



ISSN = 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X

www.ambi-agua.net

E-mail: ambi-agua@agro.unitau.br

Tel.: (12) 3631-8004



Transporte de sedimentos e espécies químicas em áreas de reflorestamentos e pastagem com base em chuva simulada

doi.org/10.4136/ambi-agua.1106

Adilson Pinheiro*; **Vander Kaufmann**; **Danieli Schneiders**; **Rafael Gotardo**

Fundação Universidade Regional de Blumenau – Blumenau, SC, Brasil,

Departamento de Engenharia Civil

*Autor correspondente: e-mail: pinheiro@furb.br,
ambitec@bol.com.br, danielischneiders@gmail.com,
rafael.piratuba@yahoo.com.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar as perdas de solo, carbono e espécies químicas através do escoamento superficial em áreas de pinus (*Pinus taeda*), eucalipto (*Eucalyptus dunni*) e um consórcio de pastagem com aveia preta (*Avena stringosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*), localizadas na bacia hidrográfica do Lajeado Fragosos, Concórdia, SC. Para tanto, simulações de chuva, com intensidade média de 94 mm h⁻¹, foram realizadas, nos meses de setembro e novembro de 2011, em parcelas experimentais de 1 m² implantadas nas três áreas. Nos ensaios foram quantificadas as vazões escoadas superficialmente e determinadas às concentrações e cargas transportadas de sedimentos, carbono e espécies químicas. Os resultados mostraram que as concentrações de sedimento e carbono orgânico foram maiores na área de eucalipto. Nitrato, cálcio, magnésio e potássio foram as espécies químicas que apresentaram as maiores concentrações para todas as áreas. Carbono total, carbono orgânico, sedimento e nitrato foram os parâmetros com maior carga transportada, sendo esta na área de eucalipto. Contudo, para todas as espécies químicas, com exceção do nitrato e do cloreto, as cargas transportadas foram mais elevadas na pastagem.

Palavras-chave: Bacia Lajeado dos Fragosos, escoamento superficial, qualidade da água.

Transport of sediments, carbon and nutrients in areas of reforestation and grassland based on simulated rainfall

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the soil losses, as well as carbon and chemical samples in runoff through areas of pine (*Pinus taeda*), eucalyptus (*Eucalyptus dunni*) and a consortium of pasture with oat (*Avena stringosa*) and ryegrass (*Lolium multiflorum*) in the Fragosos river basin, in Concordia, SC. For this, rainfall simulations with mean intensities of 94 mm h⁻¹ were conducted in September and November 2011, in plots of 1 m² established in the three areas. Runoff, loads carried of the sediment, and carbon and chemical concentrations were quantified in the experiment. The results showed that the concentrations of sediment and organic carbon were higher in the eucalyptus area. The largest concentrations of chemicals for all areas were nitrate, calcium, magnesium and potassium. Total carbon, organic carbon, sediment and nitrate were transported in higher loads in the eucalyptus area. With the exception of nitrate and chloride, the chemical loads carried were higher in the pasture area.

Keywords: Fragosos river basin, runoff, water quality.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, florestas de eucalipto e de pinus têm se expandido e ocupado grandes áreas, sendo indispensável o desenvolvimento de estudos a respeito dos impactos que esses reflorestamentos podem causar nos recursos naturais água e solo (Bueno et al., 2005). Sabe-se que, normalmente, os plantios florestais encontram-se inseridos em ecossistemas sensíveis às perturbações antrópicas em função de razões como o relevo acidentado, solos com baixa fertilidade natural e antigas áreas agrícolas degradadas. Estes fatores associados às operações de manejo, colheita mecanizada da madeira, construção e manutenção de estradas florestais e ao potencial erosivo da região são os principais responsáveis pela perda da capacidade produtiva dos solos sob florestas plantadas e alteração da quantidade e qualidade da água em sub-bacias, decorrentes da erosão hídrica (Silva et al., 2011).

Segundo Bertol et al. (2004), a erosão hídrica do solo ocasiona perda de espécies químicas e degradação da qualidade dos corpos de água e redução da produtividade agrícola pelo empobrecimento do solo. A degradação dos corpos de água é ocasionada pelas espécies químicas (solúveis e adsorvidas) transportadas no escoamento superficial, podendo provocar a eutrofização pelo enriquecimento de nutrientes.

As áreas de plantio de pinus apresentam índices estimados de perda de solo de até $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Guimarães et al., 2011). Além disso, há diminuição do escoamento superficial e da perda de solo em parcelas florestadas em relação às parcelas com solo descoberto (Lima, 1988), uma vez que em áreas cobertas por floresta nativa as taxas de erosão não ultrapassam $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Guimarães et al., 2011).

Por outro lado, Pires et al. (2006), Oliveira (2008) e Martins (2010), quantificaram perdas de solo em áreas de eucalipto próximas da mata nativa indicando sustentabilidade daquele ambiente no contexto da erosão hídrica. De forma semelhante, Vital et al. (1999) observaram que, apesar dos valores de perdas em um Argissolo Vermelho-Amarelo terem praticamente dobrado no primeiro ano após o corte raso de eucalipto em uma sub-bacia, os valores de $0,04 \text{ mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ foram ainda significativamente menores do que os decorrentes do uso mais intensivo do solo.

Apesar das divergências encontradas na literatura quando se avalia o uso do solo para diferentes atividades agrícolas, como pastagens, florestas de pinus e de eucalipto, etc., o que se sabe de forma concreta é que as características do solo e seus diferentes usos influenciam na qualidade da água das bacias (Donadio et al., 2005).

De acordo com Silva et al. (2005) e Wichert (2005), as perdas de espécies químicas e matéria orgânica acompanham as perdas de solo, sendo encontrado nos sedimentos de erosão a seguinte tendência, em ordem decrescente: $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$, não concordando com Oliveira (2007) que apresenta a seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{P}$. Corroborando com a afirmação de Oliveira (2007), Pinheiro et al. (2010), ao analisarem sedimento erodido em cultura de eucalipto sob chuva natural obtiveram $11,42 \text{ kg ha}^{-1}$ de perdas totais de nutrientes, representadas por 63% de Ca, 18% de Mg, 13% de K e 6% de P.

