UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

POTENCIAL DO *Lupinus albescens* Hook. & Arn. PARA RECUPERAÇÃO DE SOLOS ARENIZADOS DO BIOMA PAMPA

TESE DE DOUTORADO

Ana Paula Moreira Rovedder

Santa Maria, RS, Brasil

2007

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

POTENCIAL DO *Lupinus albescens* Hook. & Arn. PARA RECUPERAÇÃO DE SOLOS ARENIZADOS DO BIOMA PAMPA.

por

Ana Paula Moreira Rovedder

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, RS, Brasil
2007

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

POTENCIAL DO *Lupinus albescens* Hook. & Arn. PARA RECUPERAÇÃO DE SOLOS ARENIZADOS DO BIOMA PAMPA.

Elaborada por

Ana Paula Moreira Rovedder

Como requisito parcial para obtenção do grau de

Doutor em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____

Flávio Luiz Foletto Eltz, PhD.

(Presidente/Orientador)

_____

Zaida Inês Antoniolli, Dr. (UFSM)

_____

Naylor Bastiani Perez, Dr. (EMBRAPA)

_____

Mauro Valdir Schumacher,

Dr. Nat. Tech. (UFSM)

_____

Dalvan Reinert, PhD. (UFSM)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2007.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a Ricardo Bergamo Schenato

Pelas lições de vida,

Por todo carinho e por todo amor.

AGRADECIMENTOS

À Espiritualidade Maior pela presença e auxílio constante, sem a qual esta jornada não seria possível.

Aos meus pais, Valmir Antonio Rovedder e Noeci Moreira Rovedder, pelos exemplos constantes de dignidade e cidadania, pelo amor e apoio incondicionais.

A Ricardo Bergamo Schenato, pelo amor, companheirismo e compreensão. Pelo auxílio nos trabalhos de campo deste estudo e pelas longas horas de discussão dos resultados.

Às acadêmicas de Agronomia e bolsistas de Iniciação Científica do setor de Conservação do Solo, Marta Sandra Drescher e Fabiane de Oliveira Dorneles, pela dedicação, mas, principalmente, pela amizade e seriedade demonstradas no desenvolvimento deste estudo.

Ao professor-orientador desta pesquisa, Dr. Flávio Luiz Foletto Eltz, pelo apoio e atenção constantes durante seis anos de convivência e parceria de trabalho.

À Fundação Maronna, nas pessoas do Eng. Agr. Ivo Mello, Eng^{a}. Agr^{a}. Adriana Ferreira da Costa Vargas e Eng. Agr. Ernani Rossi pela colaboração e apoio logístico.

À família do senhor Eurico Dorneles, proprietário da Fazenda Cerro do Tigre, pela gentileza e colaboração sempre demonstradas.

Aos professores Dra. Zaida Inês Antoniolli (UFSM), Dra. Ana Maria Girardi-Deiro (URCAMP) e Dr. Roberto Verdum (UFRGS), pelos ensinamentos, sugestões, incentivo e amizade.

Aos colegas Marcos Stroschein e Janete Baumgardt e ao pesquisador da FEPAGRO Dr. Luciano Kayser, pelo auxílio e ensinamentos em Microbiologia do Solo.

Aos professores Dr. Sidnei Jose Lopes E Dr. Alessandro Dal'Col Lúcio e à Dr. Sandra Feijó pelo auxílio e orientação na realização das análises estatísticas.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela colaboração nesta pesquisa e em minha formação profissional.

A todos os colegas, bolsistas de Iniciação Científica e alunos voluntários do Setor de Conservação do Solo que colaboraram nesta pesquisa ou que de alguma forma contribuíram para o seu desenvolvimento.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

À CAPES pelo financiamento dos estudos; ao CNPq, pela disponibilização de recursos financeiros para este projeto de pesquisa e a FAPERGS, pela disponibilização de bolsa de Iniciação Científica aos acadêmicos envolvidos na pesquisa.

“Não poderemos ser autênticos se não formos corajosos. Não poderemos ser originais se não lançarmos mão do destemor. Não poderemos amar se não corrermos riscos. Não poderemos pesquisar ou perceber a realidade se não fizermos uso da ousadia.”

Hammed – Os Prazeres da Alma
(obra mediúnica)

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

POTENCIAL DO *Lupinus albescens* Hook. & Arn. PARA RECUPERAÇÃO DE SOLOS ARENIZADOS DO BIOMA PAMPA.

Autora: Ana Paula Moreira Rovedder
Orientador: Flávio Luiz Foletto Eltz
Santa Maria, 28 de fevereiro de 2007.

À medida que os processos produtivos avançam sobre os solos arenosos da região sudoeste do Rio Grande do Sul, a arenização tem assumido relevância como fator de degradação do solo e do ecossistema regional. Medidas de contenção devem ser estabelecidas para evitar o avanço dos focos de arenização e para recuperar as áreas já arenizadas. Entre estas estratégias, a revegetação com espécies nativas do Bioma Pampa pode ser vista como alternativa ecológica e economicamente viável, ao mesmo tempo em que valoriza a biodiversidade local. Depois de estabelecida a revegetação, deve-se monitorar os resultados obtidos. No presente estudo, o *Lupinus albescens* Hook. & Arn., espécie de fabácea nativa da região sudoeste teve seu potencial como espécie recuperadora de solos arenizados testado. Avaliou-se o potencial para produção de biomassa, para o acúmulo de macronutrientes na biomassa da parte aérea e realizaram-se testes para caracterização da estirpe bacteriana fixadora de nitrogênio, simbionte ao *Lupinus albescens*. Como recomendação para semeadura testou-se espaçamentos de 17, 34 e 51 cm entre linhas e 4, 8,12, 16 e 20 plantas por metro linear. A fauna edáfica foi utilizada como bioindicador para avaliar possíveis melhorias no ambiente edáfico com o uso da espécie. Foram comparadas suas características populacionais (abundância, riqueza, índice de diversidade e de eqüitabilidade de Shannon) entre área de revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos (T3), revegetação com *Lupinus albescens* há 1 ano (T1), área de ocorrência natural de *Lupinus albescens* (TN), campo nativo (CN) e solo arenizado (SA). Com o mesmo objetivo avaliou-se o conteúdo de carbono, de macronutrientes e de alumínio nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm nestes mesmos tratamentos, mais campo nativo não pastejado há 3 anos (CN3). Os resultados mostraram eficiência na produção de biomassa e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de *Lupinus albescens*. Em relação à bactéria simbionte observou-se rápida colonização e produção de ácidos orgânicos. Não foi possível estabelecer uma combinação entre espaçamento entre linhas e número de plantas por metro linear mais adequado ao cultivo do *Lupinus albescens* devido à alta variabilidade genética da espécie. A análise isolada do espaçamento entre linhas mostrou que o espaçamento de 17 cm entre linhas foi mais eficiente para produção de massa seca e acúmulo de macronutrientes no tecido vegetal. Para produção de sementes, os espaçamentos de 34 e 51 cm entre linhas foram mais eficientes. Já o número e peso de nódulos de Fixação Biológica do Nitrogênio não foram influenciados pelo espaçamento entre linhas. Em relação ao estudo comparativo com indicadores de recuperação observou-se que a fauna edáfica responde mais rapidamente à revegetação que as características químicas do solo. Os tratamentos com vegetação (T3, T1, TN, CN) apresentaram maiores valores de abundância comparativamente ao solo arenizado (SA). SA apresentou maior índice de diversidade devido à maior equitabilidade entre grupos. Notou-se a tendência de dominância de determinados grupos. Nos tratamentos com vegetação predominaram Hymenoptera e Collembola. No SA, predominaram Hymenoptera e Coleoptera. Em relação aos conteúdos de macronutrientes e carbono no solo, também se observou maiores valores nos tratamentos vegetados quando em comparação ao solo arenizado. O tratamento T1 apresentou efeito residual da adubação nitrogenada. O tratamento TN destacou-se em conteúdo de potássio, cálcio e magnésio. O tratamento SA apresentou as menores médias para macronutrientes e carbono do solo, apresentando maior média para conteúdo de alumínio. Esta análise foi eficiente para caracterizar o efeito da cobertura vegetal e da arenização, demonstrando a dificuldade de recuperação deste compartimento nos solos arenosos da região. Os fatores classe textural, presença ou ausência de cobertura vegetal, período de tempo com cobertura vegetal e tipo de manejo desta foram os mais decisivos para as características químicas avaliadas. A revegetação com *Lupinus albescens* como estratégia de recuperação de solos arenosos é viável por seu potencial para produção de massa seca e ciclagem de nutrientes. Contudo, devido à baixa resiliência do ecossistema local, seus resultados, principalmente em relação a incremento em carbono e macronutrientes do solo são sentidos lentamente.

Palavras-chave: arenização; espécie nativa; *Lupinus*; revegetação; recuperação.

ABSTRACT

Doctor Tesis
Graduate Program in Soil Science
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

POTENCIAL DO *Lupinus albescens* Hook. & Arn. PARA RECUPERAÇÃO DE SOLOS ARENIZADOS DO BIOMA PAMPA.

Author: Ana Paula Moreira Rovedder
Advisor: Flávio Luiz Foletto Eltz
Santa Maria, 28 de fevereiro de 2007

As the productive processes move forward on the sandy soils of the Southwest region of Rio Grande do Sul, the *arenização* has been assuming relevance as factor of soil and regional ecosystem degradation. Contention measures should be established to avoid the progress of the *arenização* focuses and to recover the areas already damaged. Among these strategies, the revegetation with native species of Bioma Pampa can be seen as alternative ecological and economically viable, at the same time in that it values the local biodiversity. After having established the revegetation, the obtained results should be monitored. In the present study, *Lupinus albescens* Hook & Arn., specie of native legume of the Southwest region, had its potential as recovering species of degraded soils tested. The potential of biomass production and the macronutrientes accumulation in the biomass of the aerial part was evaluated and tests were done for characterization of the bacterial fixing of nitrogen, symbiotic to the *Lupinus albescens*. As recommendation for sowing were tested spacings of 17, 34 and 51 cm between rows and 4, 8, 12, 16 and 20 plants for lineal meter. The soil fauna was used as bioindicador to evaluate possible improvements in the soil environment with the use of this specie. Their population characteristics were compared (abundance, richness, diversity and equitability of Shannon index) among revegetation area with *Lupinus albescens* 3 years ago (T3), revegetation with *Lupinus albescens* 1 year ago (T1), area of natural occurrence of *Lupinus albescens* (TN), native grass field (CN) and degraded soil (SA). With the same objective, the content of carbon, macronutrients and aluminum was evaluated in the depths from 0 to 5 and 5 to 10 cm in these same treatments, more native grassfield without grazing 3 years ago (CN3). The results showed efficiency in the production of biomass and macronutrientes accumulation in the aerial part of *Lupinus albescens*. In relation to the bacterium symbiotic it was observed fast colonization and production of organic acids. It was not possible to establish a combination among spacing between rows and number of plants for more appropriate lineal meter to the cultivation of the *Lupinus albescens* due to the high genetic variability of the specie. The isolated analysis of the row spacing showed that the spacing of 17 cm among rows was more efficient for production of dry mass and macronutrients accumulation in the vegetable tissue. For seeds production, the spacings of 34 and 51 cm among rows were more efficient. The number and weight of nodules of nitrogen fixing were not influenced by row spacing. In relation to the comparative study with recovery indicators was observed that the soil fauna responds more quickly to the revegetation that the soil chemical characteristics. The treatments with vegetation (T3, T1, TN, CN) presented larger abundance values comparatively to the degraded soil (SA). SÁ presented larger diversity index due to the largest equitability among groups. It was noticed the tendency of dominancy of determined groups. In the treatments with vegetation Hymenoptera and Collembola prevailed. In SA, Hymenoptera and Coleoptera prevailed. In relation to the macronutrients contents and carbon in the soil, it was also observed larger values in the vegetated treatments when in comparison with the degraded soil. The treatment T1 presented residual effect of the nitrogen application. The treatment TN stood out in potassium content, calcium and magnesium. The treatment SA presented the smallest averages for macronutrients and soil carbon, showing higher medium for aluminum content. This analysis was efficient to characterize the effect of the vegetable covering and the degradation, demonstrating the difficulty of recovery of this compartment in the sandy soils of the region. The factors textural class, presence or absence of vegetable covering, period of time with vegetable covering and its management kind were the most decisive for the chemical characteristics evaluated. The revegetation with *Lupinus albescens* as strategy of recovery of sandy soils is viable due to its potential for production of dry mass and nutrient cycling. However, due to the low resilience of the local ecosystem, their results, mainly in relation to increment in carbon and macronutrients of the soil are felt slowly.

Key-words: *arenização*; native specie; revegetation; restoration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aspectos de tremoços nativos da região sudoeste vegetando em espaços abertos e com solo exposto. (A) Ocorrência espontânea de *Lupinus albescens* em solo arenizado em Alegrete e (B) espécie não identificada do gênero *Lupinus* vegetando em talude de voçoroca, em São Francisco de Assis. Rovedder, 2006..... 29

Figura 2 – Cobertura de *Lupinus albescens* formada pela germinação do banco de sementes em solo arenizado. Rovedder, 2003. 43

Figura 3 - Aspecto de nódulos de fixação biológica de nitrogênio em raízes primárias de *Lupinus albescens*. Santa Maria, 2007. Stroschein, 2006..... 54

Figura 4 - Conteúdo de massa seca da parte área de *Lupinus albescens*, de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007. 55

Figura 5 - Conteúdo de nitrogênio na massa seca da parte aérea de *Lupinus albescens*, de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007. 55

Figura 6 – Conteúdo de fósforo na massa seca da parte área de *Lupinus albescens,* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007. 56

Figura 7 – Conteúdo de potássio na massa seca da parte área de *Lupinus albescens,* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007. 56

Figura 8 - Conteúdo de cálcio na massa seca da parte área de *Lupinus albescens,* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007. 57

Figura 9 - Conteúdo de magnésio na massa seca da parte área de *Lupinus albescens,* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007. 57

Figura 10 - Produção de sementes por planta de *Lupinus albescens* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007. 58

Figura 11 – Número de nódulos em raízes de *Lupinus albescens* de acordo com o número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007. 59

Figura 12 – Peso de nódulos (gramas por planta) em raízes de *Lupinus albescens* de acordo com o número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007. 59

Figura 13 - Fotografia obtida por análise de Reação em Cadeia de Polimerase (PCR) para os isolados 1 (Tr1), 2 (Tr2) e 3 (Tr3) (Kb=padrão de marcadores moleculares). Rovedder & Kayser, 2005. 60

Figura 14 - Dendrograma para valores médios de riqueza, encontrados entre as duas épocas de coleta. (T3: revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos, T1: revegetação com *Lupinus albescens* há 1 ano, TN: área de ocorrência natural de *Lupinus albescens*, CN: campo nativo, SA: solo arenizado). 70

Figura 15 - Dendrogramas para abundância dos grupos de artrópodes edáficos encontrados na área de revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos (T3) (A) e na área de revegetação com *Lupinus albescens* há 1 anos (T1) (B) (Ac:Acarina; Ar: Aranae; Co: Coleoptera; Col: Collembola; Bla: Blastodeae; Dip: Diptera; He: Hemiptera; Ho: Homoptera; Hy: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Lep: Lepidoptera; Thy: Thysanoptera; Ort: Orthoptera). 72

Figura 16- Dendrogramas para abundância dos grupos de artrópodes edáficos encontrados na área de ocorrência natural de *Lupinus albescens* (TN) (A) e na área de campo nativo (CN) (B) (Ac:Acarina; Ar: Aranae; Co: Coleoptera; Col: Collembola; Bla: Blastodeae; Dip: Diptera; He: Hemiptera; Ho: Homoptera; Hy: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Lep: Lepidoptera; Thy: Thysanoptera; Ort: Orthoptera). Santa Maria, 2007.73

Figura 17- Dendrogramas para abundância dos grupos de artrópodes edáficos encontrados no solo arenizado (SA) (Ac:Acarina; Ar: Aranae; Co: Coleoptera; Col: Collembola; Bla: Blastodeae; Dip: Diptera; He: Hemiptera; Sul: sulfugida; Ho: Homoptera; Hy: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Lep: Lepidoptera; Thy: Thysanoptera; Ort: Orthoptera). Santa Maria, 2007. 74

Figura 18 – Percentual de matéria orgânica do solo nas profundidades de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm, em área de revegetação com *Lupinus albescens* há 1 ano (T3), revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos (T3), área de ocorrência natural de *Lupinus albescens* (TN), campo nativo (CN), campo nativo não pastejado há 3 anos (CN3) e solo arenizado (SA). Santa Maria, 2007. 77

Figura 19 - Início de arenização em meio ao campo nativo. Rovedder, 2006..... 124

Figura 20 – Efeito da formação de trilhas pela passagem do gado sobre a vegetação e o solo. Rovedder, 2004. 124

Figura 21 - Banco de plântulas formado pela dispersão de sementes de *Lupinus albescens* em solo arenizado. Rovedder, 2005..... 125

Figura 22 - Aspectos da fase reprodutiva: detalhe da inflorescência (A) e da formação de vagens (B) em *Lupinus albescens*. Rovedder, 2005. 125

Figura 23 - Colonização de *Lupinus albescens* em talude de abertura de estrada anteriormente descoberto. Rovedder, 2006. 126

Figura 24 - Retorno do campo nativo sob resíduo de revegetação com *Lupinus albescens* em solo anteriormente arenizado. Nota-se a presença de resíduos ainda em pé e a formação de um novo adensamento da espécie. Rovedder, 2003. 126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química do solo sob a área de campo (C) e sob solo arenizado (SA) para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. Santa Maria, 2003. 32

Tabela 2 - Interpretação para pH em água, matéria orgânica (M.O.), saturação por base (bases %), saturação por alumínio (Al %), capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC $_{pH7}$), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) encontrados na análise química para o campo (C) e solo arenizado (SA) na camada de 0 a 5 cm do solo, de acordo com SBCS (2004). Santa Maria, 2003. 33

Tabela 3 - Análise granulométrica (%) para os tratamentos revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos (T3), revegetação com *Lupinus albescens* há 1 ano (T1), área de ocorrência natural de *Lupinus albescens* (TN), campo nativo (CN) e solo arenizado (SA) nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm. Santa Maria, 2007. 41

Tabela 4 - Produção de biomassa da parte área, conteúdos (kg ha^{-1}) e teores (%) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) encontrados na biomassa da parte aérea de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado (SA) e sobre campo nativo (CN). Santa Maria, 2007. 42

Tabela 5 - Produção de biomassa de raízes, conteúdos (kg ha^{-1}) e teores (%) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) encontrados na biomassa de raízes de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado (SA) e sobre campo nativo (CN). Santa Maria, 2007. 46

Tabela 6 – Produção de biomassa (Mg ha^{-1}), conteúdo e teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (kg ha^{-1}) encontrados na parte aérea de *Lupinus albescens* e *Secale cereale* (centeio). Santa Maria, 2007. / 48

Tabela 7 - Comparativo de produção de biomassa e acúmulo de nitrogênio entre *Lupinus albescens* em solo arenizado, *Lupinus luteus* (tremoço amarelo), *Lupinus albus* (tremoço branco), *Lupinus angustifolius* (tremoço azul), *Raphanus sativus* (nabo forrageiro) e *Avena strigosa* (aveia preta) cultivados em diversos tipos de solo. Santa Maria, 2007. 50

Tabela 8 - Produção de massa seca da parte aérea e conteúdo de macronutrientes na massa seca da parte aérea de *Lupinus albescens* em 17, 34 e 51 cm entre linhas de plantio. Santa Maria, 2007..... 52

Tabela 9 - Produção de sementes, número e peso de nódulos de fixação biológica de nitrogênio por planta de *Lupinus albescens* em 17, 34 e 51 cm entre linhas de plantio. Santa Maria, 2007..... 53

Tabela 10 - Número total de organismos coletados nos meses de fevereiro e maio, por grupo de artrópodes edáficos em cada uso do solo analisado (T3=área com plantio de *Lupinus albescens* há 3 anos, T1=área com plantio de *Lupinus albescens* há 1 anos, TN=área de ocorrência natural de *Lupinus albescens,* C=campo nativo, SA=solo arenizado). Santa Maria, 2007.....**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 11 - Riqueza (S), Índice de diversidade de Shannon (H), índice de equitabilidade de Shannon (J) em revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos (T3), revegetação com *Lupinus albescens* há 1 ano (T1), área de ocorrência natural de *Lupinus albescens* (TN), campo nativo (CN) e solo arenizado (SA). Santa Maria, 2007. 66

Tabela 12 - Teor de carbono (C) e nitrogênio (N) nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm (T1= revegetação com tremoço há 1 ano; T3 = revegetação com tremoço há 3 anos; TN= área natural de tremoço; C= campo nativo; CN3= campo nativo não pastejado há 3 anos; SA= solo arenizado). Santa Maria, 2007..... 76

Tabela 13 - Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm do solo (T1= revegetação com tremoço há 1 ano; T3 = revegetação com tremoço há 3 anos; TN= área natural de tremoço; C= campo nativo; CN3= campo nativo não pastejado há 3 anos; SA= solo arenizado). Santa Maria, 2007..... 82

Tabela 14 – Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC ef.) e saturação por alumínio (m%) nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm do solo (T1= revegetação com tremoço há 1 ano; T3 = revegetação com tremoço há 3 anos; TN= área natural de tremoço; C= campo nativo; CN3= campo nativo não pastejado há 3 anos; SA= solo arenizado). Santa Maria, 2007..... 83

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise da variância para produção de biomassa e conteúdo de nitrogênio e fósforo na parte aérea de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado e sobre campo nativo. Santa Maria, 2007. 105

APÊNDICE B – Análise da variância para teor de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomasa da parte aérea de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado e sobre campo nativo. Santa Maria, 2007. 106

APÊNDICE C – Análise da variância para produção de biomassa, conteúdos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomassa de raízes de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado e sobre campo nativo. Santa Maria, 2007..... 107

APÊNDICE D – Análise da variância para teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomassa de raízes de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado e sobre campo nativo. Santa Maria, 2007. 108

APÊNDICE E - Análise da variância para produção de biomassa, conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio na parte aérea de *Lupinus albescens* e de *Secale cereale*. Santa Maria, 2007. 109

APÊNDICE F - Análise da variância para teor de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomassa da parte aérea de *Lupinus albescens* e *Secale cereale*. Santa Maria, 2007. 110

APÊNDICE G - Análise da variância para produção de biomassa e conteúdo de nitrogênio na parte aérea de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4,8 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007. 111

APÊNDICE H - Análise da variância para conteúdo de fósforo e potássio na biomassa da parte aérea de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4,8 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007. 112

APÊNDICE I - Análise da variância para conteúdo de cálcio e magnésio na biomassa da parte aérea de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4,8 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007..... 113

APÊNDICE J - Análise da variância para número de sementes produzidas por planta de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4, 8, 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007. 114

APÊNDICE K - Análise da variância para número por planta e peso de nódulos de fixação biológica de nitrogênio em raízes de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4,8 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007. 115

APÊNDICE L - Modelos matemáticos estimados por análise de regressão para espaçamento entre linhas (EL, cm) e densidade de semeadura (DS, plantas por metro linear) para os parâmetros massa seca da parte aérea, conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na massa seca da parte aérea, número de sementes (NS), número de nódulos (ND) e peso de nódulos de fixação biológica de nitrogênio em *Lupinus albescens.* Santa Maria, 2007. 116

APÊNDICE M - Análise da variância para teor de nitrogênio no solo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007. 117

APÊNDICE N - Análise da variância para teor de fósforo no solo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007. 118

APÊNDICE O - Análise da variância para teor de potássio no solo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007. 119

APÊNDICE P - Análise da variância para teor de cálcio no solo ($cmol_c\ dm^{-3}$) nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007. 120

APÊNDICE Q - Análise da variância para teor de magnésio no solo ($cmol_c\ dm^{-3}$) nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007. 121

APÊNDICE R - Análise da variância para teor de carbono no solo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007. 122

APÊNDICE S - Análise da variância para teor de alumínio no solo ($cmol_c\ dm^{-3}$) nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007. 123

APÊNDICE T – Ilustrações..... 124

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

2 OBJETIVOS 5

3 REVISÃO DE LITERATURA 6

3.1 Processos de arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul 6

3.2 Estratégias de recuperação de solos degradados 12

3.3 Qualidade do solo e recuperação de áreas degradadas 16

3.4 A ciclagem de nutrientes 17

3.5 A ciclagem do nitrogênio 19

3.6 Pedofauna como indicador da qualidade do solo 22

3.7 O gênero *Lupinus* e o *Lupinus albescens* Hook. & Arn. 25

4 MATERIAL E MÉTODOS 30

4.1 Caracterização da região do estudo 30

4.2 Caracterização química e física do solo no local do estudo 31

4.3 Parâmetros avaliados 33

4.3.1 Potencial do *Lupinus albescens* para produção de biomassa e acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea e em raízes. 34

4.3.2 Estudo comparativo entre plantas de cobertura em relação à produção de biomassa e conteúdo de macronutrientes. 35

4.3.3 Densidade de semeadura e espaçamento entre linhas para o plantio de *Lupinus albescens.* 36

4.3.4 Caracterização preliminar de estirpes bacterianas fixadoras de nitrogênio..... 37

4.3.5 Indicadores da recuperação de solo arenizado revegetado com *Lupinus albescens*. 38

4.3.5.1 Caracterização das populações de artrópodes edáficos. 38

4.3.5.2 Análise de componentes químicos do solo 40

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 42

5.1 Potencial do *Lupinus albescens* para produção de biomassa e conteúdo de macronutrientes..... 42

5.2 Estudo comparativo entre plantas de cobertura em relação à produção de biomassa e acúmulo de macronutrientes. 47

5.3 Densidade de semeadura e espaçamento entre linhas para o plantio de *Lupinus albescens* 51

5.4 Caracterização da estirpe bacteriana fixadora de nitrogênio..... 60

5.5 Indicadores da recuperação de solo arenizado revegetado com *Lupinus albescens.* 61

5.5.1 Caracterização das populações de artrópodes edáficos. 61

5.5.2 Análise de componentes químicos do solo. 75

6 CONCLUSÕES 87

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 89

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 91

1 INTRODUÇÃO

Existe atualmente uma demanda mundial por conhecimentos aprofundados sobre os mecanismos e sistemas naturais do planeta. Mesmo que a pesquisa científica nestas áreas encontre-se muito avançada em determinados países, persiste uma carência generalizada de informações que possam ser disponibilizadas sem nenhum tipo de restrição.

