

GILMAR SOUZA PEREIRA

**ANÁLISE DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO EM PLANTIO
DE *Eucalyptus benthamii* NO MUNICIPIO DE OTÁCILIO
COSTA, SC.**

Dissertação apresentada ao curso de Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Ildegardis Bertol

**LAGES – SC
2014**

P436a Pereira, Gilmar Souza

Análise da erosão hídrica do solo em plantio de *Eucalyptus benthamii* no município de Otáclio Costa, SC. / Gilmar Souza Pereira. - Lages, 2014.

79 p.: il.; 21 cm

Orientador: Ildegardis Bertol

Bibliografia: p. 127-143

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

1. Erosão hídrica. 2. *Eucalyptus benthamii*.
3. Sistemas de manejo. I. Pereira, Gilmar Souza.
II. Bertol, Ildegardis. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título

CDD: 631.45 - 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do
CAV/ UDESC

GILMAR SOUZA PEREIRA

**ANÁLISE DA EROSÃO HÍDRICA DO SOLO EM PLANTIO
DE *Eucalyptus benthamii* NO MUNICIPIO DE OTÁCILIO
COSTA, SC.**

Dissertação apresentada ao curso de Engenharia Florestal como
requisito parcial para obtenção Do grau de Mestre em Engenharia
Florestal.

Banca examinadora:

Orientador: _____

Prof. Dr. Ildegaridis Bertol
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____

Prof. Dr. André Felipe Hass
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____

Prof. Dr. Rodrigo Vieira Luciano
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo: _____

Profa. Dra. Luciane Costa de Oliveira
Instituto Federal de Santa Catarina/Lages

Lages, SC, 13/07/2014

RESUMO

PEREIRA, Gilmar Souza. **Análise da erosão hídrica do solo em plantio de *Eucalyptus benthamii* no município de Otáclio Costa, SC.** 2014. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal Área: Ciências Florestais) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Lages, 2014.

A erosão hídrica é o principal fator de degradação e de redução da capacidade produtiva do solo. A implantação de uma floresta exige a adoção de operações de manejo que minimizem as perdas de solo e água por erosão hídrica e favoreçam o aumento da produtividade da cultura. O presente trabalho teve como objetivo quantificar os teores de nutrientes e de carbono orgânico no solo em função de adubação, bem como as perdas de solo, de água por erosão hídrica pluvial, durante o terceiro e o quarto ano de desenvolvimento do *Eucalyptus benthamii* (Pryor e Johnson 1971), sob três sistemas de preparo de solo, sendo: 1) preparo mecanizado em sulcos a favor do declive (PMD); 2) preparo mecanizado em sulcos perpendiculares ao declive (PMC); e 3) preparo semi-mecanizado por coveamento individual para cada planta (PC). A área experimental situa-se no município de Otáclio Costa, SC, Brasil, na Fazenda Gropp, de propriedade da empresa Klabin SA, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico húmbrico, com declividade média em torno de 14,8%, e altitude de 841 metros. O delineamento utilizado foi blocos ao acaso com três repetições, totalizando nove parcelas. Cada parcela possui dimensões de 12 x 24 m, com o maior comprimento no sentido do declive, com tanques para coleta de sedimentos em suspensão e água na parte inferior das parcelas. O plantio de *Eucaliptus benthamii* realizado sob preparo do solo na direção

do declive apresentou perdas de água e solo por erosão hídrica maiores do que nos tratamentos em que o plantio foi sob preparo em contorno e em covas individuais. O plantio de *Eucaliptus benthamii* realizado sob preparo do solo perpendicular ao declive, reduz as perdas de água e solo em comparação ao tratamento em que o plantio foi sob preparo do solo na direção do declive. As perdas de solo por erosão hídrica foram mais influenciadas do que as perdas de água, independentemente da forma de plantio adotada para o *Eucalyptus benthamii*. Os teores de fósforo e potássio na água da enxurrada apresentam teores semelhante aos da superfície do solo, embora em magnitudes menores na água, independentemente da forma de plantio. Os teores de fósforo, potássio e matéria orgânica na camada superficial do solo apresentam variação ao acaso, tanto do ponto de vista da posição de coleta das amostras do solo dentro das parcelas, quanto, do ponto de vista do momento de coleta, independentemente da forma de plantio de *Eucalyptus benthamii*. O tratamento com preparo solo e plantio de *Eucalyptus benthamii* em covas individuais se mostrou mais conservacionista do que as formas de plantio com subsolagem em direção ao declive e perpendicular ao declive, tanto em relação às perdas de água como de solo.

Palavras-chaves: Erosão hídrica. *Eucalyptus benthamii*. Sistemas de manejo.

ABSTRACT

PEREIRA, Gilmar Souza. **Analysis of soil erosion in *Eucalyptus benthamii* in the municipality of Otátilio Costa, SC.** 2014 .79 f. Dissertation (Master in Area Forestry: Forestry Sciences) - University of the State of Santa Catarina. Postgraduate Programme in Forest Sciences, Lages, 2014.

Water erosion is the main factor of degradation and reduction of the productive capacity of the soil. The implementation of a forest requires the adoption of management operations that minimize soil loss by erosion and water and encourage an increase in crop productivity. This study aimed to quantify the levels of nutrients and soil organic carbon due to fertilization, as well as the loss of soil water by rainfall erosion, during the third and fourth year of development *benthamii* *Eucalyptus* (Pryor and Johnson 1971), in three tillage systems, with: 1) Mechanical preparation in grooves in favor of the slope (LDCs); 2) Mechanical preparation perpendicular to the slope (PMC) grooves; and 3) semi-mechanized preparation for tillage to each individual plant (PC). The experimental area is located in the municipality of Otacílio Costa, SC, Brazil, Gropp Farm, owned by the company Klabin SA, in a Cambisol húmbrico Alítico, with a mean slope around 14.8%, and altitude of 841 meters . The design was a randomized block design with three replications, totaling nine installments. Each plot has dimensions of 12 x 24 m, with the longest length in the direction of the slope, with tanks for collecting suspended sediments and water at the bottom of the plots. The planting of *Eucalyptus benthamii* performed under tillage slope direction showed water losses and soil erosion by higher than in treatments where planting was under preparation and wrap in

individual graves. The planting of *Eucalyptus benthamii* performed under preparation perpendicular to the slope soil, reduces water loss and soil compared to the treatment where planting was under tillage slope direction. Soil losses by erosion were influenced more than the losses of water, regardless of planting method adopted for *Eucalyptus benthamii*. The phosphorus and potassium in runoff water feature similar to the soil surface levels, although in smaller magnitudes in the water, regardless of the form of planting. The phosphorus, potassium and organic matter in the topsoil have random variation, both from the point of view of the position of collecting soil samples within plots, as from the point of view of the time of collection, whichever way of *Eucalyptus benthamii*. Treatment with soil preparation and planting of *Eucalyptus benthamii* in individual pits was more conservationist than the Forms planting with subsoiling toward the slope and perpendicular to the slope, both in relation to water loss and soil.

Key-words: Water erosion. *Eucalyptus benthamii*. Management systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Perfil do solo CAMBISSOLO háplico alítico úmbrico com horizonte A proeminente na área experimental	38
Figura 2 – Unidade experimental após a instalação do experimento	42
Figura 3 – Tanques coletores de enxurrada após a instalação do experimento	43
Figura 4 – Procedimento de instalação dos coletores de tronco.....	47
Figura 5 – Coletor de escoamento de tronco instalado e em funcionamento	47
Figura 6 – Volume de chuva (m^3) e de escoamento de tronco (m^3) entre junho de 2012 a julho de 2013 nos tratamentos em um CAMBISSOLO álitico úmbrico.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Caracterização química e textura do solo CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico da área experimental.....	39
Tabela 2 -	Procedimentos de implantação dos tratamentos na área experimento em 2009.....	44
Tabela 3 -	Precipitação efetiva e interna durante o período do experimento.....	51-52
Tabela 4 -	Precipitação interna (mm) ocorrida em cada parcela, em cada estação do ano, entre junho de 2012 e julho de 2013.....	53
Tabela 5 -	Precipitação interna, perdas de água e solo no período entre junho de 2012 e julho de 2013 nos três tratamentos, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico.....	54
Tabela 6 -	Precipitação efetiva e perdas de água e solo nos tratamentos, em base estacional entre junho de 2012 e julho de 2013.....	57-58
Tabela 7 -	Índice pH e teor de Al trocável determinados em três momentos e em duas posições na parcela de cada tratamento, entre junho de 2012 e julho de 2013, na profundidade de 0 – 3 cm do solo, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico.....	61

Tabela 8 -	Teores de P, K e matéria orgânica determinados em três momentos e em duas posições na parcela de cada tratamento, entre junho de 2012 e julho de 2013, na camada de 0 – 30 cm do solo, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico.....	62
Tabela 9 -	Teores de Ca, Mg, P, K, Al e índice pH determinados antes e após a adubação na água da enxurrada, nos tratamentos entre junho de 2012 e julho de 2013, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico.....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
2.1 FLORESTAS PLANTADAS	17
2.1.1 Preparo do solo em áreas florestais	18
2.2 INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NO CICLO HIDROLÓGICO	21
2.3 EROSÃO Hídrica DO SOLO	22
2.3.1 Fatores que influenciam a erosão hídrica	24
2.3.2 Efeitos da erosão hídrica nas perdas de solo e água..	27
2.3.3 Efeitos da erosão hídrica nas perdas de nutrientes...	29
3 HIPÓTESES	33
4 OBJETIVOS	35
5 MATERIAL E MÉTODOS	37
5.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
5.2 RELEVO, ECOLOGIA E SOLOS	37
5.3 CLIMA E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	39
5.3.1 Histórico de uso e manejo da área experimental	40
5.4 INSTALAÇÃO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS ..	41
5.5 TRATAMENTOS	43
5.6 DETERMINAÇÕES	45
5.6.1 Volume de chuva	45
5.6.2 Volume de escoamento de tronco	46
5.6.3 Perdas de água e solo por erosão hídrica	48
5.6.4 Análise química do solo na camada superficial	49
5.6.5 Análise química da água da enxurrada.....	49
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
6.1 VOLUME DE CHUVA	51
6.2 PERDAS DE ÁGUA E SOLO	54
6.2.1 Perdas de água e solo em base anual	54
6.2.2 Perdas de água e soloem base estacional.....	57
6.2.3 Volume de água por escoamento de tronco	59

6.3 pH, TEORES DE ALUMÍNIO, FOSFÓRO, POTÁSSIO E MATÉRIA ORGÂNICA	60
6.4 pH, TEORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, FOSFÓRO, POTÁSSIO E ALUMÍNIO NA ÁGUA DA ENXURRADA.....	63
7 CONCLUSÕES.....	67
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A cobertura florestal apresenta estreita relação com o ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, interferindo no movimento da água em várias etapas do ciclo, inclusive nas saídas para a atmosfera e para os rios. Uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera, cujo processo é denominado de interceptação. O restante da chuva alcança a superfície na forma de gotejamento ou precipitação interna e como escoamento pelo tronco das árvores (ARCOVA, et al., 2003).

