



# XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas  
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

## RESISTÊNCIA DO SOLO AO CISALHAMENTO RELACIONADO A ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO SOB FLORESTAS DE EUCALIPTO E CAMPO NATIVO

**Charlotte Wink<sup>1)</sup>; Leandro Dalbianco<sup>2)</sup>; José Miguel Reichert<sup>3)</sup>; Dalvan José Reinert<sup>3)</sup>; Miriam Fernanda Rodrigues<sup>4)</sup>; Maurício Kunz<sup>5)</sup>; Fabiano de Vargas Arigony Braga<sup>5)</sup>; Suzana Ferreira da Rosa<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Eng. Florestal, Doutoranda, Universidade Federal de Santa Maria, PPGEF, Avenida Roraima Faixa de Camobi, Km 9 - Campus Universitário Santa Maria – RS, 97105-900 (charlotewink@yahoo.com.br); <sup>2)</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando, PPGCS/UFSM; <sup>3)</sup> Eng. Agrônomo, Ph., Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, UFSM; <sup>4)</sup> Eng. Florestal, Mestranda, UFSM, PPGEF; <sup>5)</sup> Eng. Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo.

**Resumo** – O estudo teve por objetivo relacionar a resistência do solo ao cisalhamento com os atributos físicos e químicos de um Argissolo cultivado com florestas de eucalipto e com campo nativo. O estudo foi realizado em florestas equiâneas de eucalipto de 20 (E20), 44 (E44) e 240 (E240) meses de idade, e campo nativo (CN), na FEPAGRO FLORESTAS, em Santa Maria, RS. Foram determinadas a análise granulométrica, a densidade de partículas, a densidade do solo, a porosidade, a matéria orgânica, a umidade do solo e a resistência ao cisalhamento. Procedeu-se a análise pela correlação linear de Pearson, avaliando a relação dos atributos físicos e químicos do solo à resistência ao cisalhamento dos solos utilizados com florestas de eucalipto e com campo nativo. A resistência ao cisalhamento e a umidade do solo aumentaram com o aumento da profundidade do perfil de solo. A resistência do solo ao cisalhamento, independentemente da posição (vertical ou horizontal) amostrada na camada de solo, se correlacionou aos atributos físicos, como a macro e microporosidade, com a areia total, areia fina e argila, mas não apresentou correlação significativa com os atributos químicos. Apesar disso, a posição de amostragem da resistência do solo ao cisalhamento, se horizontal ou vertical durante a amostragem na camada de solo, também influenciou na correlação significativa com alguns outros atributos físicos do solo. Com isso destaca-se a importância ainda de estudar a resistência do solo ao cisalhamento com a estrutura e a consistência do solo, principalmente em áreas nativas convertidas em florestas de eucalipto.

**Palavras-Chave:** cisalhamento; química; física; floresta; campo.

### INTRODUÇÃO

Os solos são conhecidos como corpos tridimensionais constituídos de partículas de diferentes tamanhos, o que lhes garante uma capacidade limitada de suportar tensões ou forças que tende em rompê-lo ou deformá-lo. Portanto, a deformação nada mais é que o resultado do deslocamento dessas partículas constituintes. Esse deslocamento tem ocorrido devido ao uso intensivo de máquinas e implementos no uso e preparo do solo o qual tem alterado os atributos físicos,

mecânicos e químicos do solo. Dentre as tensões, podem-se citar as de tração e as de cisalhamento.

Desse modo, a resistência ao cisalhamento refere-se à resistência por área que o solo possui, em resistir a rupturas e ao deslizamento sobre um plano (Reichert et al. 2010), ou seja, a tensão máxima que o solo suporta sem sofrer ruptura ou rompimento, determinado assim pelas características coesivas de suas partículas (Pinto 2000, citado por Silva; Carvalho, 2007). Na prática, se a tensão de cisalhamento do solo exceder ao valor crítico de resistência, o solo se rompe (Reichert et al. 2010).

Os parâmetros que determinam a resistência ao cisalhamento, segundo Silva et al. (2004) citando alguns autores, são o teor de água, o tamanho de partículas e o preparo de solo. Além do teor de água e da distribuição do tamanho de partícula, Silva; Carvalho (2007) referenciando alguns autores, citam também como principais fatores a densidade e a estrutura do solo, indicando que em solos arenosos ela depende do atrito entre partículas, e em solos argilosos, além desse atrito, ela dependeria também da coesão do solo. Dos diferentes métodos de determinação dessa resistência, Reichert et al. (2010), citam o do Torvane, como o método do Cisalhamento Torcional. Esse método é útil em casos de resistência sob deformações muito grandes (escala de metros), pois possibilita várias rotações entre a parte superior e inferior da amostra, sendo que essa resistência sob deformação é chamada de residual.