A humanidade passa por um período de contestação dos modelos desenvolvimentistas adotados com o advento da Revolução Industrial, baseados em conceitos imediatistas de produção contínua e aceleradas de bens de consumo, sem levar em consideração os limites naturais dos ecossistemas**.** Já na década de 80 a apropriação pela civilização humana da produção primária líquida do planeta (diferença entre a quantidade de energia solar capturada pelos produtores primários e a quantidade utilizada por estes para seu próprio crescimento e reprodução) esteve acima de 40% (MERICO et al., 1986), o que significa que nos aproximamos de um nível em que a manutenção dos ecossistemas naturais estará inviabilizada.

Diante da iminência de esgotamento das fontes naturais, diversas sociedades do planeta, em todos os continentes, discutem alternativas de uso e de valoração dos recursos naturais que tragam implícito uma quebra do paradigma do modelo vigente. As técnicas de valoração econômica dos serviços prestados pelos ecossistemas, porém, são incipientes e, muitas vezes, não são confiáveis. May (2004) ressalta que, em se tratando de serviços de ecossistemas, as perdas são irrecuperáveis, uma vez que tais valores são infinitos, por que deles depende a sobrevivência de todas as espécies do planeta, incluindo a espécie humana.

Contudo, não se pode falar em desenvolvimento humano e ao mesmo tempo ignorar-se a necessidade de progresso sócio-econômico. E este passa, infalivelmente, pelo processo criativo de novas alternativas produtivas, as quais devem ser norteadas pelos atuais princípios da sustentabilidade. Todo sistema produtivo depende direta ou indiretamente dos ecossistemas naturais, portanto, o respeito aos limites ambientais não pode ser visto como um entrave ao desenvolvimento, mas, sim como um pressuposto para este (BIDONE et al., 2004).

No processo produtivo um dos recursos mais utilizados pelo homem tem sido o solo, encontrando-se atualmente em severo estado de esgotamento em diversas partes do mundo. Neste contexto, o Bioma Pampa tem sido ameaçado por intenso processo de degradação da qualidade das suas funções ecossistêmicas e de sua composição fitossociológica.

No sudoeste do Rio Grande do Sul, a presença de núcleos de arenização, onde a cobertura vegetal foi totalmente retirada pela ação erosiva, ameaça a sustentabilidade das atividades agropecuárias e a sobrevivência da biodiversidade do Bioma Pampa.

Apesar dos esforços inequívocos de estudiosos e instituições de pesquisa e/ou extensão, existe uma carência de maiores incentivos e programas de conscientização e divulgação de alternativas que priorizem a conservação dos solos e, ao mesmo tempo, permitam a geração de renda e fixação do homem no campo. Embora o advento e expansão de práticas conservacionistas por todo o país, principalmente do plantio direto, uma rápida observação pelo sudoeste gaúcho expõe a prática comum do preparo convencional em solos extremamente arenosos. Nestas áreas, pode-se observar o surgimento de sulcos e voçorocas de proporções gigantescas, tomando lugar na paisagem.

As características dos solos suscetíveis à degradação na região estão relacionadas ao material geológico e aos processos de evolução das superfícies geomórficas e de retrabalhamento de sedimentos (KLAMT, 1994), os quais deram origem à paisagem atual.

Os processos degradativos mais freqüentes resultam em voçorocas e focos de arenização, estes últimos denominados de areais, em constante movimento e expansão. O fator preponderante que propicia o estabelecimento dos processos de degradação é a perda da cobertura vegetal, expondo o material arenoso à incidência dos agentes erosivos.

A vegetação é um componente fundamental para a estabilidade deste bioma. As atividades produtivas, bem como as estratégias de recuperação devem passar prioritariamente pela conservação ou restauração deste componente. Para tanto, o uso de práticas conservacionistas e a técnica da revegetação assumem grande importância, principalmente quando já detectados focos de degradação.

A observação a campo de uma espécie de fabácea nativa dos solos arenosos do sudoeste gaúcho, propiciou a sua utilização em estudos de revegetação dos

areais, devido às suas características de adaptação (ROVEDDER, 2003).

O *Lupinus albescens* Hook. & Arn., uma espécie de tremoço, evoluiu paralelamente aos processos de pedogênese que formaram a paisagem atual da Campanha Gaúcha, adaptando-se às condições dos solos arenosos. Como estratégia de adaptação às condições de baixa fertilidade e baixa retenção de umidade nota-se o alto potencial de associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio e a intensa pilosidade do limbo foliar. Não se descarta ainda, a possibilidade de associação endomicorrízica, como outra característica de evolução e adaptação da espécie. A planta é conhecida dos habitantes do local, porém não utilizada. A observação dos densos povoamentos, originados de bancos de semente, com excelente cobertura do solo, e da sua presença em áreas arenizadas como colonizadoras naturais destes ambientes, comprovou a sua adaptabilidade às inóspitas condições edáficas da região.

A hipótese central da presente pesquisa é a de que *o Lupinus albescens* é uma espécie de elevado potencial para a recuperação dos solos arenizados, podendo-se validar, através da pesquisa, técnicas de revegetação com a espécie. Sendo assim, o *Lupinus albescens* figuraria como uma possibilidade de método revegetativo e de adubo verde nativo da região, portanto, sem acarretar desvantagens ecológicas.

Pretende-se, portanto, aprofundar os conhecimentos sobre a espécie, muito pouco estudada até o momento, definindo características e gerando informações úteis para a sua utilização em planos de recuperação dos areais.

Justifica-se este trabalho, pela necessidade de se encontrar alternativas locais para conter o processo de degradação dos solos arenosos do Rio Grande do Sul, o qual vem ocasionando a perda da capacidade produtiva e da biodiversidade do Bioma Pampa, intensificando-se com o aumento da ocupação populacional. Além disto, torna-se cada vez mais importante a ampliação de conhecimentos sobre o germoplasma nativo.

As observações preliminares realizadas no local do estudo demonstraram que houve retorno da vegetação do campo nativo por baixo dos maciços formados pela espécie, na área que anteriormente encontrava-se arenizada. Este resultado foi possível devido às condições proporcionadas pela revegetação como manutenção da umidade, redução da movimentação de partículas do solo e do efeito abrasivo da movimentação de areia, amenização da temperatura do solo e estabelecimento da

ciclagem de nutrientes. Contudo, os resultados de pesquisa sobre a espécie ainda são incipientes, necessitando-se de maior nível de detalhamento sobre suas potencialidades. Se estas se confirmarem, poder-se-á validar uma proposta de recuperação das áreas arenizadas do sudoeste gaúcho que permita não apenas a recuperação da função do ecossistema, como também da sua estrutura.

O aumento de informações quanto ao uso, estrutura e formação de ecossistemas nativos possibilita o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável dos mesmos, bem como a formação de alternativas em atividades econômicas e de caráter ambiental.

2 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar a possibilidade de uso do *Lupinus albescens* como planta potencialmente recuperadora de solos arenizados.

Os objetivos específicos são:

1. Avaliar o potencial do *Lupinus albescens* para produção de biomassa e acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio;

2. Comparar o potencial do *Lupinus albescens* com espécies já tradicionalmente utilizadas como plantas de cobertura, em relação à produção de biomassa e conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio;

3. Determinar a densidade de semeadura e espaçamento adequados para o cultivo de *Lupinus albescens;*

4. Realizar uma caracterização preliminar das estirpes bacterianas diazotróficas que são simbióticas ao *Lupinus albescens*;

5. Avaliar a influência da cobertura de *Lupinus albescens* sobre a estrutura e função ecossistêmica, utilizando-se como indicadores a população de artrópodes edáficos e o conteúdo de carbono e macronutrientes do solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Processos de arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul

O processo de arenização no Rio Grande do Sul vem sendo registrado há mais de um século (SUERTEGARAY, 1998). Os primeiros relatos da presença de núcleos de arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul datam do século XIX, portanto, antes de ocorrer uma ocupação humana mais intensiva na região (AB´SABER, 1995; SUERTEGARAY et al., 2001). Este fato atesta que o processo surgiu, primeiramente, devido a causas naturais, como as condições edafo-climáticas da região. Estas contribuem para o surgimento e intensificação do fenômeno devido à constituição arenítica de grande parte da área regional, constituída por classes de solo de textura arenosa. Estes solos são elevadamente friáveis, com predominância de grãos soltos de quartzo, muitas vezes, com total ausência de agregação. Suas características, portanto, os tornam extremamente frágeis.

A partir das décadas de sessenta e setenta do século XX, coincidindo com o processo de expansão do cultivo da soja, a degradação dos solos na região passou a ser atribuída à intensificação das atividades agropecuárias. Atualmente, há um consenso de que estes dois fatores, condições naturais e atividade agropecuária, interagem e contribuem para o surgimento ou para a intensificação dos processos degradativos do solo (AB'SABER, 1995; SUERTEGARAY, 1995).

Apenas nas últimas três décadas houve maior interesse pelo assunto e iniciaram-se inúmeros estudos e tentativas de recuperação de áreas arenizadas, com o apoio de entidades governamentais e privadas.

Em 1975 a questão ganhou o cenário nacional a partir de um artigo publicado na Revista Geográfica Universal com o título “Um deserto ameaça o Pampa”, o qual trata o fenômeno como “desertificação” (GUEDES, 1975), relacionando o processo à ação antrópica:

> O vento, a chuva e principalmente o homem estão transformando o oeste gaúcho em um imenso deserto (GUEDES, 1975, p. 65)

Mais adiante o autor se refere à necessidade de ações mitigadoras do processo, sem as quais prevê uma catástrofe ambiental para a região:

> Se não forem tomadas providências imediatas para enfrentar o fenômeno da erosão natural e da destruição causada pelo homem, milhares de quilômetros de terras anteriormente férteis voltarão a sua condição de duzentos milhões de anos atrás – um imenso deserto de areia (GUEDES, 1975, p. 68)
>
> .

Hoje em dia, com o avanço das pesquisas sobre o tema, sabe-se que estes solos são naturalmente pobres em fertilidade natural e o processo deixou de ser considerado desertificação, por não estar condicionado à presença de clima desértico.

Embora a previsão catastrófica da reportagem de 1975 não tenha se concretizado até os dias atuais, o problema é grave pela perda de áreas produtivas e da biodiversidade do campo nativo dentro das propriedades e dos municípios em que ocorre. Suertegaray (1995) ressalta esta questão, afirmando que embora o percentual de ocupação por areais seja pouco expressivo no contexto da região (a referida autora apresenta dados que variam de 0,26 a 0,49 % da área regional ocupada por areais), dentro de uma propriedade rural atinge proporções significativas.

Ao final da década de 70, inicia-se um dos estudos pioneiros sobre a arenização, o chamado Plano Piloto de Alegrete, realizado através de convênio firmado pela Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul e Ministério da Agricultura. Neste estudo, que teve à frente como coordenador, o engenheiro agrônomo João José Pinto Souto, foi realizado um levantamento das principais condições ambientais da região e testadas diferentes alternativas para a contenção do problema. SOUTO (1984) definiu como objetivo deste projeto “desenvolver um plano de conservação do solo e criar alternativas e métodos capazes de recuperar e controlar grandes áreas areníticas desprovidas de vegetação, com o propósito de incorporá-las ao processo produtivo”.

Estas experiências foram centralizadas na área do “Deserto de São João”, sendo que, os principais procedimentos realizados foram os seguintes:

- interdição do núcleo de arenização com aramados (cercas) com a finalidade de impedir a entrada de animais, para favorecer o desenvolvimento da flora ainda existente;
- uso de anteparos físicos como esteiras e fardos de resteva de soja. Estes anteparos foram dispostos estrategicamente em diversas direções, com a finalidade de interceptar, modificar e minorar a velocidade dos ventos, a fim de evitar a ação erosiva destes;
- cobertura do solo com resíduos vegetais, alternativa testada com o propósito de controlar as oscilações térmicas, pois, durante o dia, a temperatura atinge patamares de até 40ºC, desidratando o solo e a vegetação existente;
- plantio de espécies florestais, para amenizar os efeitos da erosão eólica, e ao mesmo tempo substituir os anteparos físicos (SOUTO, 1984).

Neste estudo foram testadas 76 espécies entre arbóreas, frutíferas e herbáceas. Apenas entre frutíferas e arbóreas foram plantadas 70000 mudas (Secretaria da Agricultura, 1980). De todas as espécies testadas, as que apresentaram melhor desenvolvimento sobre o solo arenizado foram o eucalipto e o pinus.

Suertegaray (1987) apresenta um amplo estudo sobre o caso e sugere pela primeira vez, o termo arenização. A conceituação deste termo teve como objetivo distinguir o fenômeno de degradação e perda da produtividade que ocorre no sudoeste gaúcho do processo de desertificação, uma vez que a região não apresenta clima desértico.

Embora o termo desertificação seja ainda utilizado de forma popular e abrangente, há uma tendência mundial de restringir este conceito aos processos de degradação do solo relacionados às condições climáticas de regiões áridas e semi-áridas. Por este motivo inclusive, o sudoeste gaúcho, juntamente com a região do Jalapão, em Tocantins, onde também ocorre a formação de superfícies dunares, são regiões impossibilitadas de receberem verbas do Programa de Combate à Desertificação da ONU (INSTITUTO DESERT, 2002). Assim, quando da elaboração do Plano Nacional de Combate à Desertificação pelo Ministério do Meio Ambiente, estas duas regiões do país receberam uma classificação diferenciada da classe de

inclusão do semi-árido nordestino, sendo denominada de “Área de Atenção Especial” (INSTITUTO DESERT, 2002).

Posteriormente, AZEVEDO & KAMINSKI (1995) sugeriram como definição para arenização, “o processo de retrabalhamento de depósitos areníticos não consolidados, conferindo mobilidade aos sedimentos não protegidos pela vegetação”.

A Universidade Federal de Santa Maria vem estudando o fenômeno desde 1997, realizando experimentos com o objetivo de conhecer a dinâmica da arenização e, sobretudo, encontrar alternativas viáveis para a contenção do processo e recuperação dos locais já atingidos. Muitos resultados destas pesquisas têm sido divulgados e testados em diversas propriedades rurais, entre os quais se destacam as pesquisas sobre o papel de culturas de cobertura e espécies florestais como alternativas para revegetação e para contenção da arenização. (REINERT et al., 1998; AMADO et al., 1998; ROVEDDER, 2003).

Por sua vez, o Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, idealizou em 1998, o *Atlas da Arenização - Sudoeste do Rio Grande do Sul,* com o objetivo de divulgar os resultados de mais de 10 anos de pesquisa. O referido Atlas tornou-se realidade em 2001, em uma parceria com o Governo Estadual.

Dados de 1985 citam uma área de 1.392.876 hectares de abrangência do substrato arenítico no sudoeste do estado, correspondendo a 25,3% de 5.504.300 ha da área total da região (SOUTO, 1984). Ainda durante a década de 80, levantamentos a partir de imagens orbitais registraram uma área de 1568 hectares ocupada por areais (SUERTEGARAY, 1987). Já na década de 90, um novo levantamento registrou uma área de 1675 hectares (SUERTEGARAY, 1995).

KLAMT & SCHNEIDER (1995) citam como fonte de sedimentos arenosos, a partir dos quais se desenvolveram os solos arenosos da Campanha Gaúcha, a alteração do arenito da Formação Botucatu, de origem eólica e da fácies fluvial da formação Rosário do Sul. Em concordância, trabalhos iniciais sobre o fenômeno na região denominavam os locais de surgimento de areais como “janelas de Botucatu”. Isto porque se entendia que os núcleos de arenização ocorriam sobre os afloramentos da Formação Botucatu, nos locais em que esta não havia recebido o capeamento de derrames básicos da Formação Serra Geral ou onde estes já haviam sido decapeados (SUERTEGARAY, 1998).

Estudos posteriores identificaram formações areníticas mais recentes assentadas sobre o substrato da Formação Botucatu, sendo uma de origem eólica e outra tipicamente fluvial, nas quais estariam estabelecidas as principais ocorrências de arenização (SUERTEGARAY, 1998). Ab’Saber (1995) observando areais da região, constatou que não apresentavam componentes argilosos nem estratificação.

De acordo com Ab'Saber (1995), os ecossistemas de pradarias mistas que se encontram sobre estas formações, situadas em ambiente subtropical muito úmido, constituem-se em um dos tecidos geoecológicos mais frágeis do país. Nabinger (2006) relaciona esta fragilidade ao pequeno histórico de co-evolução com grandes herbívoros, o que coloca os campos do sul do Brasil entre os ecossistemas mais vulneráveis à intensidade de pastejo.

Em alguns locais o surgimento dos areais não está vinculado a processos de antropização mais recentes. Diversos trabalhos têm registrado relatos da existência de areais em períodos anteriores ao processo de ocupação e à conseqüente intensificação do uso do solo (RAMBO, 1960**;** AB'SABER, 1995, SUERTEGARAY, 1998). Já em outros casos, os areais foram formados através da intervenção humana. Cultivos agrícolas em preparo convencional gerando voçorocamentos; pisoteio excessivo do gado retirando a cobertura vegetal e expondo o solo arenoso à ação dos ventos, têm sido apontados como um dos principais processos iniciais da arenização (SOUTO, 1984; AB'SABER, 1995).

Ab'Saber (1995), relatando uma viagem de estudos realizada na região, afirma que, em todos os casos estudados, pôde-se constatar que os processos iniciais deram-se ou através do revolvimento de terras para receber culturas, ou pelo pisoteio concentrado e intenso. Já Rovedder et al. (2005) observaram que a dinâmica de formação dos areais em áreas planas ocorre, principalmente pela atividade agropecuária executada sem práticas conservacionistas. Já em elevações do relevo, como nos platôs de arenito silicificado, a incidência da precipitação pluviométrica tem importante papel como fator de erosão hídrica, atuando na movimentação de sedimentos em sentido descendente, formando depósitos nas bases destas formações, os quais dão origem a areais. Estes últimos tipos de areais, portanto, teriam origem natural, fruto da tipologia geológica da região e da ação do intemperismo.

Nestes dois casos, porém, a fragilidade natural do ecossistema influencia a gênese dos areais, principalmente devido à composição mineralógica com baixo grau

de agregação. Esta fragilidade dos fatores abióticos frente às ações antrópicas aparece principalmente na suscetibilidade erosiva de algumas classes de solo, na instabilidade do sistema hídrico e na instabilidade geológica (CONSERVATION, 2002).

A intensidade dos agentes erosivos eólicos e hídricos condiciona o início e o avanço da arenização, Contudo, o fator preponderante é a perda da cobertura vegetal, expondo o material arenoso à incidência destes.

Embora os efeitos da erosão eólica na história da humanidade sejam menos abrangentes que os da erosão hídrica, exercendo um efeito marginal sobre a agricultura ao longo dos séculos, determinados tipos de solos podem ser seriamente afetados. Geralmente, a degradação destes estava associada ao colapso final de uma civilização. Somente a partir do século XIX, com o advento da força mecânica, a qual acelerou a exposição dos solos em áreas mais extensas, é que a erosão eólica tornou-se um problema sério nas regiões de agricultura intensiva (RUSSEL, 1968).

No sudoeste do Rio Grande do Sul, devido às características edafoclimáticas, um dos principais agentes de expansão dos areais no sudoeste gaúcho é, justamente, o processo de erosão eólica. Principalmente nos areais formados em relevo plano, nota-se grande influência deste agente erosivo no transporte de partículas e no soterramento do campo ao redor. Entretanto, para que esta adquira seu poder destrutivo sobre o solo, é necessário que determinadas condições já estejam estabelecidas, como a formação de áreas de solo exposto.

Souto (1984) cita quatro fatores fundamentais para a ação destrutiva de agentes eólicos: vulnerabilidade da superfície do solo, área de extensão, velocidade e constância dos ventos e grau de umidade. Rovedder (2003) em um estudo que quantificou a quantidade de areia movimentada em um areal, durante um período de 16 meses consecutivos, constatou que a maior quantidade de areia movimentada correspondia aos meses de maior velocidade dos ventos na região, no período de primavera-verão.

A incidência dos ventos sobre solos descobertos resulta na desagregação de partículas até o estágio de formação de pequenos grânulos isolados, ficando estes suscetíveis aos processos de transporte e sedimentação. Os efeitos destrutivos da atividade eólica são proporcionais à velocidade dos ventos e à redução da cobertura vegetal e/ou precipitações, acentuando-se quando ocorrem em solos de origem arenítica (SOUTO, 1984).

Para Ab'Saber (1995), a ação dos ventos é mais complexa porque se alternam ventos gerais sul-norte, muito fortes no inverno gaúcho, com ações locais de turbilhonagem. São os casos dos areais de encostas, de pequenos vales de sangas, os quais denunciam sempre uma ação turbilhonar do vento durante o processo de acumulação. Estes ventos ganham força erosiva, principalmente em determinados locais da paisagem, como cabeceiras de drenagem, vertentes e extensos interflúvios planos da região.

Ocorre ainda a ação concomitante das erosões hídrica e eólica, com o soterramento da vegetação ao redor e o transporte intenso de sedimentos.

Solos arenosos do Bioma Pampa são, portanto, de difícil recuperação após serem perturbados, apresentando baixa resiliência, devido, principalmente, à fragilidade dos componentes solo e cobertura vegetal. Devido às características de instabilidade deste sistema, um dos principais passos para recuperação é o restabelecimento de uma cobertura vegetal nos locais de solo exposto e a manutenção desta em qualquer atividade antrópica a se estabelecer na região.

3.2 Estratégias de recuperação de solos degradados

De acordo com Azevedo & Kaminski (1995), os processos de degradação do solo podem ser entendidos como perturbações nos fluxos de troca, as quais se ampliam por todo o sistema, alterando seu funcionamento e produzindo uma nova realidade, ou seja, o solo e/ou o ecossistema degradado. Para Dias & Griffith (1998), para se entender os processos de degradação deve-se considerar o conceito de qualidade do solo, ou seja, quando as características que determinam a qualidade de um solo forem alteradas, estabelece-se o processo de degradação.

D´Antonio & Meyerson (2002) salientam que os principais objetivos das práticas de recuperação de solos e ecossistemas degradados é o retorno do habitat ou de condições mais desejáveis possíveis, envolvendo a composição original de espécies e a estrutura da comunidade. Para tanto, Kageyama et al. (1989) recomendam utilizar espécies nativas dos locais a serem recuperados, como tentativa de manter-se a estrutura ecossistêmica original, o que auxiliaria na manutenção do equilíbrio ecológico em longo prazo.

No âmbito das atividades multidisciplinares de recuperação de áreas

degradadas, o método de revegetação do solo tem adquirido importância por tratar-se de uma técnica que promove o retorno a condições desejáveis do ambiente edáfico através do uso de espécies vegetais eficientes em adaptar-se a solos degradados.

O uso de plantas para cobertura e proteção do solo, bem como para a ciclagem de nutrientes, vêm sendo relatado desde a Idade Antiga (TANAKA, 1981; CALEGARI et al., 1993), passando pela Idade Média (COSGROVE, 1991) até os dias atuais (CALEGARI et al., 1993; BOLDES et al., 2002). De acordo com Calegari et al. (1993), o conceito atual de adubação verde compreende a cobertura e proteção do solo, manutenção e/ou melhoria de condições físicas, químicas e biológicas do solo, aração biológica e introdução de microvida em profundidade. Estes princípios também vêm sendo utilizados na recuperação de solos degradados através de estratégias de revegetação (SANTOS et al., 2001; FARIA et al., 2002).

As espécies de fabáceas, por exemplo, apresentam diversas características que as tornam excelentes recuperadoras de solo para serem utilizadas em revegetação. Notando este potencial, diversas pesquisas e estratégias de recuperação de áreas degradadas têm utilizado estas plantas, na maioria das vezes demonstrando resultados positivos (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; CAMPELLO, 1998). Uma das características mais importantes para estas atividades, obviamente, é a capacidade de fixação biológica de nitrogênio através da simbiose com bactérias diazotróficas. Outra característica importante é o fato de que leguminosas nodulíferas, muitas vezes, também realizam associações micorrízicas, aumentando a área de captação de água e nutrientes pelas plantas, principalmente para fósforo (RESENDE & KONDO, 2001). Portanto, espécies de leguminosas com elevado aporte de biomassa podem contribuir significativamente para o incremento de cobertura do solo e para a ciclagem de nitrogênio, além dos demais nutrientes.

A ausência de custos com adubação nitrogenada é uma importante vantagem econômica e ambiental proporcionada pelo uso de leguminosas. Somente no cultivo de soja no Brasil, calcula-se uma economia de um milhão de reais para o país pela redução da adubação química nitrogenada (HUNGRIA et al., 2001). Em estratégias de recuperação de áreas degradadas esta característica é ainda mais relevante, uma vez que a maioria dos projetos de recuperação requer elevado custo (RESENDE & KONDO, 2001). Contudo, historicamente não são destinadas grandes somas em verbas, tanto públicas quanto privadas para estes projetos (D'ANTONIO & MEYERSON, 2002).

A revegetação seria uma alternativa viável para a recuperação de solos arenizados, contudo, a tarefa de apontar quais as estratégias mais adequadas para a solução ou amenização do problema está longe de ser tarefa fácil, muito embora a experiência demonstre que as alternativas podem ser simples e acessíveis ao produtor rural. Uma das dificuldades está na seleção de qual ou quais as espécies vegetais poderiam fazer parte de projetos de revegetação dos areais de forma satisfatória.

Mais recentemente, tem sido discutido e frequentemente criticado o uso de espécies exóticas para a recuperação de áreas degradadas (SUERTEGARAY, 1995; D'ANTONIO & MEYERSON, 2002). No âmbito do Bioma Pampa o uso de espécies exóticas, principalmente o pinus e o eucalipto, tanto para recuperação quanto para sistemas de produção, tem sido duramente contestado, alegando-se a fragilidade do solo e a necessidade de conservação da florística campestre (SUERTEGARAY, 1998; BOLDRINI, 2006; PILLAR, et al.; 2006). Contudo, algumas espécies exóticas se destacaram em projetos de recuperação de áreas degradadas (MACEDO & SOUZA, 1992; SCHIAVO & MARTINS, 2002; CECONI et al., 2005), devido, principalmente, às suas características de rusticidade e rápido desenvolvimento, indispensáveis em estratégias de recuperação (LUCHESI, 1992; RESENDE & KONDO, 2001). D'Antonio & Meyerson (2002) ressaltam que, geralmente, espécies exóticas são utilizadas nos casos em que o sítio foi severamente degradado e as espécies nativas não são capazes de sobreviver e de retornar às funções desejáveis. Entre as espécies que poderiam ser utilizadas para fins de revegetação na região sudoeste, Marchiori (1995) cita o capim-forquilha ou pensacola (*Paspalum notatum*), a pangola (*Digitaria decumbens*), a braquiária (*Brachyaria* sp.), com ênfase para a grama-bermuda (*Cynodon dactylon*).