Conforme García-Ruiz et al. (2008), estudos detalhados realizados em bacias hidrográficas com diferentes usos da terra são de suma importância na comparação das respostas hidrológicas em diferentes escalas de tempo. Esta informação é fundamental na validação de modelos hidrológicos e previsão da evolução dos recursos hídricos sob diferentes cenários ambientais.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar as perdas de solo, de carbono e de espécies químicas pelo escoamento superficial em áreas de reflorestamentos de pinus e de

eucalipto e pastagem, utilizando-se parcelas experimentais instaladas na bacia hidrográfica do Lajeado Fragosos, localizada no município de Concórdia, SC, Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Lajeado Fragosos, no município de Concórdia, SC, na microrregião do Alto Uruguai, região Oeste de Santa Catarina. A bacia em questão possui uma área de 58,65 km².

A metodologia compreende a realização de simulação de chuva em parcelas experimentais implantadas em áreas com diferentes cultivos sendo eles: pinus (*Pinus taeda*), eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) e um consórcio de pastagem com aveia preta (*Avena stringosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*). No experimento foram quantificadas as vazões escoadas superficialmente e determinadas às concentrações de sedimentos, carbono e espécies químicas transportadas.

O clima da região da bacia é classificado como subtropical úmido (Cfa) de acordo com o sistema de classificação de Köppen. A temperatura atmosférica média anual é de 15 °C, sem estações de secas definidas. As distribuições espaciais dos totais anuais de precipitação ficam acima dos 1500 mm, sendo que as chuvas são regulares e bem distribuídas durante o ano, ficando definido o regime tropical. A vegetação na bacia pode ser confundida com secundária devido ao seu porte, pois apresenta somente remanescentes da vegetação original. Na área da bacia pode se observar a coexistência das floras adversas, determinando o padrão estrutural e fitofisionômico Floresta Estacional Decidual (Floresta Latifoliada do Alto Uruguai). Nos ambientes com baixa alteração antrópica é possível observar áreas remanescentes da vegetação nativa bem preservada (Santa Catarina, 2006).

As áreas de pastagem e de eucalipto são próximas e estão localizadas na área mediana da bacia, praticamente no divisor de águas. A área de pinus encontra-se próxima ao exutório da bacia. Nas três áreas, o solo é classificado como Nitossolo Vermelho, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo. São solos minerais, não-hidromórficos, apresentam B textural proeminente, com elevados teores de ferro (Fe₂O₃). Tais solos são de grande importância agrícola por propiciarem elevada produtividade. No entanto, são muito suscetíveis à erosão e apresentam algumas limitações para o desenvolvimento radicular, exigindo muitas vezes o preparo convencional para o plantio.

Para a realização dos ensaios de simulação foi usado um simulador de chuva semelhante ao descrito por Meyer e Harmon (1979). O simulador foi instalado a 2,45 m acima do solo (Figura 1a). Sua alimentação foi realizada através de uma bomba submersa, com pressão constante.

A água utilizada na simulação de chuva foi proveniente de fonte situada nas proximidades do local da simulação. Para a área de pastagem foi utilizada água de poço, nas áreas de eucalipto e de pinus, a água foi captada em curso de água alimentado por nascentes. Foram realizadas análises químicas da água utilizada em cada simulação, conforme apresentado na Tabela 1.

Com a intenção de simular chuvas com características próximas das chuvas naturais, além da altura, foi usado um bico aspersor do tipo Veejet 80-100, com o qual foi obtida uma precipitação média de 94 mm h⁻¹. A pressão usada durante as simulações foi monitorada e controlada através de um manômetro.

Mesmo com todos os cuidados adotados, a cada nova simulação, foi realizada uma calibração do simulador. A calibração da intensidade das chuvas foi realizada com o auxílio de uma caixa de zinco de 1,21 m² de área superficial de coleta e 0,10 m de altura, onde a

simulação foi realizada durante um período de dois minutos. A água armazenada na caixa foi coletada e medida, determinando-se assim a intensidade da precipitação.

Foram efetuados dois ensaios de simulação de chuva em cada área, sendo a primeira sequência de ensaios no mês de setembro e a segunda no mês de novembro. As simulações foram realizadas com uma duração de 75 minutos cada, e as coletas foram realizadas a cada dez minutos após o início do escoamento superficial.

Tabela 1. Concentrações médias e desvios padrão da caracterização química da água usada nas simulações.

	Pinus	Eucalipto	Pastagem
	mg L ⁻¹		
Acetato	0,52 ± 0,62	4,97 ± 6,99	0,85 ± 1,19
Cloreto	0,69 ± 0,20	1,59 ± 0,06	1,33 ± 0,13
Nitrito	0,01 ± 0,01	0,09 ± 0,07	0,00 ± 0,00
Nitrato	6,19 ± 0,55	8,30 ± 0,61	9,73 ± 0,95
Fosfato	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Sulfato	0,71 ± 0,05	0,96 ± 0,05	0,29 ± 0,08
Sódio	1,36 ± 0,01	1,85 ± 0,41	1,99 ± 0,63
Amônio	0,31 ± 0,16	0,13 ± 0,09	0,16 ± 0,14
Potássio	0,71 ± 0,06	0,50 ± 0,40	0,81 ± 0,17
Magnésio	2,12 ± 0,47	2,81 ± 0,85	3,08 ± 0,38
Cálcio	5,70 ± 0,84	7,46 ± 2,30	7,59 ± 0,85
CO	3,40 ± 2,00	2,50 ± 2,04	1,34 ± 0,01
CI	4,22 ± 0,06	6,44 ± 1,64	9,23 ± 1,36
CT	7,61 ± 2,07	8,94 ± 0,40	10,57 ± 1,36

Durante o experimento, além do simulador de chuva, foram utilizadas parcelas de 1 m², com declividade de 42,42% para a área de pinus, 7,67% para a área de eucalipto e 10,67% para a área de pastagem. A cobertura do solo foi mantida com a vegetação predominante em cada local de simulação, mantendo-se assim, o interior das parcelas, em perfeitas condições naturais.

As parcelas experimentais foram estabelecidas através do isolamento de cada área com a fixação de chapas de aço a uma profundidade aproximada de 5 a 10 cm. As chapas foram fixadas em três lados da parcela e no lado inferior foi anexada a caixa coletora. As chapas usadas possuíam dimensões de 1,00 m de comprimento por 0,20 m de altura (Figura 1b).