Portanto, a facilidade de emprego desse método pode ser atribuída à obtenção da resistência ao cisalhamento direto no campo, rápida e instantaneamente, sem a necessidade de coletas de amostras e de qualquer outro ensaio laboratorial. Frente a isso e à importância de se reconhecer a resistência do solo, poucos são os trabalhos realizados com ensaio de cisalhamento em áreas de florestas de eucalipto no RS, e com vegetação nativa. A relevância desse fato é atribuída à importância dessas florestas ao meio ambiente, bem como da sua expansão produtiva.

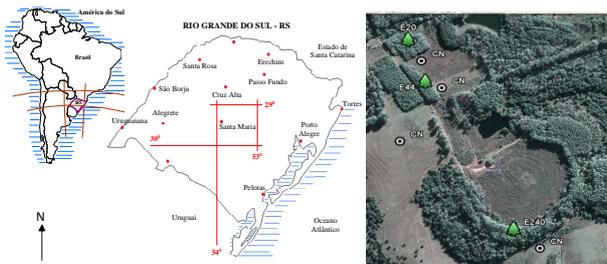
O presente estudo teve por objetivo relacionar a resistência ao cisalhamento aos atributos físicos e químicos de um Argissolo cultivado com florestas de eucalipto e com campo nativo.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em florestas equiâneas de eucalipto de 20 (E20), 44 (E44) e 240 (E240) meses de

idade, e no campo nativo (CN), na Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, FEPAGRO Florestas, em Santa Maria, RS, Brasil (Figura 1).

O clima é subtropical úmido do tipo Cfa, pela classificação de Köppen, com a temperatura média de 19° C, e a precipitação anual de 1300 a 1770 mm (Moreno, 1961). As áreas de estudo estão localizadas sob a classe taxonômica do Argissolo (Abrão et al., 1988; Embrapa, 2006). Essa classe compreende solos mediamente espessos, bem drenados, com presença de B textural, sendo pobres em matéria orgânica (Streck et al., 2008).



**Figura 1.** Centro de Pesquisas de Florestas e Conservação do Solo - FEPAGRO, em Santa Maria, RS, Brasil. Florestas de eucalipto com 20 (E20), 44 (E44) e 240 (E240) meses de idade e campo nativo (CN).

O tratamento E20 corresponde à floresta de eucalipto com 20 meses de idade implantado em 2006, sob campo nativo, em espaçamento 3 x 2 m (Prevedello, 2008). O tratamento E44 corresponde à floresta de eucalipto com 44 meses de idade, implantado em 2004, sob campo nativo, em espaçamento 3 x 1,5 m. O tratamento E240 corresponde à floresta de eucalipto com 240 meses de idade, implantado em campo nativo, em espaçamento 3 x 2 m, e por fim o CN que corresponde ao campo nativo.

Em cada área (especificamente na entrelinha do plantio), a amostragem foi realizada em quatro perfis de solo de 1,0 x 0,6 m e profundidade média de 1,3 m. No CN, essas foram alocadas próximas as áreas florestais. Os perfis foram divididos em seis camadas observando as características como cor, textura e consistência.

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997), a densidade de partículas (Dp) determinada pelo método do balão volumétrico modificado (Gubiani et al., 2006), e a densidade do solo (Ds) determinada pela metodologia do cilindro (TFSE/volume do anel), sendo esse ainda utilizada para a determinação da porosidade. A microporosidade foi obtida em Mesa de Tensão, sendo que a porosidade total (Pt) foi calculada pela razão entre a Ds e a Dp. A diferença entre essas duas variáveis resultou no valor da macroporosidade (macro). A matéria orgânica (MO) foi estimada pela multiplicação dos valores de carbono (obtidos via Auto-analisador Elementar modelo FlashEA 1112) pela constante 1,724. A umidade do solo ou Us (%) foi obtida com amostras de solo em estrutura não

preservada, a partir do peso da amostra úmida e seca em estufa a 105° C. A resistência ao cisalhamento em KPa, foi determinada com o aparelho Torvane (Figura 2) na posição horizontal (RC<sub>hor</sub>) em todas as áreas e na posição vertical (RC<sub>vert</sub>) somente no tratamento E240 e CN, em média de seis medições em cada camada de solo.