Já Souto (1984) avaliando os resultados do Plano Piloto de Alegrete destacou o desenvolvimento superior apresentado pelo eucalipto, pinus e acácia-negra, em relação às demais espécies testadas. Entretanto, após vinte anos da implantação destas primeiras medidas, uma avaliação dos resultados demonstrou deficiências nas estratégias testadas. Entre as deficiências apontadas, destacaram-se o uso de verbas públicas para recuperação de áreas degradadas em propriedades particulares, sistemas de plantio inadequados, construção de esteiras com material transportado de longa distância, frustração no plantio das acácias, finalizando com o cancelamento do projeto por falta de verba (SUERTEGARAY, 1998).

Por outro lado, deve-se ressaltar resultados positivos encontrados nas pesquisas realizadas. O cinturão de eucalipto formado ao redor do “Deserto de São João” com o patrocínio da extinta RIOCELL, embora não tenha recuperado todo o solo do local, conteve sua expansão. Hoje, circundando os eucaliptos, pelo lado externo do cinturão, encontramos lavouras no sistema plantio direto e campo nativo utilizado com pecuária. Seria impossível encontrarmos estes sistemas produtivos neste local, caso o cinturão de eucalipto não houvesse contido a expansão do Deserto de São João. Certamente hoje, estas áreas também estariam arenizadas.

Nas áreas adjacentes ao São João, Rovedder et al. (2005) avaliaram populações de artrópodes edáficos com o objetivo de distinguir níveis de qualidade entre os diferentes usos do solo. Os valores encontrados para abundância de organismos sob o eucalipto não diferiram estatisticamente dos encontrados sob campo nativo nos meses de outubro e dezembro e foram superiores aos deste no mês de novembro. Estes resultados demonstram que, embora não realize a recuperação da estrutura ecossistêmica em sua plenitude, o cinturão de eucalipto em torno do São João, além de conter a sua expansão, trouxe o retorno de algumas funções do solo, devido ao aporte de material orgânico.

Já Reinert et al. (1998) comparando níveis de agregação em Neossolo Quartzarênico sob povoamento de eucalipto de nove anos e em Neossolo Quartzarênico arenizado, encontraram os maiores níveis de agregação sob o povoamento de eucalipto, sendo que, no solo arenizado verificaram ausência completa de agregação.

Outra alternativa, mais complexa que a simples contenção, consiste na recomposição do ecossistema campestre. Uma das principais vantagens deste método seria a possibilidade de reincorporar tais áreas ao uso pecuário, principal atividade econômica da região. Contudo esta possibilidade pode estar muito distante da realidade encontrada, uma vez que, para alcançar-se este objetivo seria necessário um período de tempo médio ou, provavelmente, longo. Para tanto deve se usar espécies que permitam o retorno da composição florística original, incentivando a atuação dos mecanismos e processos de colonização e regeneração natural do ecossistema (RESENDE & KONDO, 2001), e evitar aquelas que possam resultar em efeitos alelopáticos sobre a vegetação natural.

3.3 Qualidade do solo e recuperação de áreas degradadas

A preocupação com os processos de degradação do solo cresce à medida que se verifica um aumento da área mundial atingida e uma diversificação dos processos impactantes. Resultados de pesquisa demonstram que a cada ano são perdidos 20 milhões de hectares de florestas e 25 milhões de toneladas de húmus por efeito da erosão, desertificação e salinização do solo (MACEDO et al., 2000).

A história do uso e manejo dos solos confunde-se com a própria história da humanidade. Avanços em práticas conservacionistas estiveram sempre correlacionados com melhorias na qualidade de vida das populações humanas. Ao final do período feudal, por exemplo, a introdução de práticas de manejo como a rotação de terras e o pousio, permitiu um significativo aumento na produção de alimentos. Este fato contribuiu para o aumento populacional e formação das cidades, fatores que influenciaram a transição da Idade Média para a Moderna (COSGROVE, 1991). Por outro lado, históricos de degradação do solo estão associados a sérios problemas sociais e até mesmo ao declínio de grandes civilizações como a egípcia e a mesopotâmica (RUSSEL, 1968; OLSON, 1981).

Conhecer o funcionamento de um solo permite otimizar seu uso, adaptando as práticas de manejo às suas características específicas para com isto, diminuir ou evitar processos de degradação. Para tanto, pode-se considerar padrões de qualidade do solo, cujo conceito é relativamente recente. DORAM & PARKIN (1994) conceituam qualidade do solo como a capacidade de funcionamento que permita a manutenção ou o aumento da biodiversidade, da qualidade do ar, da água e da saúde humana.

A manutenção da qualidade do solo é o princípio fundamental das técnicas de manejo conservacionistas, muitas das quais desenvolvidas antes mesmo deste conceito se firmar como um norteador para o uso sustentável do solo. Os processos acentuados de degradação que ocorreram durante o século XX, serviram como agente propulsor para técnicas conservacionistas. O fato conhecido com “Dust Bowl”, ocorrido nos Estados Unidos na década de 30 do século passado (USD, 2006),

estabeleceu-se como um marco para o desenvolvimento das ciências da conservação e recuperação dos solos.

Na direção contrária ao manejo conservacionista e à priorização da qualidade do solo, os processos de degradação resultam na degeneração da capacidade de funcionamento, levando à perda da capacidade produtiva.

No Brasil, a atividade agropecuária, quando não aliada a práticas conservacionistas, destaca-se como uma das principais promotoras da degradação do meio, com efeitos nocivos sobre todos os componentes do ecossistema no qual estão inseridas (FERREIRA, 2000). Entre estes componentes, o solo é um dos mais afetados, sendo rapidamente exaurido. Luchesi et al. (1992) citam que a mobilização excessiva, a deficiência na cobertura da superfície, a baixa fertilidade, compactação, erosão e redução dos teores de matéria orgânica são comuns a estas atividades, quando baseadas em manejos inadequados do solo.

Neste contexto, a recuperação de áreas degradadas, como ciência da restauração, assume indelével importância, produzindo conhecimentos e tecnologias que contribuem para a implantação de modelos sustentáveis de uso e conservação dos recursos naturais, em especial solo, água e biodiversidade.

3.4 A ciclagem de nutrientes

A ciclagem de elementos através dos ciclos biogeoquímicos é um dos principais processos de manutenção das diferentes formas de vida do planeta. Nestas vias, os elementos químicos circulam na biosfera, na direção do ambiente para os organismos e, destes, de volta ao ambiente.

Cada ciclo pode ser dividido em dois compartimentos ou *pools*: o reservatório, componente maior, de movimentos lentos e geralmente não biológicos; e o lábil ou de ciclagem, representado por uma parcela menor, porém de trocas mais ativas entre os organismos e o ambiente (ODUM, 1988).

Especificamente na ciclagem de nutrientes, muitos ciclos se constituem, na verdade, de policiclos, ou seja, um determinado elemento pode se reciclar mediante

vários processos dentro de um compartimento para depois ser transferido para o próximo, como ocorre com os elementos que são transformados no solo para somente depois serem absorvidos pelas plantas (BORKERT et al., 2003).

Os ciclos biogeoquímicos ainda poderiam ser classificados como gasosos, nos quais o reservatório estaria situado na atmosfera ou na hidrosfera, e os sedimentares, nos quais o reservatório localiza-se na crosta terrestre (ODUM, 1988).

O manejo que se aplica aos recursos naturais, entre eles o solo, determinará a sustentabilidade ou a decadência das atividades humanas, sendo que, muitas das práticas efetuadas estarão diretamente relacionadas com alterações nos ciclos de elementos minerais e orgânicos. É neste sentido que Odum (1988) afirma que a ação do homem sobre os ciclos biogeoquímicos acelerou o movimento de muitos materiais, através do uso excessivo de fertilizantes ou pela retirada de reservatórios naturais sem a devida reposição (como nas atividades de desmatamento, por exemplo). Este efeito fez com que, pelo menos em um ambiente local, muitos ciclos se tornassem imperfeitos ou até mesmos acíclicos. Por outro lado, práticas de manejo da fertilidade do solo como a rotação de culturas e a adubação verde incentivam a ciclagem de nutrientes, promovendo a restauração das condições de equilíbrio do ciclo em sistemas de cultivo (BORKERT et al., 2003).

Para Odum (1988), o tamanho relativo dos *pools* reservatórios é importante para avaliação da influência da ação antrópica sobre os ciclos biogeoquímicos, pois os *pools* menores serão os primeiros a serem afetados pelas mudanças nos fluxos. O *pool* de nitrogênio inorgânico no solo, por exemplo, é geralmente pequeno, não excedendo miligramas de N por quilo de solo em ecossistemas naturais, e raramente excedendo 100 mg de N por quilo em camadas superficiais de solos agrícolas recentemente fertilizados. *Pools* maiores tendem a ser menos reativos, enquanto *pools* menores são, usualmente, mais dinâmicos (MYROLD, 1998).

Quemada & Cabrera (1997) citam que, quando modelos de simulação computadorizada foram aplicados a sistemas sem mobilização do solo, as influências da temperatura e umidade foram as mesmas para taxas de mineralização tanto na camada de resíduos vegetais, quanto no solo, indicando que outros fatores atuam diferenciando a velocidade deste processo. Para Giacomini et al. (2003) a velocidade de liberação de nutrientes de resíduos vegetais durante o processo de decomposição

depende da localização e da forma em que estes nutrientes se encontram no tecido vegetal.

3.5 A ciclagem do nitrogênio

O ciclo do nitrogênio é um exemplo de um ciclo gasoso e bem tamponado, cujo maior reservatório é a atmosfera, composta de cerca de 80% de nitrogênio (ODUM, 1988). As etapas deste ciclo que ocorrem no solo são totalmente determinadas pela atividade microbiana, com o nitrogênio entrando continuamente na atmosfera pela atividade das bactérias desnitrificantes e retornando ao solo pela ação das bactérias e algas que realizam a fixação biológica do nitrogênio (FBN). A imobilização e a mineralização efetuadas nas etapas do desenvolvimento microbiano, são fundamentais para a ciclagem deste elemento (FRIES & AITA, 2002).

O ciclo interno do nitrogênio (N) no solo é o controlador de disponibilidade deste elemento para a nutrição das plantas. Este elemento, encontrado nos resíduos vegetais associado a moléculas orgânicas é mineralizado, entrando na constituição da solução do solo e, dessa forma, tornando-se disponível à produção vegetal. Este processo requer a participação de agentes decompositores presentes no solo (FRIES & AITA, 2002). Sendo assim, o conteúdo de matéria orgânica (MO) e a forma com que é manejada, terão forte influência na mineralização e disponibilização do nitrogênio.

Diversos fatores influenciam na mineralização da matéria orgânica e, consequentemente, na disponibilização de N. Entre estes fatores, destacam-se o tipo de solo, o conteúdo de MO e N total, relação C/N dos resíduos vegetais, tempo de uso do solo, pH, temperatura, umidade, secamento, suprimento de nutrientes inorgânicos e interações solo-planta (PÔTTKER & TEDESCO, 1979; QUEMADA & CABRERA, 1997). Os sistemas de manejo do solo, por atingirem diretamente estas características, além de outras propriedades, também se constituem em agentes condicionantes das taxas de disponibilidade e dos processos envolvidos na ciclagem do nitrogênio no solo.

Além da matéria orgânica e das práticas de manejo, os microorganismos também desempenham papel fundamental nos processos de transformação do N no

solo. Fungos se caracterizam pela capacidade de utilizar substâncias protéicas, mineralizando-as e produzindo amônio e outros compostos nitrogenados simples, ao mesmo tempo em que liberam o carbono para a síntese celular. Bactérias atuam na decomposição da matéria orgânica do solo e são responsáveis pelos processos de mineralização, nitrificação e desnitrificação (VICTORIA et al., 1992). Bactérias diazotróficas de vida livre ou em simbiose com fabáceas, além de cianobactérias, realizam a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (TÓTOLA & CHAER, 2002).

O processo inicial de transformação do nitrogênio no solo é chamado de mineralização e consiste na transformação do N-orgânico em nitrato, sendo composto pelas etapas de amonificação e nitrificação. Nesta seqüência, o passo limitante é a amonificação mediada por microrganismos quimiorganotróficos. A nitrificação ocorre de maneira mais rápida, mediada por microrganismos quimiolitotróficos especializados, sendo afetada por fatores como aeração, temperatura, umidade, pH, fertilizantes usados e a relação carbono/nitrogênio do material vegetal a ser transformado (TÓTOLA & CHAER, 2002).

A partir destes processos, o N poderá sofrer outras transformações durante a sua ciclagem, como é o caso da imobilização microbiana e da desnitrificação. A imobilização é caracterizada pela utilização do N-mineral disponível para a produção de tecido microbiano durante o metabolismo destes organismos, e pode ocorrer simultaneamente ao processo de mineralização. A desnitrificação é um processo de respiração anaeróbica que resulta em perdas gasosas de nitrogênio (N_2 e N_2O) (VICTORIA et al., 1992).

Por ser fonte de nutrientes que retornam ao solo, o conteúdo de matéria orgânica do solo e a forma com que é manejada, terão forte influência na mineralização e disponibilização do nitrogênio. A atividade humana com introdução de práticas agrícolas modernas tem a capacidade de interferir em todas as etapas deste ciclo (VICTORIA et al., 1992).

Sistemas de manejo que diferem quanto à mobilização do solo ou à ausência desta prática ocasionarão diferentes condições no ambiente edáfico, as quais terão conseqüências igualmente diferenciadas nos compartimentos do ciclo do nitrogênio no solo (MIELNICZUK et al., 2003). Em estudo dirigido por Cabrera e Quemada (1997), houve diminuição na mineralização líquida de N para todas as temperaturas testadas em um potencial matricial de 0,003 Mpa, correspondente a 93 % do espaço

poroso preenchido com água. Este fato demonstra a influência da umidade sobre o conteúdo e o destino do N no solo. Nesta situação, a diminuição do acúmulo de N foi acompanhada por um acréscimo de N_2O evoluído do sistema, resultante do aumento na desnitrificação.

Estudos indicam haver uma relação direta entre a quantidade de resíduos culturais e o efeito residual de nitrogênio no solo (TRIVELIN et al., 2002, PERIN et al., 2004). Já em relação às emissões do elemento, em pesquisa realizada por BOUWMAN et al. (1997), estimou-se que as perdas de nitrogênio para a atmosfera na forma de amônia são de 3,6 Tg ano^{-1} de um total global de 54 Tg ano^{-1}.

Como o amônio é o primeiro produto da decomposição da matéria orgânica, foi inicialmente muito utilizado para a quantificação das taxas de mineralização, porém levando a resultados freqüentemente contraditórios. Outro fato que prejudica a interpretação dos resultados é que a formação de N mineral no solo é sempre acompanhada do seu processo reverso, ou seja, a imobilização em formas orgânicas (VICTORIA et al., 1992)

De todos os processos que envolvem microrganismos no ciclo do nitrogênio, a FBN destaca-se como o mais notável. Sem dúvida, é um dos exemplos mais perfeitos de simbiose na natureza.

Os microorganismos capazes de fixarem o nitrogênio atmosférico são bactérias diazotróficas simbiontes e de vida livre e cianobactérias (TÓTOLA & CHAER, 2002). Há ainda actinomicetos como o gênero *Frankia* que nodula espécies arbóreas não leguminosas como *Casuarina* sp. e *Alnus* sp. (AUER & SILVA, 1992; SPRENT & SPRENT, 1990).

Existem organismos fixadores de nitrogênio de vida livre ou simbiontes. Entre estes últimos, os mais conhecidos são os simbiontes com fabáceas, como os gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. Entre os de vida livre podemos citar os gêneros *Clostridium, Azotobacter e Rhodospirillum*. Algumas espécies podem ainda associar-se ao intestino de diversos hospedeiros ou ao rumem de ruminantes, como espécies dos gêneros *Clostridium, Bacillus* e *Desulfotomaculum (*FRANCO & NEVES, 1992).

Entre a diversidade de mecanismos de FBN, o que ocorre por associação com fabáceas é o mais estudado e depende da interação entre microsimbionte (organismos diazotrófico) e macrosimbionte (espécies de fabáceas). É também um dos principais mecanismos para a sustentabilidade dos sistemas de produção,

conferindo vantagens competitivas em ambientes onde o nitrogênio é um nutriente limitante e por permitir efetiva redução no uso de adubos químicos nitrogenados (NEVES & RUMJANECK, 1992; HUNGRIA et al., 2001). Além de permitirem a fixação biológica do nitrogênio, as espécies de fabáceas possuem uma relação C/N baixa, o que propicia uma rápida mineralização do elemento. Em sistemas de cultivo, esta característica possui a vantagem de disponibilizar o elemento à cultura em sucessão. Avaliando a inoculação com *Rhizobium phaseoli* em feijão, Venturini et al. (2005) não encontraram diferenças estatísticas entre o cultivo com 100% de adubação comercial e o cultivo com inoculação. Já Mielniczuk (1988) encontrou um aumento no conteúdo de nitrogênio do solo de 700 kg ha^{-1} em sistemas de rotação de culturas com leguminosas anuais durante cinco anos.

3.6 Pedofauna como indicador da qualidade do solo

A manutenção da qualidade do solo é um dos requisitos básicos para a sobrevivência da vida no planeta. Isto por que o solo é o sistema que mantém e sustenta a grande parte dos ecossistemas naturais, bem como é a fonte produtiva de alimentos para a humanidade, constituindo-se no principal fornecedor de água e nutrientes. O manejo adequado do solo, mantendo a qualidade de suas características físicas, químicas e biológicas, constitui-se em premissa para o estabelecimento do desenvolvimento sustentável em qualquer atividade humana.

Em casos de impacto ambiental, faz-se necessária uma análise quantitativa e qualitativa da magnitude deste, a fim de desenvolver-se um planejamento de recuperação ou de mitigação dos danos. Uma vez detectado o(s) compartimento(s) ambiental(s) afetado(s) e caracterizados seus principais atributos, faz-se necessária a definição dos indicadores de impacto que deverão ser utilizados (SPADOTTO & GOMES, 2004).

A mensuração da qualidade do solo requer uma série de indicadores agrupados em conjuntos de maneira a formar índices que os correlacionem e permitam uma visão amplificada dos atributos do solo. Tais indicadores devem expressar com precisão uma função particular do ambiente, servindo assim como sinal de mudanças desejáveis ou indesejáveis, apoiando-se nos componentes principais de todo o ecossistema. Vários fatores inerentes ao ambiente edáfico vêm

sendo testados como indicadores dos níveis de qualidade do solo (DECAENS et al., 1994; SAUTTER, 1998; ALVAREZ et al., 2001).

Para Accioly & Oliveira (2004), indicadores geralmente são informações fragmentadas que refletem as condições de sistemas mais amplos. Já para Huffman et al. (2000), na ausência de informações completas sobre as inter-relações ecossistêmicas, um conjunto de indicadores serve para prover dados sobre uma ampla variedade de parâmetros.

Em relação às alterações no solo, podemos ter indicadores de caráter qualitativo (presença de superfícies de selamento e voçorocas, por exemplo) ou de caráter quantitativo como a profundidade efetiva e a condutividade elétrica dos solos (ACCIOLY & OLIVEIRA, 2004).

Diversos critérios têm sido estabelecidos para se definir indicadores da qualidade do solo. De uma maneira geral, estes devem fazer parte dos processos de funcionamento do solo e ser sensíveis a modificações atribuídas ao manejo utilizado em longo prazo (STENBERG, 1999).

Para REINERT et al. (1998), atributos físicos, químicos e biológicos podem ser utilizados para quantificar processos e funções do solo, formando-se assim um conjunto de dados que sirvam como base para avaliação de sua qualidade. Características como o conteúdo de matéria orgânica, densidade do solo, infiltração, entre outros, podem expressar as diferentes formas em que um solo foi manejado ao longo do seu histórico de uso, servindo como um indicador do seu nível atual de qualidade. PINHEIRO (2004) afirma que qualquer informação medida diretamente do meio físico ou qualquer propriedade matemática ou estatística que descreva diretamente o elemento natural pode ser considerada indicador. Entre estes, o estudo das populações da pedofauna tem se destacado devido à sua sensibilidade aos fatores impactantes do meio. Para ASSAD (1997), tal sensibilidade faz com a compreensão do comportamento do solo em sistemas naturais ou antrópicos exija o conhecimento da pedofauna. Para tanto, características como densidade e diversidade de populações de indicadores podem demonstrar as condições de um solo, seus níveis de equilíbrio ou perturbação (BROWN, 1997).

Comunidades bióticas têm sido analisadas para indicar níveis de degradação ou conservação de um ecossistema, à medida que têm sua estrutura e seu potencial ecológico alterados (SILVEIRA et al., 1995; BROWN, 1997; THOMAZINI & THOMAZINI, 2002). A prática de avaliação de comunidades bióticas para este fim

denomina-se bioindicação. Bioindicadores tratam–se, portanto, de quaisquer organismos (plantas, animais, microorganismos) que por sua presença no meio, identificam determinadas características ambientais. Desta forma, comunidades de artrópodes edáficos têm sido utilizados como bioindicadores com o intuito de se estabelecer relações com os níveis de qualidade do solo (HALE, 1971; SILVEIRA et al., 1995; HUFFMAN et al., 2000). Aspectos como abundância de populações e diversidade de espécies ou grupos permitem caracterizar o nível de equilíbrio ecossistêmico e de manutenção ou perda das funções correlacionadas a estes organismos (IBAÑEZ et al.,1995). Entre estas se destaca a conservação e dinâmica da matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes e manutenção de propriedades físicas, essenciais para a sustentabilidade da produção primária (LAVELLE, 1996).

As comunidades de invertebrados do solo são profundamente alteradas por atividades antrópicas, geralmente, notando-se uma correlação entre o desaparecimento destes e a carência de sustentabilidade em muitos sistemas agrícolas. Processos de degradação do solo ou de substituição da diversidade natural por poucos organismos exóticos oportunistas e altamente adaptados a distúrbios podem resultar no desaparecimento de grupos funcionais da fauna edáfica (LAVELLE, 1996). Watt et al. (1997) observaram redução de 40 a 70% de besouros e cupins em fragmentos florestais com diferentes níveis de perturbação. Oliveira & Franklin (1993) encontraram redução na densidade populacional e na diversidade de grupos da mesofauna do solo com o uso de queimadas em pastagens na Amazônia, com o desaparecimento de diversos grupos de artrópodes. Por outro lado, Langmaack et al. (2001) encontraram influência da mesofauna do solo, principalmente colêmbolos e enquitrídeos, na reabilitação de superfícies de selamento, o que levou os autores a incluírem estes dois grupos na classe dos organismos engenheiros do solo, conceito anteriormente proposto por Lavelle (1994).

Tal sensibilidade e inter-relação com as características edáficas tornam estes grupos de organismo uma boa fonte de indicação das condições do solo através de suas características populacionais como densidade e diversidade (SAUTTER, 1998; COLEMAN & HENDRIX, 2000), eliminando, portanto, a necessidade de se estudar todos os componentes de um sistema, o que seria impraticável.

3.7 O gênero *Lupinus* e o *Lupinus albescens* Hook. & Arn.

A vegetação da região sudoeste do Rio Grande do Sul é considerada uma vegetação relicto, por ser testemunha de um paleoambiente mais seco do que o atual, registrado no Pleistoceno. A partir do Holoceno, há aproximadamente 10.000 anos, inicia-se a umidificação do clima regional, dando origem às condições climáticas atuais (MARCHIORI, 2004). Este fato favoreceu a fixação de uma cobertura vegetal mais intensa e o estabelecimento da vegetação florestal, como as matas de galeria ao longo das bacias fluviais (SUERTEGARAY, 1998).

Como testemunhas do paleoambiente desértico e, portanto, adaptadas às condições ambientais remotas, encontramos diversas espécies de cactáceas, além de diversas características de xerofilia entre as espécies dos campos riograndenses, tais como elevada pilosidade, elevado conteúdo de compostos resiníferos, presença de órgãos de reservas, entre outras características úteis a este tipo de ambiente (MARCHIORI, 1995). Para Marchiori (2004), estas adaptações são basicamente de ordem climática, não podendo vinculá-las a condições edáficas. Contudo, a baixa fertilidade natural dos solos arenosos que predominam na região em estudo pode configurar-se como fator limitante à cobertura vegetal. Desta forma, as espécies que evoluíram neste ambiente também tiveram que se adaptar a baixa disponibilidade de nutrientes e à textura grosseira dos solos. Estudos de caráter fisiológico, como a determinação de parâmetros citocinéticos, poderiam auxiliar na elucidação destas relações. Rovedder et al. (2005) analisando a composição florística de um campo nativo no município de Alegrete, notaram que esta se alterava próximo à borda de um areal adjacente. No campo, predominavam poáceas e fabáceas, enquanto dentro do areal predominavam mirtáceas.

Entre as espécies que apresentam nítidas características de adaptação encontramos na região, espécies do gênero *Lupinus*, conhecidas popularmente como tremoços. O gênero *Lupinus* pertence à Tribo Genisteae da Família Fabaceae, a qual anteriormente fazia parte da Ordem Faboideae, Família Leguminosae. Este gênero é constituído por plantas anuais herbáceas ou perenes herbáceas e arbustivas que se distribuem por ampla variação climática, principalmente nas Américas. Como características botânicas apresenta folhas compostas, digitadas e flores papilionadas

distribuídas em racemos (PINHEIRO & MIOTTO, 2001). As flores são ainda hermafroditas apresentando cinco estames curtos e cinco estames longos e os frutos são em forma de vagem, com duas e sete sementes ovais a subquadradas (CALEGARI et al., 1993).

Na região sudoeste do Rio Grande do Sul, as espécies do gênero apresentam impressionante adaptação às condições edafo-climáticas, colonizando preferencialmente os solos elevadamente arenosos, como o Neossolo Quartzarênico, principal classe de ocorrência das manchas de areia ou areais, como são chamados os focos de degradação por arenização nesta região do Estado. Em alguns locais de ocorrência natural observam-se ainda afloramentos do arenito silicificado. Portanto, ocorre em sítios de condições extremas.

Espécies do gênero *Lupinus,* nativas da região sudoeste do Rio Grande do Sul, como o *Lupinus lanatus* e o *Lupinus albescens* são encontradas preferencialmente, colonizando áreas abertas como taludes de estradas e voçorocas, sugerindo um potencial natural para colonização de locais de solos descobertos. Pinheiro & Miotto (2001) confirmam esta tendência, ao considerarem como “característica universal” do gênero *Lupinus* a preferência por habitats ensolarados e abertos, sendo intolerantes a muita proteção.

Entre as espécies de ocorrência da região sudoeste do estado, o *Lupinus albescens* destaca-se pela cobertura abundante do solo, formando maciços vigorosos de vegetação. O *Lupinus albescens* foi catalogado por Burkart (1987), como planta de ocorrência na região do estudo e também na Argentina. Planta herbácea, de crescimento ereto, com hábito anual, apresenta perenização de alguns indivíduos nos maciços observados no município de Alegrete. Folhas digitadas, inflorescências racemosas com flores arroxeadas ou lilases terminais e frutos na forma de vagens, com até seis ou sete sementes. A semente da espécie pode levar de 10 a 20 dias para germinar, contudo, a germinação é abundante, formando banco de plântulas com alta densidade. Em teste de germinação realizado no Laboratório de Sementes da UFSM, com um tratamento prévio de escarificação em cilindro rotativo, a espécie apresentou 100 % de germinação (ROVEDDER et al., 2004).