A caixa coletora, construída em metal, com comprimento de 1,00 m, largura de 0,20 m e altura de 0,12 m foi anexada na parte inferior da parcela para fins de coleta de água e sedimentos transportados pelo escoamento superficial. Além disso, para a realização da coleta, um dos lados longitudinais da caixa, possuía uma abertura de 0,05 m, a qual foi disposta no mesmo nível de altura do solo. Contudo, para facilitar o escoamento do material em direção à abertura de 0,05 m da caixa coletora, o lado oposto da abertura foi instalado com uma declividade de 2% (Figura 1c).

Para a medição do escoamento e determinação da concentração de sedimentos, o material, composto por água e sedimentos, foi coletado em potes plásticos com capacidade de 920 mL. Para a determinação das concentrações de carbono e de nutrientes foram usados frascos de polietileno de 100 mL. Todas as amostras foram acondicionadas em caixa com isolamento térmico e transportadas ao laboratório de hidrologia da Fundação Universidade Regional de Blumenau, FURB, para análise.

Nas amostras coletadas durante os ensaios de simulação de chuva foram determinadas as concentrações das espécies químicas, acetato (CH_3COO^-), cloreto (Cl^-), fosfato (PO_4^{3-}), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), sulfato (SO_4^{2-}), sódio (Na^+), amônio (NH_4^+), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), bem como, carbono total (TC) dividido em carbono orgânico (CO) e carbono inorgânico (IC).

Para a determinação das concentrações das espécies químicas foi utilizado um cromatógrafo de troca iônica, marca Dionex IC-90. Foram adotadas duas metodologias, uma para cátions e outra para ânions. As condições adotadas para a determinação de Ânions foram - Injeção da amostra: 10 μL ; Temperatura: 30 °C; Taxa de fluxo: 1,2 mL min^{-1} ; Eluente: Na_2CO_3 4,5 mM/ NaHCO_3 1,4 mM; condutividade da linha de base: 21 μS ; Supressora: aniônica auto regenerante e uma coluna de separação Ânionica. Para determinação de Cátions foram - Injeção da amostra: 25 μL ; Temperatura: 30 °C; Taxa de fluxo: 0,51 mL min^{-1} ; Eluente: 20 mM H_2SO_4 ; Condutividade da linha de base 1,80 μS ; Supressora: catiônico auto regenerante; Solução regenerante: TBAOH (tetrabutylammonium) 2,06 M e uma coluna de separação catiônica. As curvas de calibração foram realizadas com padrões obtidos junto à Merck, utilizando-se cinco pontos na faixa de 1 a 10 mg L^{-1} com leitura em quintuplicata. As leituras das amostras foram realizadas em triplicatas.



Figura 1. Instalação do simulador (a); parcela experimental isolada (b); coleta da água e sedimentos (c).

Para a análise do carbono dissolvido, as amostras foram analisadas diretamente no analisador de carbono da marca *Shimadzu* com curva de calibração inserida através da leitura em quintuplicata de seis pontos.

Em relação à concentração dos sedimentos em suspensão, sua determinação foi realizada através da relação entre a massa de sedimentos e o volume da amostra de água. Para isto foram determinados os pesos da amostra, do pote com o sedimento seco em estufa a temperatura de 50 a 60 °C e do pote vazio. A diferença de peso entre o pote com sedimento e o pote vazio, forneceu a massa de sedimentos. A diferença do peso da amostra e do pote com sedimento forneceu o volume de água da amostra.

Os dados de concentração dos sedimentos, do carbono e dos nutrientes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e complementados pelo teste de Tukey a 5% de significância, a fim de averiguar diferenças significativas ou não entre as áreas de pinus, eucalipto e pastagem. As concentrações médias foram também comparadas com a Resolução n. 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências.

Foram realizados os cálculos do volume escoado e das cargas transportadas para as áreas de pinus, eucalipto e pastagem.

Para calcular o volume escoado foi utilizada a Equação 1.

$$Q_E = \frac{Q}{T} \quad [1]$$

em que:

Q_E - volume escoado (mm h^{-1});

Q - vazão (mm h^{-1});

T - tempo de coleta (s).

Para calcular a carga foi utilizada a Equação 2.

$$c \text{ arg a} = \sum C_i * Q_i * \Delta t \quad [2]$$

em que:

C_i - concentração da amostra i (mg L^{-1});

Q_i - volume de escoamento superficial ou de drenagem, armazenado no recipiente, onde foi coletada a amostra i (mm h^{-1});

Δt - intervalo de tempo entre as amostras i e $i + 1$ (s).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 2 são apresentados os hidrogramas medidos do escoamento superficial médio nas parcelas experimentais instaladas nas culturas de pinus, eucalipto e pastagem, com intensidade de precipitação média de 94 mm h^{-1} . Observa-se que em todas as parcelas houve escoamento superficial. Na parcela de eucalipto, a vazão de estabilização média foi de 84 mm h^{-1} , alcançada a partir dos 54 min. após o início do escoamento superficial. Para a pastagem, a vazão de estabilização média foi $57,77 \text{ mm h}^{-1}$, registrada a partir dos 55 min do

início do escoamento. Na área de pinus a vazão de estabilização média da ordem de $4,86 \text{ mm h}^{-1}$ foi alcançada a partir dos 45 min. após o início do escoamento superficial.

