do solo (tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle). **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25-31, 1992.

BARBOSA, F. T. ; BERTOL, I. ; LUCIANO, R. V. ; GONZÁLEZ, A. P. ; VÁZQUEZ, E. V. Teor de nitrogênio solúvel na água de erosão hídrica em cultura de aveia e ervilhaca em três formas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 439-446, 2009.

BARROS, N. F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.& COSTA, L. M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.487-592.

BARROSO,S. H. A **Estudo dos solos da região metropolitana de fortaleza para aplicação na engenharia rodoviária**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. 253p., 2002

BARROWS, H.L. & KILMER, V.J. Plant nutrient losses from soils by water erosion. **Adv. Agron.**, 15:303-316, 1963.

BERTOL, I.; VASQUEZ, E. V.; GONSALEZ, A. P.; COGO. N. P.; LUCIANO, R. V.;FABIAN, E. L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão

hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(1), p.245–252, 2010

BERTOL, I; COGO, N. P; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A.J.. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 31:133-142, 2007a

BERTOL, I; ENGEL, F. L.; MAFRA, A.L.; BERTOL, O.J. & RITTER, S.R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentration in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. **Soil Tillage Res.**, 94:142-150, 2007b.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; GONZÁLEZ, A. P.; AMARAL, A. J.; BRIGNONI, L. F. Soil tillage, water erosion, and calcium, magnesium and organic carbon losses. **Sci. agric.** Piracicaba, vol.62, n.6, pp. 578-584., 2005,

BERTOL, I.; LEITE, F.L; GUADAGNIN, J.C; RITTER, S.R. Erosão hídrica em Nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, 28:1045-1054, 2004.

BERTOL, I. ; GUADAGNIN, J. C ; CASSOL, P. C. ; AMARAL, A. J. ; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 485-494, 2004.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C. ; ZAPAROLLI, A. L. V. ; CARRAFA, M. R.. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 60, n. 3, p. 581-586, 2003

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.545-552, 2002.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J., Soil loss tolerance by erosion for the principle soils of Santa Catarina state. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24(3), p.657–668., 2000.

BERTOL, I. Perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo de solo sob rotação de culturas. **Univ. & Des.**, 2:174-184, 1994.

BERTOL, I. Índices de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC) - 1º aproximação. **Pesq. Agrop. Bras., Brasília**, v28, n.4, p.515-521, abr. 1993

BERTOL, I. **Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e presença de cobertura vegetal por resíduo cultural de trigo.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1986.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N. & LAVORANTI, O.J. Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em sistema de semeadura direta. **R. Floresta**, 35:429-443, 2005.

BEUTLER, A.N. **Efeito da compactação do solo e do conteúdo de água nas características agrônômicas de soja e arroz de sequeiro**. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, 123p. (Tese de Doutorado), 2003.

BRITO, L. F. **Erosão hídrica de latossolo vermelho distrófico típico em área de pós plantio de eucalipto na região de Guanhaes (MG)**. 2004.78p. Dissertação de mestrado. escola superior de agricultura de Lavras, universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004

BURWELL, R.E.; TIMMONS, D.R. & HOLT, R.F. Nutrient transport in surface runoff as influenced by soil cover and seasonal periods. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 39:523-528, 1975.

CAVICHIOLO, S. R. **Perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica em diferentes métodos de preparo do solo em plantio de *Pinus taeda***. 2005. 139 p. (Tese de Doutorado) – UFPR, Curitiba, 2005.

CANTALICE, J. R. B. et al., 2005. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29(4), p.597–607.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: SBCS, 2007.1017 p. p. 375 – 470.

CARDOSO, D. P. **Avaliação da erosão pela mudança na superfície do solo em sistemas florestais**. Lavras, 2003. 106p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.

CASSOL, E. A. &LIMA, V.S., 2003. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38(1), p.117–124.

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, L.; BADELUCCI, M. P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramentode pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileirade Ciência do Solo**, v.26, p.705-712, 2002.

CASSOL, E. A. A experiência gaúcha no controle da erosão rural. In: SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DA EROSÃO, 2, 1981, São Paulo. **Anais**. p.149-81.

CHUQUIPIONDO, I. G. V. **Avaliação da estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de água: estudo de caso trecho de vazão reduzida campim branco I Araguari Minas Gerais**. Araguari, 195p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da UFMG., 2007.

COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solo para fins d controle de erosão hídrica. In: Anais CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, 1988, Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 251-262.

COGO, N.P.; LEVIEN, R. & SCHWARZ, R.A. Perda de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27 p.743-753, 2003.

COGO, N.P.; LEVIEN, R. & SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:743-753, 2003.

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Effect of crop residue, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47:1005-1008, 1983.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução n. 357** de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Diário oficial da União. Brasília, 2005.

COUTO, L.; DUBÉ, F. The status and practice of forestry in Brazil at the beginning of the 21 st century: A review. **The Forestry Chronicle**, 2001, 77, n.5, p. 817 -830.

DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.N.; LEMUNYON, J.L.. Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview. *Journal of Environmental Quality* 27: 251-257. 1998.

DANIEL, T. C.; SCHARPLEY, A. N.; EDWARDS, D. R.; WEDEPOHL, R. & LEMUNYON, J.L. Minimizing surface water eutrophication from agriculture by phosphorus management. **J. SoilWaterConserv.**, 40:30-38, 1994.

D'AGOSTINI, L. R. Erosão, **o problema mais que o processo**. Editora da UFSC, Florianópolis, 1999, 131p.

DULEY, F. L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Science Society of America. Proceedings**, v.4, p.60-64, 1939.

ELLISON, W.D., Some effects of raindrop erosion. **Agric. Eng.** 25 (131-136), 181-182. 1947

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FAO. **La erosion Del suelo por El agua: algunas medidas para La combatirla em lãs tierras de cultivo**. Roma, 1967, 207p.

FARIA, G. E; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F; SILVA, I. R & NEVES, J. C. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, dez. 2008.

FAVARETTO, N. **Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium related to water quality and plant nutrition**. West Lafayette: Purdue University, 2002. 150p. (Tese - Doutorado)

- FOSTER, G. R. Modelling the erosion processes. In: Hydrological modelling of small watersheds. **Amer. Soc. Agr. Eng.**, St. Joseph, p. 297-300, 1982.
- FREITAS, P. L. & CASTRO, A. F. Estimativas das perdas de solo e nutrientes por erosão no Estado do Paraná. **B. Inf. SBCS**, 8:43-52, 1983.
- GABRIELS, D. & MOLDENHAUER, W.C. Size distribution of eroded material from simulated rainfall: Effect over a range of texture. **SoilSci. Soc. Am. J.**, 42:954-958, 1978.
- GATTO, A. et al., 2003. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, 27(5), p.635–646.
- GAVA, J.L., Cultivo mínimo em solos de textura arenosa e média: áreas planas e suave onduladas. In: Gonçalves, J. L. M., Stape, J. L. (Eds.), **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba, IPEF, pp. 221–244. 2002.
- GONÇALVES, J. L. de M. & STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p.
- GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; WICHERT, M. C. P.; GAVA, J. L. Manejo de resíduos vegetais e preparo de solo. In: GONÇALVES, J. L. de M. & STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba, 2002^a. Cap. 3, p. 133-204. .
- GUADAGNIN, J. **Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico alumínico-léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. 2003. 103 p. (Dissertação de mestrado) – UDESC, Lages, 2003.
- HAYGARTH, P. M., e A. N. SHARPLEY. Terminology for phosphorus transfer. **J. Environ. Qual.** 29:10-15. 2000
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.145-154, 1999.
- KOHNKE, H. **Soilphysics**. New York, McGraw-Hill, 1968. 224p.
- LAL, R. & KIMBLE, J.M. Conservation tillage for carbon sequestration. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, 49:243-253, 1997.
- LEITE, D. **Erosão hídrica sob chuva simulada em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes manejos**. 2003. 100 p. (Dissertação de Mestrado) - UDESC, Lages, 2003.
- LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J. & RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada: I. Perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:1033-1044, 2004

LIMA, W. P. Escoamento superficial, perdas de solo e de nutrientes em microparcelas reflorestadas com eucalipto em solos arenosos no município de São Simão, SP. **IPEF**, Piracicaba, n.38, p.5-16, 1988.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Tolerância de perdas de terras para solos do Estado de São Paulo. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28)

LOGAN, T. J. 1982. Mechanisms for release of sediment-bound phosphate to water and the effects of agricultural land management on fluvial transport of particulate and dissolved phosphate. **Hydrobiol.** 92:519–530.