O estabelecimento de uma silvicultura adequada em empreendimentos florestais exige a adoção de operações de manejo que modifiquem e controlem alguns processos do ciclo hidrológico, minimizando as perdas por erosão hídrica e, ao mesmo tempo, favorecendo o aumento da produtividade da cultura. O preparo do solo, na fase de implantação da floresta, visa proporcionar melhores condições para o estabelecimento e desenvolvimento inicial das mudas. O revolvimento da camada superficial tem por objetivo facilitar a captação de água e a disponibilidade de nutrientes às plantas. Contudo, quanto mais intenso o preparo do solo, mais favorece as perdas de solo e água e de nutrientes por erosão hídrica, podendo comprometer os mananciais de água e reduzir o potencial produtivo do solo, ocasionando problemas ambientais como assoreamento e eutrofização de corpos d'água (PADILHA, 2013).

A erosão hídrica do solo é um processo físico que ocorre naturalmente, devido à ação da água das chuvas. Esse processo envolve a desagregação, o transporte e a deposição de partículas do solo. A erosão se torna mais intensa devido ao escoamento superficial influenciado pelos fatores do terreno, tornando-se mais grave com a ação antrópica no uso e manejo

do solo. Esse fenômeno tem preocupado governos e instituições devido ao impacto causado sobre os recursos naturais renováveis, essenciais à existência da população humana.

O preparo do solo é um fator de grande influência na produtividade da cultura e na conservação do solo e da água, podendo modificar significativamente o meio ambiente. Por isso, é necessário desenvolver pesquisas de erosão hídrica, também na área florestal, para fornecer recomendações adequadas de manejo do solo para o aumento da eficiência produtiva e ambiental nos empreendimentos.

O presente trabalho teve como objetivo quantificar os teores de nutrientes e de carbono orgânico no solo em função de adubação, e as perdas de solo e água e de nutrientes por erosão hídrica no terceiro e o quarto ano de desenvolvimento do *Eucalyptus benthamii*, sob três formas de plantio, na região do Planalto Serrano de Santa Catarina.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FLORESTAS PLANTADAS

Os plantios florestais no Brasil tiveram inicio no ano de 1903, quando o pioneiro Navarro de Andrade trouxe mudas de Eucalipto (*Eucalyptus spp.*), para os cerrados paulistas, para produção de madeira para dormentes das estradas de ferro. Quase 50 anos depois, em 1947, na região Sul as florestas de *Pinus* começaram a surgir (*Pinus spp.*), tornando-se uma alternativa viável para suprir a demanda de madeira. Aliada a isto, na década de 70 o governo lançou incentivos fiscais para o reflorestamento, ampliando consideravelmente o estoque de madeira nesses plantios.

Desde então, se investe em pesquisas sobre a silvicultura dessas espécies, consolidando seu uso em plantios comerciais. Atualmente, o Brasil detém as melhores tecnologias na silvicultura do eucalipto, atingindo cerca de 60 m³/ha de produtividade, em rotações de sete anos.

Além da alta lucratividade, as florestas plantadas exercem importantes funções como: diminuição da pressão sobre florestas nativas; reaproveitamento de terras degradadas pela agricultura; sequestro de carbono; proteção do solo e da água; ciclos de rotação mais curtos em relação aos países com clima temperado; e maior homogeneidade dos produtos facilitando a adequação de máquinas na indústria.

Segundo dados da ABRAF (2013), o Brasil possui 7,1 milhões de hectares de florestas plantadas, em sua maioria com espécies dos gêneros eucaliptos (76,6%) e *Pinus* (23,4%), sendo responsáveis pelo abastecimento de quase metade do mercado brasileiro de madeira. Já no setor de papel e celulose, a madeira utilizada como matéria-prima tem origem exclusivamente de florestas plantadas. Os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Santa Catarina, Mato Grosso

do Sul e Rio Grande do Sul se destacaram no cenário nacional como detentores de 87,1% da área total de plantios florestais. Embora haja grandes vantagens econômicas e alguns benefícios sociais decorrentes dos plantios dessas espécies, alguns setores da sociedade ainda acreditam que o eucalipto e o pinus causam efeitos negativos sobre a biodiversidade, como a exaustão de água e de nutrientes de plantas e outros aspectos negativos como a compactação e a erosão do solo.

Segundo a Comissão Nacional de Silvicultura e Agrossilvicultura da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o cultivo dessas espécies surge como uma alternativa de preservação da natureza, pois a sua presença diminui o impacto sobre as florestas nativas. Ao contrário do que se relatam, estes ecossistemas se aliados a um manejo conservacionista desempenham algumas funções ambientais, como redução da erosão, aumento da infiltração de água da chuva, amenização do clima e produção biomassa.

O mercado visa produzir conciliando a atividade econômica com a preservação do meio ambiente. Certo da crescente demanda por produtos de origem florestal tem como principal objetivo o cultivo sustentável de eucalipto e pinus, tornando-se uma opção de atividade rentável para produtores rurais e empresas, independentes do seu tamanho.

2.1.1 Preparo do solo em áreas florestais

O preparo de solo é a principal operação de manejo, do ponto de vista da conservação do solo e da erosão hídrica (RANEY & ZING 1957). A escolha do sistema de cultivo empregado tem o objetivo de modificar as propriedades físicas e 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). Ao se utilizar a

forma adequada, o preparo de solo aumenta a produtividade da floresta (GONÇALVES et al., 2002), porém, quando utilizado de forma inadequada, pode causar a degradação do solo.

O método de preparo de solo e a forma de plantio em áreas florestais no Brasil apresentam alta variabilidade. Os preparos são divididos em dois grupos, considerando o tipo: a) preparo convencional, com o revolvimento da camada superficial por meio de aração e gradagem; e b) preparo sob cultivo mínimo, com o revolvimento do solo somente nas linhas de plantio, mantendo parte ou a totalidade dos resíduos culturais sobre o solo. Considerando a forma de plantio, pode ser: a) plantio em sulcos abertos paralelamente ao declive do terreno; b) plantio em sulcos abertos na direção transversal ao declive principal; e c) plantio em covas abertas individualmente para cada planta.

O cultivo mínimo, por ser conservacionista de solo em relação ao preparo convencional, tem sido difundido e utilizado na exploração florestal nos últimos anos no Brasil, (GONÇALVES et. al 2002; MARTINS et al, 2003; BRITO, 2004; PIRES, 2004; MARTINS, 2005). No entanto, apesar das vantagens deste sistema, utiliza-se costumeiramente o plantio em linhas paralelas ao declive. Pesquisas demonstram que o plantio em linhas paralelas ao declive, nas áreas agrícolas, resulta em perdas de solo até duas vezes maiores do que o plantio em contorno (WISCHMEIER & SMITH, 1978; LUCIANO et al, 2009) em relação ao preparo convencional, (COGO, 1981; BERTOL, 1995; LEITE, 2003).

De modo geral, os ecossistemas que abrigam plantações florestais, são muito sensíveis à perturbação antrópica, sendo isto potencializado pelas condições climáticas extremas (alto índice pluviométrico e térmico), relevo acidentado, solos quimicamente pobres, baixa biodiversidade dos ecossistemas e emprego de práticas impróprias de manejo do solo.

Diante o exposto, e levando-se em consideração a real importância que o preparo do solo e a forma de plantio têm em

relação à erosão, o manejo sustentado do solo se torna uma questão estratégica do ponto de vista ambiental e econômico. Com isso, busca-se minimizar a intensidade de preparo e a execução do plantio em linhas perpendiculares ao sentido do declive.

O preparo que engloba o menor revolvimento do solo, a permanência de resíduos na superfície, evitando as perdas de partículas, proporcionam melhores condições físicas do solo e menor taxa de mineralização da matéria orgânica (RAIJ, 2011), favorecendo a estabilidade dos agregados (BERTOL *et al.*, 2004).

Em relação aos implementos utilizados nas áreas florestais sob cultivo mínimo, os 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 ou menos planas e em suave onduladas, e o coveador mecânico usado em áreas com impedimento físico que dificulta ou impossibilita o trabalho com subsoladores (GONÇALVES *et al.*, 2002). Estes equipamentos são 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.

No preparo manual, o revolvimento do solo é realizado com picaretas e basicamente em locais de difícil acesso ou locais com impedimento físico, proporcionando profundidades 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.

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 maior facilidade na atividade de subsolagem, evitando o embuchamento dos implementos, permitindo melhor contato entre a haste subsoladora e o solo, 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).

A preocupação das empresas do setor florestal em adotar práticas de manejo ambientalmente corretas é crescente, considerando-se que o solo é um importante componente na produção de madeira. Porém, a escolha dessas práticas é complexa, pois depende da análise minuciosa de vários fatores do meio físico e do material genético, exigindo conhecimento das condições do solo, da planta e também do clima para compreender todas as interações existentes (CAVICHIOLI, 2005).

Não obstante, a análise da viabilidade econômica também se faz necessária, pois, quando aliada a eficiência técnica, garante a sustentabilidade da produção e o incremento da produtividade florestal.

2.2 INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NO CICLO HIDROLÓGICO

A cobertura florestal apresenta estreita relação com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, interferindo no movimento da água em vários compartimentos do sistema, inclusive nas saídas para a atmosfera e para os rios. Uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá a interceptação e, devido a ela, o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera. O restante da chuva alcança o piso como gotejamento ou precipitação interna e como fluxo que

escoa pelo tronco das árvores. A soma desses dois fluxos hídricos que penetram no dossel da floresta, é responsável pela água do solo, pela absorção através das raízes, pela transpiração das plantas e, também, pela alimentação das nascentes, Leopoldo & Conte, (1985). Por outro lado, a água evaporada da superfície das folhas e dos ramos das copas das árvores contribui para a evapotranspiração.