A espécie apresenta folíolos e ramos muito pilosos, além de elevado teor de substâncias resiníferas, como mecanismos de adaptação às condições edafoclimáticas da região, comprovando a sua evolução paralela a um paleoambiente xeromórfico. Estas características, além de atribuírem alta rusticidade à espécie, possuem efeitos benéficos quando do uso da espécie em estratégias de recuperação, pois a tornam inadequada ao consumo animal.

Esta elevada pilosidade atua diminuindo a transpiração, fator importantíssimo em solos de baixa retenção hídrica. Outra característica adaptativa desta espécie, relacionada às condições hídricas do solo, é a formação de um vigoroso sistema radicular, capaz de buscar água e nutrientes a elevadas profundidades. Foi observada a presença de raízes até 1,50 m de profundidade. Além disto, a espécie apresenta associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio, com nódulos ativos no colo da raiz e próximo à coifa.

Algumas características da espécie destacam-se como próprias para seu uso em estratégias de recuperação de áreas degradadas:

- A espécie não é utilizada na alimentação animal: A elevada pilosidade e conteúdo de compostos resiníferos afastam os animais e faz com que a espécie não seja utilizada para alimentação por insetos, bovinos, ovinos, lebres, etc. De acordo com Calegari et al. (1993), o elevado conteúdo de alcalóides do gênero *Lupinus* restringe seu uso na alimentação. Raramente observou-se ataque de formigas. Quando isto aconteceu foram de baixa intensidade em indivíduos isolados. Este é um aspecto fundamental para o sucesso de estratégias de RAD, principalmente na região sudoeste, onde a pecuária é feita de forma extensiva. Além disto, reduz custos, pois não se faz necessário o controle de formigas. Em quatro anos de pesquisa não foi observado o consumo pelo gado, embora possa ocorrer, e não se necessitou de controle com formicidas.

- Elevada produção de massa seca: O elevado aporte de fitomassa, característico da espécie, vem ao encontro dos princípios da conservação do solo, sendo um requisito para a escolha de plantas potenciais para a recuperação de áreas degradadas e para sistemas de manejo conservacionistas (MIELNICZUK, 1988; DIAS & GRIFFITH, 1998; BARNI et al., 2003)**.** A alta cobertura do solo pelo *Lupinus albescens* proporciona proteção contra a erosão, retenção da umidade, amenização da temperatura do solo, incremento em matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.

- Ausência de efeito alelopático sobre a composição florística do campo nativo: o primeiro cultivo experimental do *Lupinus albescens* foi realizado em 2002, na área do presente estudo. Nos anos seguintes, observou-se a dinâmica natural de colonização da espécie, a partir da germinação do banco de sementes e da dispersão destas. Após o término do segundo ciclo da espécie (novembro de 2003), notou-se que o campo nativo conseguiu colonizar abundantemente as parcelas revegetadas. O abundante aporte de resíduos vegetais na área conteve a movimentação das partículas de solo, diminuindo o efeito abrasivo e o soterramento, além de reter umidade e amenizar a temperatura do solo, condições favoráveis à germinação. Com isto, as sementes das diversas espécies do campo nativo ao redor, que foram transportadas para a área pelos agentes hídrico e eólico, puderam germinar e recolonizar o solo anteriormente arenizado. Este fato demonstra a ausência de efeito alelopático ao menos com um considerável número de espécies do campo nativo. Salienta, principalmente, o potencial para recuperação da estrutura ecossistêmica em solos arenizados.

- amenização do efeito dos processos erosivos: o desempenho apresentado pelo *Lupinus albescens* em estudo recente, demonstrou o seu grande potencial de utilização para a contenção dos processos erosivos em solos arenizados da Campanha Gaúcha. Utilizando a espécie em consórcio com a aveia preta, Rovedder (2003), encontrou uma redução de 93 % de areia movimentada pela erosão eólica em núcleo de arenização.

- ciclagem do nitrogênio no solo: espécies do gênero *Lupinus*, tradicionalmente utilizadas como plantas de cobertura, são excelentes recicladoras de nitrogênio, devido à sua capacidade de simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio. De acordo com Calegari et al. (1993), espécies do gênero *Lupinus* podem fixar até 150 kg ha^{-1} de nitrogênio, com um importante efeito residual no solo e aumento no rendimento das culturas posteriores.

No Brasil, ocorrem ainda, outras espécies deste gênero, como *o Lupinus multiflorus*, *Lupinus linearis* e *Lupinus hilarianus* (CALEGARI et al., 1993). No Rio Grande do Sul, Pinheiro & Miotto (2001) descrevem treze espécies de *Lupinus* amplamente distribuídos pelo estado. Na região sudoeste são identificadas as espécies: *Lupinus albescens* (Figura 1A), *Lupinus bracteolaris, Lupinus gibertianus*,

Lupinus linearis, Lupinus lanatus e *Lupinus multiflorus,* além de uma espécie ainda não identificada (Figura 1B).

A

B

Figura 1 – Aspectos de tremoços nativos da região sudoeste vegetando em espaços abertos e com solo exposto. (A) Ocorrência espontânea de *Lupinus albescens* em solo arenizado em Alegrete e (B) espécie não identificada do gênero *Lupinus* vegetando em talude de voçoroca, em São Francisco de Assis. Rovedder, 2006.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da região do estudo

O sudoeste do Rio Grande do Sul está localizado entre as latitudes de 29º00' S e 31º00' S e entre as longitudes de 54º30' W e 58º45' W, fazendo parte da região fisiográfica da Campanha Gaúcha. Predomina na região o Bioma Pampa, o qual abrange os campos da região das Missões, Planalto Médio e de toda a Metade Sul do Estado. Nesta última, se insere os campos da Campanha Gaúcha, da Serra do Sudeste e do Litoral (IBGE, 2004). Este Bioma ainda se estende pelo Uruguai e a Argentina (ECOSOLIDARIEDADE, 2001).

Geomorfologicamente, a região está integrada à unidade morfológica da Cuesta do Haedo (MÜLLER FILHO, 1970). Esta consiste de uma província arenítico-basáltica, com reduzida espessura de basalto, caracterizada pelas formações litológicas do Botucatu (arenítica) e Serra Geral (basáltica) (SUERTEGARAY, 1998).

De acordo com Koeppen, o clima da região está classificado como Cfa, subtropical úmido, sem estação seca e com temperaturas médias variando de 14,3ºC no inverno a 26,3ºC no verão, com uma média de precipitações anuais de 1400 mm (MORENO, 1961). A velocidade dos ventos na região varia entre períodos mais amenos no outono-inverno, e períodos mais intensos na primavera-verão (SOUTO, 1984; SUERTEGARAY, 1998).

O relevo é suave-ondulado, predominando formas mamelonares, provenientes do desgaste geológico, entrecortadas por platôs de arenito silicificado, com topo geralmente plano.

As áreas de Neossolo Quartzarênico são as mais suscetíveis ao processo de arenização. A formação dos areais ocorre, principalmente, nos municípios de Alegrete, São Francisco de Assis, Itaqui, Cacequi, Quaraí e Manuel Viana (SUERTEGARAY, 1998).

A vegetação regional apresenta aspectos de xeromorfia, sendo por isto considerada uma vegetação testemunha de um período semi-árido ou semi-úmido estepário, o qual sofreu uma umidificação a partir do Holoceno, contudo insuficiente para eliminar a influência do período anterior na paisagem moderna (MEDEIROS et al., 1995; SUERTEGARAY, 1995). A vegetação também é fortemente influenciada pelas características edáficas. Predominam formações campestres de cobertura

escassa, formadas principalmente, por poáceas. Em conjunto com a vegetação campestre, distribuídos esparsamente, ocorre vegetação arbustiva, de conformação retorcida, semelhante à vegetação de cerrado e savanas. Ao longo de rios e arroios ocorre mata ciliar.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi escolhido um núcleo de arenização localizado nas coordenadas 29°40′05″ de latitude sul e 55°19′40″ de longitude oeste. A área do núcleo pertence à Fazenda Santo Antão, município de Alegrete, localidade de Cerro do Tigre.

De acordo com o histórico levantado junto aos proprietários, a área do núcleo foi sempre utilizada com pecuária e a formação do núcleo iniciou há 20 anos . Os proprietários relataram que observaram o surgimento dos areais a partir das estrias de caminhamento do gado. Presentemente, há presença de gado no local. Em recobrimento realizado com aparelho de GPS (*Global Positioning System*), em novembro de 2005, constatou-se que o núcleo de arenização apresenta 10 ha de extensão. O solo do local de estudo é classificado como Neossolo Quartzarênico distrófico, de acordo com a classificação de Embrapa (1999).

4.2 Caracterização química e física do solo no local do estudo

A caracterização química do solo no local do estudo foi realizada no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria.

Foram coletadas 10 amostras compostas de solo do campo ao redor do núcleo de arenização e do solo no interior do núcleo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm. As análises químicas seguiram metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Foram analisados os conteúdos de fósforo, potássio, cálcio, alumínio, além de determinados o teor de matéria orgânica, o pH em água e o Índice SMP. Calculou-se a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva), capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC em pH 7), a saturação por alumínio e a saturação por bases (Tabela 1). A Tabela 2 apresenta a interpretação para pH em água, matéria orgânica, saturação por bases, saturação por alumínio, CTC a pH 7, fósforo, potássio,

cálcio e magnésio encontrados na análise química para o campo e a área arenizada, na profundidade de 0 a 5 cm, de acordo com SBCS (2004).

Tabela 1 – Caracterização química do solo sob a área de campo (C) e sob solo arenizado (SA) para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. Santa Maria, 2003.

	Profundidades de coleta (cm)							
parâmetros	0-5		5-10		10-15		15-20	
	C	SA	C	SA	C	SA	C	SA
pH H_2O	4,60	4,80	4,80	4,80	4,60	4,70	4,60	4,60
Índice SMP	6,26	6,70	6,40	6,70	6,36	6,56	6,36	6,60
P, mg l^{-1}	6,40	5,56	2,96	2,00	2,63	6,30	2,16	6,00
K, $Cmol_c$ l^{-1}	14,00	2,00	11,30	0,13	8,00	2,00	7,30	2,00
% M.O., m/V	1,10	0,40	0,60	0,36	0,46	0,13	0,30	0,13
Al, $Cmol_c$ l^{-1}	1,80	0,36	0,50	0,13	0,50	0,43	0,25	0,50
Ca, $Cmol_c$ l^{-1}	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Mg, $Cmol_c$ l^{-1}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
H+Al, $Cmol_c$ l^{-1}	2,80	1,8	2,40	2,86	2,56	2,16	2,56	2,00
CTC efetiva $Cmol_c$ l^{-1}	0,90	0,56	0,70	0,27	0,70	0,60	0,70	0,70
CTC pH 7 $Cmol_c$ l^{-1}	3,16	2,00	2,60	2,10	2,76	2,36	2,76	2,20
m %	63,60	63,00	69,60	59,00	69,00	67,00	69,00	70,60
V %	11,00	10,00	8,60	11,60	8,00	8,60	8,00	9,30

Fonte: ROVEDDER, 2003.

Tabela 2 - Interpretação para pH em água, matéria orgânica (M.O.), saturação por base (bases %), saturação por alumínio (Al %), capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC $_{pH7}$), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) encontrados na análise química para o campo (C) e solo arenizado (SA) na camada de 0 a 5 cm do solo, de acordo com SBCS (2004). Santa Maria, 2003.

	pH H_2O	M.O. %	Sat. Bases %	Sat. Al %	CTC pH7	P	K	Ca	Mg
C	Muito Baixo	Baixo	Muito baixo	Alta	Baixo	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo
SA	Muito Baixo	Baixo	Muito baixo	Alta	Baixo	Muito baixo	Muito baixo	Baixo	Baixo

Fonte: ROVEDDER, 2003.

Como caracterização física foi realizada a análise granulométrica pelo método da pipeta. O solo arenizado apresentou 94,7% de areia, 4,8% de argila e 0,5% de silte. O solo do campo nativo apresentou 92,9% de areia, 6,8% de argila e 0,3% de silte.

4.3 Parâmetros avaliados

O presente estudo foi executado em cinco experimentos, sendo que cada um contempla um dos objetivos específicos já descritos. A seguir, são descritas as metodologias utilizadas para cada experimento.

4.3.1 Potencial do *Lupinus albescens* para produção de biomassa e acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na parte aérea e em raízes.

Para avaliar o potencial de produção de biomassa e de acúmulo de nutrientes, a massa da parte aérea e de raízes produzida pela germinação do banco de sementes formado a partir da primeira semeadura do *Lupinus albescens* foi coletada e analisada. Este estudo foi realizado no ano de 2002.

As sementes de *Lupinus albescens* forma coletadas em área de ocorrência natural da espécie. A semeadura foi realizada em 6 parcelas de 10m x 25 m, sobre o solo arenizado e sobre o campo nativo não dessecado, na borda de transição entre o solo arenizado e o solo ainda não afetado por arenização. A semeadura do tremoço foi realizada com um espaçamento de aproximadamente 50 cm entre linhas e na linha de plantio. Com o objetivo de não inibir a nodulação do tremoço, não foi realizada adubação nitrogenada. As parcelas foram adubadas com 600 kg de NPK 0-20-20 a lanço. A adubação seguiu o sistema de recomendações de fertilidade do solo do Núcleo Regional Sul de Fertilidade do Solo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo para o cultivo de tremoços europeus (SBCS, 2004).

A coleta da biomassa vegetal foi realizada em novembro de 2003, utilizando-se quadros de 0,50 cm x 0,50 cm, dispostos em pontos aleatórios das parcelas, com duas repetições por parcela. Em cada quadro coletou-se a biomassa da parte aérea e de raízes no período de florescimento. O material foi levado para o Laboratório de Manejo e Conservação do Solo da UFSM e seco em estufa a 60°C até peso constante. Após foi moído e analisado.

Determinou-se a quantidade de biomassa, bem como o conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio encontrado no tremoço semeado sobre o campo nativo e sobre o solo arenizado. Os macronutrientes foram determinados de acordo com metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) para tecido vegetal. Os resultados obtidos foram comparados pelo Teste de Duncan, a 5 %, em delineamento inteiramente casualizado, com nove repetições.

4.3.2 Estudo comparativo entre plantas de cobertura em relação à produção de biomassa e conteúdo de macronutrientes.

Dando continuidade ao estudo do potencial de ciclagem de nutrientes e produção de biomassa, em 2004 foi implantado estudo comparativo entre o *Lupinus albescens* e espécies já tradicionalmente utilizadas como plantas de cobertura. As espécies utilizadas foram: centeio (*Secale cereale* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schieb.), tremoço branco europeu (*Lupinus albus* L.) e tremoço azul europeu (*Lupinus angustifolius* L.). O centeio e a aveia foram utilizados por serem plantas de cobertura usadas com freqüência na região. As espécies de tremoço europeu forma escolhidas para proporcionarem um comparativo entre espécies do mesmo gênero do *Lupinus albescens*. As sementes de *Lupinus albescens* forma coletadas em área de ocorrência natural da espécie.

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com quatro repetições, em parcelas experimentais de 16 m^2. A instalação do experimento foi realizada em 13 de abril de 2004. O centeio e a aveia foram semeados a lanço com uma densidade de semeadura de 80 Kg ha^{-1}, recebendo 600 Kg ha^{-1} de adubo NPK na formulação 5-20-20, conforme recomendação de SBCS (2004), de acordo com análise de solo. Os tremoços europeus foram semeados a lanço, também com uma densidade de semeadura de 80 Kg ha^{-1} e inoculados com inoculante específico. O *Lupinus albescens* foi plantado com espaçamento de 50 cm x 50 cm, respeitando a sua capacidade natural de formação de touceiras. Como não há inoculante específico comercial para o *Lupinus albescens*, misturou-se as sementes com solo oriundo de área de ocorrência natural da espécie, cinco minutos antes do plantio. As espécies de fabáceas receberam 600 kg ha^{-1} de adubo NPK na formulação 0-20-20, também conforme recomendação SBCS (2004).

Os parâmetros determinados foram a biomassa produzida, conteúdos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio da parte aérea no período do florescimento. As amostras foram coletadas em distribuição aleatória com quadros de 1 m x 1 m, com 2 repetições por parcela. Foi coletada a massa verde correspondente à área de cada quadro. O material coletado foi levado para o Laboratório de Manejo do Solo da UFSM e seco em estufa a 60° C até peso constante. Após foi moído e

analisado de acordo com metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Os resultados obtidos foram comparados pelo Teste de Duncan em nível de 5 % de probabilidade de erro.

4.3.3 Densidade de semeadura e espaçamento entre linhas para o plantio de *Lupinus albescens.*

Para a avaliação de parâmetros adequados ao cultivo do *Lupinus albescens*, foram comparados diferentes espaçamentos entre linhas e diferentes densidades por metro linear na linha de semeadura. Os valores de espaçamento entre linhas avaliados foram compatíveis com semeadoras utilizadas em sistema plantio direto: 17, 34 e 51 cm. Na linha de plantio, foram comparadas densidades de 4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear. A instalação do experimento ocorreu em 14 de abril de 2004. As parcelas receberam adubação de 600 kg ha^{-1} de adubo NPK na formulação 0-20-20, conforme recomendação SBCS (2004). Como forma de inoculação, as sementes foram misturadas com solo oriundo de área de ocorrência natural da espécie, cinco minutos antes do plantio. As sementes de *Lupinus albescens* foram coletadas em área de ocorrência natural da espécie.

O experimento foi instalado em delineamento bifatorial em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas em quatro blocos. O fator espaçamento entre linhas de plantio foi estabelecido sobre parcelas de 5 metros de largura e 6 metros de comprimento, enquanto o fator densidade por metro linear, em subparcelas de 1 metro de largura e 6 metros de comprimento.

Os parâmetros avaliados foram:

- A biomassa produzida na parte aérea durante o florescimento;

- O conteúdo de macronutrientes acumulados (nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo) na parte aérea no florescimento;

- Produção de sementes;

- Número de nódulos nas raízes;

- Peso dos nódulos.

Para a quantificação da produção de fitomassa e do conteúdo de macronutrientes foram coletadas amostras de um metro linear, em um total de duas repetições por parcela. Foi coletada a massa verde correspondente à área de cada quadro. O material coletado foi levado para o Laboratório de Manejo do Solo da UFSM e seco em estufa a 60° C até peso constante. Após, o material foi moído e pesado. Para o conteúdo de macronutrientes foi realizada análise de tecido vegetal, de acordo com metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Os resultados obtidos foram comparados por análise da variância e análise de regressão. No caso das diferenças encontradas entre o número de sementes por metro linear na linha de semeadura, o número de tratamentos avaliados permitiu a comparação pelo teste de Tukey em nível de 5 % de probabilidade de erro.

4.3.4 Caracterização preliminar de estirpes bacterianas fixadoras de nitrogênio.

Esta etapa da pesquisa propõe-se a caracterizar e identificar bactérias diazotróficas simbióticas ao *Lupinus albescens*. Os testes foram feitos em parceria com a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO).

Para a caracterização da espécie bacteriana simbiótica com o *Lupinus albescens*, foi realizada isolamento de colônias bacterianas, a partir da coleta de nódulos ativos. Estes estão distribuídos, principalmente, ao longo da raiz pivotante do *Lupinus albescens*, demandando a abertura de uma cova para exposição do sistema radicular de, aproximadamente, 60 a 80 cm de profundidade.

Para o transporte, o material foi acondicionado em caixas de isolamento térmico contendo sílica-gel. Em laboratório, o material foi lavado com água corrente, separando-se manualmente os nódulos ativos, os quais foram desinfetados com álcool 95% e hipoclorito de sódio 0,3%. Após, foram lavados com água esterilizada em agitação lenta. Foram obtidos três isolados puros a partir dos quais foram realizados os testes de crescimento de colônias em meio levedura-manitol-ágar (LMA)/ vermelho-congo.

Os testes realizados foram os seguintes: teste de coloração de gram, verificação de produção de ácidos orgânicos ou álcali em meio (LMA)/ azul de bromotimol e

análise do perfil eletroforético dos isolados pelo método de reação em cadeia da polimerase (PCR), com o marcador molecular BOX A1R (VERSALOVIC et al., 1994). A extração do DNA bacteriano para a análise de PCR foi realizada de acordo com metodologia descrita por Moreira (1988). A extração do DNA e análise de Reação em Cadeia de Polimerase (PCR) foi realizada junto ao Laboratório de Fitopatologia da FEPAGRO.

4.3.5 Indicadores da recuperação de solo arenizado revegetado com *Lupinus albescens*.

Para avaliar a capacidade de recuperação de um sítio arenizado através da revegetação com *Lupinus albescens*, foram realizadas análises das populações de artrópodes edáficos e dos conteúdos de macronutrientes e carbono no solo. Para fins comparativos foram analisadas diferentes áreas próximas entre si, compondo um mosaico de usos do solo no qual o solo de todos os tratamentos é classificado como Neossolo Quartzarênico.

4.3.5.1 Caracterização das populações de artrópodes edáficos.

No presente estudo, especificamente, foram observadas as populações de artrópodes edáficos como bioindicador da qualidade do solo, tendo-se como fatores de comparação os seguintes tratamentos:

1. solo com cobertura natural de *Lupinus albescens* (TN) - área de ocorrência natural do *Lupinus albescens,* o qual aparece consorciado a demais espécies nativas dos Campos Sulinos. Está localizado às margens da estrada principal do Distrito de Cerro do Tigre, nas imediações do chamado Cerro Negro, distante, aproximadamente 7 km da área de estudo. Esta área encontra-se totalmente coberta pela vegetação nativa, não sendo utilizada em atividades antrópicas. O solo é elevadamente arenoso e o sítio apresenta ainda afloramentos de arenito solidificado.

2. área arenizada que recebeu revegetação com *Lupinus albescens* há três anos (T3): parcelas experimentais de revegetação sobre solo arenizado, as quais possuem cobertura de *Lupinus albescens* há três anos. No primeiro momento da

revegetação, receberam consórcio *Lupinus albescens – Avena strigosa.* Com o final do primeiro ciclo permitiu-se a formação de banco de sementes, o qual deu origem a duas coberturas sucessivas de *Lupinus albescens,* respectivamente em 2003 e 2004. A partir da revegetação, o campo nativo conseguiu colonizar a parcela. No presente momento estas parcelas apresentam escassa cobertura viva de *Lupinus albescens,* contudo, permanecendo a constituição do campo nativo. Quando da implantação do consórcio aveia preta/ *Lupinus albescens*, esta área recebeu adubação de 600 kg ha^{-1} de NPK 0-20-20 e 500 kg ha^{-1} de calcário Filler, aplicados a lanço.

3. área arenizada que recebeu revegetação com *Lupinus albescens* há um ano (T1): parcela experimental de revegetação sobre solo arenizado, que recebeu cobertura de *Lupinus albescens* há um ano. No momento do plantio, esta área recebeu adubação de 600 kg ha^{-1} de NPK 0-20-20 e 500 kg ha^{-1} de calcário Filler, aplicados a lanço. Atualmente encontra-se na fase de formação de seu segundo banco de sementes, fruto do processo de regeneração natural do *Lupinus albescens*. Como T3 também apresentou reconstituição da vegetação nativa de campo após a revegetação, fato que perdura até o momento.

4. solo arenizado (SA): solo degradado por arenização há 20 anos. Ocorre na Fazenda Santo Antão, no local do estudo descrito em Material e Métodos.

5. campo nativo (CN): área de campo nativo da Fazenda Santo Antão utilizado para pecuária. Adjacente ao solo arenizado e às parcelas de revegetação com *Lupinus albescens.*

Todas as áreas dos tratamentos encontram-se próximas entre si, sendo que T3, T1, SA e CN são adjacentes, enquanto TN encontra-se a aproximadamente, sete quilômetros de distância das demais.

Foram realizadas duas amostragens, sendo a primeira em fevereiro de 2006 e a segunda, 60 dias depois, em maio de 2006. Como repetições foram utilizadas 7 armadilhas do tipo PROVID em cada área selecionada, as quais permitiram a amostragem da fauna epigéica. As armadilhas PROVID consistem de garrafas plásticas do tipo *pet* com quatro aberturas de 5 cm x 5 cm, localizadas a 17 cm da base da garrafa. No interior da garrafa adicionaram-se 200 ml de solução de álcool a 70%. As aberturas das garrafas ficaram ao nível do solo para permitir a entrada de artrópodes, durante um tempo de permanência de quatro dias (CONCEIÇÃO et al., 2001). Após este período, as armadilhas foram retiradas e levadas ao Laboratório de

Biologia do Solo da UFSM para proceder à quantificação e identificação ao nível de ordem dos organismos, conforme Gallo et al. (1988).

A fauna do solo foi avaliada quantitativamente através da abundância, qualitativamente, através da diversidade e equitabilidade. Para tanto, foram calculados o Índice de Diversidade de Shannon (H) e o Índice de Equitabilidade de Shannon (J).

O índice de diversidade de Shannon associa a riqueza zoológica com a equitabilidade entre ordens para determinar qual a comunidade mais biodiversa. Para o cálculo dos índices utiliza-se valores de riqueza, considerando-se como riqueza, neste caso, o número de ordens encontradas dentro de cada uso do solo. É dado pela expressão:

$H = \Sigma \text{ pi ln pi},$

onde: pi = valor de importância de cada grupo, em relação ao valor de importância total (IBAÑEZ et al., 1995).

O índice de Equitabilidade de Shannon avalia o padrão de distribuição dos indivíduos entre os grupos. É dado por:

$J = S / \ln \text{pi},$

Onde: S = riqueza da população ou número de grupos (IBAÑEZ et al., 1995).

A abundância foi analisada estatisticamente pelo Teste t para populações independentes em um nível de 5% de probabilidade de erro.

Ainda para fins comparativos, foram elaborados dendrogramas, obtidos através da análise de agrupamento pela Distância Euclidiana Média (STATISTICA for WINDOWS RELEASE 4.5, 1993).

4.3.5.2 Análise de componentes químicos do solo

Para analisar a fertilidade do solo sob cobertura com *Lupinus albescens* avaliou-se os conteúdos de carbono orgânico, fósforo, potássio, nitrogênio, cálcio, magnésio, sódio e alumínio no solo. Para fins comparativos foram utilizados os mesmos tratamentos descritos no item 4.3.5.1, além de uma área de campo nativo não

pastejado há três anos (CN3), a qual compôs o sexto tratamento. Esta área constitui-se de área experimental da Embrapa Pecuária Sul, e é adjacente aos tratamentos CN, T1, T3 e SA.

Foram coletadas 10 amostras compostas em cada tratamento nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm de profundidade.