LUCIANO, R. V. **Erosão hídrica em três formas de semeadura de aveia e ervilhaca em um Cambissolo Húmico**. 2008. 84 p. (Dissertação de Mestrado) – UDESC, Lages, 2008.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos tabuleiros costeiros, ES**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras, 2005.

MARTINS, S. et al., 2003. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista brasileira de ciência do solo**, 27(3), p.395–403.

MCDOWELL, L.L & MCGREGOR, K.C. Plantnutrient losses in runoff from conservation tillage corn. **Soil Till. Res.**, 4:79-91, 1984.

McEVOY, T.J. Commonsense erosion control. **American Forests**, Washington, v.95, n.5/6, p. 32-40, mai./jun, 1989.

MCISAAC, G.F., HIRSCHI, M.C., MITCHELL, J.K., 1991. Nitrogen and phosphorus in eroded sediment from corn and soybean tillage systems. **J. Environ. Quality** 20, 663–670.

MENDONÇA, E. S.; SILVA MATOS, E. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107p.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; NIKOLOV, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. **Trans. of the ASAE**, St. Joseph, v. 18, n. 5, p. 905-911, 1975.

NEARING, M.A.; LANE, L.J. & LOPES, V.L Modelin soil erosion. In: LAL R. (Ed.) **Soil erosion research methods**. Chap. 6.p. 128 – 156, 1988.

OLSON, G.W. Archaeology: Lessons on future soil use: **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, p. 261–264.1981

OUYANG, W. et al. Soil erosion dynamics response to landscape pattern. **Science of The Total Environment**, 408(6), p.1358-1366. 2010

PIMENTEL, D., P. HEPPELRY, J. HANSON, R. SIEDEL, AND D. DOUDS. 2005. Organic and conventional farming systems: Environmental and economic issues. **Environmental Biology Forthcoming**.

PIONKE H. B e KUNISHIH. M .Phosphorus status and content of suspended sediment in a Pennsylvania watershed. **Soil Sci.** 153(6): 452-462(1992)

POTE D.H.; SHARPLEY, A.N.;MOORE, P.A., EDWARDS, D.R.; NICHOLS. D.J; Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. **SoilSci. Soc. Am.**j.60:855-859. 1996.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p

RANEY, W.A. & ZINGG, A.W. Principles of tillage. In: **USDA. Yearbook of Agriculture.** Washington. p.277-281. 1957.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicososa, v.31, p.1609- 1623, 2007.

RICHARDSON, C. W.; KING, K. W. Erosion and nutrient losses from zero tillage on a clay soil. **J. Agric. Eng. Res.**, v. 61, p. 81-86, 1995.

RUFINO, R.; BISCAIA, R. C. M. & MERTEN, G. Avaliação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: Terceira aproximação. **R. Bras. Ci. Solo**, 17:439-444, 1993.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 287-291, 1997.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. O. Erosão hídrica em Cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.24, n.2, p.427-436, 2000a.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.437-447, 2000b

SCHICK, J. **Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo.** Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 1999. 114p.

SHARPLEY, A. N.; MCDOWELL, R. W.; KLEINMAN, P. J. A. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. **Plant and Soil**, v.237, p.287-307, 2001.

SHARPLEY, A.N.; REKOLAINEN, S. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: TUNNEY, H.; CARTON, O.T.; BROOKES, P.C.; JOHNSTON, A.E. (Ed.) **Phosphorus loss from soil to water.** New York: CAB International, 1997. p.1-53

SHARPLEY, A. N., AND S. J. SMITH. 1994. Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. **Soil Tillage Research**30:33–48. 1994

SHARPLEY, A. N., S. J. SMITH and J. W. NANEY..Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use. **Journ. Agric. FoodChemistry** 35:812-817. 1987

SILVA, A.M; SILVA, M.L.N; LIMA, J.M.;AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Perda de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.12, p. 1223-1230, 2005.

SILVA, A. M. Rainfallerosivitymap for Brazil. **Catena**, 57:251- 259, 2004.

SMITH, D. D.; WISCHMEIER, W. H. Rainfall erosion., San Diego: Elsevier. p. 109-48. **Advances in Agronomy**, v. 14. 1962.

STRUDLEY, M. W., GREEN, T. R., ASCOUGH II, J. C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science., **Soil and Tillage Research**, Vol., No. 1,p. 4-48. 2008.