A interceptação da água das chuvas como componente do balanço hídrico, em regiões de regime de chuvas pouco intensas, porém contínuas e freqüentes, pode representar a maior parcela do consumo total de água por uma floresta, suplantando a transpiração pelas árvores (LIMA, 1993). Conforme Lima e Nicolielo (1983), as estimativas da evapotranspiração incorrem em erros se não for levada em conta a participação das perdas reais de interceptação, uma vez que a evaporação da água interceptada ocorre a taxas maiores que a da transpiração.

Os volumes de água envolvidas na precipitação interna, no escoamento pelo tronco e na interceptação são variáveis e dependem de fatores relacionados tanto com a vegetação quanto com as condições climáticas nas quais a floresta está inserida (LEOPOLDO e CONTE, 1985; LIMA, 1993). Erros experimentais também influenciam os resultados encontrados nos estudos destes processos (CASTRO et al., 1983), dificultando a comparação de resultados entre os locais. Em termos genéricos, pode-se dizer que em florestas tropicais de 75 a 96% da precipitação transforma-se em precipitação interna, entre 1 e 2% é convertida em escoamento pelo tronco e entre 4,5 e 24% é interceptada pelas copas das árvores (BRUIJNZEEL, 1990).

2.3 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

A erosão hídrica é considerada um problema no setor agrícola e florestal, pois é responsável pelo empobrecimento

dos solos e induz à demanda de investimentos em nutrientes para que se alcance a produtividade esperada (FREITAS e CASTRO, 1983; BERTOL et al., 2007a). Além dos obstáculos financeiros, a perda de nutrientes do sistema produtivo pode causar sérios passivos ambientais, relacionados principalmente à contaminação de mananciais devido ao processo de deposição, comprometendo a qualidade das águas e a vida aquática (DANIEL et al., 1994; FAVARETTO, 2002; SHARPLEY et al., 1987).

A erosão hídrica do solo ocorre em três fases, ou seja, a desagregação, transporte e deposição. Na erosão hídrica pluvial, o processo é iniciado pelo impacto das gotas da chuva no solo descoberto e seu posterior escoamento superficial, ocasionando a separação das partículas de solo de sua massa original, seu transporte e deposição (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Vale lembrar que as fases que compõem o processo de erosão hídrica podem ocorrer simultaneamente, o que torna ainda mais complexa sua distinção.

A primeira fase do processo de erosão hídrica, a desagregação, ocorre pelo impacto das gotas de chuva sob o solo, que leva a separação de partículas de solo da massa de solo, gerando a diminuição da porosidade, compactando a superfície e formando o selamento superficial que, por sua vez, reduz a infiltração de água no solo (DULEY, 1939). Essa condição desencadeia a segunda fase do processo, o transporte, que é o carregamento de partículas de solo pela água de escoamento superficial, ao longo do terreno, resultando na deposição (WISCHMEIER e SMITH, 1978), quando a capacidade de transporte diminui (HUDSON, 1995).

O processo de erosão hídrica pode ocorrer de duas formas distintas de acordo a sua grandeza e forma de ocorrência, relacionadas ao tipo de escoamento, sendo elas a erosão em sulcos e a erosão entre sulcos MEYER et al., (1975). A erosão em sulcos pode ser definida como a segunda fase do processo erosivo e caracterizando-se pela mudança do tipo de

escoamento, de difuso na fase inicial, á concentrado em sulcos na segunda fase (CANTALICE et al., 2005). Ao ocorrer esta segunda fase, as lâminas superficiais de escoamento raso se juntam 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 de transportar o solo (GABRIELS e MOLDENHAUER, 1978; CANTALICE et al., 2005).

Já a erosão entre sulcos, carrega partículas de menor diâmetro. Seu início 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., 2007). O transporte 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, e deste modo considerado como potencialmente poluidor (FOSTER, 1992).

2.3.1 Fatores que influenciam a erosão hídrica

A erosão hídrica do solo é influenciada por vários fatores que, segundo (WISCHMEIER E SMITH 1978), estão relacionados às condições climáticas, características intrínsecas do solo, topografia, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas.

Com relação às características climáticas, a pluviometria (quantidade, intensidade, duração e distribuição das chuvas), faz com que a chuva seja o fator ativo na erosão (WISCHMEIER E SMITH 1978), já que detém a energia de desagregação e transporte e, por isso, determinaativamente a magnitude do processo erosivo. Assim, o estudo das

características da chuva mensal, e de forma regionalizada, é importante no planejamento da conservação do solo (BERTOL, 1993).

O solo, o fator passivo na erosão, apresenta grande diferença quanto à erodibilidade que, segundo WISCHMEIER E SMITH (1978), é a susceptibilidade do solo aos efeitos da chuva, onde as partículas são desprendidas e transportadas pela influência do escoamento superficial. A resistência do solo é afetada por fatores que influenciam a sua desagregação e transporte e a infiltração de água (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A desagregação é influenciada pela textura, tipo de argila, teor de matéria orgânica, teores de alumínio, ferro, cálcio, magnésio e sódio, e quantidade de água no solo. O transporte, por sua vez, é afetado pelo tamanho e densidade das partículas desagregadas e a infiltração de água no solo pelas características dos poros, tais como, tamanho, continuidade, estabilidade e pelo teor de água no solo.

O fator topografia está relacionado à inclinação do terreno, comprimento do declive e forma do declive, considerado importante nas perdas de solo e água por erosão hídrica devido a influencia do relevo na energia do escoamento, principalmente (WISCHMEIER e SMITH, 1978). À medida que aumenta a declividade e/ou o comprimento do declive, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada, diminuindo a infiltração de água no solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978), favorecendo o transporte das partículas pela água, e fomentando o poder de desagregação por ação de cisalhamento (COGO *et al.*, 2003).

O manejo do solo, de forma geral, altera a cobertura vegetal e as características físicas do solo, seja pelo preparo de solo ou pelas demais operações de seu manejo (AMARAL et al., 2008). O preparo mecânico do solo, aliado a retirada dos resíduos culturais, deixando a superfície descoberta, tende a incrementar a quantidade e diâmetro de sedimentos desagregados, aumentando assim a disponibilização dos

mesmos para o transporte pelo escoamento (BERTOL et al., 2010). Pode-se considerar, em linhas gerais, que as formas mais intensivas de preparo de solo em áreas florestais tendem a aumentar a concentração de sedimentos, nutrientes e carbono orgânico no escoamento em relação às menos intensivas (MAGRO, 2008).

A cobertura do solo por resíduos vegetais é o fator mais importante na diminuição da erosão (Hudson 1995), pois age de forma a interceptar as gotas de chuva evitando seu impacto diretamente sobre o solo, dissipando a energia cinética e reduzindo o grau de desagregação (CASSOL, 1981; FOSTER, 1982 e COGO et al., 2003). A cobertura vegetal atua também na filtração e retenção de parte dos sedimentos suspensos na água da enxurrada, e na redução da velocidade do escoamento devido à formação de barreiras físico-mecânicas (VOLK et al., 2004). Também, evita o selamento superficial, fenômeno que contribui para a diminuição da infiltração de água no solo e aumento da erosão (ASSOULINE e BEN-HUR, 2006).

A preservação dos resíduos culturais auxilia também na diminuição da amplitude térmica na camada superficial, mantendo a umidade do solo mais homogênia (DULEY, 1939). Esse processo influencia positivamente as atividades de microorganismos, onde a decomposição da matéria orgânica dos resíduos aumenta a taxa de liberação dos nutrientes armazenados na biomassa, auxiliando a ciclagem biogeoquímica de nutrientes (GONÇALVES et al., 2002).

A cobertura do solo também pode ser realizada pelas plantas. Embora seja menos efetiva do que os resíduos vegetais no nível do solo, as plantas dissipam a energia das gotas de chuva pelas folhas, aumenta a estabilidade do solo pela ação do seu sistema radicular e, com isso, aumenta a resistência do solo à erosão (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Por fim, as práticas conservacionistas têm papel fundamental na diminuição da erosão, pois, como premissas, reduzem a velocidade e a capacidade de transporte do

escoamento (FOSTER, 1982). As práticas conservacionistas de caráter mecânico são aquelas implantadas por algum meio de preparo mecânico de solo, quais sejam a semeadura/plantio em contorno, cultivo em faixas com rotação de culturas e terraceamento agrícola, que por sua vez. Esta, por sua vez, é a prática conservacionista de suporte mais eficiente dentre as três, sendo capaz de armazenar, ou drenar, toda a água de escoamento superficial, retendo os sedimentos resultantes de uma chuva crítica. Além disso, o terraço efetivamente reduz o comprimento do declive (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Segundo Wischmeier & Smith (1978), o uso da prática conservacionista “cultivo em contorno” reduz a erosão em 50 %, enquanto, associada ao cultivo em faixas com rotação de culturas, essa eficácia aumenta para 75 %, quando comparadas a áreas sem estas práticas.

O conhecimento dos fatores que causam a erosão hídrica pluvial do solo auxilia eficientemente no planejamento do uso e preparo do solo de maneira conservacionista, permitindo aliar produtividade e sustentabilidade. Daí a importância delas serem adequadamente avaliadas pela pesquisa acadêmica.

2.3.2 Efeito da erosão hídrica nas perdas de solo e água

A erosão mais comum e mais diretamente associada à silvicultura é a erosão hídrica que causa a perda de grandes quantidades de solo e água. A determinação das perdas de solo é fundamental para avaliação das práticas de manejo adotadas (NEARING et al., 1988), sendo que, para isso torna-se necessário o conhecimento da tolerância admitida para cada classe de solo em cada região, auxiliando na escolha do método de manejo mais adequado (BERTOL e ALMEIDA, 2000).

A perda de solo “aceitável”, a qual é o limite de perda que ainda permite manter alto nível de produtividade das

culturas, de forma econômica (WISCHMEIER e SMITH, 1978), varia de 1,88 e 14,5 Mg/ha/ano para solos Litólicos e Nitossolos, respectivamente. Segundo a FAO (1967), as perdas de solo admitidas, em nível mundial, variam de 2 e 12,5 Mg/ha/ano para solos rastos com impedimentos e profundos e bem drenados, respectivamente.