Foi realizada análise granulométrica para cada tratamento através do método da pipeta (TEDESCO et al., 1995), o que permitiu enquadrá-los na classe textural 4 (SBCS, 2004). Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise granulométrica (%) para os tratamentos revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos (T3), revegetação com *Lupinus albescens* há 1 ano (T1), área de ocorrência natural de *Lupinus albescens* (TN), campo nativo (CN) e solo arenizado (SA) nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm. Santa Maria, 2007.

	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Grossa	Areia Total
	---------- % ----------				
	---------- 0 – 5 cm ----------				
T3	5,10	0,36	40,60	53,94	94,54
T1	6,30	0,80	38,30	54,60	92,90
TN	5,24	0,84	54,70	39,223	93,92
CN	6,3	0,80	41,90	51,00	92,90
SA	4,30	0,36	36,34	59,00	95,34
	5 – 10 cm				
T3	5,23	0,77	51,00	43,28	93,966
T1	6,65	0,55	36,50	56,30	92,80
TN	4,55	0,47	65,244	29,74	94,98
CN	6,77	0,35	46,60	46,28	92,88
SA	5,00	0,30	43,28	51,42	94,70

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Potencial do *Lupinus albescens* para produção de biomassa e conteúdo de macronutrientes.

A Tabela 4 apresenta conteúdos (kg ha^{-1}) e teores (%) de macronutrientes encontrados na biomassa da parte aérea do *Lupinus albescens* cultivado sobre o campo nativo e sobre o solo arenizado. As análises de variância para os testes estatísticos realizados encontram-se nos Apêndices A e B.

Houve diferença significativa na produção de biomassa entre a área de campo nativo e o solo arenizado, com o tremoço sobre o solo arenizado produzindo 38,63 % a mais que o tremoço sobre o campo nativo, o que pode estar demonstrando um efeito supressor no crescimento do tremoço pela competição interespecífica com o campo nativo.

Tabela 4 - Produção de biomassa da parte área, conteúdos (kg ha^{-1}) e teores (%) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) encontrados na biomassa da parte aérea de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado (SA) e sobre campo nativo (CN). Santa Maria, 2007.

	biomassa	N	P	K	Ca	Mg
	---Mg ha^{-1}----	---------- kg ha^{-1} ----------				
SA	6,42 a[1]	158,30 a	17,10 a	69,70 b	30,15 a	21,51 a
CN	4,70 b	117,44 a	17,50 a	88,53 a	15,70 b	10,58 b
		Teores de macronutrientes (%)				
SA		2,46 a[2]	0,26 a	1,08 b	0,47 a	0,33 a
CN		2,49 a	0,37 a	1,88 a	0,33 b	0,22 a

[1]-Valores seguidos pela mesma letra na coluna, para valores de conteúdos, não diferem entre si pelo teste de Duncan em um nível de 5% de probabilidade de erro. [2] - Valores seguidos pela mesma letra na coluna, para valores de teores, não diferem entre si pelo teste de Duncan em um nível de 5% de probabilidade de erro.

A produção elevada de biomassa sobre o solo arenizado (6,42 Mg ha^{-1}) também evidencia o caráter de rusticidade da espécie e sua adaptação às condições de solo da região. Rovedder (2003), em um plantio de *Lupinus albescens* e *Avena strigosa* sobre solo arenizado obteve 3 Mg ha^{-1} de massa seca da parte aérea. Provavelmente, a maior produção de massa seca no presente experimento deve-se ao fato de ser oriundo da germinação do banco de sementes, em densidade maior que o cultivo realizado por Rovedder (2003). A Figura 2 mostra a densidade de germinação obtida sobre o solo arenizado no presente experimento. Borkert et al. (2003), em estudo comparativo entre aveia preta (*Avena strigosa*), tremoço europeu (*Lupinus albus e Lupinus angustifolius*), guandu (*Cajanus cajan*), mucuna preta (*Mucuna aterrima*) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*) em solos agrícolas do Paraná, encontraram uma produção média de massa seca da parte aérea de tremoço de 10 Mg ha^{-1}, superior à quantidade encontrada para guandu, ervilhaca e mucuna (6, 5,3 e 5 Mg ha^{-1}, respectivamente) e semelhante à produção da aveia-preta (10,3 Mg ha^{-1}).

Figura 2 – Cobertura de *Lupinus albescens* formada pela germinação do banco de sementes em solo arenizado. Rovedder, 2003.

Em relação ao conteúdo de nitrogênio não houve diferenças significativas entre os tratamentos (P>0,05), tanto para conteúdo quanto para teor na biomassa da parte aérea (Tabela 4). Quando plantado sobre o solo arenizado, o *Lupinus albescens* apresentou acúmulo de nitrogênio na parte aérea próximo aos 150 kg N ha^{-1} apresentados por Calegari et al. (1993) para espécies de tremoços europeus utilizados em adubação verde no sul do Brasil (*Lupinus luteus, L. albus, L. angustifolius)*. Borkert et al. (2003) encontrou uma quantidade média de 340 kg ha^{-1} de nitrogênio na massa seca da parte aérea de tremoços europeus com produtividade de 10 Mg ha^{-1}. Já Derpsch et al. (1985), em Latossolo distrófico do Paraná, obtiveram uma produção de 2,71 Mg ha^{-1} de massa seca da parte aérea e 57 kg ha^{-1} de N em *Lupinus albus* (tremoço branco).

Os conteúdos de cálcio e magnésio encontrados no *Lupinus albescens* cultivado sobre o solo arenizado foram significativamente maiores do que o cultivado sobre o campo nativo (Tabela 4), o que demonstra imobilização destes elementos pela cobertura de campo. Este fato sugere o estabelecimento de competição interespecífica para estes nutrientes na área de campo, o que pode estar relacionado à diferença estatística encontrada para a produção de massa seca da parte aérea. Esta diferença também se refletiu nos teores de Ca encontrados, o que não ocorreu com teores de Mg.

Já para o potássio, observa-se uma interação inversa, com maior conteúdo e maior teor no tremoço sobre o campo nativo (Tabela 4), o que sugere um favorecimento para a ciclagem do K no tremoço sobre o campo, devido à rapidez de liberação deste elemento. O fato de o potássio ser normalmente mais abundante no tecido vegetal que os demais elementos, apresentar-se em componentes não estruturais e, predominantemente, na sua forma iônica (K^+), facilita a sua rápida liberação quando da decomposição dos tecidos vegetais, acelerando o processo de ciclagem deste nutriente (BORKERT et al., 2003). Giacomini et al. (2001) ressaltam que após quatro semanas do manejo de resíduos vegetais, pode haver liberação de 95% deste elemento. Esta dinâmica simples e rápida de liberação do potássio pode ajudar a explicar a influência no maior acúmulo deste elemento na fitomassa do tremoço plantado sobre o campo, em comparação com o tremoço sobre a área degradada, desprovida de cobertura vegetal. Spain & Salinas (1985), consideram como sendo de 100% o aproveitamento de potássio de restos culturais.

Para conteúdo e teor de fósforo, não houve diferença significativa entre os tratamentos (P>0,05). Já em relação aos teores de macronutrientes, não houve diferenças estatísticas para N, P e Mg (P>0,05).

Comparando-se os resultados obtidos, o *Lupinus albescens* apresenta valores semelhantes ou até mesmo superiores para o conteúdo destes macronutrientes em relação a outras espécies tradicionalmente utilizadas como plantas de cobertura (CALEGARI et al., 1993; BORKERT et al., 2003).

Ao contrário da produção de biomassa na parte aérea, na biomassa do sistema radicular não houve diferença entre os tratamentos, o que também ocorreu com os conteúdos de macronutrientes (P>0,05) (Tabela 5). Apenas o teor de potássio foi significativamente diferente. Semelhante ao padrão demonstrado na parte aérea, o teor deste elemento também foi maior no campo nativo. As análises de variância para os testes estatísticos realizados encontram-se nos Apêndices C e D. O *Lupinus albescens* apresentou uma produção de biomassa de raízes inferior a da parte aérea, demonstrando uma tendência de maior percentual de cobertura da superfície do solo do que de exploração em profundidade. Avaliando a produção de biomassa da parte aérea e de raízes de diversas plantas de cobertura, Barradas et al. (2001) encontrou cobertura total do solo em cultivares de tremoço branco (*Lupinus albus*) aos 93 dias após a semeadura. Tais cultivares, juntamente com o tremoço amarelo, também apresentaram maior produção de biomassa na pare aérea do que em raízes, avaliadas aos 79 e 119 dias após a semeadura.

Tabela 5 - Produção de biomassa de raízes, conteúdos (kg ha^{-1}) e teores (%) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) encontrados na biomassa de raízes de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado (SA) e sobre campo nativo (CN). Santa Maria, 2007.

	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg
	---------- kg há$^{-1}$ ----------					
SA	1335 a	16,45 a	7,62 a	11,02 a	12,68 a	5,66 a
CN	1211 a	26,00 a	11,22 a	21,74 a	15,42 a	3,64 a
			Teores de macronutrientes (%)			
SA		1,44 a	5,00 a	1,53 b	1,13 a	0,58 a
CN		1,63 a	7,38 a	2,28 a	0,85 a	0,35 a

[1]-Valores seguidos pela mesma letra na coluna, para valores de conteúdos, não diferem entre si pelo teste de Duncan em um nível de 5% de probabilidade de erro. [2] - Valores seguidos pela mesma letra na coluna, para valores de teores, não diferem entre si pelo teste de Duncan em um nível de 5% de probabilidade de erro.

De acordo com SPAIN & SALINAS (1984), de 60 a 70 % do nitrogênio encontrado na biomassa vegetal pode ser reciclado. Observa-se assim, a importância do papel que o *Lupinus albescens* pode assumir como planta de cobertura, não apenas como agente de recuperação do solo, mas também como agente de redução de custos de produção, principalmente no que concerne à adubação nitrogenada, uma vez que se consiga inseri-lo em rotação de culturas de sistemas produtivos. HUNGRIA et al. (2001) estimam que as perdas por desnitrificação e volatilização possam chegar a 50% do nitrogênio aplicado ao solo por adubação química. Em compensação, apenas no cultivo da soja, o mecanismo de fixação biológica do nitrogênio pode representar uma economia de um milhão de reais para o país (HUNGRIA et al., 2001). Deve-se lembrar também que no ecossistema campestre no qual vegeta o *Lupinus albescens*, predominam poáceas em sua composição florística. Assim o cultivo de fabáceas beneficia a dinâmica de disponibilização do nitrogênio.

Em sistemas agrícolas este benefício é ainda mais evidente. Utilizando o milho em sucessão ao tremoço azul europeu (*Lupinus angustifolius*), Calegari (1987) obteve aumento no rendimento do milho de 27 e 29% em plantio direto e convencional,

respectivamente. Da mesma forma, Derpsch et al. (1985), avaliando a influência de adubos verdes de inverno na produtividade de culturas de verão, encontraram melhor rendimento do milho em sucessão ao tremoço branco (6490 kg ha^{-1} de grãos de milho). Como o nitrogênio, juntamente com o fósforo, é um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento vegetal qualquer variação em suas taxas de mineralização, imobilização e nitrificação pode afetar profundamente o desenvolvimento vegetal e a qualidade do solo (TÓTOLA & CHAER, 2002).

Desta forma, a colonização de espaços abertos aliada ao potencial para produção de biomassa e para acúmulo de nutrientes evidencia o potencial de utilização do *Lupinus albescens* em estratégias de recuperação dos solos arenizados ou até mesmo em sistemas de cultivo da região sudoeste, podendo contribuir para a sustentabilidade dos sistemas de produção e para a própria sustentabilidade ambiental.

5.2 Estudo comparativo entre plantas de cobertura em relação à produção de biomassa e acúmulo de macronutrientes.

Este experimento foi implantado em abril de 2004, com as espécies *Avena strigosa* (aveia preta), *Lupinus angustifolius* (tremoço azul europeu), *Lupinus albus* (tremoço branco europeu), *Lupinus albescens* (tremoço nativo) e *Secale cereale* (centeio). As parcelas experimentais que receberam as espécies de tremoço europeu e a aveia preta foram perdidas. Atribui-se estes resultados à estiagem que ocorreu na região durante o período de inverno do ano de plantio, aliada às condições do solo arenizado. Barni et al. (2003) citam que espécies européias do gênero *Lupinus* são sensíveis à deficiência hídrica na fase de plântula. Da mesma forma, Calegari et al. (1993) citam que o período crítico de escassez hídrica para tremoços é a fase de pré-germinação e primeiros dias de germinação, e a segunda fase inicia no pré-florescimento até o desenvolvimento de grãos.

Foram analisados os resultados obtidos com o *Lupinus albescens* e centeio no experimento de 2004. A Tabela 6 mostra a produção de biomassa e os conteúdos e teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio obtidos. Embora a ausência de diferença significativa para o conteúdo de biomassa entre as

duas espécies, o *Lupinus albescens* mostrou tendência a uma produção mais elevada. Já em relação ao acúmulo de macronutrientes, este foi significativamente maior no *Lupinus albescens* (P>0,05) (Tabela 5). Em relação aos teores de macronutrientes houve diferença significativa para nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio ((P>0,05), acompanhando a tendência da produção de biomassa. Para o teor de fósforo, não houve diferença significativa entre *Lupinus albescens* e centeio. Os resultados das análises da variância para os testes estatísticos para produção de biomassa e acúmulo de macronutrientes são apresentados no Apêndice E, enquanto para teores de macronutrientes são apresentados no Apêndices F.

Comparando-se os resultados de biomassa obtidos no experimento apresentado no item 5.1 (Tabela 4) com o resultado em massa seca do experimento apresentado no item 5.2 (Tabela 6), pode-se observar que o maior adensamento de germinação obtido com a formação do banco de sementes (experimento do item 5.1) permitiu uma maior eficiência na produção de biomassa da parte aérea e, conseqüentemente, no acúmulo de nitrogênio. A espécie suportaria, portanto, elevadas densidades de semeadura.

Tabela 6 – Produção de biomassa (Mg ha^{-1}), conteúdo e teor de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (kg ha^{-1}) encontrados na parte aérea de *Lupinus albescens* e *Secale cereale* (centeio). Santa Maria, 2007. /

	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg
	---- Mg ha^{-1}----	---------- Kg ha^{-1} ----------				
L. albescens	3,18 a	51,56 a[1]	8,40 a	29,01 a	14,43 a	5,35 a
S. cereale	1,26 a	7,18 b	3,50 b	4,77 b	2,70 b	1,29 b
			Teor de macronutrientes (%)			
L. albescens		1,62 a	0,26 a	0,91 a	0,45 a	0,20 a
S. cereale		0,57 b	0,28 a	0,38 b	0,21 b	0,10 b

[1]-Valores seguidos pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

Em estudo realizado no município de São Gabriel no ano de 1998, Barni et al. (2003) encontraram valores de produção de biomassa de 2360, 2807 e 2690 kg ha^{-1} para tremoço azul (*Lupinus angustifolius*), tremoço branco (*Lupinus albus*) e centeio (*Secale cereale*), respectivamente. Não houve diferenças estatísticas entre as espécies. A repetição do estudo no ano de 2001, encontrou valores de produção de biomassa de 3033 e 5117 kg ha^{-1}, respectivamente para tremoço branco e centeio, com diferenças estatisticamente significativas (tremoço azul não foi avaliado em 2001). A diferença de resultados entre os dois anos do estudo pode residir na época de semeadura. Em 1998, as espécies foram plantadas ao final de agosto, o que pode ter prejudicado o ciclo. Já em 2001, o plantio foi realizado mais cedo, no início de junho, o que pode ter sido benéfico ao desenvolvimento das espécies (BARNI et al., 2003). Calegari et al. (1993) citam como período adequado para semeadura dos tremoços europeus, de março a abril, para a adubação verde. Este período poderia ser estendido até maio/junho, contudo, com o plantio no cedo normalmente apresentando maior produção de biomassa e grãos (CALEGARI et al., 1993; BARNI et al., 2003). Já para o centeio, é recomendado plantio de março a maio, mas podendo ser semeado até junho (CALEGARI et al., 1993).

No caso do *Lupinus albescens*, observou-se na região do estudo, germinação intensa a partir da segunda quinzena de abril até o final da primeira quinzena de maio. Em meses posteriores observou-se germinação escassa.

Em Latossolos Distróficos do Paraná, Derpsch et al. (1985) obtiveram produção de massa seca da parte aérea e conteúdo de nitrogênio, respectivamente, de 3,33 Mg ha^{-1} e 39 kg ha^{-1} para centeio plantado na primeira quinzena de abril. Portanto, os problemas de perdas de parcelas no presente estudo podem estar mais associados à escassez hídrica do período e às condições do solo degradado.

O uso de espécies do gênero *Lupinus* como recuperadoras do solo e recicladoras de nutrientes já se encontra consagrado. O *Lupinus albescens* apresentou produção de biomassa e conteúdo de macronutrientes na biomassa da parte aérea semelhante aos valores encontrados para espécies tradicionalmente utilizadas como adubos verdes no Brasil (MIELNICZUK, 1988; DERPSCH, 1985; CALEGARI et al., 1993). A Tabela 7 apresenta uma análise comparativa para produção de biomassa e acúmulo de N na parte aérea entre o *Lupinus albescens* e resultados de diversas pesquisas com plantas de cobertura, realizadas no Rio Grande do Sul. Considerando-se as expressivas diferenças entre sítios, nota-se um elevado

potencial por parte do *Lupinus albescens*. Devido à alta mobilidade do N no solo, não se pode armazená-lo por períodos prolongados de tempo, o que ressalta a importância da disponibilização rápida deste elemento, função atribuída às fabáceas.

Tabela 7 - Comparativo de produção de biomassa e acúmulo de nitrogênio entre *Lupinus albescens* em solo arenizado, *Lupinus luteus* (tremoço amarelo), *Lupinus albus* (tremoço branco), *Lupinus angustifolius* (tremoço azul), *Raphanus sativus* (nabo forrageiro) e *Avena strigosa* (aveia preta) cultivados em diversos tipos de solo. Santa Maria, 2007.

Espécie	Biomassa ($Mg\ ha^{-1}$)	Nitrogênio ($Kg\ ha^{-1}$)	Autores
Lupinus albescens	6,4*	158,30*	Rovedder (2007)
	3,18	51,56	Rovedder (2007)
Lupinus luteus	3,1	91,00	Amado & Almeida (1987)
Lupinus albus	2,4	76,00	Amado & Almeida (1987)
	3,2	81,38	Golveia & Almeida (1997)
Lupinus angustifolius	3,4	100,00	Amado & Almeida (1987)
Raphanus sativus	4,1	104,00	Wiethölter (2003)
	3,0	88,00	Bianchi et al. (1997)
	5,5	101,0	Giacomini et al. (2003)
Avena strigosa	4,6	59,6	Giacomini et al. (2003)
	5,3	65,4	Rossato (2004)

* resultado apresentado no item 5.1 do presente estudo.

5.3 Densidade de semeadura e espaçamento entre linhas para o plantio de *Lupinus albescens*

Os modelos matemáticos gerados a partir da análise de regressão para os dois fatores avaliados são apresentados no APÊNDICE N. De acordo com a análise estatística realizada, não houve interação entre os dois fatores analisados, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura, para nenhum dos parâmetros testados (produção de massa seca da parte aérea, conteúdo de macronutrientes na massa seca da parte aérea, produção de sementes, número e peso de nódulos de FBN). Este resultado, provavelmente, está relacionado à plasticidade fenotípica da espécie, a qual se encontra em estado selvagem, sem nenhum tipo de melhoramento genético. De fato, observações a campo ao longo do estudo, demonstraram que as populações de plantas formadas com os plantios realizados e populações em áreas de ocorrência natural apresentam grande variabilidade quanto às etapas de seu ciclo de desenvolvimento, com plantas coexistindo em um número diverso de fases do ciclo.

Conterato (2004) afirma que há poucas informações citogenéticas sobre o gênero *Lupinus*, o que dificulta o esclarecimento sobre prováveis problemas com hibridação interespecífica e a compreensão sobre a evolução dos membros do gênero. A autora cita ainda que esta escassez de pesquisa se deve em parte, ao elevado número e pequeno tamanho de cromossomos (1- 4 μm).

O mecanismo de superação de dormência também pode estar envolvido nesta alta variabilidade. Verificou-se que a escarificação mecânica com cilindro rotativo foi eficiente em 100% de sementes de *Lupinus albescens* que receberam este tratamento (ROVEDDER et al., 2005). No presente estudo não foi realizado nenhum tipo de tratamento para quebra de dormência. A quebra de dormência no gênero está relacionada à diminuição da temperatura ambiente, recomendando-se período de 7 dias ou mais de necessário em temperatura entre 5 e 10 °C (MINISTÉRIO, 1992). Para algumas espécies do gênero recomenda-se ainda a escarificação da testa próximo aos cotilédones (MINISTÉRIO, 1992). Estas recomendações foram obtidas a partir de pesquisa com espécies européias de *Lupinus*. Na região sudoeste do Rio Grande do Sul, o *Lupinus albescens* inicia sua germinação em maio e pode continuar até agosto, confirmando a necessidade de baixas temperaturas. Nesta espécie, a escarificação provavelmente está

relacionada ao contato da semente com as partículas arenosas que geram efeito de lixamento no tegumento, o que poderia representar um mecanismo da co-evolução da espécie com o tipo de solo da região, gerando características adaptativas altamente eficientes.

O fator espaçamento entre linhas de plantio apresentou diferenças estatísticas quando avaliado isoladamente (P>0,05). A Tabela 8 apresenta os valores encontrados para massa seca da parte aérea e conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio encontrados na massa seca da parte aérea, em relação aos espaçamentos entre linhas de plantio. A Tabela 9 apresenta a comparação de médias para a produção de sementes, o número e peso de nódulos por planta, também em relação ao espaçamento entre linhas de plantio.

Tabela 8 - Produção de massa seca da parte aérea e conteúdo de macronutrientes na massa seca da parte aérea de *Lupinus albescens* em 17, 34 e 51 cm entre linhas de plantio. Santa Maria, 2007.

	Massa seca	N	P	K	Ca	Mg
	……Mg ha^{-1}……	..... Kg ha^{-1}				
17	6,95 a[1]	56,16 a	25,96 a	75,66 a	45,40 a	13,74 a
34	4,34 b	35,03 b	24,97 a	47,75 b	25,75 b	8,40 b
51	3,17 c	24,17 b	24,10 a	36,19 b	20,13 b	6,10 c

[1] Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey em um nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 9 - Produção de sementes, número e peso de nódulos de fixação biológica de nitrogênio por planta de *Lupinus albescens* em 17, 34 e 51 cm entre linhas de plantio. Santa Maria, 2007.

	Número de Sementes	Número de nódulos	Peso de nódulos
	..... número planta^{-1}		..... g planta^{-1} .....
17	45,65 b	1,56 a	9,49 a
34	56,28 a	2,00 a	7,28 a
51	73,00 a	2,22 a	7,22 a

[1] médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey em um nível de 5% de probabilidade de erro.

Nota-se que o menor espaçamento entre linhas beneficiou a produção de massa seca e o acúmulo de macronutrientes. Este resultado possivelmente está relacionado à formação de um microclima favorável ao desenvolvimento vegetal sobre o solo arenizado pela maior proximidade entre linhas. Este fato demonstra que a espécie poderia suportar maiores densidades populacionais sem prejudicar a produção de massa seca, o que seria vantajoso do ponto de vista da proteção e/ou recuperação dos solos arenosos da região, pelo maior potencial de cobertura do solo e ciclagem de nutrientes. Esta constatação vai ao encontro dos resultados obtidos para produção de massa seca e conteúdo de macronutrientes em área de regeneração do banco de plântulas formado pelo *Lupinus albescens* (Tabela 4), apresentado no item 5.1. Zabo et al. (2004) também encontraram aumento na produção de massa seca com densidades de semeadura maiores de outra fabácea, o feijão preto.

Já a produção de sementes por planta foi maior nos espaçamentos 34 e 51 cm, demonstrando que o cultivo da espécie pode ser adaptado aos objetivos do plantio: produção de massa seca ou produção de sementes. O espaçamento entre linhas não influenciou o número e peso de nódulos de FBN, que não mostraram diferenças entre os tratamentos (P>0,05).

Em população de 300.000 plantas ha^{-1} de feijão (*Phaseolus vulgaris*), Venturini et al. (2005) encontraram 46,10 nódulos por planta e 0,064 gramas de massa seca de nódulos por planta para plantio com inoculante e 42,95 nódulos por planta e 0,053 gramas de massa seca de nódulos por planta para plantio sem inoculante. Em comparação, o *Lupinus albescens* mostra uma tendência de produzir menor número de nódulos, porém grandes (Figura 3). Tem sido relatado que relações simbióticas que produzam nódulos maiores apresentam maior eficiência de fixação de nitrogênio (ANYANGO et al., 1995; MICHIELS et al., 1998). Espécies de fabáceas com esta característica, portanto, podem apresentar vantagens ecológicas quanto à ciclagem de nitrogênio.

Figura 3 - Aspecto de nódulos de fixação biológica de nitrogênio em raízes primárias de *Lupinus albescens*. Santa Maria, 2007. Stroschein, 2006.

Em relação ao número de plantas na linha de semeadura, não houve diferenças entre os tratamentos (P>0,05), o que pode estar relacionado com a plasticidade fenotípica da espécie. As Figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 mostram a tendência encontrada para os diversos parâmetros avaliados de acordo com o número de plantas por metro linear na linha de semeadura.

A maior densidade de plantas por metro linear (20 plantas) apresentou tendência à maior produção de massa seca, tendência esta que não se refletiu em

maior acúmulo de nutrientes. Em relação a este parâmetro, as densidades de plantas testadas apresentaram tendências variadas. De maneira geral, a densidade de 12 plantas por metro linear apresentou uma tendência mais uniforme de acúmulo de nutrientes.

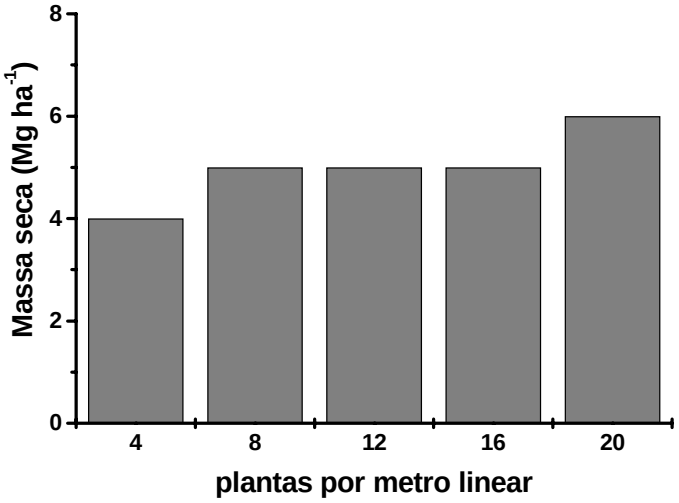


Figura 4 - Conteúdo de massa seca da parte área de *Lupinus albescens*, de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007.