TEDESCO, M. J. GIANELLO, C., BISSANI, C. A. Análises de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (UFRGS - Departamento de Solos. **Boletim Técnico**, 5).

WICHERT, M.C.P. **Erosão hídrica e desenvolvimento inicial do *Eucalyptusgrandis* em um agissolo vermelho amarelo submetido a diferentes métodos de preparo de solo no Vale do Paraíba-SP**. 2005. 83p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

WISCHMEIER, W.H. Conservation tillage to control water erosion. In. National Conservation Tillage Conference, In: **Soil Conservation America Society**, Ankey, 1973.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58 p. **Agricultural Handbook**, 537.

WITHERS, P.J.A.; HARTIKAINEN, H.; BARBERIS, E.; FLYNN, N.J. & WARREN, G. P. The effect of soil phosphorus on particulate phosphorus in land runoff. **Eur. J. Soil Sci.**, 60:994-1004, 2009

VOLK, L., COGO, N. & STRECK, E., 2004.Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28, p.763–774

ZEN, S.; YONEZAWA, J. T.; FELDEBERG, J. E. Implantação de florestas no sistema de cultivo mínimo. **Anais** do 1o Seminário Sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas, p.65-72, 06 a 09 de Junho, Curitiba, 1995.

ZOLDAN JUNIOR, W. A. **Rugosidade superficial do solo ocasionada por uma escarificação aplicada após cinco e meio anos de uso de sistemas de manejo**

do solo, e suas relações com a erosividade de chuva e erosão hídrica em um NitossoloHáplico. 2006. 100 p. (Dissertação de Mestrado) - UDESC, Lages, 2006.

ANEXOS

ANEXO 1. CONCENTRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO NA FORMA TOTAL NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Mês	SFD	SCD	CM	SFD	SCD	CM
	CarbonoOrgânico			N Total		
	mg L ⁻¹					
Fev	355,3	193,97	66,64	27,41	18,81	6,92
Mar	203,1	94,85	31,35	20,03	10,82	3,08
Abr	462,9	99,25	57,40	5,21	1,63	2,20
Mai	61,1	16,50	16,26	3,32	1,07	0,87
Jun	166,5	31,67	12,00	9,96	3,77	1,27
Jul	64,2	31,67	12,00	4,52	2,70	1,15
Ago	124,1	17,33	22,67	5,90	2,00	1,23
Set	205,7	66,00	27,73	18,93	6,40	2,63
Out	257,5	95,77	33,13	7,89	5,62	3,57
Nov	143,0	98,23	32,06	8,35	6,81	2,94
Dez	70,9	69,81	17,55	2,95	2,97	1,34
Jan	37,3	49,77	20,75	1,89	2,28	0,58
Média	179,3	72,1	29,1	9,7	5,4	2,3
C.V (%)	71,8	69,1	58,9	83,4	93,7	75,4
	P Total			K Total		
	mg L ⁻¹					
Fev	0,28	0,34	0,34	20,70	11,79	9,80
Mar	0,32	0,34	0,20	16,71	10,70	7,00
Abr	1,31	0,23	0,22	34,81	7,73	7,96
Mai	0,10	0,11	0,09	4,09	2,46	3,35
Jun	0,07	0,05	0,08	5,53	3,23	2,53
Jul	0,04	0,21	0,12	7,99	3,07	3,10
Ago	0,55	0,18	0,10	7,24	2,10	1,67
Set	1,90	0,67	0,20	24,33	4,90	2,46
Out	0,91	0,96	0,24	23,34	14,94	4,64
Nov	0,75	0,25	0,20	8,19	11,21	8,07
Dez	0,38	0,46	0,10	2,62	3,72	2,98
Jan	0,08	0,14	0,02	1,23	3,54	1,34
Média	0,6	0,3	0,2	13,1	6,6	4,6
C.V (%)	103,2	79,5	56,3	81,5	67,2	62,8