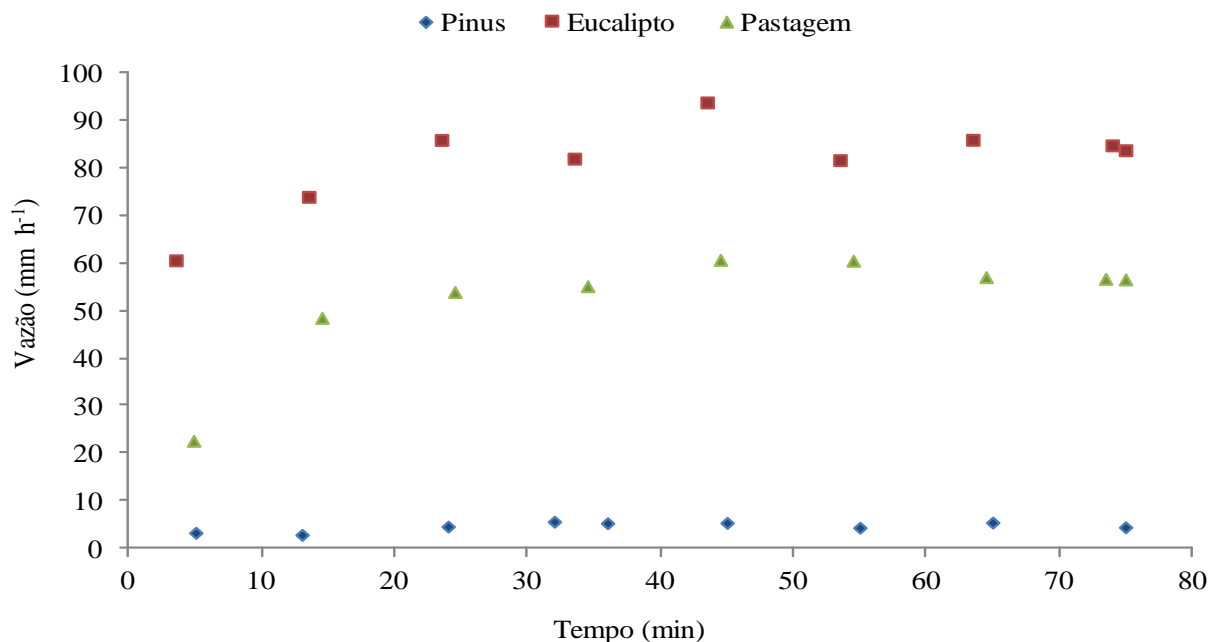


Figura 2. Hidrogramas de escoamento superficial.

Na Figura 3 são plotadas as concentrações médias e os desvios padrão dos sedimentos, carbono e espécies químicas encontrados nas áreas de pinus, eucalipto e pastagem para os ensaios de simulação de chuva com intensidade de precipitação média de 94 mm h^{-1} . Nota-se que para a concentração média de sedimento, a área de eucalipto apresentou maior concentração ($68.534,30 \pm 31.837,64 \text{ mg L}^{-1}$) do que a de pastagem ($11.478,36 \pm 6.920,39 \text{ mg L}^{-1}$) e pinus ($2.872,02 \pm 3.750,85 \text{ mg L}^{-1}$), sendo estatisticamente superior.

Na análise de água de escoamento fluvial (coletada em vertedores) de uma microbacia ocupada em 98% por *Eucalyptus saligna* Smith, Ranzini & Lima (2002) encontraram $8,5 \text{ mg L}^{-1}$ de concentração média de sedimento. Sheridan et al. (2007) encontraram 370 mg L^{-1} de concentração média para sedimento em simulações de chuva realizadas em florestas de *Eucalyptus delegatensis* RT Baker, na Austrália, com intensidade de 100 mm h^{-1} , durante 30 minutos de ensaio e em parcelas de 3 m^2 . Estes valores estão muito abaixo dos encontrados neste estudo.

Para o carbono orgânico, a área que apresentou maior concentração média foi o eucalipto ($10,56 \pm 6,76 \text{ mg L}^{-1}$) e, para o carbono inorgânico a maior concentração média foi observada na pastagem ($8,78 \pm 4,57 \text{ mg L}^{-1}$). Nas áreas de pinus e pastagem, para o carbono orgânico, os valores médios obtidos foram de $6,68 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,92 \text{ mg L}^{-1}$, e o desvio padrão foi de $\pm 1,82 \text{ mg L}^{-1}$ e $\pm 2,02 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Estes foram estatisticamente inferiores a área de eucalipto. No caso do carbono inorgânico, $4,56 \pm 1,16 \text{ mg L}^{-1}$ e $3,17 \pm 1,09 \text{ mg L}^{-1}$ foram os valores obtidos para as parcelas de eucalipto e pinus, respectivamente. Estes foram estatisticamente inferiores a parcela de pastagem.

Em relação às espécies químicas, o nitrato está presente em maior concentração média nas três áreas, sendo a pastagem a área com maior valor ($11,35 \pm 4,97 \text{ mg L}^{-1}$), seguido pelas áreas de eucalipto ($9,08 \pm 0,67 \text{ mg L}^{-1}$) e pinus ($6,18 \pm 0,92 \text{ mg L}^{-1}$). Estatisticamente, as

concentrações nas parcelas de pastagem e eucalipto não diferem entre si, porém, estas diferem da parcela de pinus que apresentou menor valor.

Comparando-se com a Resolução CONAMA n. 357/2005, verifica-se que os valores de nitrato atendem ao padrão, para as áreas de pinus e eucalipto, ficando abaixo do limite estabelecido de 10 mg L⁻¹ (independente da classe do corpo de água). O contrário ocorreu com a concentração de nitrato na pastagem, uma vez que o padrão foi excedido.

Cooper e Thomsen (1988) analisaram nitrato em água oriunda de chuvas intensas em áreas de pinus (*Pinus radiata* D.Don) e pastagem (*Holcus lanatus* L., *Lolium perenne* L., *Trifolium repens* L.) na Nova Zelândia. As amostras de água foram coletadas com o auxílio de amostradores automáticos e os valores médios encontrados foram de 0,61 mg L⁻¹ para pastagem e 0,34 mg L⁻¹ para pinus, sendo menores aos encontrados no presente estudo.

Outra espécie química que se destacou, em todas as parcelas, foi o cálcio. Com 9,16 ± 1,89 mg L⁻¹ de concentração média na pastagem, se mostrou estatisticamente superior as parcelas de eucalipto e pinus que apresentaram concentrações médias de 5,16 ± 2,11 mg L⁻¹ e 4,19 ± 0,55 mg L⁻¹, respectivamente.

Apresentando concentração média de 5,07 ± 1,61 mg L⁻¹, o magnésio foi encontrado em maior quantidade na área de pastagem, sendo estatisticamente superior as concentrações médias de 1,88 ± 0,86 mg L⁻¹ e 1,30 ± 0,28 mg L⁻¹ encontradas, respectivamente, para eucalipto e pinus.