Em florestas, Martins et al. (2003), estudando as principais classes de solos florestais, em Aracruz-ES, encontrou perdas de solo que variaram, em média, de 0,68, 0,60 e 1,05 Mg/ha/ano para Argissolo Amarelo textura média, Plintossolo Háplico e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso, respectivamente.

Perdas anuais de 12,9 Mg/ha/ano e 2,4 Mg/ha/ano, foram encontradas por Wichert (2005), 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. Em estudo realizado em Itaiópolis-SC, em planto de *Pinus taeda*, Cavichiolo (2005), obteve perdas de solo na ordem de 3,5 Mg/ha/ano e 1,6 Mg/ha/ano 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% e ainda. Baptista (2008), obteve perdas de 11,05 e 0,16 Mg/ha/ano, em diferentes formas de manejo para subsolagem a favor do declive sem resíduos e coveamento manual, respectivamente, em Arroio dos Ratos-RS.

Os estudos relacionados mostram que sistemas de preparo com menor revolvimento do solo, fundamentalmente os realizados por coveamento manual, citados por Wichert (2005), Cavichiolo (2005) e Baptista (2008), proporcionam menores perdas de solo, sendo esta prática a mais eficiente em relação às demais formas de preparo de solo. A forma de preparo reduzido do solo e a cobertura por resíduos vegetais na

superfície propiciam melhores condições físicas ao solo e menor taxa de mineralização da matéria orgânica (RAIJ, 2011), favorecendo com isso, a estabilidade dos agregados (BERTOL et al., 2004). Contudo, apesar dos sistemas de pregar com menor revolvimento acarretarem em menores perdas de solo, o mesmo muitas vezes não ocorre com as perdas de água (AMARAL et al., 2008). Isto acontece, porque, cada solo tem sua capacidade máxima de absorção e armazenamento de água, posto que, após saturado, o excesso escoa independentemente do pregar realizado (KOHNKE, 1968).

Mediante a grande variabilidade de perdas de solo em relação a formas distintas de tipo, uso e manejo do solo, e de padrão climático relacionado com a região, se torna necessário o estudo individualizado da erosão para cada região produtora para se obter uma determinação mais exata das perdas de água e solo para uma ação eficiente de controle das mesmas.

2.3.3 Efeito da erosão hídrica nas perdas de nutrientes

As perdas de nutrientes das plantas, como N, P, K, Ca e Mg, através da erosão hídrica, são as principais causas da diminuição da produtividade das culturas, sendo também responsável pelo aumento nos custos de produção (SCHICK et al., 2000; PIMENTEL et al., 2005; BERTOL et al., 2007).

Em função das perdas de nutrientes, se faz necessário realizar a reposição dos mesmos que é feita por meio do uso de fertilizantes. Porém, na grande maioria das vezes, o processo erosivo ainda continua agindo, carreando os sedimentos ricos em nutrientes, sendo estes potencialmente contaminadores de cursos d'água, principalmente pela carga de P e N adsorvidos.

Os macronutrientes P e N são de extrema importância para o desenvolvimento vegetal, mas, quando carregados pela erosão, 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).

As perdas de nutrientes são diretamente relacionadas à sua concentração no solo e às formas de fertilização utilizadas, sendo estas influenciadas pelos sistemas de preparo. A intensidade do preparo do solo influencia o volume do escoamento, possibilitando o transporte dos elementos químicos tanto adsorvidos às partículas como solúveis na água da enxurrada (RICHARDSON e KING, 1995).

A perda de nutrientes pela erosão hídrica gera o empobrecimento do solo, ocasionado diminuição do potencial produtivo da área erodida, perdas econômicas e a contaminação da região onde serão depositados (SCHICK et al., 2000).

Existe uma relação direta entre o teor de nutrientes presentes nos sedimentos da enxurrada e o teor de nutrientes do solo (FAVARETTO, 2002). A frequência e quantidade de adubação aplicada ao solo, associadas a um menor revolvimento do mesmo, evita seu transporte pelo escoamento superficial e melhora a qualidade do solo.

O preparo acelera o nível de mineralização dos nutrientes contidos nos resíduos florestais e na matéria orgânica, e, quando esta liberação é maior do que a capacidade de absorção pelas plantas, os mesmos são perdidos por erosão (CASTRO, 1985). Já a intensidade do preparo influencia o aumento do volume de água, o que facilita o transporte de partículas de solo, carregando os elementos químicos nelas adsorvidos (RICHARDSON e KING, 1995).

Métodos intensos de preparo reduzem a biota do solo, aumentando os riscos de erosão hídrica e, em longo prazo, causando danos ao dossel, embora possam favorecer o desenvolvimento inicial da cultura, devido a maior disponibilização dos nutrientes em curto prazo.

As perdas de nutrientes podem ser expressas de duas formas: pelo teor do elemento em suspensão na água do

escoamento, em mg/ L, e pela quantidade perdida de nutriente por unidade de área, em kg ha⁻¹ ou Mg ha⁻¹.

A quantificação da perda de carbono orgânico do solo é um bom indicativo para avaliar os danos provocados pelo sistema de manejo, pois o carbono pode representar até 58 % da matéria orgânica presente no solo (MENDONÇA e SILVA MATOS, 2005).

Solos com elevado teor de matéria orgânica são potencialmente mais produtivos (BARROS E COMERFORD, 2002). Contudo, a presença de matéria orgânica na superfície minimiza o processo erosivo (ALISSON, 1973).

3 HIPÓTESES

1. O plantio de *Eucalyptus benthamii* em sulcos abertos por subsolador na direção paralela ao declive apresenta perdas de água e solo por erosão hídrica maior do que nos plantios feitos em sulcos transversais ao declive e em covas.
2. As perdas de água e solo por erosão hídrica em plantio de *Eucalyptus benthamii* se relacionam positivamente com o volume de chuvas erosivas, independentemente do sistema de preparo do solo e da forma de plantio.
3. Há diferenças no impacto da erosão hídrica nos regimes de chuva estacionais outono/inverno e primavera/verão
4. As perdas de solo por erosão hídrica são mais influenciadas em magnitude maior do que as perdas de água pelo sistema de preparo do solo e pela forma de plantio de *Eucalyptus benthami*.
5. Os teores de nutrientes de plantas e de carbono orgânico contidos na enxurrada da erosão hídrica se relacionam positivamente com os teores contidos no solo na sua camada superficial, independentemente do sistema de preparo do solo e da forma de plantio de *Eucalyptus benthami*.
6. Os processos hidrológicos escoamento de troco e precipitação efetiva não são afetados pela forma de plantio do *Eucalyptus benthamii*.

4 OBJETIVOS

1. Quantificar as perdas de água, solo, os teores de nutrientes de plantas e matéria orgânica na enxurrada sob três métodos de preparo do solo e de plantio de *Eucalyptus benthamii*.
2. Comparar as perdas de água e solo por erosão hídrica ocorridas no verão com as ocorridas no inverno e relacionar as referidas perdas com o volume de chuvas erosivas, sob três métodos preparo do solo e de plantio de *Eucalyptus benthamii*.
3. Quantificar os teores de nutrientes de plantas e de matéria orgânica na camada superficial do solo e na enxurrada, relacionar os referidos teores contidos na enxurrada com os do solo.
4. Quantificar alguns processos hidrológicos de superfície sob três sistemas de preparo do solo e de plantio de *Eucalyptus benthamii*.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma área florestal produtiva da Fazenda Gropp, pertencente à empresa Klabin S.A, que se localiza no município de Otacílio Costa, SC, região do Planalto Serrano Catarinense (ver Figura 2), com coordenadas W 50°05'14" e S 27°33'33" e altitude de 841 m do nível do mar.

5.2 RELEVO, GEOLOGIA E SOLO

O relevo da região varia de ondulado suave a ondulado e faz parte da unidade geomorfológica do planalto de Lages, o qual é drenado pelos Rios Canoas e Pelotas (ATLAS, 1986).

O município de Otacílio Costa está inserido na formação geológica do grupo Passa Dois, do período Permiano da era Paleozóica. Na região, ocorre a formação dos Rios do Rastro, Terezina e Serra Alta, com ocorrência de material composto de depósitos marinhos representados por alternâncias de argilitos, folhelhos, siltitos e arenitos (ATLAS, 1986).

O solo na área experimental é um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico, segundo EMBRAPA (2013). A classificação do perfil foi realizada pela equipe técnica da Empresa Klabin S.A. (ver Figura 1).

Figura 1 - Perfil do solo CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico com horizonte A proeminente, na área experimental.



Fonte: (Magro, 2012).

Os Cambisólos Háplicos Alíticos podem ser classificados no terceiro nível categórico do SiBCS como solos de baixa fertilidade, teores muito elevados de alumínio afetando significativamente o desenvolvimento de raízes; atividade de argila igual ou maior do que 20 cmol/Kg de argila.

A declividade média na área experimental é de 14,8% em uma encosta com cerca de 50 m de comprimento de rampa, com exposição face norte. Nas unidades experimentais, a declividade média na rampa de 24 metros é de 16,3% (ver Tabela 1).

TABELA 1 - Caracterização química e granulometria do solo CAMBISSOLO Háplico Alítico latossólico da área experimental.

Profund.	pH _{H2O}	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H	Argila	Areia grossa	Areia fina	Silte
cm		...mgdm ³cmol _c dm ³g kg ⁻¹ ...		
0 - 20	3,8	3,2	31	4,7	7,6	1,1	0,8	49	340	189	234	237
20 - 40	4,0	3,9	21	3,7	7,1	1,0	0,7	46	345	246	184	225

Fonte: (Magro, 2012).

5.3 CLIMA E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Cfb, com temperatura máxima de 35°C e mínima de -5°C, com frequência de geadas no inverno. A precipitação pluviométrica média anual na região é de 1.400 mm, sendo bem distribuída ao longo do ano não ocorrendo normalmente períodos de déficit hídrico.

O volume de chuva precipitado sobre as parcelas durante o período experimental foi obtido por meio dos dados coletados de eventos de chuva individual ou acumulados, em pluviômetros, instalados um em cada parcela dentro da área experimental, distantes aproximadamente 50 metros um do outro. Também foi instalado um pluviômetro na área externa ao plantio (em uma estrada florestal) para determinação da precipitação com menor influencia da interceptação das plantas.