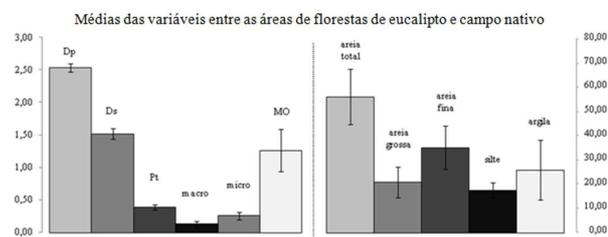
1. Medidor e aplicador de torção;
2. Mola responsável pela torção;
3. Aletas cisalhantes (Vanes);
4. Estojo de armazenamento;

**Figura 2.** Aparelho do Torvane utilizado nas determinações da resistência do solo ao cisalhamento (Barros et al. 2008).

Os dados referentes aos atributos físicos e químicos foram analisados pela correlação linear de Pearson, determinando a probabilidade de relação significativa ao nível de 5% de erro desses com a resistência de do solo ao cisalhamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média e desvio padrão dos atributos físicos e químicos podem ser vistas na Figura 3.



**Figura 3.** Média e desvio padrão dos atributos físicos e químicos do solo nas florestas de eucalipto e no campo nativo, na Fepagro Florestas, em Santa Maria, RS, Brasil. sendo Dp: Mg.m<sup>-3</sup>; DS: Mg.m<sup>-3</sup>; Pt, macro, micro: m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>; MO: %; areia total, areia grossa, areia fina, silte e argila em %.

A partir desses valores médios, Wink (2009) esclarece que a implantação dessas florestas sob o campo nativo não causou alterações significativas desses atributos físicos do solo.

Os valores médios da resistência do solo ao cisalhamento (KPa), bem como da umidade (%) por camada de solo e por área de estudo podem ser vistos na Tabela 1.

A resistência ao cisalhamento (horizontal e vertical) aumentou à medida que aumentou a profundidade do solo (camada de solo) em todas as áreas estudadas. Essa mesma analogia ocorreu para a umidade do solo. Nas florestas jovens (E20 e E44), o aumento de umidade do solo em relação ao aumento da resistência do cisalhamento não foi proporcional em profundidade, ou seja, observou-se um aumento expressivo nos valores de resistência ao cisalhamento em profundidade, mas um pequeno aumento

na umidade do solo. Em contrapartida, nas demais áreas (E240 e CN), a variação numérica desses dois parâmetros foi similarmente proporcional, à variação em profundidade do perfil.

**Tabela 1.** Média da resistência do solo ao cisalhamento (KPa) e da umidade do solo (%) nas camadas de solo nas florestas de eucalipto (E20, E44 e E240) e no campo nativo (CN), na Fepagro Florestas, em Santa Maria, RS.

Camada	Resistência ao cisalhamento – RC (KPa)			
	E20	E44	E240	CN
1	32,84	44,60	13,47 (12,67)	15,66 (15,11)
2	35,93	49,08	12,02 (12,87)	14,72 (12,54)
3	31,63	41,95	10,33 (13,76)	12,60 (12,92)
4	64,71	54,40	23,72 (27,29)	13,03 (16,71)
5	88,15	63,30	37,88 (35,07)	14,86 (16,19)
6	80,59	62,00	31,67 (47,98)	30,98 (34,58)

Camada	Umidade do solo - Us (%)			
	E20	E44	E240	CN
1	15,59	15,37	17,43 (17,43)	13,21 (13,21)
2	14,06	15,49	20,85 (20,85)	13,78 (13,93)
3	13,55	15,31	21,84 (21,84)	14,02 (14,56)
4	14,06	19,40	34,74 (34,74)	15,19 (16,54)
5	17,68	25,76	38,93 (38,93)	19,83 (18,65)
6	24,82	30,88	38,99 (39,91)	24,37 (26,61)

sendo os valores entre parênteses referente a média da resistência do solo ao cisalhamento vertical e a sua respectiva média da umidade do solo (%) na posição vertical.