Para o potássio as concentrações médias determinadas foram 4,81 ± 3,65 mg L⁻¹, 2,40 ± 1,52 mg L⁻¹ e 1,51 ± 0,69 mg L⁻¹ para pastagem, pinus e eucalipto, respectivamente. A primeira, de acordo com a análise estatística, é superior a das outras duas áreas.

Perdas de cálcio, magnésio e potássio por erosão hídrica são, geralmente, elevadas (Schick et al., 2000). Isto ocorre porque estes elementos estão fortemente adsorvidos aos colóides no solo, o que torna mais fácil o transporte destes com o sedimento, e também porque ocorrem em concentrações elevadas em água de escoamento superficial, por apresentarem maior solubilidade (Bertol et al., 2003). Conforme Schick et al. (2000), as grandes perdas de cálcio e magnésio também podem ser justificadas pela adição destes ao solo em quantidades relativamente grandes, por ocasião da calagem, e além disso, a retirada desses elementos pelo processo erosivo ainda tende a acelerar a reacidificação do solo.

As concentrações médias do sódio e do sulfato não apresentaram diferença estatística entre as áreas estudadas. No caso do sódio, a concentração média para a pastagem foi 1,98 ± 0,48 mg L⁻¹, para o pinus foi 1,71 ± 1,06 mg L⁻¹ e para o eucalipto foi 1,55 ± 0,86 mg L⁻¹. Em relação ao sulfato, 2,62 ± 4,39 mg L⁻¹, 1,23 ± 0,33 mg L⁻¹ e 1,01 ± 0,12 mg L⁻¹, foram as concentrações médias encontradas, respectivamente.

No que diz respeito ao sulfato, as concentrações encontradas em todas as áreas, pinus, eucalipto e pastagem, são inferiores ao padrão de 250 mg L⁻¹ (independente da classe do corpo de água) estabelecido pela Resolução CONAMA n. 357/2005.

Em relação ao fósforo, na área de pastagem foi detectada a maior concentração média (4,10 ± 1,34 mg L⁻¹), seguido pelas áreas de eucalipto (0,13 ± 0,17 mg L⁻¹) e pinus (0,03 ± 0,02 mg L⁻¹), sendo que estes dois últimos se mostraram estatisticamente inferiores a área de pastagem.

A legislação brasileira não reconhece o fósforo como contaminante de solo, reforçando a percepção do agricultor de que a adubação fosfatada deve obedecer a critérios produtivos e econômicos, e não ambientais. Além disso, a falta de definição da espécie de fósforo e uma metodologia padrão, conforme a resolução 357/05 do CONAMA pode levar à possibilidade de se utilizar, como padrão, uma forma química que apresente riscos menores que os reais ou uma metodologia de baixa representatividade (Gebler et al., 2012).

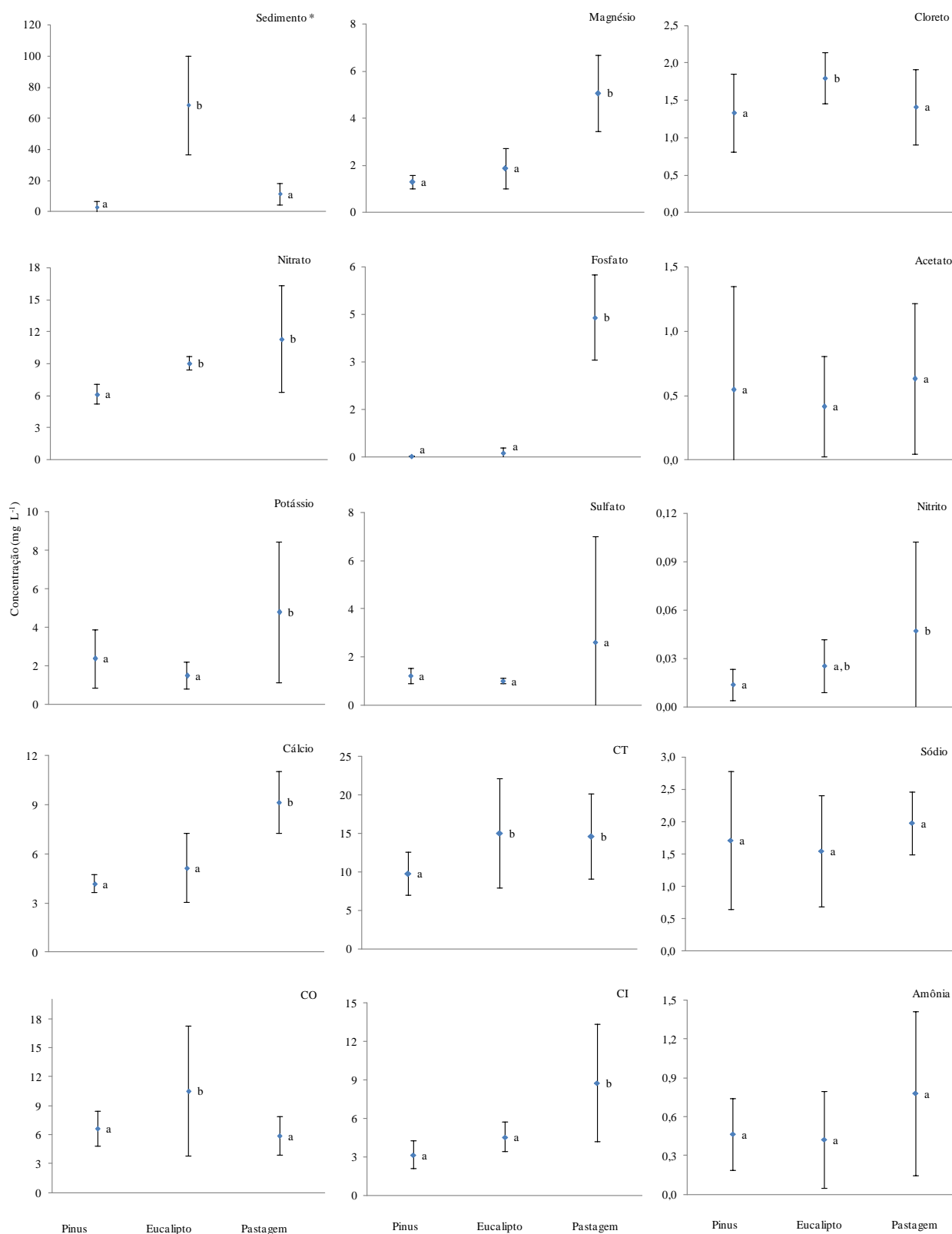


Figura 3. Concentrações médias e desvios padrão de nutrientes, carbono (mg L^{-1}) e sedimentos* (g L^{-1}) em ensaio de chuva simulada com intensidade de precipitação média de 94 mm h^{-1} ; (CO, CI, CT - carbono orgânico, inorgânico e total, respectivamente). Médias seguidas por letras iguais, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey $p > 0,05$.