ANEXO 2. CONCENTRAÇÕES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA FORMA TOTAL NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Mês	SFD	SCD	CM	SFD	SCD	CM
	CaTotal			Mg Total		
	mg L ⁻¹					
Fev	5,0	3,7	6,2	18,8	8,1	4,2
Mar	3,6	2,9	2,6	17,2	6,7	1,9
Abr	6,3	2,2	2,6	42,6	3,5	1,5
Mai	2,8	1,7	2,2	2,9	0,8	0,6
Jun	3,3	2,5	2,1	3,6	2,6	1,1
Jul	15,5	12,0	14,1	6,0	2,8	1,5
Ago	12,4	8,0	6,6	6,4	1,9	0,9
Set	17,9	9,7	7,4	17,8	3,6	1,2
Out	13,3	22,3	17,6	15,5	8,4	2,0
Nov	12,3	17,9	18,0	4,0	4,8	1,9
Dez	7,2	6,8	9,2	1,0	0,9	0,4
Jan	7,1	10,0	8,5	0,6	0,9	0,2
Média	8,9	8,3	8,1	11,4	3,8	1,5
C.V (%)	57,8	78,9	71,0	105,8	72,4	71,4

ANEXO 3. CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO, POTÁSSIO, N-NH₄⁺ E N-NO₃⁻ NA FORMA SOLÚVEL NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Mês	SFD	SCD	CM	SFD	SCD	CM
	mg L ⁻¹					
	Psolúvel			K solúvel		
Fev	0,062	0,060	0,040	5,71	6,17	8,58
Mar	0,052	0,035	0,071	2,89	5,58	5,79
Abr	0,019	0,005	0,014	3,83	5,81	6,63
Mai	0,052	0,021	0,035	2,32	2,16	2,74
Jun	0,036	0,020	0,023	2,48	1,37	1,97
Jul	0,031	0,140	0,068	2,26	1,10	2,52
Ago	0,014	0,007	0,007	1,37	1,14	1,25
Set	0,024	0,003	0,010	1,96	1,33	1,88
Out	0,008	0,004	0,003	1,88	4,78	2,71
Nov	0,013	0,007	0,015	2,99	4,76	4,99
Dez	0,006	0,003	0,010	2,25	3,32	2,79
Jan	0,011	0,011	0,012	1,08	3,02	1,24
Média	0,027	0,026	0,026	2,6	3,4	3,6
C.V (%)	70,5	150,1	91,1	47,4	58,2	65,4
	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃		
	mg L ⁻¹					
Fev	1,100	0,624	0,107	1,197	0,756	1,343
Mar	0,533	0,241	0,077	1,117	0,684	1,332
Abr	1,708	0,480	1,050	0,365	0,237	0,531
Mai	0,924	0,267	0,257	0,247	0,228	0,661
Jun	0,301	0,500	0,233	0,771	0,133	0,400
Jul	0,488	0,433	0,334	0,482	0,200	0,483
Ago	0,529	0,333	0,233	0,292	0,200	0,367
Set	0,913	0,733	0,508	0,478	0,633	0,670
Out	1,058	0,752	0,298	0,228	0,364	0,629
Nov	1,485	0,826	1,199	0,415	0,527	1,160
Dez	0,131	0,160	0,130	0,725	0,865	0,656
Jan	0,215	0,204	0,167	0,094	0,386	0,223
Média	0,782	0,463	0,383	0,5	0,4	0,7
C.V (%)	64,0	49,7	95,7	65,6	57,6	53,1

ANEXO 4. CONCENTRAÇÕES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA FORMA SOLÚVEL NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Mês	SFD	SCD	CM	SFD	SCD	CM
	mg L ⁻¹					
	Ca solúvel			Mg solúvel		
Fev	1,92	1,44	4,97	0,44	0,43	0,34
Mar	0,66	1,60	2,18	0,24	0,20	0,25
Abr	0,56	1,17	2,01	0,20	0,11	0,30
Mai	2,20	1,43	1,46	0,34	0,29	0,38
Jun	2,21	1,63	1,67	0,37	0,27	0,37
Jul	2,30	1,83	2,53	0,30	0,22	0,36
Ago	8,12	6,90	5,83	0,24	0,24	0,29
Set	4,86	6,60	7,08	0,27	0,35	0,43
Out	2,40	12,70	14,78	0,39	0,53	0,83
Nov	10,12	13,61	16,84	1,09	1,15	1,39
Dez	5,81	4,39	5,68	0,25	0,27	0,28
Jan	4,51	6,49	4,72	0,19	0,25	0,24
Média	3,805	4,982	5,812	0,4	0,4	0,5
C.V (%)	78,2	88,8	86,8	67,5	76,2	72,8