5.3.1 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 há décadas passadas por diferentes usos agropecuários, contudo ainda exibindo fragmentos, sobretudo nas proximidades de cursos d'água e do Rio Canoas, a aproximadamente 500 metros da área experimental.

A área experimental continha floresta da espécie *Pinus taeda* há dois ciclos, sendo o primeiro deles implantado em 1962 e colhido em 1987 de forma semi-mecanizada e o segundo plantado em 1987 e colhido em 2009 de forma mecanizada. A distância das plantas era de 2,5 m entre linhas e 2,5 m entre plantas, nos dois cultivos. Assim, a superfície do solo, no local do experimento, estava parcialmente coberta por resíduos vegetais decorrentes da colheita do último ciclo desta cultura.

O primeiro estágio da pesquisa na área do experimento tinha como objetivo 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*, iniciado em 2009, com o plantio no mês de janeiro de 2010 (MAGRO, 2012). Antes da instalação dos tratamentos, manteve-se em cada um deles a mesma quantidade de resíduos de colheita do *Pinus* sobre o solo. Foram retiradas todas as peças do resíduo com diâmetro maior que 8 cm; critério definido em razão de ser este o menor diâmetro de galhos aceito para a fabricação de cavacos utilizados na fábrica de papel. Ainda antes da instalação dos tratamentos, coletaram-se amostras do solo para posterior análise física e química. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, (ver Tabela 1). Após a coleta das amostras de solo, aplicou-se calcário na quantidade de 1.000 kg ha^{-1} , incorporado por meio de operações de arado e grade.

O experimento contemplou ainda uma segunda etapa, realizada no período de março de 2011 a fevereiro de 2012, durante o segundo e o terceiro ano de condução do experimento, buscando determinar além das perdas de água, solo e nutrientes provenientes da enxurrada, diferenças nas taxas de crescimento das plantas em cada tipo de tratamento (PADILHA, 2013).

A terceira e atual etapa compreendida pelo presente experimento, ocorreu entre março de 2012 a dezembro de 2013. Teve como objetivo quantificar os teores de nutrientes e de carbono orgânico no solo em função de adubação, e as perdas de solo, água e de nutrientes por erosão hídrica sob chuva natural, durante o terceiro ano de desenvolvimento do *Eucalyptus benthamii*, sob três formas de plantio. A execução dos trabalhos de campo e laboratório foi conduzida entre março de 2012 e fevereiro de 2014.

5.4 INSTALAÇÃO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS

Na instalação do experimento, em 2009, foram implantadas nove unidades experimentais dispostas lado a lado com dimensões de 12 x 24 m, apresentando um maior comprimento no sentido do declive (288 m²). Para a delimitação do contorno, foram utilizadas chapas galvanizadas de 40 cm de altura, sendo que destes, 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 20 cm ficaram acima, arranjadas de forma a conduzir o escoamento até os tanques coletores de enxurrada, posicionados na parte mais baixa do declive (ver Figura 2).

Figura 2 - Unidade experimental após a instalação do experimento em 2010.



Fonte: (Magro, 2012).

Dois tanques coletores de fibrocimento com capacidade de 400 e 500 litros foram utilizados para coleta do escoamento superficial. O primeiro (400L) apresenta janelas divisórias tipo Geibb com 13 saídas, as quais ficam na parte superior do tanque, direcionando 1/13 da enxurrada para o segundo tanque. Este excedente de 1/13 dos 400L/parcela do volume da enxurrada é conduzido por um tubo galvanizado até o segundo tanque coletor (500L) (ver Figura 3).

Figura 3 - Tanques coletores de enxurrada após a instalação do experimento em 2010.



Fonte: (Magro, 2012).

A água da enxurrada e os sedimentos com maior diâmetro e/ou mais densos ficavam armazenadas no primeiro tanque, sendo que no segundo tanque, armazenava a água e os sedimentos de menor diâmetro e/ou menos densos.

5.5 TRATAMENTOS

Foram avaliados três sistemas de preparo do solo utilizados na região para implantação florestal, consistindo em duas variações da subsolagem mecanizada, e uma forma de preparo manual, todos realizados sob cultivo mínimo. Realizou-se a retirada da cobertura de resíduos nas linhas de

subsolagem ou local de realização das covas. O Plantio da área foi realizado em janeiro de 2010, com mudas seminais de *Eucalyptus benthamii*, na densidade de 1.600 mudas por hectare, apresentando 45 mudas por parcela. Os três tratamentos foram distribuídos em três blocos, ao acaso, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 - Procedimentos de implantação dos tratamentos na área experimental em 2009.

TRATAMENTO	PROCEDIMENTO
T1. Preparo mínimo com subsolagem paralela ao declive (PMD)	Plantio de <i>Eucaliptus benthamii</i> em sulcos abertos com subsolador no sentido paralelo ao declive do terreno; distâncias de 2,5 m entre sulcos, totalizando cinco sulcos/parcela. As mudas foram plantadas a uma distância foi de 2,5 m uma das outras, totalizando 45 mudas/parcela.
T2. Preparo mínimo com subsolagem cortando o declive (PMC)	Plantio de <i>Eucaliptus benthamii</i> em sulcos abertos com subsolador no sentido transversal ao declive do terreno; distâncias entre sulcos de 2,5 m, perfazendo nove sulcos/parcela. As mudas foram plantadas a uma distância de 2,5 m uma das outras, perfazendo 45 mudas/parcela.
T3. Preparo do solo por coveamento manual (PSC)	Plantio de <i>Eucaliptus benthamii</i> em covas abertas com coveador semi-mecanizado; as covas foram abertas a distância de 2,5 m x 2,5 m, totalizando 45 mudas/parcela.

Fonte: (MAGRO, 2012).

Os sulcos constantes dos tratamentos PMD e PMC foram abertos com trator de esteiras modelo Komatsu D-61ex, de 170 HP, provido de implemento subsolador "Ripper" com hastes duplas de 1 m de comprimento e distância de 2,5 m cada uma, definindo, com esta distância, o espaçamento entrelinhas. Cada haste subsoladora é combinada com quatro discos dentados de 26 polegadas. A profundidade média de trabalho

do subsolador é de 0,45 m com rompimento lateral de 0,30 m para cada lado da haste. O coveamento manual foi realizado com o auxilio de uma picareta, sendo que cada cova possuía dimensões de 0,30 x 0,30 x 0,30.

Antes do início das atividades de preparo de solo, foi realizada aplicação de calcário dolomítico (PRNT >75) na quantidade de 1.000 kg ha⁻¹, o qual foi distribuído sobre os resíduos culturais por trator agrícola com distribuidor acoplado. Esta atividade foi realizada um mês antes da subsolagem e objetivou aumentar os teores de Ca e Mg do solo.

No momento da subsolagem, ocorreu simultaneamente aplicação de fosfato natural de rocha Arad (32% de P₂O₅ total, 11% solúvel), o qual foi incorporado ao solo no 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 abertura das covas na quantidade de 125 g cada uma, sofrendo leve incorporação no solo, também com picareta.

Durante a atual etapa do estudo, na data de 21 de novembro de 2012, foi realizada uma adubação a lanço com o fertilizante N:P:K tradicional 10:5:20 na quantidade de aproximadamente 200 gramas de adubo por árvore. O fertilizante foi lançado aleatoriamente em vários locais das parcelas, próximo às linhas de plantio das árvores, de forma heterogênea.

5.6 DETERMINAÇÕES

5.6.1 Volume de chuva

A precipitação total (PT) foi medida na parcela aberta (contendo vegetação herbácea), por meio de pluviômetro de PVC com área de captação de 314 cm² e a leitura do pluviômetro era feita após cada evento de chuva, para fins de

cálculo da interceptação. A precipitação interna (PI) foi medida utilizando um pluviômetro no interior de cada parcela do povoamento de eucaliptos. Os pluviômetros foram instalados sobre estacas e fixados em suportes de madeira planos, os quais permitiam o nivelamento do instrumento. Os mesmos foram dispostos aleatoriamente nas parcelas entre as linhas de plantio. Após cada evento de chuva, procurou-se efetuar as medições. Os valores volumétricos medidos eram, posteriormente, tabulados em milímetro de altura de água e após, multiplicado pela área para determinar o volume de chuva precipitado na parcela.

5.6.2 Volume de escoamento de tronco

Os coletores de tronco, foram colocados nas árvores entre março e junho de 2012 (ver Figura 4). Foram constituídos de chapas de zinco galvanizado, de 2 mm de espessura, ajustáveis ao tronco da árvore. As árvores foram escolhidas aleatoriamente, respeitando um diâmetro mínimo de 15 cm de DAP, uma em cada parcela, sendo o sistema vedado por uma faixa de borracha entre a chapa de zinco e o tronco, a qual agia como uma junta de vedação sob a pressão de abraçadeira de aço ajustável com parafuso de fenda. A perda de água foi evitada por meio de vedação com silicone industrial (ver Figura 5). Assim, a água que escoava pelo tronco era coletada e conduzida por uma mangueira cristal (½’’), para dentro de baldes plástico de 50 litros, onde era armazenada.

Figura 4 - Procedimentos de instalação dos coletores de escoamento de tronco.



Fonte: Próprio autor.

Figura 5 - Coletor de escoamento de tronco instalado e em funcionamento.



Fonte: Próprio autor.

5.6.3 Perdas de água e solo por erosão hídrica

A quantificação da enxurrada escoada foi realizada por meio de mensuração do volume, sempre após a ocorrência de eventos de chuva, da água presente nos tanques coletores, conceituadas por WISCHMEIER & SMITH (1978). A altura da lâmina de enxurrada, armazenada em cada tanque, foi medida com o auxílio de uma régua graduada previamente calibrada, introduzida no tanque, a partir do qual obteve-se o volume de enxurrada. No caso do segundo tanque, o volume de enxurrada total foi obtido multiplicando por 13 devido à existência do divisor “Geibb” com 13 janelas. As perdas mensais e anuais de água por escoamento foram obtidas pela soma dos escoamentos semanais mensurados nas caixas coletoras de cada tratamento.