Neste sentido, para fins de comparação, foi necessário transformar o valor de fósforo total recomendado pela Resolução CONAMA n. 357/2005 em fosfato. Assim, a partir da relação $PO_4 = P_{total} * 3,066$, o valor $0,05 \text{ mg L}^{-1}$, recomendado para ambientes intermediários e de classe 2 (classe de enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Lajeado Fragosos de acordo com a Resolução n. 2/2008 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina), obteve-se a concentração $0,1533 \text{ mg L}^{-1}$, como valor recomendado de fosfato. Adotando, então, o valor de $0,1533 \text{ mg L}^{-1}$, e de acordo com as concentrações de fosfato encontradas, apenas na área de pastagem estas são superiores.

O cloreto foi o único que não apresentou maior concentração média na área de pastagem ($1,41 \pm 0,51 \text{ mg L}^{-1}$). Sua concentração foi maior na área de eucalipto ($1,80 \pm 0,34 \text{ mg L}^{-1}$) e menor na área de pinus ($1,34 \pm 0,52 \text{ mg L}^{-1}$). Em termos estatísticos, a concentração média desta espécie química na área de eucalipto se mostrou superior as demais.

No caso do cloreto, a Resolução CONAMA n. 357/2005, estabelece somente valores limites para corpos de água classificados como Classe 1 e 3 (250 mg L^{-1}), estando as concentrações de todas as áreas, pinus, eucaliptos e pastagem, abaixo do valor fixado.

Para amônio e acetato não foi verificado diferença estatística entre as parcelas estudadas. As concentrações médias encontradas para amônio foram $0,78 \pm 0,63 \text{ mg L}^{-1}$, $0,47 \pm 0,28 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,43 \pm 0,37 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, para pastagem, pinus e eucalipto. Para o acetato, $0,63 \pm 0,59 \text{ mg L}^{-1}$, $0,55 \pm 0,80 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,42 \pm 0,39 \text{ mg L}^{-1}$ foram as concentrações médias encontradas para pastagem, pinus e eucalipto, respectivamente.

Nitrito foi a espécie química encontrada em menor quantidade em todas as áreas analisadas. Apesar da concentração média deste nutriente ser maior na área de pastagem ($0,05 \pm 0,06 \text{ mg L}^{-1}$), esta, estatisticamente, não difere da encontrada para a área de eucalipto ($0,03 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$), que por sua vez não difere estatisticamente da determinada para área de pinus ($0,01 \pm 0,01 \text{ mg L}^{-1}$).

De acordo com CONAMA n. 357/2005 os valores de todas as áreas, pinus, eucalipto e pastagem, estão em conformidade ao limite de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ (independente da classe do corpo de água) determinado pela Resolução. Ranzini e Lima (2002), obtiveram concentrações médias de $2,10 \text{ mg L}^{-1}$ para sódio, $1,35 \text{ mg L}^{-1}$ para potássio, $0,88 \text{ mg L}^{-1}$ para cálcio, $0,49 \text{ mg L}^{-1}$ para magnésio, $0,28 \text{ mg L}^{-1}$ para nitrato, $0,04 \text{ mg L}^{-1}$ para amônia e $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ para fosfato. Tais valores, com exceção do sódio, são inferiores aos encontrados na presente pesquisa.

Constatou-se ainda, que a área de pinus apresentou as menores concentrações na maioria dos parâmetros analisados. Tal fato pode ser justificado pela densa serapilheira de acículas que é formada nessas áreas, uma vez que a decomposição lenta das acículas retarda a liberação das espécies químicas. Esse material apresenta decomposição lenta, devido ao seu alto teor de lignina, o que dificulta a ação dos microrganismos decompositores (Murphy et al., 1998; Kleinpaul et al., 2005).

Cabe ressaltar que, a não comparação de alguns parâmetros com a Resolução CONAMA n. 357/2005 se deve a não existência de informações na mesma sobre os limites de concentração para tais parâmetros.

A magnitude das contribuições de fontes difusas de nutrientes em uma bacia hidrográfica de ocupação agrícola está intimamente ligada à ocupação e ao manejo do solo, os quais por sua vez estão relacionados às interações solo-água-nutriente e às condições climáticas, topográficas, pedológicas e geológicas locais (Pisa et al., 1999).

Na Figura 3 são apresentadas as cargas de sedimentos, carbono e espécies químicas presentes na água do escoamento obtida nos ensaios de simulação de chuva realizados nas áreas de pinus, eucalipto e pastagem. Percebe-se que para cálcio ($5,62 \text{ kg ha}^{-1}$), magnésio ($2,97 \text{ kg ha}^{-1}$), potássio ($2,31 \text{ kg ha}^{-1}$), amônio ($0,36 \text{ kg ha}^{-1}$), sódio ($1,20 \text{ kg ha}^{-1}$), sulfato

(0,98 kg ha⁻¹), fosfato (2,54 kg ha⁻¹), nitrito (0,023 kg ha⁻¹) e acetato (0,32 g ha⁻¹) as cargas transportadas foram mais elevadas na área de pastagem. O mesmo aconteceu com o carbono inorgânico, com carga de 5,49 kg ha⁻¹. Conforme Hubbard et al. (2004), bacias hidrográficas ocupadas por pastagens e com concentração de animais têm apresentado descargas de espécies químicas de 5 a 10 vezes maiores do que as bacias hidrográficas ocupadas por lavouras ou florestas.

Para o carbono orgânico, sedimento, assim como para as espécies químicas cloreto (1,46 kg ha⁻¹) e nitrato (7,41 kg ha⁻¹), as cargas transportadas foram mais elevadas na área de eucalipto. Isso se explica pela geração de escoamento superficial maior (Figura 2) e pelas concentrações mais elevadas destes parâmetros (Figura 4), com exceção do cloreto, terem ocorrido nessa parcela. Por outro lado, a área de pinus foi a que apresentou menor transporte de carga para todos os parâmetros analisados.