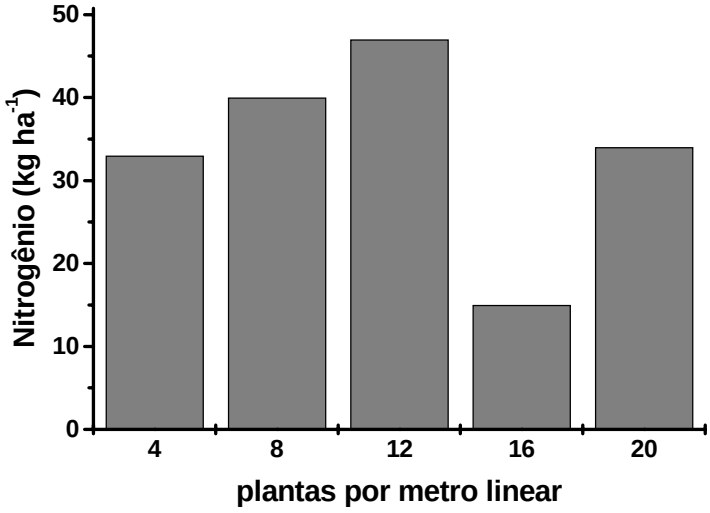


Figura 5 - Conteúdo de nitrogênio na massa seca da parte aérea de *Lupinus albescens*, de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007.

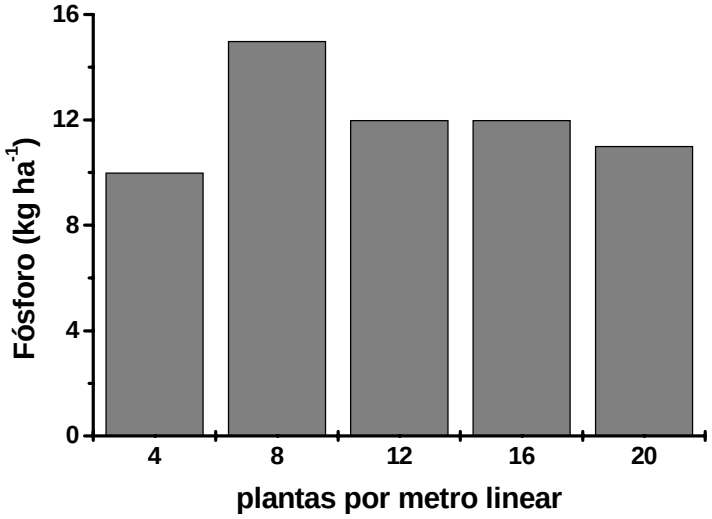


Figura 6 – Conteúdo de fósforo na massa seca da parte área de *Lupinus albescens,* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007.

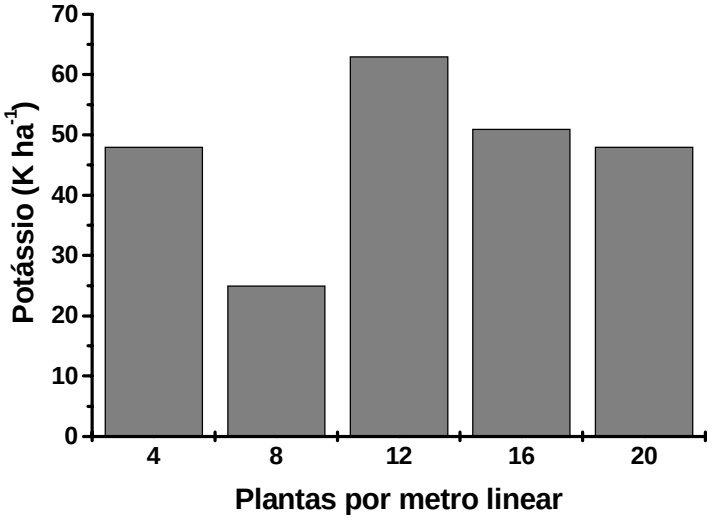


Figura 7 – Conteúdo de potássio na massa seca da parte área de *Lupinus albescens,* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007.

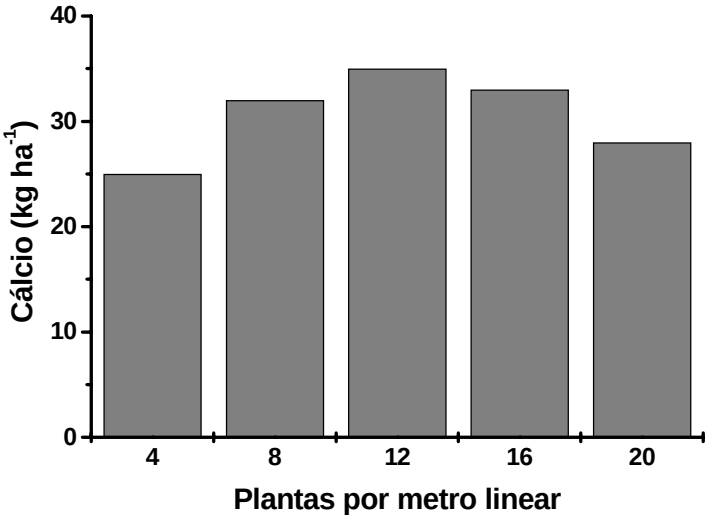


Figura 8 - Conteúdo de cálcio na massa seca da parte área de *Lupinus albescens,* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007.

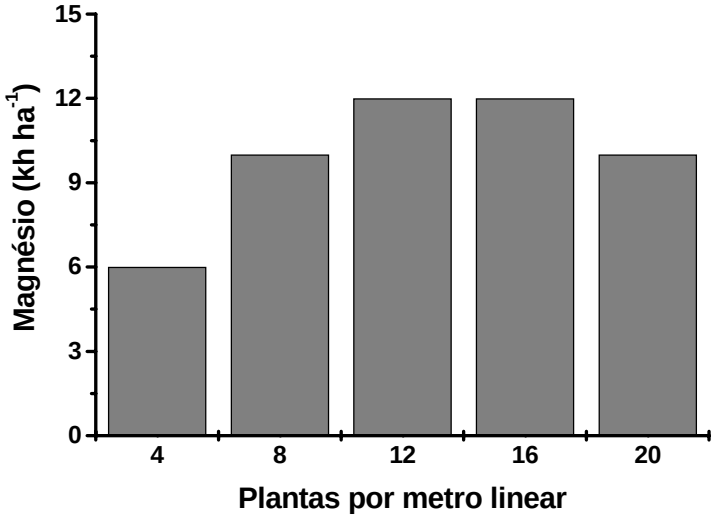


Figura 9 - Conteúdo de magnésio na massa seca da parte área de *Lupinus albescens,* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007.

Na produção de sementes houve nítida tendência de maior produção na densidade de 4 plantas por metro linear (Figura 10), o que pode estar relacionado a níveis diferenciados de competição interespecífica promovidos pelas diferentes densidades de semeadura. Esta possibilidade também pode ser responsável pela tendência de maior produção de nódulos de FBN e, proporcionalmente, maior peso de nódulos encontrados na densidade de 4 plantas por metro linear (Figuras 11 e 12).

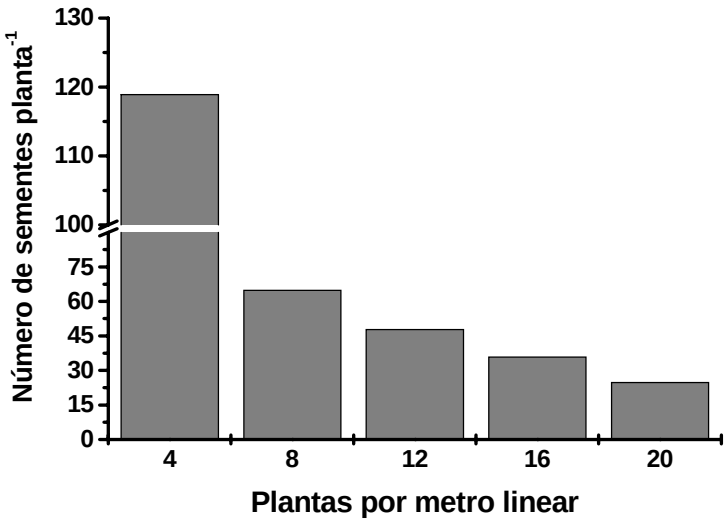


Figura 10 - Produção de sementes por planta de *Lupinus albescens* de acordo com número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007.

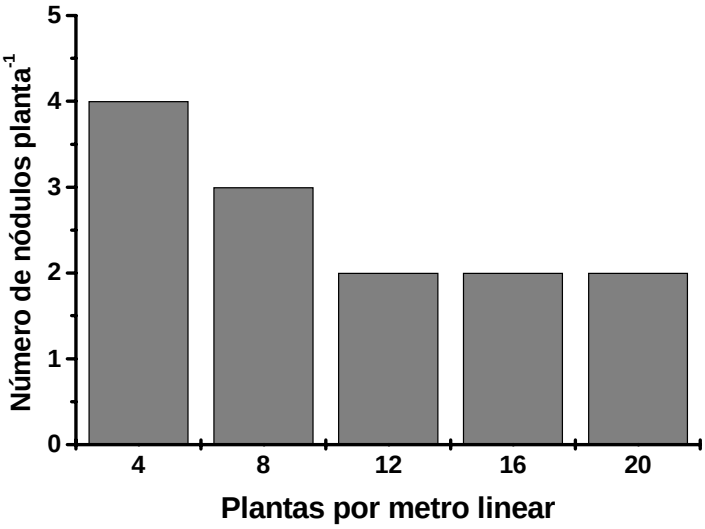


Figura 11 – Número de nódulos em raízes de *Lupinus albescens* de acordo com o número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007.

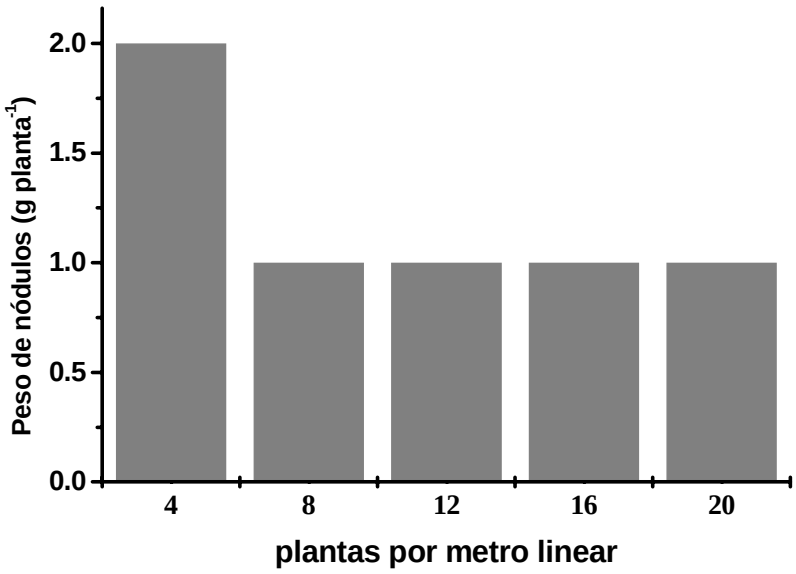


Figura 12 – Peso de nódulos (gramas por planta) em raízes de *Lupinus albescens* de acordo com o número de plantas por metro linear (4, 8, 12, 16 e 20 plantas por metro linear). Santa Maria, 2007.

5.4 Caracterização da estirpe bacteriana fixadora de nitrogênio

O teste de crescimento das colônias de bactérias foi realizado no Laboratório de Microbiologia do Solo da UFSM e na Fepagro. Nos dois testes a colonização de placas de petri foi extremamente rápida, ocorrendo em menos de 12 horas e apresentando colônias brancas em vermelho-congo. O teste de gram apresentou resultado positivo para bactérias gram-negativas. Foi confirmada a produção de ácidos orgânicos nos três isolados, indicado pela coloração amarela em meio com azul de bromotimol. A produção de ácidos orgânicos por microorganismos edáficos é um fator importante na formação de agregados do solo (LAVELLE, 1996).

A Figura 13 apresenta a fotografia obtida pela análise de PCR. O resultado demonstra que, aparentemente, os três isolados são diferentes, embora muito próximos entre si, o que sugere uma diversidade de diazotróficas nativas nestes solos, capazes de nodular em *Lupinus albescens*.

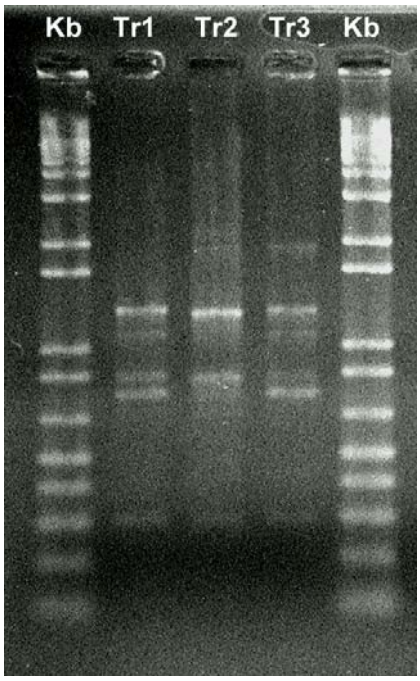


Figura 13 - Fotografia obtida por análise de Reação em Cadeia de Polimerase (PCR) para os isolados 1 (Tr1), 2 (Tr2) e 3 (Tr3) (Kb=padrão de marcadores moleculares). Rovedder & Kayser, 2005.

Já se sabe que espécies européias do gênero *Lupinus* realizam simbiose com organismos diazotróficos do gênero *Bradyrhizobium*, como o *Bradyrhizobium japonicum,* e com a espécie *Rhizobium loti* (FREIRE, 1992). As características apresentadas nestes testes são próprias dos rizóbios de crescimento rápido, como os dos gêneros *Rhizobium* sp. e *Sinorhizobiu*m sp.. Contudo, o crescimento extremamente rápido, em menos de 12 horas, não se configura como de nenhuma destas espécies. Há a hipótese a ser confirmada ou não pelo seqüenciamento genético de que a espécie diazotrófica simbiótica ao *Lupinus albescens* possa ser *Ochrobactrum lupini.* Em recente estudo realizado por Trujillo et al. (2005) com *Lupinus albus* na Argentina, foi identificada esta espécie, a qual apresenta uma velocidade de crescimento semelhante à obtida com os isolados retirados do *Lupinus albescens*, e que se diferencia das demais espécies diazotróficas simbióticas conhecidas.

5.5 Indicadores da recuperação de solo arenizado revegetado com *Lupinus albescens.*

5.5.1 Caracterização das populações de artrópodes edáficos.

A Tabela 10 apresenta os valores de abundância de organismos em cada grupo, para cada tratamento. O total de organismos caiu drasticamente da primeira para a segunda coleta em todos os tratamentos, como conseqüência da diminuição da temperatura entre os dois períodos, respectivamente, fevereiro e maio. Diminuições no número total de organismos da estação quente para a estação fria são citadas na literatura como resposta à mudança de temperatura (MANFROI et al., 2002; MOÇO et al., 2005). Em relação à cobertura vegetal, a maior abundância nos tratamentos com vegetação (T3, T1, TN e CN), comparativamente ao solo arenizado (SA) demonstra as melhores condições para o desenvolvimento das comunidades biológicas nos primeiros, uma vez que a cobertura vegetal propicia fonte de alimentos, maior retenção de umidade e amenização da temperatura do solo. De acordo com Jandl et al. (2003), a abundância de fauna do solo depende da quantidade e qualidade do substrato orgânico.

Tabela 10 - Número total de organismos coletados nos meses de fevereiro e maio de 2006, por grupo de artrópodes edáficos em cada uso do solo analisado (T3=área com plantio de *Lupinus albescens* há 3 anos, T1=área com plantio de *Lupinus albescens* há 1 anos, TN=área de ocorrência natural de *Lupinus albescens,* C=campo nativo, SA=solo arenizado). Santa Maria, 2007.

	Grupo														
	Ac[1]	Ar	Co	Col	Bl	Dip	He	Ho	Hy	Iso	Sul	Lep	Thy	Ort	Total
Fevereiro															
T3	37	17	25	467	4	10	1	2	1408	7	2	1	0	21	2002b[2]
T1	229	7	115	1621	1	24	2	0	3031	11	0	0	0	30	5071 a
TN	154	18	20	612	6	26	0	2	925	20	3	0	0	29	1810c
CN	182	21	12	402	16	6	0	0	954	25	14	0	0	12	1644d
SA	18	12	224	38	0	1	0	0	191	0	0	0	0	0	484e
Total	620	75	396	3140	27	67	3	4	6509	63	19	1	0	92	11011
Maio															
T3	54	4	2	32	5	39	2	0	190	10	0	0	5	6	359c[3]
T1	45	1	1	132	15	48	1	0	923	12	0	0	3	28	1209b
TN	23	6	6	134	21	40	2	0	1381	8	0	0	1	17	1639a
CN	33	7	1	85	10	106	0	0	138	15	0	0	1	13	409c
SA	23	2	1	1	0	36	0	0	6	5	0	1	0	9	89e
Total	178	20	11	384	51	269	5	0	2638	50	0	1	10	73	3705

[1] Ac:Acarina; Ar: Aranae; Co: Coleoptera; Col: Collembola; Bl: Blastodeae; Dip: Diptera; He: Hemiptera; Ho: Homoptera; Hy: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Sul: Sulfugydae; Lep: Lepidoptera; Thy: Thysanoptera; Ort: Orthoptera. [2] Valores seguidos pela mesma letra na coluna do mês de fevereiro, não diferem entre si pelo teste t de Student, em nivel de 1 % de probabilidade de erro. [3] Valores seguidos pela mesma letra na coluna do mês de maio, não diferem entre si pelo teste t de Student, em nivel de 1 % de probabilidade de erro.

Para Maluche et al. (2003), esta relação faz com que organismos edáficos possam funcionar como indicadores da qualidade da cobertura do solo. Silva e Carvalho (2001) em estudo com cultivo de milho sob plantio direto, atribuíram a maior abundância de fauna edáfica à disponibilidade de material vegetal, ao não revolvimento do solo e à estabilidade dos níveis de temperatura e umidade.

Em relação aos tratamentos, a revegetação com tremoço há um ano (T1) apresentou a maior abundância na primeira coleta. Já a área de ocorrência natural de tremoço (TN) apresentou a menor variação em abundância da primeira para a segunda coleta, demonstrando maior estabilidade na população de organismos. A população de himenópteros em TN inclusive aumentou da primeira para a segunda época, contrariando a tendência geral do experimento. Este fato reduziu os índices de diversidade (H) e de equitabilidade (J) de TN na segunda coleta (Tabela 11).

O fato de TN apresentar maior estabilidade em abundância total pode estar demonstrando que esta área encontra-se em equilíbrio entre seus compartimentos, provavelmente devido a suas condições de área que não está sendo antropizada e mantém a estrutura ecossistêmica local. Resultado semelhante foi obtido por Moço et al. (2002) quando compararam uma área de mata nativa com cultivo de eucalipto, capoeira e pastagem no norte fluminense, com maior estabilidade na abundância de fauna edáfica entre coletas ocorrendo na mata nativa. De acordo com Assad (1997), em solos com vegetação natural, os recursos biológicos resultam de processos de adaptação e refletem os mecanismos de evolução do ecossistema.

Seguindo esta tendência, o tratamento campo nativo (CN), por também caracterizar a estrutura ecossistêmica local, deveria apresentar uma estabilidade nas populações de fauna edáfica semelhante ao TN. Contudo, CN apresentou um comportamento mais parecido com T3 no que diz respeito à redução de abundância da primeira para a segunda coleta, quando não houve diferença estatística entre estes (Tabela 10). A menor estabilidade entre as duas épocas de coleta em CN pode estar relacionada ao fato de que, apesar de ter a estrutura ecossistêmica natural, esta se encontra alterada pelo pastejo contínuo da área, e que, portanto, este afeta a dinâmica populacional da fauna edáfica. Avaliando a mesofauna em estudo comparativo entre o cerrado nativo e três sistemas de uso do solo, Rodrigues et al. (1996) encontraram maior estabilidade na dinâmica de ocorrência

de grupos na área de cerrado, com densidade e diversidade da fauna edáfica reduzidas nos sistemas de uso.

Já o solo arenizado (SA) apresentou a menor abundância total nas duas épocas, com redução de 81,6% da primeira para a segunda coleta, como conseqüência da perda de cobertura vegetal, o que tornou esta área um ambiente mais sensível às modificações ambientais e menos propício ao desenvolvimento das populações edáficas.

Em relação à abundância por ordens, destacam-se as ordens Hymenoptera e Colêmbola, com elevada abundância nos tratamentos T3, T1, CN e TN, apresentando um comportamento distinto e importante como grupos representativos da fauna edáfica local. Estas apresentaram grande instabilidade populacional entre épocas de coleta. O número total de himenópteros diminuiu 59,47% e o de colêmbolos diminuiu 87,77% da primeira para a segunda coleta. Entre os tratamentos, apenas o número de himenópteros em TN aumentou da primeira para segunda coleta. Nos demais casos, tanto himenópteros quanto colêmbolos reduziram suas populações da primeira para segunda época de coleta, demonstrando sensibilidade à variação de temperatura entre uma estação e outra. Para alguns autores, a sensibilidade à temperatura não é uma característica desejável para que um organismo seja um eficiente bioindicador (VISSER & PARKINSON, 1992). Por outro lado, deve-se lembrar que a própria temperatura do solo, cuja amplitude sofre influência da estação do ano e da cobertura vegetal, é uma propriedade afetada por perturbações no sistema, como a perda de cobertura vegetal no processo de arenização. Eltz & Rovedder (2005), avaliando a temperatura do solo em campo nativo e em solo arenizado, encontraram diferenças significativas a 3, 10 e 20 cm de profundidade, as 12 e 18 horas, com o solo arenizado apresentando as maiores temperaturas. Sendo assim, a menor abundância em SA em relação aos demais tratamentos, bem como a tendência de redução em abundância de todos os grupos da estação quente para a fria, provavelmente, também está associada a maiores amplitudes térmicas.

Além disto, outras características podem ser mais significativas para a bioindicação que a sensibilidade à temperatura. Para a ordem Colembolla, por exemplo, sua posição na cadeia trófica, seu papel funcional nos processos que envolvem a dinâmica da matéria orgânica e sua sensibilidade de resposta a

perturbações podem ser consideradas eficientes para um bom indicador de qualidade do solo (ASSAD, 1997; CROSSLEY & COLEMAN, 2000; COLEMAN & HENDRIX, 2000). Estes dois aspectos tornam-se relevantes quando se observa a diferença na abundância da ordem Colembolla ente os tratamentos com cobertura vegetal e o tratamento com solo arenizado (SA). Já a ordem Himenoptera constitui-se em um dos mais importantes grupos em solos tropicais e subtropicais, devido à abundância, diversidade e aspectos funcionais, com influência em aspectos pedológicos e na regulação do equilíbrio ecológico (ASSAD, 1997). Quando estes solos são perturbados, este grupo é capaz de manifestar alterações em sua população que expressem tais perturbações.

Na segunda coleta, a Ordem Diptera ganha destaque, aumentando sua abundância em todos os tratamentos. Enquanto a Ordem Sulfugyda desaparece na segunda coleta, a Ordem Thysanopera aparece somente nesta.

A Tabela 11 apresenta os valores de riqueza (S), índice de diversidade de Shannon (H) e índice de equitabilidade de Shannon (J).

Tabela 11 - Riqueza (S), Índice de diversidade de Shannon (H), índice de equitabilidade de Shannon (J) em revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos (T3), revegetação com *Lupinus albescens* há 1 ano (T1), área de ocorrência natural de *Lupinus albescens* (TN), campo nativo (CN) e solo arenizado (SA). Santa Maria, 2007.

	S	H	J
Fevereiro/2006			
T3	13	0,88	0,34
T1	10	0,98	0,43
TN	11	1,22	0,51
CN	10	1,20	0,52
SA	6	1,15	0,64
Maio/2006			
T3	12	1,57	0,63
T1	11	0,92	0,38
TN	11	0,68	0,28
CN	10	1,26	0,55
SA	10	1,73	0,75

Os baixos valores de H e J para os tratamentos T3, T1 (primeira e segunda coleta) e TN (na segunda coleta) representam a disparidade entre grupos edáficos, exemplificada pelo predomínio das ordens himenóptera e colêmbola, o qual está relacionado com a maior abundância encontrada nestes tratamentos. A diversidade refere-se à variedade de organismos vivos e combina riqueza e uniformidade (ASSAD, 1997).

Na primeira coleta, T3 e T1 apresentaram os menores valores de H e J, comparativamente aos demais tratamentos. Na segunda coleta, T3 elevou consideravelmente seus índices, devido à drástica redução no número total de indivíduos, fato que aumentou a equitabilidade entre grupos. Aspectos como

elevadas abundância e riqueza nestes dois tratamentos podem ser decorrentes da entrada de insumos no momento de implantação da revegetação com *Lupinus albescens*, disponibilizando uma fonte de nutrientes mais rica do que a encontrada originalmente nos campos nativos da região, devido à relação direta entre fertilidade do solo e abundância da fauna edáfica (RAPOPORT, 1968).

Relacionando a abundância (Tabela 10) com os índices de diversidade e equitabilidade (Tabela 11), todos os tratamentos, exceto solo arenizado (SA), mostraram grande desuniformidade entre ordens entomológicas. SA apresentou maiores valores para J nas duas épocas de coleta, devido à proporcionalidade entre baixos valores de riqueza e baixos valores de abundância neste tratamento, O índice H é máximo para alguma riqueza (S) se os objetos do estudo (no caso os tratamentos) têm igual número de indivíduos; e se aproxima de seu valor mínimo se os indivíduos apresentarem maior concentração em um objeto, ou seja, quando tiverem menor equitabilidade (J) (IBÁÑEZ et al., 1995). Portanto, quanto maior a equitabilidade, maior o índice de diversidade. Desta forma, os tratamentos que apresentaram maior abundância, reduziram sua equitabilidade entre grupos e, consequentemente, apresentaram menores índices de diversidade. A relação inversamente proporcional entre abundância e índice de diversidade é comum devido à dominância de grupos em áreas de maior densidade populacional. Rovedder et al. (2005) encontraram a mesma relação para áreas com diferentes coberturas, também em solos arenosos da região sudoeste. Igualmente Antony (2000) encontrou a mesma disparidade quando comparou a fauna edáfica em áreas de floresta e área de floresta perturbada por queima na Amazônia.