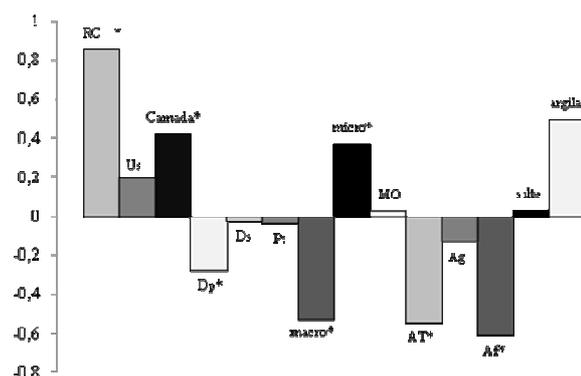
Conforme Silva; Carvalho (2007) a resistência ao cisalhamento do solo aumenta expressivamente com a redução do teor de água no horizonte BA. Contudo Silva et al. (2004) expõem que essa resistência do solo ao cisalhamento na profundidade 0,00-0,05 m foi influenciado pelo aumento da umidade, pelo tipo de uso manejo, em Latossolo. Com a sensibilidade da relação entre essas variáveis, percebe-se uma contribuição para estudos da sustentabilidade da estrutura dos solos, principalmente os agrícolas submetidos ao preparo do solo por máquinas de forma inadequada. Barros et al. (2008) não registraram diferença da resistência do solo ao cisalhamento, pelo método do Torvane entre as camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20m, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m e entre os diferentes tipos de campo (CN, CN compactado, CN dessecado e CN dessecado compactado), podendo isso estar associado à classe textural que influencia na agregação. Dalbianco (2009) comenta que, nas camadas superficiais, essa tensão de cisalhamento é influenciada pelos valores de cobertura vegetal, conforme o registro dos maiores valores de tensão de cisalhamento na área de campo nativo e os menores em áreas revolvidas. Além disso, deve-se considerar também a agregação quando se define as cargas normais a serem utilizadas em ensaios de cisalhamento direto (Braida et al., 2007).

Os resultados da correlação linear de Pearson (R) com os valores de probabilidade (r) significativas ao nível de 5% de erro (\*) podem ser vistas na Figura 5.

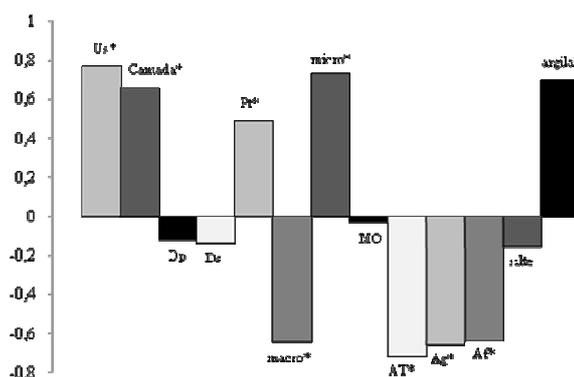
Com esses resultados estatísticos, pode-se afirmar para os locais estudados que a resistência do solo ao cisalhamento está significativamente relacionada, independentemente da área, com a camada do solo (profundidade), com a macro e microporosidade (micro), com a areia total (AT), com a areia fina (Af) e com a argila, mas ausente de correlação linear com a

densidade do solo (Ds), com a matéria orgânica (MO) e com os valores de silte. Em contrapartida Silva; Carvalho (2007) registraram no horizonte BA os maiores valores de resistência ao cisalhamento do solo, com o maior valor de densidade do solo e microporosidade em comparação ao horizonte A e Bw2. Para Dalbianco (2009), citando diversos autores, a maior resistência mecânica em solos nativos (campo ou mata) é atribuída à matéria orgânica, as raízes e a presença de ligações físico-químicas; ou ainda a umidade gravimétrica conforme Streck et al. (2004), o qual registrou o rompimento do solo (cisalhamento) de um Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico arênico quando esse possuía uma umidade gravimétrica de 15% não suportando o número intenso da passagem de máquinas. Portanto, devido isso, para Reichert et al. (2010) essa força de cisalhamento é resultante da resistência estrutural ao deslocamento das partículas do solo; da resistência de fricção ao deslocamento entre as partículas individuais e seus pontos de contato; e por fim da coesão (adesão) entre as superfícies das partículas do solo. Ou seja, as características de cisalhamento do solo são representadas pela coesão do solo, pelo ângulo de atrito interno e pela resistência natural do solo ao cisalhamento (Ortigon, 1995).