Os baixos valores de carga encontrados na área de pinus são justificados pelo reduzido escoamento superficial registrado nessa parcela, conforme pode ser observado na Figura 2, bem como, em virtude das concentrações da maioria dos parâmetros também serem inferiores (Figura 4) quando comparadas com aquelas das parcelas de eucalipto e pastagem.

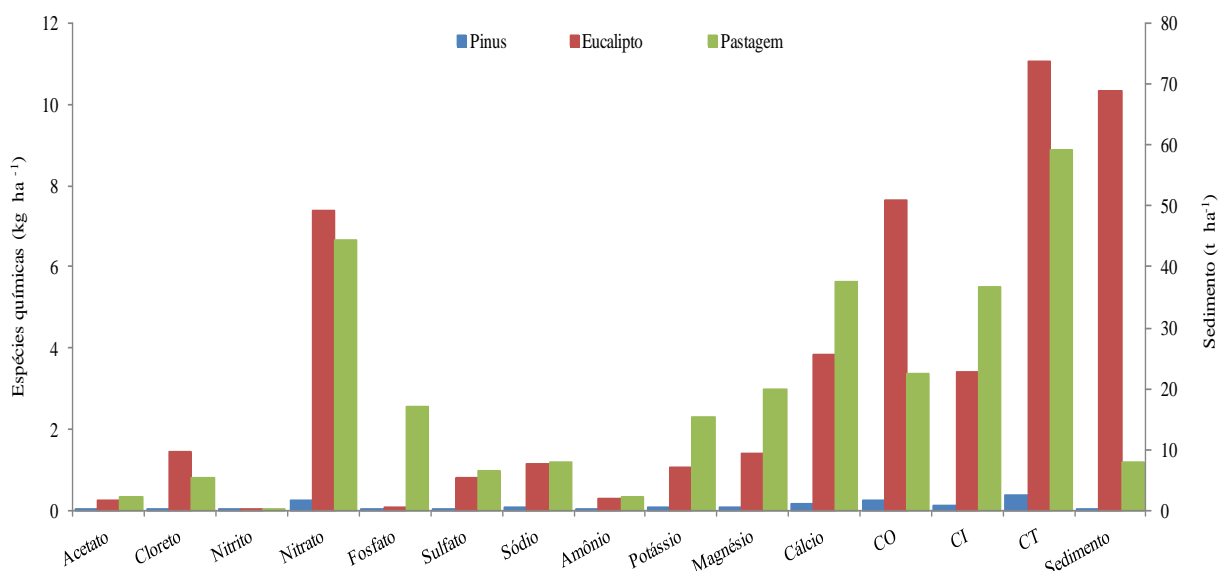


Figura 4. Cargas transportadas de nutrientes e carbono dissolvido (g ha⁻¹), e sedimento (t ha⁻¹) para os ensaios de chuva simulada com intensidade de precipitação média de 94 mm h⁻¹; (CO, CI, CT – carbono orgânico, inorgânico e total, respectivamente).

Torna-se importante destacar ainda que carbono total (11,07 kg ha⁻¹), carbono orgânico (7,65 kg ha⁻¹), sedimento (68,88 t ha⁻¹) e nitrato (7,41 kg ha⁻¹) foram os elementos com maior carga transportada, sendo esta na área de eucalipto. As elevadas perdas de carbono podem ser explicadas pelo fato de ser a matéria orgânica o primeiro constituinte a ser removido pela erosão, considerando sua alta concentração na superfície do solo e, principalmente, sua baixa densidade (Schick et al., 2000).

Ranzini e Lima (2002) estudando o comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em florestas de eucalipto, com uma precipitação de 1280 mm⁻¹ por ano, encontraram os seguintes valores de carga - sódio: 14,59 kg ha⁻¹, potássio: 9,81 kg ha⁻¹, cálcio: 6,38 kg ha⁻¹, magnésio: 3,53 kg ha⁻¹, nitrato: 2,08 kg ha⁻¹, amônia: 0,30 kg ha⁻¹ e fosfato: 0,14 kg ha⁻¹.

PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SCHNEIDERS, D.; GOTARDO, R. Transporte de sedimentos e espécies químicas em áreas de reflorestamentos e pastagem com base em chuva simulada. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1106>)

Segundo Helmers et al. (2005), em uma pesquisa na bacia de Nebraska, o uso de gramíneas pode alcançar uma eficiência no aprisionamento de sedimentos de até 80%. Após eventos de chuva natural, Pitts et al. (1997), obtiveram diferentes perdas de sedimento de acordo com o tipo de pastagem, 0,088 t ha⁻¹ para *Cynodon dactylon*, 0,089 t ha⁻¹ para *Festuca arundinacea* e 0,17 t ha⁻¹ para *Panicum virgatum*.

Barbosa et al. (2009) obtiveram perdas de fósforo da ordem de 0,026 kg ha⁻¹ para aveia (*Avena strigosa*) e 0,025 kg ha⁻¹ para ervilhaca (*Vicia sativa*) em água de escoamento oriunda de ensaios de simulação de chuva com intensidade de precipitação de 64 mm h⁻¹ e duração de 1 h.

4. CONCLUSÃO

As concentrações de sedimento e carbono orgânico foram maiores na área de eucalipto. Nitrato, cálcio, magnésio e potássio foram os nutrientes que apresentaram as maiores concentrações para todas as áreas, pinus, eucalipto e pastagem.

A parcela com pinus apresentou as menores concentrações para a maioria dos parâmetros analisados.

Carbono total, carbono orgânico, sedimento e nitrato foram os parâmetros com maior carga transportada, sendo esta na área de eucalipto. Contudo, para todos os nutrientes, com exceção do nitrato e do cloreto, as cargas transportadas foram mais elevadas na pastagem.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESC, Termo de Outorga 17419/2011-0 e ao CNPq, Processo 562378/2010-3, Edital 22/2010 – Tem C, pelo suporte financeiro ao desenvolvimento do trabalho, ao CNPq, processo 302022/2011-2, pela bolsa de produtividade de pesquisa e, a CAPES, programas PROAP e REPENSA, pela concessão de bolsas de mestrado.