As amostras de escoamento (água mais sedimentos) para determinação das perdas de solo foram coletadas sempre após a ocorrência de eventos de chuva, no período de junho de 2012 a junho de 2013, totalizando 17 coletas durante 12 meses. Para a coleta das amostras, utilizou-se o procedimento proposto por Cogo (1978), que consiste na homogeneização de toda água e sedimentos contidos nas caixas com a simultânea retirada de três amostras de 300 ml de cada uma. Duas amostras foram utilizadas para quantificação do solo e a outra para quantificação dos nutrientes nelas contidos.

Para determinar a concentração de sedimentos da enxurrada, a amostra foi pesada depois de deixada em repouso. Após decantação dos sedimentos, o excesso de água foi sifonado e o frasco com o material restante foi seco em estufa a 50 °C, até a evaporação de toda água, quando foi novamente pesado. Com base na multiplicação do peso dos sedimentos secos contidos no frasco pela quantidade de escoamento, foi possível calcular as perdas de solo de cada coleta. As perdas anuais de sedimentos (perdas de solo) foram obtidas por soma das perdas semanais.

Devido à variação de declividade entre as parcelas experimentais, os dados de perdas de solo observados foram ajustados para o declive médio de cada uma delas, utilizando-se o procedimento recomendado por Wischmeier & Smith (1978) pela seguinte equação:

$$S = 0,065 + 4,56 \operatorname{sen} \theta + 65,41 (\operatorname{sen} \theta)^2$$

θ = ângulo do declive.

S = fator declividade do terreno.

5.6.4 Análise química do solo na camada superficial

Foram coletadas amostras do solo deformadas para análise química na camada superficial (0-30 cm), em duas épocas do ano, novembro de 2012, antes da aplicação de adubo, e maio de 2013, após a adubação. De cada parcela foram coletadas quatro amostras, sendo: dois metros abaixo da extremidade superior; na posição intermediária; e dois metros acima da extremidade inferior. Em cada posição, coletou-se uma amostra dentro da linha e sob a planta e, outra, no intervalo entre as linhas. Foram determinados o índice pH em água (1:1), o teor de carbono orgânico e os teores de fósforo disponível, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocável, de acordo com TEDESCO et al. (1995).

5.6.5 Análise química da água da enxurrada

A análise química da água da enxurrada fez-se em dois períodos, antes e depois da adubação, em amostras compostas resultantes da mistura da água coletada de eventos ocorridos nesses intervalos de tempo. As amostras coletadas ficaram armazenadas em geladeira, com temperatura de 2°C, até a finalização das coletas semestrais, quando então foi composta uma única amostra no semestre para cada parcela, onde foram

determinados os teores dos nutrientes na forma solúvel. As perdas dos nutrientes na água da enxurrada foram obtidas multiplicando-se a concentração de cada um deles na amostra semestral de água, pela quantidade de água escoada no período, sendo que as perdas acumuladas no ano foram obtidas pela soma das perdas semestrais.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 VOLUME DE CHUVA

Nos 17 eventos de chuva obteve-se variação do volume com valores extremos entre 11 e 135 mm (ver Tabela 3). O total de chuva precipitada no período de junho de 2012 a junho de 2013 foi de 765 mm, inferior ao volume médio verificado no município de Lages de 1.600 mm (BERTOL et al., 2002). Significa que o ano de transcurso do experimento foi atípico em relação ao regime de chuvas, apresentando um período de estiagem nos meses de julho e novembro de 2012 e janeiro de 2013.

Tabela 3 - Precipitação efetiva (mm) e precipitação interna média das nove parcelas (mm) ocorrida no período experimental, entre junho de 2012 a julho de 2013.

Data	P. Efetiva (mm)	P. Interna (mm)
17/06/2012	28	25
18/06/2012	31	34
27/06/2012	43	46
13/09/2012	22	21
25/09/2012	23	22
08/10/2012	55	55
30/10/2012	112	125

Continua

Conclusão

Tabela 3 - Precipitação efetiva (mm) e precipitação interna média das nove parcelas (mm) ocorrida no período experimental, entre junho de 2012 a julho de 2013.

17/12/2012	11	11
24/12/2012	38	37
08/02/2013	22	24
07/03/2013	87	92
25/03/2013	120	135
29/04/2013	31	37
04/06/2013	75	78
20/06/2013	24	24
05/07/2013	19	19
13/07/2013	24	25
Total	765	809

Fonte: Próprio autor.

A precipitação interna e a efetiva mostraram-se semelhantes em volume, mostrando que a interceptação da chuva pelas plantas não interferiu de forma expressiva no volume de chuva (ver Tabela 3). Contudo, é possível observar que, em alguns momentos, especialmente em março, abril, junho e outubro, a precipitação interna foi maior do que a precipitação efetiva.

De acordo com LOESCHER et al. (2002) que estudaram a distribuição espacial da chuva interna em floresta tropical na Costa Rica, em geral existe grande variabilidade entre coletores, pois, por serem pontuais, o volume de chuva interna pode ultrapassar o da precipitação externa devido o

efeito de afunilamento da vegetação, decorrente do tamanho do dossel e da abertura ou espaço entre elas.

Para KONISHI et al. (2006), também avaliando a distribuição espacial da chuva interna em floresta tropical, verificaram que a abertura do dossel das árvores não é o único fator influenciador da variabilidade de volume de chuva interna na floresta. Devido a aberturas no dossel, a chuva interna alcança maior volume e menor desvio padrão. Assim, em pontos com alto índice de abertura da copa, os volumes de chuva interna são altos, consequentemente, em pontos com baixo índice de abertura, os valores de chuva interna são baixos. Dessa forma, concluíram que a distribuição espacial da chuva interna é regulada igualmente por dois fatores que ocorrem em diferentes escalas, ou seja, o tamanho de copas individuais e o tamanho de clareiras presentes na vegetação.

Em relação ao volume de precipitação interna nas parcelas, é possível observar que foi pequena a variação, porém nas estações de primavera e outono, onde ocorreram os maiores volumes de chuva em relação ao inverno e verão, obteve-se nas parcelas do tratamento PMC um maior volume médio de chuva (ver Tabela 4).

Tabela 4 - Precipitação interna (mm) ocorrida em cada parcela, em cada estação do ano, entre junho de 2012 e julho de 2013.

EST	1 PMD	2 PMC	3 PSC	4 PMD	5 PSC	6 PMC	7 PMC	8 PMD	9 PSC
Out.	312	339	327	321	344	386	318	332	320
Inv.	110	110	111	110	113	104	112	114	108
Pri.	212	175	227	214	224	232	231	223	193
Ver.	146	154	152	148	158	166	159	158	141
Total	780	777	817	792	839	887	820	827	762

Fonte: Próprio autor.

6.2 PERDAS DE ÁGUA E SOLO

6.2.1 Perdas de água e solo em base anual

As perdas de água e solo observadas anualmente podem ser consideradas significativas do ponto de vista da preservação ambiental, se diferenciando nos tratamentos estudados. No terceiro ano de desenvolvimento da cultura de *Eucalyptus benthamii*, as perdas de água e solo por escoamento superficial foram influenciadas pelos sistemas de preparo do solo implantados três anos antes, concordando com os resultados obtidos no primeiro e segundo ano do experimento por MAGRO (2012) e PADILHA (2013), respectivamente, e com os trabalhos de BAPTISTA E LEVIEN (2010) (Ver Tabela 5).

Tabela 5 – Precipitação interna, perdas de água e solo no período entre junho de 2012 e julho de 2013 nos três tratamentos, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico.

Tratamentos	Perda de Solo (Kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Perda de Água (% da chuva)	Perda de Água (m ³ /ha)	P. I. (mm)
Média				
PMD	161	0,9	16,0	795
PMC	16	0,8	13,4	828
PSC	15	0,3	4,7	806
Desvio Padrão				
PMD	32,3	1,1	0,6	-
PMC	2,0	1,2	0,6	-
PSC	1,8	0,	0,4	-

Fonte: Próprio autor.

As perdas de água foram afetadas pelos tratamentos. O tratamento PMD apresentou uma maior perda de água (0,9%) em comparação com os demais tratamentos PMC (0,8%) e PSC (0,3%). Assim, o tratamento PMD (preparo do solo na direção do declive) apresentou perdas de água maiores do que os tratamentos PMC (preparo do solo na direção perpendicular ao declive) e PSC (covas), respectivamente (ver Tabela 4). Estes resultados concordam com os dados obtidos por Padilha (2013), no segundo ano de desenvolvimento da cultura. Naquele trabalho, os tratamentos não apresentaram diferença estatística quanto às perdas de água, esse comportamento provavelmente é atribuído ao desenvolvimento da floresta com relação com ao primeiro ano de desenvolvimento da cultura, onde as perdas de água por escoamento superficial foram mais influenciadas pelos diferentes sistemas de preparo do solo e plantio, devido ao fato do solo estar mais exposto, sem serrapilheira e com pouco desenvolvimento radicular da cultura, possibilitando atribuir ao tratamento PMD (direção ao declive) a condição de tratamento menos conservacionista, e ao tratamento PSC (covas) o de mais conservacionista, porém, em maior escala que atualmente.

Em relação a precipitação total, as perdas de água nos tratamentos foram menores que as perdas de água verificadas por Magro (2012) no primeiro ano de desenvolvimento da cultura, e Padilha (2013) no segundo ano de desenvolvimento da cultura. Os tratamentos: PMD, PMC e PSC apresentaram baixas perdas de água respectivamente em todas as etapas do estudo, comprovando a influencia dos diferentes sistemas de preparo do solo e plantio na conservação do solo e da água em relação a erosão hídrica. Quanto à redução das perdas de água no decorrer dos anos envolvendo os três estudos, a diminuição do impacto da erosão hídrica está relacionada ao fechamento do dossel da floresta, promovendo maior interceptação da água das chuvas pelas copas das árvores. Além disso, o aumento da quantidade de massa vegetal sobre o solo (serrapilheira) e o

crescimento radicular das árvores, aumentou o armazenamento de água sobre o solo, na forma de retenção superficial e a infiltração de água no solo. Segundo Wischmeier (1973), a interceptação pode potencializar a capacidade de retenção superficial dos resíduos vegetais, aumentando o tempo de permanência da lâmina de água sobre a superfície do solo, favorecendo a infiltração gradual e a consequente diminuição do escoamento superficial. Ademais, o crescimento do sistema radicular aumenta as galerias internas no solo que, por sua vez, constituem a porosidade total do solo contribuindo fortemente para aumentar a infiltração de água no solo.