Neste sentido, a reduzida abundância e riqueza do SA configuraram-se em uma distribuição mais uniforme do número de indivíduos por ordem, implicando em maiores índices H e J, principalmente na segunda coleta. Sendo assim, pode-se concluir que SA é mais biodiverso e que a arenização, portanto, afeta mais o parâmetro abundância do que riqueza e diversidade.

Este fato poderia levar a uma interpretação de que este ambiente encontra-se em maior equilíbrio. Contudo, a avaliação de sua abundância total demonstra que esta é muito baixa em relação às possibilidades apresentadas pelos tratamentos com vegetação, não permitindo um amplo desenvolvimento das populações da fauna edáfica e, desta forma, não contemplando todos os aspectos

funcionais inerentes a esta. Sendo assim muitos grupos funcionais destes organismos estão excluídos desta área. De acordo com Tótola & Chaer (2002), as análises de riqueza, diversidade e equitabilidade devem indicar se os aspectos funcionais da biodiversidade variam entre diferentes locais ou entre diferentes habitats em um mesmo local. Sendo assim, o aspecto funcionalidade das comunidades de artrópodes edáficos não está amplamente contemplado pelo índice H neste caso, uma vez que a baixa riqueza e abundância apresentada pelo tratamento SA não contempla todos os grupos funcionais possíveis.

O papel funcional dos invertebrados edáficos dentro de um ecossistema, manejado ou não, apresenta efeitos consideráveis, e muitas vezes fundamentais, em diversos processos importantes como a regulação da atividade microbiana, potencial de agregação e propriedades hídricas do solo, dinâmica da matéria orgânica e processos pedogenéticos (LAVELLE, 1996). Beare et al. (1995) citam ainda a mineralização de nutrientes e o aumento da área superficial dos resíduos vegetais após a deposição fecal, o que facilita o ataque microbiano e o movimento de constituintes solúveis no solo.

Quando ocorre redução na integridade ecológica de um ecossistema, ou seja, na sua capacidade de manter um potencial evolutivo por longo prazo, a capacidade de resistir a impactos torna-se menor. Cada comunidade de um ecossistema responderá diferentemente a esses impactos, diferindo no grau de sensibilidade, de resposta e de recuperação (PINHEIRO, 2004).

Os índices H e J obtidos em SA podem estar demonstrando, portanto, que apesar da estrutura ecossistêmica em solos arenizados estar degradada (houve a perda total da vegetação de campo nativo), há um nível de adaptação de determinados grupos a este ambiente. Este fato vai ao encontro da teoria de que a arenização é um fator natural (SUERTEGARAY, 1998), com evolução aos organismos que povoaram a região. Com isto poderia se pressupor que não se deve realizar intervenções na tentativa de recuperar a área de campo perdida com a arenização, mantendo-se os areais intactos.

Contudo, deve-se ressaltar que, uma vez instalado o areal, este tende a se expandir indefinidamente, pois a vegetação campestre apresenta baixa resiliência em relação ao efeito da arenização, não conseguindo resistir ao soterramento e à abrasão, ambos efeitos da movimentação de areia. A manutenção das áreas

arenizadas, portanto, implica também em perdas da diversidade local dos campos regionais, além da perda da capacidade produtiva destes. Implica ainda em modificações no ambiente edáfico, já naturalmente frágil, como alterações no regime hídrico e na amplitude térmica. Nesta situação, a revegetação com a composição própria do ecossistema local traria benefícios como a conservação da diversidade genética local, da qualidade do solo e de sua produtividade, sem interferir na dinâmica natural do ecossistema.

Depreende-se desta avaliação que o índice de diversidade H não é suficiente para a determinação da qualidade de um solo arenizado, quando analisado isoladamente. A diversidade de invertebrados edáficos resulta na produção de estruturas cuja abundância e qualidade são fundamentais para a conservação e dinâmica da matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes e manutenção de propriedades físicas, essenciais para a sustentabilidade da produção primária (LAVELLE, 1996). Portanto, reduções na sua abundância como ocorre no solo arenizado, são prejudiciais à manutenção do ecossistema, mesmo com um nível elevado de adaptação por parte dos organismos.

Em relação aos valores de riqueza (Tabela 11), observa-se que SA apresentou o menor dos valores encontrado, na primeira coleta. Já na segunda coleta, houve aproximação deste tratamento dos demais, muito provavelmente, devido à amenização da temperatura ambiente, com reflexos na diminuição da amplitude térmica de SA, favorecendo populações da pedofauna. A riqueza de fauna edáfica também está relacionada com disponibilidade e qualidade de cobertura vegetal, como fonte de nutrientes e abrigo.

Observando-se o dendrograma para valores médios de riqueza das duas coletas (Figura 14), nota-se que SA distancia-se consideravelmente dos demais grupos pelo efeito da arenização sobre o número de grupos. O valor de riqueza é importante na avaliação do pleno funcionamento de um solo. Lorenger et al. (1999), atribuíram os menores índices de riqueza para comunidades de artrópodes edáficos em pastagem dominada por *Digitaria decumbens* à baixa diversificação dos recursos alimentares disponíveis na área do estudo.

Comparando-se os resultados da Tabela 13 com os da Tabela 14, nota-se que a abundância de organismos foi mais sensível à mudança de temperatura entre as épocas de coleta que riqueza. Assad (1997) ressalta que alguns grupos de organismos, embora não expressivos quanto à biomassa e/ou número de indivíduos, possuem importante papel em aspectos funcionais do ambiente edáfico. Por outro lado, outros grupos podem ser mais numerosos, mas possuírem funções menos específicas. Entre estes últimos encontram-se os grupos que participam da cadeia alimentar de outros organismos, como colêmbolos e himenópteros.

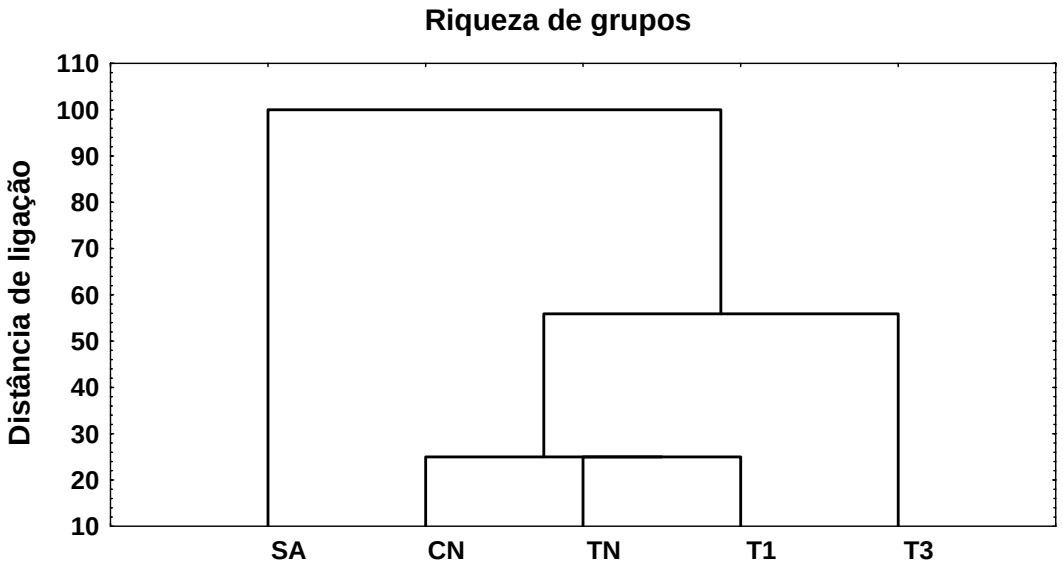


Figura 14 - Dendrograma para valores médios de riqueza, encontrados entre as duas épocas de coleta. (T3: revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos, T1: revegetação com *Lupinus albescens* há 1 ano, TN: área de ocorrência natural de *Lupinus albescens*, CN: campo nativo, SA: solo arenizado).

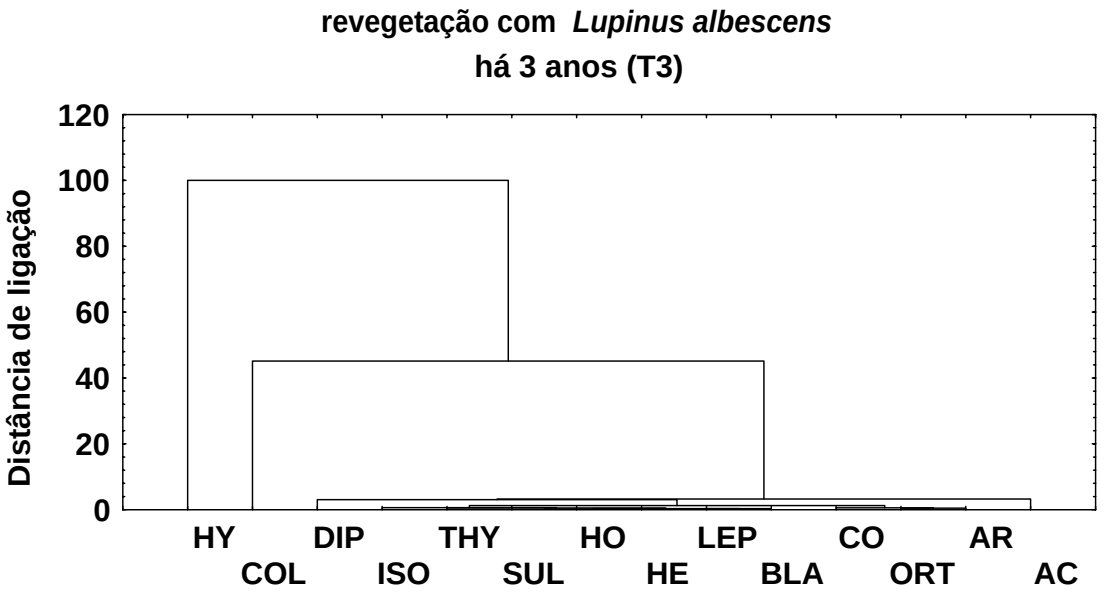
Os dendrogramas das Figuras 15, 16 e 17 apresentam a análise de agrupamento para a soma dos grupos encontrados em cada tratamento nos dois períodos de coleta.

Nota-se que as ordens Hymenoptera e Colembolla predominam em T1, T3, TN e CN como grupos predominantes, distanciados das demais ordens, mas com pequena distância de ligação entre si.

Em SA, himenóptera e coleóptera formam um grupo a parte das demais ordens. Neste tratamento, colêmbola não assume a expressividade encontrada para esta ordem nos demais tratamentos, o que demonstra condições desfavoráveis em SA para o desenvolvimento deste grupo. Colêmbolos são higrófilos, necessitando de umidade adequada e são sensíveis a altas temperaturas (HALE, 1971; COLEMAN & HENDRIX, 2000). Além disto, colêmbolos são atraídos por raízes de plantas e muitas espécies são fitófagas, variando suas populações de acordo com a disponibilidade de vegetação (ASSAD, 1997; CROSSLEY & COLEMAN, 2000; MOÇO et al., 2005).

A arenização, desta forma, inibiu o desenvolvimento deste grupo em SA, comparativamente aos demais tratamentos em que foi um dos grupos dominantes. Em área de mineração de carvão em Santa Catarina, Manfroi et al. (2001) encontraram maior freqüência de colêmbolos na área em que houve reconstituição e recuperação do solo com revegetação e adubo orgânico, comparativamente à testemunha (área degradada por mineração). Os autores atribuíram o fato à melhoria nas condições do solo e a maior disponibilidade de alimentos. Mesmo resultado foi obtido por Baretta et al. (2001) para o grupo Colembolla em área de cultivo com semeadura direta e adubação com esterco de suínos, quando comparados com área de pastagem.

A



B

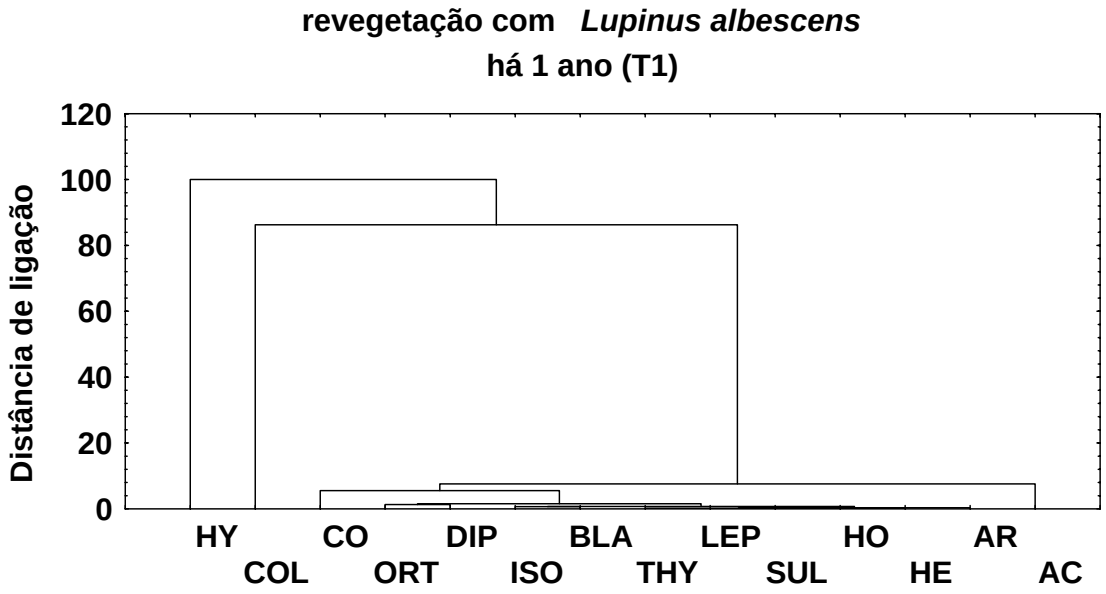
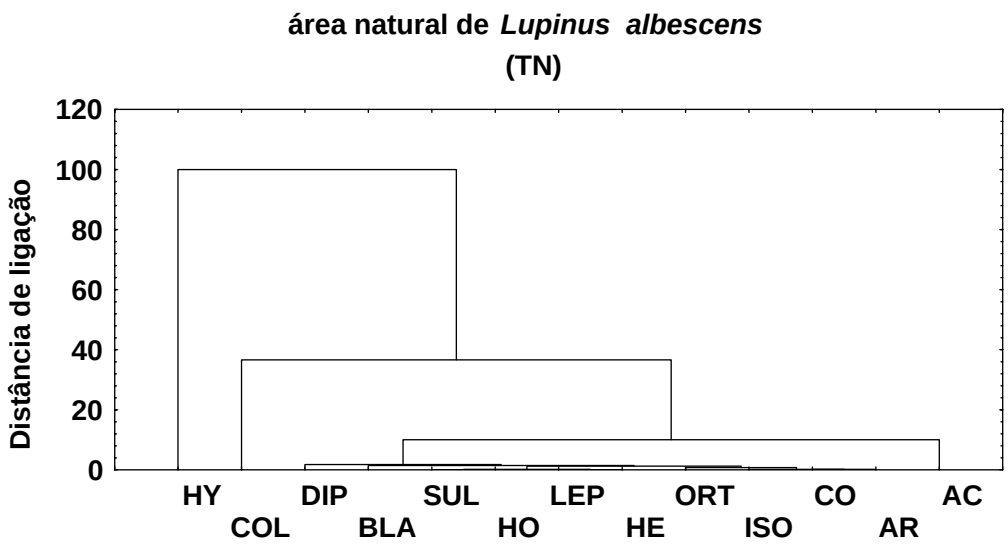


Figura 15 - Dendrogramas para abundância dos grupos de artrópodes edáficos encontrados na área de revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos (T3) (A) e na área de revegetação com *Lupinus albescens* há 1 anos (T1) (B) (Ac:Acarina; Ar: Aranae; Co: Coleoptera; Col: Collembola; Bla: Blastodeae; Dip: Diptera; He: Hemiptera; Ho: Homoptera; Hy: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Lep: Lepidoptera; Thy: Thysanoptera; Ort: Orthoptera).

A



B

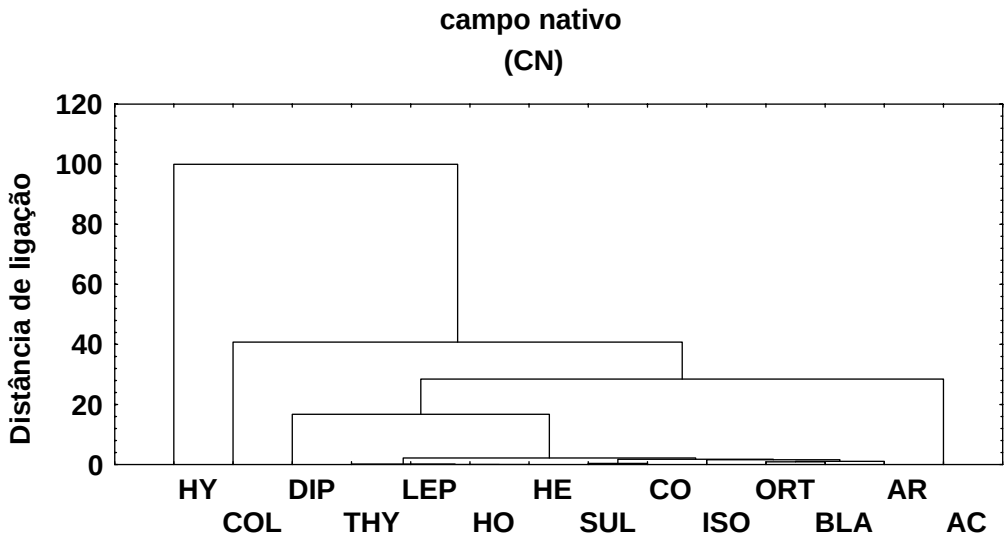


Figura 16- Dendrogramas para abundância dos grupos de artrópodes edáficos encontrados na área de ocorrência natural de *Lupinus albescens* (TN) (A) e na área de campo nativo (CN) (B) (Ac:Acarina; Ar: Aranae; Co: Coleoptera; Col: Collembola; Bla: Blastodeae; Dip: Diptera; He: Hemiptera; Ho: Homoptera; Hy: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Lep: Lepidoptera; Thy: Thysanoptera; Ort: Orthoptera). Santa Maria, 2007.

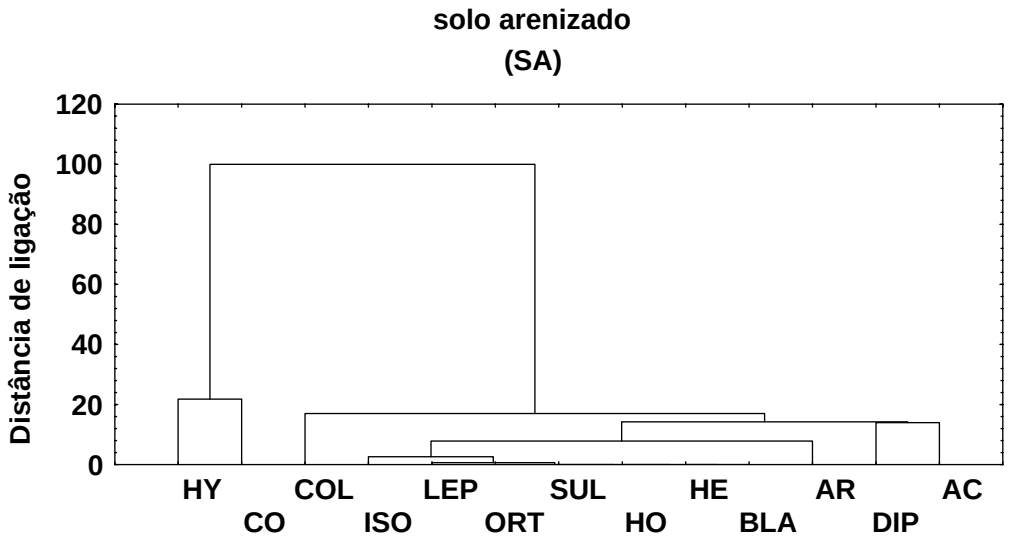


Figura 17- Dendrogramas para abundância dos grupos de artrópodes edáficos encontrados no solo arenizado (SA) (Ac:Acarina; Ar: Aranae; Co: Coleoptera; Col: Collembola; Bla: Blastodeae; Dip: Diptera; He: Hemiptera; Sul: sulfugida; Ho: Homoptera; Hy: Hymenoptera; Iso: Isoptera; Lep: Lepidoptera; Thy: Thysanoptera; Ort: Orthoptera). Santa Maria, 2007.

Nota-se uma tendência natural neste ecossistema de predomínio de determinadas ordens entomológicas. De acordo com Moço et al. (2005), quanto maior a densidade populacional maior será a probabilidade de algum grupo estar predominando e, desta forma, reduzindo a equitabilidade, uma vez que a diversidade de espécies relaciona-se com a riqueza (neste caso, o número de Ordens) e a distribuição do número de indivíduos entre as Ordens. É por esta razão que SA apresenta os maiores valores de equitabilidade nas duas épocas de coleta.

Já para Pinheiro (2004), a dominância de uma espécie tolerante é uma indicação de desequilíbrio ambiental. Contudo, deve-se lembrar que, como Ab'Saber (2005) relata, este ecossistema pode ser considerado um dos sistemas biológicos mais frágeis do país, principalmente devido às suas características geomorfológicas e edáficas. Uma dessas características pode ser a predominância de determinados grupos de insetos edáficos com maior grau de adaptação, como se observa nos tratamentos deste estudo, tanto nos alterados quanto nos que conservam a estrutura natural.

Analisando a fauna edáfica em diferentes usos dos solos arenosos da região sudoeste, Rovedder et al. (2004) encontraram predominância de himenópteros e colêmbolos em campo nativo, predominância de ácaros e colêmbolos em sistema plantio direto e de coleópteros e himenópteros em solo arenizado e solo arenizado revegetado com eucalipto.

Interferências na estrutura das comunidades dos ecossistemas afetam seus níveis de diversidade ecológica. Tais interferências são justamente os processos de degradação da estrutura ecossistêmica, como ocorre no processo de arenização.

Limitações nos estudos de avaliação da fauna edáfica, como metodologia de coleta e de determinação da funcionalidade dos indivíduos, podem ser contornadas em estudos comparativos, cujo foco seja variações em uso do solo ou em épocas do ano, por exemplo. Diversos estudos com este enfoque têm contribuído para a pesquisa sobre qualidade do solo e para caracterizações mais detalhadas dos organismos (CORREIA et al., 1995; JANDL et al., 2003; MOÇO et al., 2005).

5.5.2 Análise de componentes químicos do solo.

Os resultados a seguir foram obtidos para os tratamentos descritos no item 4.3.5.2: área com revegetação de tremoço há três anos (T3), área com revegetação de tremoço há 1 ano (T1), área de ocorrência natural de tremoço (TN), área de campo nativo sob pastejo (CN), área de campo nativo não pastejado há 3 anos (CN3), área de solo arenizado (SA).

A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos para conteúdo de carbono e nitrogênio no solo, nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm.

Tabela 12 - Teor de carbono (C) e nitrogênio (N) nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm (T1= revegetação com tremoço há 1 ano; T3 = revegetação com tremoço há 3 anos; TN= área natural de tremoço; C= campo nativo; CN3= campo nativo não pastejado há 3 anos; SA= solo arenizado). Santa Maria, 2007.

Tratamentos	T1	T3	TN	CN	CN3	SA
			0-5 cm			
C (g dm^{-3})	1,36 c[1]	0,75 d	3,04 b	3,46 a	3,41 a	0,57 d
N (g dm^{-3})	0,10 d	0,2 c	0,36 b	0,33 b	0,48 a	0,09 d
			5-10 cm			
C (g dm^{-3})	1,03 c	0,54 d	2,04 b	2,43 a	2,64 a	0,46 d
N (g dm^{-3})	0,08 d	0,10 d	0,21 c	0,27 b	0,33 a	0,08 d

[1] Valores seguidos pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan em nível de 5% de probabilidade de erro.

O campo nativo não pastejado há três anos (CN3) apresentou teor de nitrogênio superior, comparativamente aos demais tratamentos, nas duas profundidades analisadas. Comparando-se ao campo nativo (CN), pode-se atribuir a diferença estatística entre estes dois tratamentos à recuperação da cobertura vegetal em CN3, devido à supressão do pastejo por três anos consecutivos.

A ausência de diferença estatística entre T1 e SA para nitrogênio mostra que um ano com revegetação em solo arenizado não é o suficiente para recuperação do conteúdo deste nutriente no solo. Dos tratamentos vegetados, T1 foi o único que não diferiu de SA em teor de nitrogênio na primeira camada de solo. Todos os demais apresentaram valores superiores. O N da camada mais superficial do solo por constituir-se da fração particulada do elemento, é o mais prontamente disponível para a planta. Portanto incrementos nesta camada são importantes do ponto de vista do crescimento vegetal (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Na profundidade de 5 a 10 cm, apenas os tratamentos com cobertura natural (TN, CN e CN3) apresentaram teores de N significativamente superiores ao solo arenizado (SA), demonstrando a influência da cobertura vegetal permanente.

Evidencia-se um comportamento semelhante entre os usos do solo analisados em apresentarem reduzidos conteúdos de carbono. A Figura 18 mostra o percentual de matéria orgânica encontrada no solo de cada tratamento de 0 a 5 cm de profundidade.