6. REFERÊNCIAS

- BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; GONZALEZ, A. P. Phosphorus losses in water and sediments in runoff of the water erosion in oat and vetch crops seed in contour and downhill. **Soil & Tillage Research**, v. 106, p. 22-28, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2009.09.004>
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 485-494, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300010>
- BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 581-586, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162003000300025>
- BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do horto ouro verde, Conchal - SP. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 742-748, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000300020>
- COOPER, A. B.; THOMSEN, C. E. Nitrogen and phosphorus in streamwaters from adjacent pasture, pine, and native forest catchments. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 22, p. 279-291, 1988.

- PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SCHNEIDERS, D.; GOTARDO, R. Transporte de sedimentos e espécies químicas em áreas de reflorestamentos e pastagem com base em chuva simulada. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1106>)
-
- DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 115-125, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100013>
- GARCÍA-RUIZ, J. M.; REGÜÉS, D.; ALVERA, B.; LANA-RENAULT, N.; SERRANO-MUELA, P.; NADAL-ROMERO, E.; NAVAS, A.; LATRON, J.; MARTÍ-BONO, C. Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. **Journal of Hydrology**, v. 356, p. 245-260, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.04.013>
- GEBLER, L.; LOUZADA, J. A. S.; BERTOL, I.; RAMOS, R. R.; MIQUELLUTI, D. J.; SCHRAMMEL, B. M. Adaptação metodológica no cálculo de cargas contaminantes de fósforo em bacias hidrográficas gaúchas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 769-776, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000700010>
- GUIMARÃES, R. Z.; LINGNAU, C.; RIZZI, N. E.; SCHEICHI, R. G.; BIANCHI, R. C. Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do rio Campinas, Joinville SC. **Raega**, v. 23, p. 534-554, 2011.
- HELMERS, M.; EISENHAUER, D. E.; DOSSKEY, M.; FRANTI, T. G.; BROTHERS, J. M. Flow pathways and sediment trapping in a field-scale vegetative filter. **Transactions of the ASAE**, v. 48, n. 3, p. 955-968, 2005.
- HUBBARD, R. K.; NEWTON, G. L.; HILL, G. M. Water quality and the grazing animal. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 13, p. 255-263, 2004. Supplement.
- KLEINPAUL, I. S.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; BRUN, F. G. K.; KLEINPAUL, J. J. Suficiência amostral para coletas de serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliottii* Engelm, *Eucalyptus* sp. e floresta estacional decidual. **Revista Árvore**, v. 29, p. 965-972, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000600016>
- LIMA, W. P. Escoamento superficial, perdas de solo e de nutrientes em microparcelas reflorestadas com eucalipto em solos arenosos no município de São Simão, SP. **IPEF**, v. 38, p. 5-16, 1988.
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; FONSECA, S. Cover-management factor and soil and water losses from eucalyptus cultivation and Atlantic Forest at the Coastal Plain in the Espírito Santo State, Brazil. **Scientia Forestalis**, v. 38, p. 517-526, 2010.
- MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. **Transactions of the ASAE**, v. 22, n. 1, p. 100-103, 1979.
- MURPHY, K. L.; KLOPATEK, J. M.; KLOPATEK, C. C. The effects of litter quality and climate on decomposition along an elevational gradient. **Ecological Applications**, v. 8, p. 1061-1071, 1998. [http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[1061:TEOLQA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[1061:TEOLQA]2.0.CO;2)
- OLIVEIRA, A. H. **Erosão hídrica em florestas de eucalipto na região sudeste do Rio Grande do Sul**. 2008. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SCHNEIDERS, D.; GOTARDO, R. Transporte de sedimentos e espécies químicas em áreas de reflorestamentos e pastagem com base em chuva simulada. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1106>)

OLIVEIRA, J. R. **Perdas de solo, água e nutrientes em um argissolo vermelho-amarelo sob diferentes padrões de chuva simulada**. 2007. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

PINHEIRO, D. T. C.; COSTA, C. C.; MOTTA, L. L.; GODINHO, F. C.; SILVA, J. V. Monitoramento da fertilidade do solo submetido à erosão hídrica em área cultivada com *Eucalyptus* sp. em São João Evangelista - MG. **Revista Agrogeoambiental**, v. 2, n. 1, p. 57-65, 2010.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 687-695, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000400021>

PISA, P. R.; PRETI, F.; ROSSI, M.; VENTURA, F.; MAZZANTI, B. Water, soil and chemical losses: field experiments and model analysis. **Water Science and Technology**, v. 39, p. 93-102, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00041-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00041-4)

PITTS, E.; YOO, K.; MILLER-GOODMAN, M.; LOS SANTOS, W. Runoff, erosion, and water quality detriment evaluated in grazing studies. **Highlights of Agricultural Research**, v. 44, n. 3, p. 1-5, 1997.

RANZINI, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, v. 61, p. 144-159, 2002.

SANTA CATARINA. Secretaria do Estado. **Estudos de gestão de recursos para o Estado de Santa Catarina e apoio para sua implementação**: panorama dos recursos hídricos em Santa Catarina. Florianópolis, 2006. 231p.

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

SHERIDAN, G. J.; LANE, P. N. J.; NOSKE, P. J. Quantification of hillslope runoff and erosion processes before and after wildfire in a wet *Eucalyptus* forest. **Journal of Hydrology**, v. 343, p. 12-28, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.06.005>

SILVA, A. M.; CURI, N.; LIMA, J. M.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1223-1230, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200010>

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; LEITE, F. P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 765-776, 2011.

VITAL, A. R. T.; LIMA, W. P.; CAMARGO, F. R. A. The effects of clearcutting of *Eucalyptus* plantation on the water balance, water quality and soil and nutrient losses in a small catchment. **Scientia Forestalis**, v. 55, p. 5-16, 1999.

PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SCHNEIDERS, D.; GOTARDO, R. Transporte de sedimentos e espécies químicas em áreas de reflorestamentos e pastagem com base em chuva simulada. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1106>)

WICHERT, M. C. P. **Erosão hídrica e desenvolvimento inicial do Eucalyptus grandis em um argissolo vermelho amarelo submetido a diferentes métodos de preparo de solo no vale do Paraíba, SP**. 2005. 84f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.