Ainda, é possível observar que no tratamento PMC, apesar de mecanizado, há uma menor perda de água em relação ao tratamento PMD, devido as linhas perpendiculares ao declive atuarem como uma barreira física, possibilitando que a água se mantivesse por maior período de tempo na superfície, diminuindo a velocidade do fluxo e aumentando a infiltração de água no solo.

As maiores perdas de solo foram verificadas no tratamento PMD, 160 kg/ha, em relação aos demais tratamentos, 16 kg/ha no tratamento PMC e 15,3 kg/ha no PSC (ver Tabela 3). Com isso, tem-se que o tratamento PMD apresentou perdas de solo 12,6 vezes maiores do que o PMC e 13,7 maiores do que o PSC. Magro (2012), encontrou diferenças maiores entre estes tratamentos, no primeiro ano do experimento, sendo que, no plantio na direção do declive as perdas foram 9 e 23 vezes maiores do que nos tratamentos plantio em contorno e em covas, respectivamente.

Na figura 9, é possível observar que no tratamento PMC (perpendicular ao declive) as perdas de solo se assemelharam as perdas do tratamento PC (covas), mesmo sendo esse um tratamento mecanizado. Cavichiolo (2005), encontrou resultados positivos do ponto de vista de controle da erosão em área de subsolagem em contorno, nas quais as perdas de solo foram similares às verificadas em área sem preparo do solo.

Houve diminuição dos valores de perda de solo em relação aos observadas no primeiro ano do experimento por Magro (2012) e no segundo ano do experimento por Padilha (2013), isto demonstra a importância da cobertura do solo por resíduos vegetais e sua eficiência no controle da erosão. O crescimento das árvores também proporcionou resultados positivos em relação à erosão hídrica, por influenciar na interceptação da chuva, gerar serapilheira e melhorar a infiltração devido a movimentação do crescimento radicular.

6.2.2 Perdas de água e solo em base estacional

Tabela 6 - Precipitação efetiva e perdas de água e solo nos tratamentos, em base estacional entre junho de 2012 e julho de 2013.

Estações	P. E. (mm)	P. Água (m ³ /ha)	P. Solo (Kg/ha)
PMD			
Outono	309	7,3	150,9
Inverno	108	3,4	1,0
Primavera	201	2,8	1,9
Verão	146	2,2	7,1
Total	765	16	160,9
PMC			
Outono	309	5,1	11,8
Inverno	108	3,8	1,5
Primavera	201	2,3	2,0
Verão	146	2,2	1,6
Total	765	13,4	16,9

Continua

Conclusão

Tabela 6 - Precipitação efetiva e perdas de água e solo nos tratamentos, em base estacional entre junho de 2012 e julho de 2013.

	PSC		
Outono	309	2,1	11,1
Inverno	108	0,3	0,1
Primavera	201	1,0	2,3
Verão	146	1,3	1,8
Total	765	4,7	15,3

Fonte: Próprio autor.

Observa-se que em todos os tratamentos, as maiores perdas ocorreram no outono, coincidindo com os maiores volumes de precipitação (ver Tabela 6). Isto pode ser atribuído à maior precipitação pluviométrica do período e à variação nas características das chuvas. Quando ocorrem chuvas de maior duração e volume apesar de baixa intensidade, a umidade do solo se mantém alta e favorece a desagregação e transporte do solo, concordando com PIRES (2006), MARTINS (2005) e WICHERT (2005).

No tratamento PMD, as perdas de água foram maiores no outono, seguidas do inverno, verão e primavera enquanto, para as perdas de solo, a sequência foi outono, verão, primavera e inverno. No tratamento PMC, as referidas perdas foram maiores também no outono e similares nas demais estações do ano. No tratamento PSC, as perdas foram maiores no outono, seguidas do verão, primavera e inverno para água e primavera, verão e inverno para o solo.

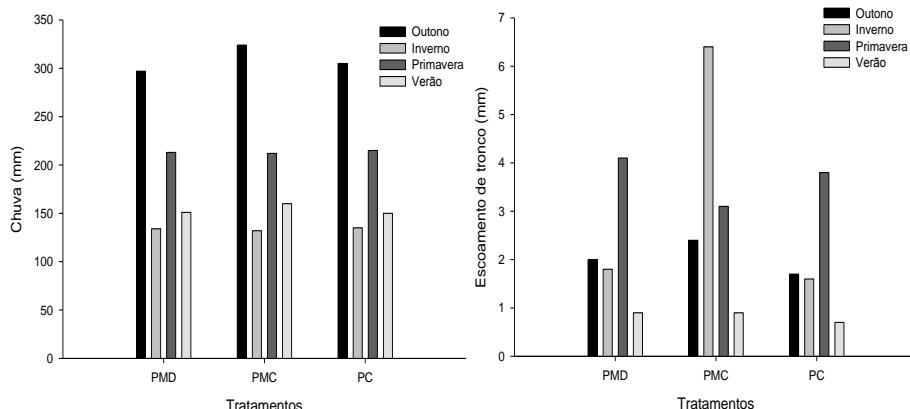
Nas estações inverno e primavera houve uma diminuição das perdas de solo e do próprio escoamento superficial ocorrido nos três tratamentos, decorrentes da diminuição das precipitações nesta fase (ver Tabela 6).

Os resultados mostram o maior efeito conservacionista no tratamento PC e menor efeito no tratamento PMD, pois, quanto menos eficaz na redução da enxurrada for o preparo do solo, maiores serão os efeitos erosivos, intensificando as perdas de solo, água e nutrientes.

6.2.3 Volume de água por escoamento de tronco

O volume de escoamento de tronco apresentou-se maior nas estações de inverno e primavera; no outono o volume foi intermediário, e menor no verão (ver Figura 6). Essas observações concordam com as considerações de Levia Jr. & Frost (2003) sobre a sazonalidade em florestas decíduas, onde afirma que a chuva que escoa pelos troncos é maior no inverno do que no verão. A quantidade de água que escoa pelo tronco sofre a influência das características da chuva: em geral, o escoamento de tronco aumenta com magnitude e diminui com a intensidade da chuva, com exceção de condição meteorológica quente e com vento, quando a intensidade e o tamanho das gotas são decisivos para a redução da evaporação (LEVIA JR. & FROST, 2003)

Figura 6 - Volume de chuva (a) (m^3) e de escoamento de tronco (b) (m^3) entre junho de 2012 e julho de 2013 nos tratamentos, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico.



Fonte: Próprio autor.

6.3 pH, TEORES DE ALUMÍNIO, FÓSFORO, POTÁSSIO E MATERIA ORGÂNICA

O índice pH em água e o teor de alumínio trocável apresentaram valores relativamente estáveis ao longo do tempo, independentemente do tratamento e do local de coleta das amostras de solo. Em todos os tratamentos, o índice pH em água demonstrou ter aumento pós adubação, mas diminuindo no final do experimento. Já o alumínio trocável apresentou queda dos teores no período após a adubação até o final do experimento (ver Tabela 7).

Tabela 7 - Índice pH e teor de Al trocável determinados em três momentos e em duas posições na parcela de cada tratamento, entre junho de 2012 e julho de 2013, na profundidade de 0 – 3 cm do solo, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico.

Tratamento	Início experimento		Pós adubação		Final experimento	
	14/11/2012		21/05/2013		10/12/2013	
Posição superior da parcela entre linhas						
	pH	Al	pH	Al	pH	Al
PMD	4,0	5,9	4,5	4,2	4,0	5,5
PMC	3,8	7,3	4,1	6,6	3,9	5,6
PSC	3,7	5,0	3,7	5,7	4,2	5,5
Posição inferior da parcela entre linha						
	pH	Al	pH	Al	pH	Al
PMD	4,0	6,3	4,1	6,4	4,0	5,8
PMC	4,0	6,8	4,5	6,3	4,1	5,8
PSC	3,4	6,7	3,7	5,4	3,8	6,3

Valores de Al em $\text{cmol}_{\text{c}}\text{dm}^{-3}$

Fonte: Próprio autor.

O teor de fósforo ao longo do experimento apresentou um aumento entre o período do inicio do experimento e após a adubação, diminuindo ao final do período experimental, para todos os tratamentos. Observou-se ainda que para o tratamento PSC no extrato superior das parcelas, essa queda foi mais acentuada em relação aos demais tratamentos. Isso pode dar-se pelo fato da fertilização ter sido feita a lanço de forma aleatória, e como no tratamento PSC não existe marcas do preparo do solo, pode ter ocorrido facilidade da enxurrada arrastar os nutrientes, sendo os mesmo subtraídos da parcela. Houve diferença nos teores de P entre o extrato superior e inferior, com destaque para o tratamento PSC que, no período após a adubação apresentou maior queda nos teores (ver Tabela 8). No período pós adubação, houve uma taxa de

enriquecimento de 1,25 no tratamento PMC, sendo o elemento armazenado na parte inferior da parcela, as marcas do preparo do solo em contorno podem favorecer mecanicamente a retenção do nutriente, agindo como barreira física.

Tabela 8 - Teores de P, K e matéria orgânica determinados em três momentos e em duas posições na parcela de cada tratamento, entre junho de 2012 e julho de 2013, na camada de 0 – 3 cm do solo, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico

Trat.	Início			Pós adubação			Final experimento		
	14/11/2012	21/05/2013	10/12/2013						
Posição superior da parcela entre linha									
	P	K	MO	P	K	MO	P	K	MO
PMD	5,4	85	7,5	8,9	93	6,7	6,1	118	6,7
PMC	7,4	34	8,2	4,2	61	5,7	5,0	142	6,9
PC	7,7	60	9,5	10,9	96	7,4	4,7	113	6,6
Posição inferior da parcela entre linha									
	P	K	MO	P	K	MO	P	K	MO
PMD	6,6	67	7,4	7,5	93	4,4	5,6	120	6,6
PMC	5,8	133	6,6	5,3	82	5,9	3,7	100	5,5
PC	6,1	79	8,6	5,4	69	8,2	3,4	104	7,4

Fonte: Próprio autor. Valores de P, K em mg/dm³ e MO em %.