**Índice de correlação de Pearson (R) da resistência ao cisalhamento horizontal (RC<sub>hor</sub>)**



**Índice de correlação de Pearson (R) da resistência ao cisalhamento vertical (RC<sub>vert</sub>)**



**Figura 5.** Índice de correlação de Pearson (R) e a probabilidade significativa ao nível de 5% de erro (\*) para a resistência ao cisalhamento horizontal (RC<sub>hor</sub>), vertical (RC<sub>vert</sub>), e da umidade do solo aos atributos do solo, nas florestas de eucalipto e no campo nativo, na Fepagro Florestas, em Santa Maria, RS, Brasil. \* valores de r significativos ao nível de 5%. Sendo Us: umidade do solo; Camada: profundidade; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; macro: macroporosidade; micro: microporosidade; MO: matéria orgânica; AT: areia total; Ag: areia grossa; Af: areia fina;

Secco (2003) registrou, com um aparelho de cisalhamento direto, que a coesão teve relação com a densidade do solo, e diminuição com o aumento do teor de água. Os atributos relacionados com o cisalhamento do solo também são influenciados pelos sistemas de uso e manejo, identificado por Silva; Cabeda (2005) comparando sistemas de sequeiro e irrigado com a mata, sendo que os primeiros sistemas de uso apresentaram a maior coesão e o maior ângulo de atrito interno dos solos refletindo uma maior resistência ao cisalhamento, comparado a mata. Além disso, essa coesão aumenta com a redução do teor de água e com o aumento dos teores de óxidos de ferro, silício e alumínio no solo.

Pode-se ainda afirmar, com os resultados desse estudo, que a posição de amostragem da resistência do solo ao cisalhamento (horizontal e vertical) pelo método do Torvane também influenciou na obtenção de correlações significativas com determinados atributos físicos do solo. Essa afirmação é destacada, pois no estudo registraram-se valores significativos da densidade de partículas (Dp) apenas com a resistência ao cisalhamento horizontal, e da umidade do solo, da porosidade total (Pt) e da areia grossa (Ag) com a resistência do solo ao cisalhamento vertical, nas diversas camadas avaliadas.

### CONCLUSÕES

1. A resistência do solo ao cisalhamento e a umidade do solo aumentaram com o aumento da profundidade do perfil.

2. Independentemente da posição amostrada na camada de solo (vertical ou horizontal) a resistência do solo ao cisalhamento se correlacionou aos atributos físicos do solo (macro e microporosidade, com a areia total, areia fina e argila), mas não apresentou correlação significativa com os atributos químicos.

3. A posição de amostragem da resistência do solo ao cisalhamento, se horizontal ou vertical a camada de solo, também influenciou na correlação significativa com a densidade de partículas, a porosidade total, a areia grossa.

### AGRADECIMENTOS

Agradece-se à FEPAGRO, especialmente ao Centro de Pesquisas de Florestas e Conservação do Solo, de Santa Maria, RS, Brasil, por ter cedido às áreas para o estudo.

### REFERÊNCIAS

ABRÃO, P. U. R. et al. Levantamento semidetalhado dos solos da estação experimental de silvicultura de Santa Maria. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis, 1988. 75 p.

BARROS, C. A. P. et al. Modificações Físicas e Mécnicas impostas pelo tráfego de máquinas em solo sob campo nativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Rio de Janeiro, 2008. CD-ROM. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008.

BRAIDA, J. A. et al. Resistência inter e intra-agregados em ensaio de cisalhamento direto de um Nitossolo Vermelho Distrófico. R. Bras. Ci. do Solo, 31:379-386, 2007.

DALBIANCO, L. Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p

GUBIANI, P. I. et al. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo: exatidão, precisão e tempo de processamento. Ci. Rural, 36 (2): 664-668, 2006.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.

ORTIGÃO, J. A. R. Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos. 2.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1995. 378p.

PINTO, C. S. Curso básico de mecânica dos solos. São Paulo, Oficina de Textos, 2000. 247p.

PREVEDELLO, J. Preparo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. em Argissolo. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

REICHERT, J. M. et al. Mecânica do Solo. In: Física do Solo, Van Lier, Q.J. (ed.) – Viçosa, MG: SBCS, 2010. p.29-102.

SECCO, D. Estados de compactação e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas em dois Latossolos sob plantio direto. 2003. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SILVA, A. J. N.; CARVALHO, F. G. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro. R. Bras. Ci. Do Solo, 31:853:862, 2007.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solos de Tabuleiro Costeiro de Alagoas. R. Bras. Ci. do Solo, 29:447-457, 2005.

SILVA R. B. et al. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes usos e manejo. R. Bras. Ci. do Solo, 28:165-173, 2004.

STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/ASCAR-RS, 2008. 222 p.

STRECK, C. A. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. Ciência Rural, 34:3, 754-760, 2004.

WINK, C. Estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus* SP. implantados em campo nativo. 132 f. Dissertação (Mestrado – Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.