O teor de K trocável na superfície do solo apresentou aumento ao longo do tempo. Para o tratamento PMD e PSC, nos dois pontos dentro da parcela o comportamento foi semelhante, mas, no extrato superior ocorreu um teor levemente maior do que no inferior. Já o tratamento PMC exibiu menores teores no extrato inferior das parcelas (ver Tabela 8).

O teor de matéria orgânica na camada superficial do solo apresentou decréscimo ao longo do tempo. Houve uma maior concentração antes da adubação nos dois extratos (superior e inferior) em todos os tratamentos (ver Tabela 8).

Este comportamento pode ser atribuído à decomposição da matéria orgânica ter sido acelerada nos períodos do ano com maior temperatura, coincidindo cronologicamente com o desenvolvimento do presente estudo.

Os resultados encontrados a respeito do comportamento do teor de matéria orgânica e dos dois elementos químicos estudados, ao longo do tempo, relacionam-se com as variações climáticas ocorridas durante o ano. Além disso, a forma de aplicação do adubo no solo, a lanço, contribuiu para isso. Assim, o clima e a forma de aplicação do adubo no solo influenciaram a taxa de decomposição de resíduos vegetais e o fluxo dos elementos químicos no solo, fazendo variar os seus teores temporalmente.

6.4 pH , TEORS DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, FÓSFORO, POTÁSSIO E ALUMÍNIO NA ÁGUA DA ENXURRADA

Os teores de nutrientes encontrados na água da enxurrada são apresentados na (ver Tabela 9).

Tabela 9 - Teores de Ca, Mg, P, K, Al e índice pH determinados antes e após a adubação na água da enxurrada, nos tratamentos entre junho de 2012 e julho de 2013, em um CAMBISSOLO Háplico Alítico úmbrico.

Antes da adubação (mg/L)					
	Ca	Mg	P	K	Al
PMD	8,2	1,6	0,13	12,0	0,05
Desvio	1,3	1,2	0,07	4,5	0,01
PMC	7,3	1,0	0,23	14,8	0,06
Desvio	1,5	0,3	0,06	5,8	0,03
PSC	6,8	4,2	0,24	11,4	0,12
Desvio	1,4	2,1	0,25	4,0	0,03
Após a adubação (mg/L)					
	Ca	Mg	P	K	Al
PMD	12,1	3,6	0,14	19,7	0,09
Desvio	1,8	1,4	0,08	7,2	0,02
PMC	9,8	3,5	0,19	19,9	0,08
Desvio	0,4	1,5	0,06	6,5	0,03
PSC	11,2	4,3	0,30	15,1	0,10
Desvio	5,0	0,9	0,13	12,7	0,02

Fonte: Próprio autor.

Para o tratamento PMD, o fósforo na água da enxurrada apresentou valores semelhantes ao teor na superfície do solo após a adubação (ver Tabela 9). O incremento foi de 8 % no teor de P na água concordando com os resultados encontrados por Padilha (2012) e Pionke e Kunishi (1992). Segundo Sharpley (1980), independente da intensidade do escoamento a maior parte das perdas de P relaciona-se aos sedimentos e não à água do escoamento superficial. Para o K, também houve incremento, o qual foi 61% para o teor na água do escoamento em relação ao teor no solo. Esse comportamento já era esperado, pois este tratamento é considerado não

conservacionista, pois as linhas de plantio favorecem o carreamento dos nutrientes.

No tratamento PMC, houve um decréscimo de 17% no teor de P e um acréscimo de 29 % no de K na água da enxurrada após a adubação com relação aos teores verificados antes da fertilização. Esses valores são menores do que os verificados no tratamento PMD, fato este que pode ser explicado pela forma de plantio, em contorno ao declive, A qual se mostra como uma barreira física para o escoamento, demonstrando ser um manejo eficiente do ponto de vista conservacionista para adubação a lanço.

Para o tratamento PSC, ocorreu um aumento de 20 % no teor de P e de 24 % no de K na água da enxurrada após a dubação em relação aos teores verificados antes da fertilização. Isto confirma o fato de que quanto mais conservacionista o sistema de preparo, menores são os teores de P e K contidos na água do escoamento superficial em relação aos teores contidos na superfície do solo.

Em suma, verificou-se que o tratamento PMD foi o que se apresentou menos conservacionista, por apresentar maior teor de nutrientes na água da enxurrada, seguido do PMC e do PSC que foram os mais conservacionistas.

7 CONCLUSÕES

No terceiro ano do cultivo de *Eucaliptus benthamii* pode-se concluir o que em relação à erosão hídrica:

1. O preparo do solo na direção do declive apresenta perdas de água e solo maiores do que nos tratamentos em que o plantio é feito em contorno e em covas individuais.
2. O preparo do solo em contorno, mesmo sendo este tratamento mecanizado, reduz expressivamente as perdas de água e solo em comparação ao tratamento em que o plantio é feito na direção do declive.
3. As perdas de solo são mais influenciadas em magnitude maior do que as perdas de água, independentemente da forma de preparo do solo.
4. Os teores de fósforo e potássio na água da enxurrada apresentam as mesmas tendências dos teores na superfície do solo.
5. Os teores de fósforo, potássio e matéria orgânica na camada superficial do solo apresentam variação ao acaso, tanto do ponto de vista da posição dentro das parcelas, quanto, do ponto de vista do momento de coleta, se antes ou depois da adubação.
6. O preparo solo e plantio em covas individuais é mais conservacionista de solo do que o preparo do solo com subsolagem em direção ao declive e em contorno ao declive.
7. A quantidade de água que escoa pelo tronco sofre a influência das características da chuva, determinadas pela estação do ano.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABRAF. **Anuario estatístico da ABRAF.** Ano base 2012 / ABRAF. – Brasilia: 2013. p.150.

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 sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 2145-2155, 2008.

ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V.; ROCHA, P.A.B. **Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo.** Rev. Árvore, Viçosa, v.27, n.2, p.257-262, 2003.

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.

BAHIA, V. G.; CURI, 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.

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. p.73, 2008.

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. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.487-592.

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

BERTOL, I. **Índices de erosividade (EI30) para Lages (SC) - 1º aproximação.** Pesq. Agrop. Bras., Brasília, v28, n.4, p.515-521, abr. 1993

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. ; 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.; 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.

BNDES/MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Osetor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. Rio de Janeiro. N16 p 3-30, 2002.

BIAZUS, A; HORA, A.B. da; LEITE, B.G.P. **O potencial de investimento nos setores florestal de celulose e papel.** Perspectivas do Investimento 2010-2013. p. 36, 2009.

BRITO, L. F. **Erosão hídrica de latossolo vermelho distrófico típico em área de pós plantio de eucalipto na região de Guanhaes (MG).** 2004. p.78. (Dissertação de mestrado). Escola Superior de Agricultura de Lavras, universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

BRUIJNZEEL, L. A. **The hydrological cycle in moist tropical forest.** In: BRUIJNZEEL, L. A. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Amsterdam: IAHS, 1990. p. 5-38.

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

CASTRO, P.S.; VALENTE, O.F.; COELHO, D.T.; RAMALHO, R.S. **Interceptação da chuva por mata natural**

secundária na região de Viçosa, MG. Rev. Árvore, Viçosa, v.7, n.1, p.76-89, 1983.

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

CANTALICE, J. R. B. et al. 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. 2005.

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. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.

COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters. West Lafayet te, Purdue University, 1981. p. 346, (Tese de Doutorado).

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

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.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

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

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

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, p. 221–244. 2002.

GATTO, A. et al. **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. 2003.

GONÇALVES, J. L. de M. & STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p.498.

KOHNKE, H. **Soil physics**. New York, McGraw – Hill. 1968. p.224.

KONISHI, S.; TANI, M.; KOSUGI, Y.; TAKANASHI, S.; SAHAT, M.M.; NIK, A.R.; NIIYAMA, K.; OKUDA, T. **Characteristics of spatial distribution of throughfall in a lowland tropical rainforest, Peninsular Malaysia**. Forest Ecol. Manage. Amsterdam, v.224, p.19-25, 2006.

LEITE, D. **Erosão hídrica sob chuva simulada em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes manejos**. 2003. 100 p. (Dissertação de Mestrado) -UDESC, Lages, 2003.

LEOPOLDO, P.R.; FRANKEN, W.; SALATI, E.; RIBEIRO, M.N.G. **Towards a water balance in the central Amazonian region.** *Experientia.* v.43, n.3, p.222-233, 1987.

LEVIA JR., D.F.; FROST, E.E. **A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems.** *J. Hydrol.*, Amsterdam, v.274, p.1-29, 2003.

LIMA, W.P.; NICOLIELO N. **Chuva efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerradão.** IPEF, Piracicaba, n.24, p.43-46, 1983.

LIMA, W. P. **Hidrologia de plantações de eucaliptos.** In: **LIMA, W.P. Impacto ambiental do eucalipto.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993. p. 51-137.

LOESCHER, H.W.; POWERS, J.S.; OBERBAUER, S.F. **Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica.** *J. Trop. Ecol.*, v.18, p.397—407, 2002.

FLUCIANO, R. V.; BERTOL, I. ; BARBOSA, F. T. ; VÁZQUEZ, E. V. ; FABIAN, E. L. **Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 669-676, 2009.

MAGRO, B.A. **Perda de solo, água e nutrientes em três sistemas de preparo de solo florestal.** (Tese de Doutorado) Universidade do Estado do Paraná, 2012. p.82.

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.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos tabuleiros costeiros, ES.** 2005. p.106. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras, 2005.

MENDONÇA, E. S.; SILVA MATOS, E. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises.** Viçosa: UFV, 2005. p.107.
MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; NIKOLOW, S. **Effect of flow rate and canopy on rill erosion.** Trans. of the ASAE, St. Joseph, v. 18, n. 5, p. 905-911, 1975.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Nacional de Florestas – PNF.** Brasília: MMA/SBF/DIFLOR, 2000.

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.

PADILHA, J. **Erosão hídrica em um cambissolo entre o segundo e o terceiro ano de cultivo de *eucalyptus benthamii*, sob três métodos de preparo do solo.** (Dissertação de

Mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina, 2013. p.75.

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

PIRES, L. S. **Sistemas de manejo de eucalipto e erosão hídrica em Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso na região de Belo Oriente (MG).** 2004. p.84. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

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

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.

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, 2000.

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

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

VOLK, L., COGO, N. & STRECK, E. **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, 2004.

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. p.83. (Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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