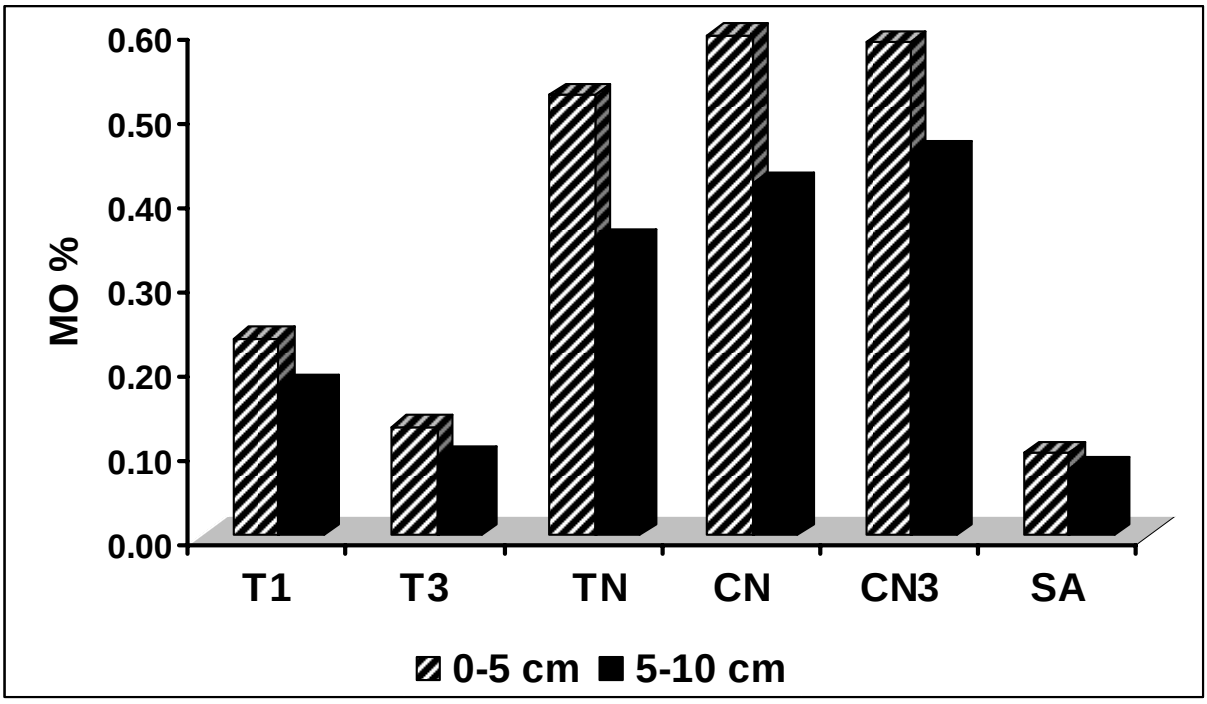


Figura 18 – Percentual de matéria orgânica do solo nas profundidades de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm, em área de revegetação com *Lupinus albescens* há 1 ano (T3), revegetação com *Lupinus albescens* há 3 anos (T3), área de ocorrência natural de *Lupinus albescens* (TN), campo nativo (CN), campo nativo não pastejado há 3 anos (CN3) e solo arenizado (SA). Santa Maria, 2007.

Nota-se a dificuldade em incremento de matéria orgânica. Em todos os tratamentos o percentual de matéria orgânica é muito reduzido e considerado baixo, de acordo com interpretação da Rede Oficial de Laboratório de Análise do Solo (SBCS, 2004). Mesmo após três anos sem ser pastejado e pisoteado, o tratamento CN3 não apresenta incremento em carbono do solo em relação ao campo nativo pastejado (CN). Estudos têm demonstrado que em solos argilosos ou de textura média, este período de tempo já seria suficiente para apresentar incremento em carbono (SANTOS et al., 2001).

Da mesma forma, poderia se esperar que o tratamento TN, por possuir cobertura permanente com adensamentos naturais de tremoço associados as demais espécies do campo nativo e por não ser utilizado antropicamente, apresentasse um maior acúmulo de nitrogênio e carbono, em relação aos demais tratamentos. No entanto, este apresentou conteúdos inferiores a CN e CN3, o que pode ser efeito das diferenças em composição florística, com predomínio de gramíneas em CN e CN3 e predomínio do *Lupinus albescens* em TN.

De qualquer forma, os melhores valores obtidos para conteúdo de N em TN, CN e CN3 representam a importância da ciclagem deste elemento via decomposição de resíduos orgânicos e a importância da manutenção de cobertura vegetal nativa. Considerando-se que a textura do solo de todos os tratamentos são extremamente semelhantes[1] (Tabela 3), evidencia-se ainda mais a contribuição da vegetação como fator diferenciador da qualidade do solo nos tratamentos analisados.

Conceição et al. (2005), avaliando a qualidade do solo em diferentes manejos na Depressão Central do Rio Grande do Sul, concluíram que o aporte de nitrogênio no solo via fixação biológica, aliado ao plantio direto, foi mais eficiente que a adubação nitrogenada para recuperar os estoques de nitrogênio total do solo.

Relacionando-se o conteúdo de carbono e o conteúdo de nitrogênio no solo, observa-se que este último pode ser mais sensível ao manejo realizado, o que pode ser notado na comparação entre CN e CN3. Embora CN e CN3 não tenham diferido estatisticamente em conteúdo de carbono, em conteúdo de N, CN apresentou valores menores.

Em relação à T1 e T3 evidencia-se a baixa capacidade de resposta a práticas de manejo que visam o incremento da fração orgânica e do conteúdo de nitrogênio. O fato de T1 estar demonstrando maior conteúdo de carbono que T3 pode ser indicador da dificuldade de se realizar complexos organominerais que possam manter os ácidos orgânicos provenientes da decomposição dos resíduos vegetais no sistema solo. Pode-se concluir que o isolamento do campo (CN3) antes que este fosse degradado pela arenização, foi mais eficiente para a recuperação dos conteúdos de carbono e nitrogênio no solo do que a recuperação do solo já arenizado através da revegetação.

[1] CN3 faz parte da área de CN, considerando-se, portanto, os dois tratamentos com a mesma textura.

É mais interessante, portanto, a conservação da estrutura fitossociológica do campo nativo antes que este seja degradado por arenização e o uso de práticas que permitam a recuperação deste após o pastejo, como os sistemas de piquetemento e diferimento de campo.

A dificuldade em se incrementar os valores de C e N nos solos arenosos reside na elevada capacidade de resistência ao incremento em matéria orgânica. Analisando-se especificamente a contribuição da origem dos solos em questão, esta característica está intimamente relacionada à classe textural.

O principal mecanismo de proteção física e coloidal da matéria orgânica no solo é a formação dos compostos organominerais (MOREIRA et al., 1998; SILVA et al., 2000; MIELNICZUK et al., 2003) e o conseqüente incremento em agregação. Com isto, a matéria orgânica “intra-agregado” permanece por mais tempo inacessível ao ataque microbiano e aos processos de degradação e retirada do perfil. Contudo como o quartzo, mineral predominante em solos arenosos, possui reduzida área superficial específica e carga desprezível, sendo por isto considerado como mineral não possuidor de cargas (MADUREIRA FILHO et al., 2000; KLAMT & MEURER, 2000), dificulta a formação dos complexos organominerais. Logicamente, os mecanismos de formação dos compostos organominerais estão relacionados a texturas mais argilosas. Reinert et al. (1998) encontraram 2% de argila em um Neossolo Quartzarênico arenizado no município de São Francisco de Assis.

Outra característica típica deste ecossistema é o baixo grau de resiliência, o que se configura como uma reduzida capacidade de retornar a suas condições originais após sofrer um distúrbio. Em relação ao solo, estas características - resistência ao incremento em matéria orgânica e baixa resiliência - estão relacionadas à textura arenosa e, conseqüentemente, à baixa capacidade de troca e baixo poder tampão. Em comparação, solos argilosos apresentam menores taxas de decomposição da matéria orgânica e, consequentemente, maior estabilidade química desta (MIELNICZUK et al., 2003). Solos mais argilosos, portanto, também podem apresentar maior resiliência em relação aos arenosos.

Avaliando um solo elevadamente arenoso no norte da Áustria após 20 anos de práticas de fertilização, Jandl et al. (2003) não encontraram diferença estatisticamente significativa entre este e a testemunha, em relação ao conteúdo de carbono. Resultados semelhantes foram encontrados por Amado et al. (1998) em Neossolo Quartzarênico no município de São Francisco de Assis. Neste estudo, os

autores não encontraram diferença significativa no conteúdo de carbono do campo nativo em comparação a uma lavoura em preparo convencional há cinco anos. Nesta pesquisa, os autores atribuíram este resultado ao baixo incremento em biomassa dos campos nativos pastejados da região.

Por outro lado, Conceição et al. (2005), avaliando atributos químicos em solos da Depressão Central, encontraram redução de 55,3% no conteúdo de carbono em solo descoberto há 10 anos em relação ao solo de campo nativo não pastejado, utilizado como testemunha da vegetação original da região.

Além da textura elevadamente arenosa dos solos em questão, outros fatores podem estar associados para contribuírem para a baixa capacidade de incremento em carbono e nitrogênio nestes solos. Para Bayer & Bertol (1998), o incremento em matéria orgânica do solo é um processo lento, o que exige um período de tempo geralmente longo para acontecer, sendo imprescindível que se elimine o revolvimento do solo e se utilizem culturas de cobertura com elevado aporte de massa seca. Fatores como temperatura e umidade do solo, tipo de preparo, sistemas de sucessão, rotação de culturas e condições climáticas, afetam o conteúdo e a capacidade de incremento da matéria orgânica do solo (MIELNICZUK et al., 2003).

Em relação às condições climáticas, Mielniczuk et al. (2003) relatam que as zonas tropicais e subtropicais possuem capacidade para produzirem duas vezes mais biomassa vegetal do que as zonas temperadas e frias, contudo, nas primeiras, as elevadas temperaturas e disponibilidade de água favorecem a acelerada decomposição dos resíduos vegetais e dos compostos orgânicos.

Desta forma, as diferenças estatísticas entre os tratamentos estão refletindo a influência benéfica da presença de uma cobertura vegetal e a intensidade de degradação das características químicas do solo pela arenização. Esta influência benéfica da cobertura vegetal é mais expressiva principalmente nos tratamentos CN, CN3 e TN, pelo tempo mais prolongado de permanência da cobertura sobre a superfície do solo e pela manutenção da estrutura local de vegetação, mais diversificada que os tratamentos com revegetação (T1 e T3). Para Beare et al. (1995), a composição e estrutura da comunidade vegetal é o principal fator biótico que determina, direta e indiretamente, as propriedades químicas, físicas e biológicas de um solo. Neste sentido, Lavelle (1996) afirma que drásticas reduções nos fluxos de carbono também podem influenciar indiretamente na biodiversidade

do sistema solo. Nota-se aí a necessidade da manutenção dos compartimentos biológicos no ambiente edáfico, como ativadores de mecanismos fundamentais para a manutenção ou recuperação da qualidade do solo.

As dificuldades para recuperação dos solos arenosos colocam em destaque a importância do uso de estratégias de revegetação para a contenção do processo de arenização e para a conservação da estrutura e da função ecossistêmica. Evidencia-se ainda mais a importância do aporte de biomassa e a elevação do percentual de matéria orgânica, como forma de aumentar a CTC destes solos e, conseqüentemente, a capacidade de fornecimento de nutrientes. Embora este seja um processo extremamente lento nestes solos, devido às características já apresentadas, a matéria orgânica constitui-se na principal fonte de sítios de adsorção em solos elevadamente arenosos. Além disto, o maior reservatório de nitrogênio do solo é justamente a matéria orgânica, responsável por cerca de 98% do total deste elemento (RESENDE & KONDO, 2001; CAMARGO & SÁ, 2004).

Alguns estudos têm demonstrado os efeitos positivos de procedimentos testados. Amado et al. (1998), comparando Neossolo Quartzarênico sob povoamento de eucalipto de nove anos com Neossolo Quartzarênico arenizado no município de São Francisco de Assis, encontraram 15,7 Mg ha^{-1} de carbono a mais no primeiro em relação ao segundo uso do solo.

Nota-se assim que apesar das dificuldades de incremento em matéria orgânica em solos elevadamente arenosos, há a possibilidade concreta de se obter este resultado em longo prazo.

A Tabela 13 apresenta os conteúdos de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio no solo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm. A Tabela 14 apresenta a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva) e a saturação por alumínio (m%).

Tabela 13 - Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm do solo (T1= revegetação com tremoço há 1 ano; T3 = revegetação com tremoço há 3 anos; TN= área natural de tremoço; C= campo nativo; CN3= campo nativo não pastejado há 3 anos; SA= solo arenizado). Santa Maria, 2007.

	P	K	Ca	Mg	Al
	---------- mg dm^{-3} ----------		---------- $cmol_c$ dm^{-3} ----------		
			0-5 cm		
T3	7,40 b[1]	11,39 cd	0,10 c	0,12 b	0,15 c
T1	13,56 a	16,67 bc	0,30 b	0,12 b	0,23 b
TN	8,31 b	24,42 a	0,70 a	0,35 a	0,11c
CN	8,34 b	21,38 a	0,30 b	0,05 c	0,16 c
CN3	8,33 b	18,20 b	0,30 b	0,06 c	0,26 b
AS	4,16 c	8,52 d	0,06 c	0,02 c	0,35 a
			5-10 cm		
T3	6,67 c	11,50 b	0,10 c	0,06 b	0,22 b
T1	14,22 a	15,87 a	0,30 a	0,01 c	0,32 a
TN	7,91 b	13,22 b	0,20 b	0,13 a	0,28 ab
CN	7,72 b c	15,78 a	0,12 c	0,04 b	0,26ab
CN3	7,54 b c	13,00 b	0,25 b	0,05 b	0,27 ab
AS	4,23 d	5,40 c	0,10 c	0,01 c	0,24 ab

[1] médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada profundidade do solo, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Duncan, em um nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 14 – Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC ef.) e saturação por alumínio (m%) nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm do solo (T1= revegetação com tremoço há 1 ano; T3 = revegetação com tremoço há 3 anos; TN= área natural de tremoço; C= campo nativo; CN3= campo nativo não pastejado há 3 anos; SA= solo arenizado). Santa Maria, 2007.

Tratamentos	T3	T1	TN	CN	CN3	AS
			0-5 cm			
CTC ef. ($cmol_c\ dm^{-3}$)	0,66	0,70	1,22	0,56	0,66	0,59
m%	22,68	33,21	9,00	28,33	39,00	59,14
			5-10 cm			
CTC ef. ($cmol_c\ dm^{-3}$)	0,41	0,68	0,64	0,45	0,60	0,38
m %	53,73	47,00	43,49	57,73	44,76	63,24

Em relação ao fósforo, os teores expressivamente maiores em T1 podem ser atribuídos ao efeito residual da adubação mineral realizada no momento do plantio. Este efeito já não é visível em T3. Outro efeito da adubação fosfatada em T1 e T3 pode ser o aumento da CTC efetiva. A adição de fertilizantes fosfatados pode levar a um aumento na capacidade de troca de cátions devido à quimiosorção de íons fosfato em óxidos presentes, o que torna a superfície destes minerais mais negativa, contribuindo assim para a adsorção de cátions nutrientes (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989). Este efeito pode estar contribuindo para a maior CTC efetiva em T1 e T3, comparativamente a CN e SA, principalmente de 0 a 5 cm (Tabela 14).

Por não possuir um componente gasoso em seu ciclo biogeoquímico, as transformações que ocorrem no fosfato dependem inteiramente das interações solo-planta-microorganismos. A quantidade de fosfato imobilizada por microorganismos é mínima, exceto em casos de adições significativas de material orgânico (NAHAS, 1999). Como este não é o caso das áreas experimentais pode-se perceber a dificuldade de manter-se fósforo disponível em solução no solo, mesmo após prática

de adubação e revegetação, o que está relacionado com a mineralogia e textura destes solos.

Devido sua alta reatividade, o fósforo fica indisponível devido à quimiosorção com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e à formação de compostos altamente estáveis com outros elementos, como o cálcio. Em solos tropicais e subtropicais, como o do presente estudo, a quimiosorção do fósforo é a reação mais comum, devido à grande quantidade de óxidos e da alta afinidade do elemento para com estes minerais (HSU, 1989; KÄMPF et al., 2000),

A imobilização do fósforo, em primeira instância dificulta a descida do fósforo no perfil do solo. Contudo, ao longo do tempo, indisponibiliza este elemento para as plantas. Além disto, o retorno da forma indisponível para o fosfato lábil é extremamente lento devido à formação de complexos de esfera interna com óxidos (MEURER et al., 2006).

O incremento em matéria orgânica pode amenizar problemas de quimiosorção do fósforo pela mineralização dos compostos orgânicos a partir da atividade de fosfatases que liberam fosfato a partir de mono e diésteres de fosfatos como fitatos, fosfolipídios, ácidos nucléicos entre outras formas orgânicas (NAHAS, 1999).

Nos solos em questão esta contribuição se dá lentamente. Na profundidade de 0 a 5 cm, T3, TN, CN e CN3 apresentaram teores baixos de fósforo e SA apresentou teor muito baixo, de acordo com interpretação de SBCS (2004), conforme a classe de teor de argila. Na profundidade de 5 a 10 cm, TN, CN e CN3 apresentaram teores baixos, enquanto T3 e SA apresentaram teores muito baixos. Apenas T1 apresentou teor médio de fósforo, tanto de 0 a 5 quanto de 5 a 10 cm de profundidade (SBCS, 2004), como efeito residual da adubação química mais recente. Nos solos avaliados, o fator material de origem é o principal responsável pela baixa fertilidade natural.

Avaliando-se teores de cátions trocáveis, principalmente em relação a potássio e cálcio, nota-se a influência da cobertura vegetal nos maiores valores encontrados para os tratamentos TN, CN e CN3, todos com cobertura vegetal permanente. O tratamento TN destacou-se nos teores de K, Ca e Mg na profundidade de 0 a 5 cm, e nos teores de Ca e Mg na profundidade de 5 a 10 cm, revelando uma ciclagem de nutrientes eficiente, considerando-se as características dos solos em questão.

Em T3 e T1 nota-se a influência da descida em perfil de cátions trocáveis, pelos maiores conteúdos de K e Ca encontrados na profundidade de 5 a 10 cm,

comparativamente aos demais tratamentos. Isto se dá pela carência de cargas elétricas capazes de reter os cátions que foram adicionados via adubação química e pela ciclagem de nutrientes.

O teor de K foi o parâmetro com resposta mais expressiva à ciclagem de nutrientes via resíduos orgânicos. A redução mais acentuada no teor deste elemento da primeira camada de solo para a segunda nos tratamentos TN, CN E CN3, evidencia sua origem orgânica por estar mais concentrado junto ao local de decomposição dos resíduos. Este elemento é o mais prontamente disponível no processo de ciclagem, podendo ter até 100% do seu teor reaproveitado para o desenvolvimento vegetal (SPAIN & SALINAS, 1985), Mesmo com o alto potencial de lixiviação dos solos arenosos, nota-se o ganho em potássio no solo, com a manutenção de cobertura vegetal permanente (TN, CN, CN3).

Além disto, a decomposição continuada de resíduos orgânicos ao longo dos anos, além de promover o aporte de nutrientes, contribui para o aumento da CTC, pela elevada carga e área superficial específica da matéria orgânica. Este efeito pode ser visto, principalmente, em TN, que apresentou uma maior CTC efetiva de 0 a 5 cm. Este aumento em CTC comparativamente aos demais tratamentos é influência de uma ciclagem eficiente de bases trocáveis, demonstrada pelos teores de K, Ca e Mg, o que também auxiliou na redução da saturação por alumínio (Tabela 14). Já em T1, o aumento em CTC efetiva na profundidade de 5 a 10 cm é devido ao aumento em Al, o que se refletiu em maior saturação por alumínio em relação à camada de 0 a 5 cm. Nos demais tratamentos, a CTC efetiva segue o padrão habitual de redução com a profundidade de coleta. Nota-se ainda que a arenização contribuiu para o aumento da saturação por alumínio na camada de 0 a 5 %, proporcional à perda de fertilidade natural ocorrida. Efeito semelhante foi observado por ROVEDDER (2003), na mesma área do estudo (Tabela 1).

Os menores teores de Al nos tratamentos com cobertura vegetal, na profundidade de 0 a 5 cm, comparativamente a SA pode ser também uma contribuição da matéria orgânica, pela neutralização do Al.

Com base nos resultados obtidos nos tratamentos com a estrutura ecossistêmica original (TN, CN e CN3) pode-se esperar, portanto, que a prática de revegetação seja realmente, a estratégia mais acertada para a recuperação de areais, podendo contribuir na melhoria das condições químicas do solo. O que se

verifica, porém, é que no presente estudo, os dois períodos de presença de revegetação sobre solo arenizado, um e três anos (T1 e T3) ainda não foram suficientes para a contribuição desta em melhorias químicas do solo. Pode-se atribuir os resultados obtidos em T1 e T3 ao efeito residual da adubação química. Jandl et al. (2003), encontraram influência significativa da fertilização mineral durante 20 anos no aumento dos conteúdos de Ca e Mg em solo elevadamente arenoso, contudo, não encontraram aumento significativo para o conteúdo de K no solo fertilizado em relação à testemunha.

A textura arenosa, o manejo empregado, a presença e qualidade da cobertura vegetal ou a ausência desta devido à arenização foram os fatores decisivos para a manutenção ou degradação da qualidade química do solo.

A análise química do solo permitiu uma observação eficiente da influência da arenização na qualidade química do solo, com o solo arenizado apresentando sempre índices inferiores de macronutrientes e carbono. Permitiu também visualizar a importância da cobertura vegetal e, principalmente da conservação da estrutura ecossistêmica como fator diferenciador nas possibilidades de recuperação dos níveis de fertilidade do solo. Nota-se ainda que o processo de recuperação de solos arenizados apresenta-se lento, devido às características inerentes destes como a granulometria e a baixa resiliência.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com o *Lupinus albescens* cultivado no solo arenizado e no campo nativo, bem como a comparação com *Secale cereale*, colocam a espécie no patamar de produção de biomassa e acúmulo de macronutrientes das espécies européias do gênero e de outras espécies largamente utilizadas como plantas recicladoras e recuperadoras do solo, demonstrando, portanto, alto potencial em estratégias de recuperação dos solos arenizados.

A alta plasticidade fenotípica da espécie não permitiu determinar a combinação mais adequada de espaçamento entre linhas e densidade de semeadura por metro linear.

O espaçamento entre linhas de 17 cm favoreceu a produção de fitomassa e o acúmulo de macronutrientes na massa seca da parte aérea. Para produção de sementes, os espaçamentos de 34 e 51 cm foram mais eficientes. O espaçamento entre linhas não interferiu no peso e número de nódulos.

As bactérias diazotróficas simbióticas ao *Lupinus albescens* podem pertencer aos gêneros *Rhizobium, Sinorhizobiu*m ou *Ochrobactrum*.

A fauna edáfica foi um indicador eficiente da influência da presença ou ausência de cobertura vegetal, bem como do fator manejo do solo, tendo sido influenciada pela época de coleta, presença ou ausência de cobertura vegetal e tipo de cobertura vegetal.

A arenização reduziu o desenvolvimento das populações edáficas amostradas, contribuindo para a degradação do compartimento biológico do solo. O grupo Colembolla foi um bom bioindicador dos efeitos da arenização.

A arenização influenciou a composição química do solo, reduzindo os teores de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, enquanto os teores de alumínio aumentaram.

Pelas significativas reduções na abundância de fauna edáfica e nos teores de macronutrientes e carbono no solo na área arenizada, conclui-se que o fenômeno da arenização constituiu-se efetivamente em processo de degradação do solo.

O estudo mostrou a dificuldade de recuperação dos solos suscetíveis à arenização do sudoeste gaúcho, demonstrando que este pode ser um processo

demorado, contudo possível de ser atingido, como mostrou a diferença encontrada entre o solo arenizado e as áreas com cobertura vegetal nativa permanente.

O isolamento do campo nativo (demonstrado pelo tratamento CN3) foi mais eficiente para a recuperação de nitrogênio e matéria orgânica do solo do que as práticas de recuperação do solo já arenizado, provavelmente devido à ausência de um período de ausência total da cobertura vegetal no primeiro, o que permitiu a deposição ininterrupta de material orgânico sobre o solo.

A fauna edáfica apresentou resposta mais rápida à estratégia de revegetação do que as características químicas do solo, retornando a índices de abundância e riqueza próximos do ecossistema natural mais rapidamente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As perspectivas para recuperação das áreas arenizadas do sudoeste gaúcho ocorrem no âmbito da experimentação, sendo que estas são geralmente realizadas em propriedades particulares. Observa-se que, na grande maioria das vezes, a pesquisa tem por iniciativa, atividades realizadas por órgão governamentais. Contudo, o que se torna fundamental para que o processo se inicie, é o nível de consciência do proprietário de áreas onde existem focos de arenização. No momento em que o produtor rural demonstra preocupação em resgatar áreas que estejam em processo de degradação, há a possibilidade de iniciar-se a pesquisa. Evidencia-se assim, a importância de estreitar-se relações entre a comunidade acadêmica e representantes da sociedade local, com o intuito de troca de informações e experiências, e que não se dê de forma unidirecional, mas sim sob o aspecto mais amplo do aprendizado mútuo.

Os resultados encontrados neste estudo ressaltam a importância das práticas que priorizam a manutenção da cobertura do campo nativo e o incremento em matéria orgânica no solo, como medida preventiva. Salientam ainda a importância da recuperação dos solos já degradados por arenização.

8. RECOMENDAÇÕES

- Incrementar a difusão de informações junto às comunidades afetadas pela arenização.

- A recuperação de solos arenizados deve ser iniciada logo que se identifique o problema. Recomenda-se, inicialmente, o isolamento da área afetada. Se esta medida não for suficiente para a recomposição do campo, deve-se adotar medidas de contenção da arenização e recuperação da vegetação no local afetado.

- Realizar a prática de revegetação, sempre que possível, com espécies oriundas do próprio Bioma Pampa. Sugerimos o *Lupinus albescens* como alternativa viável.

- Realizar a coleta de sementes em local de ocorrência natural do *Lupinus albescens*.

- Realizar a semeadura, preferencialmente, de março a julho. A área a ser semeada deve ser inoculada com estirpes de bactérias fixadoras de nitrogênio simbiontes ao *Lupinus albescens*. Como ainda não há inoculante específico para a espécie, deve-se misturar as sementes com solo proveniente de área de ocorrência natural do *Lupinus albescens* misturado com água. Efetuar a mistura minutos antes do plantio. Pode-se espalhar o solo restante sobre a área a ser semeada.

- Com base dos resultados obtidos, sugerimos uma semeadura adensada que pode ser realizada a lanço ou então com espaçamento entre linhas de plantio de 17 cm, quando o objetivo do cultivo é a recuperação do solo arenizado e a contenção do processo de arenização.

- Se o objetivo do cultivo é a produção de sementes, sugerimos o plantio em espaçamentos de 34 ou 51 cm entre linhas.

- Os resultados obtidos devem ser monitorados ao longo dos anos para observação de reais melhorias. Além da observação visual no que diz respeito à contenção do avanço da arenização, pode-se realizar análises químicas do solo. Estas permitirão monitorar alterações na qualidade química do solo.

- Para a avaliação da fauna edáfica como bioindicador da qualidade dos solos arenosos da região recomenda-se não efetuar análise unicamente com um índice ou parâmetro, sob pena de se obter conclusões equivocadas, uma vez que as condições edáficas regionais são muito específicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, W. A. P; MELLO, J. W. V. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In: DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas.** Vol. 1, Viçosa: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1988. p 15-26.

AB'SABER, A. N. A revanche dos ventos. Derruição dos solos areníticos e formação de areais na Campanha Gaúcha. **Revista Ciência & Ambiente**, n. 11. Santa Maria: Editora da UFSM, 1995. p. 7-31.

ACCIOLY, L. J.; OLIVEIRA, M. A. Indicadores de processos de desertificação. In: Romeiro, A.R. (org.). **Avaliação e contabilização de impactos ambientais.** Campinas: Ed. UNICAMP., 2004. p. 123 – 142.

ALVAREZ, T.; FRAMPTON, G. K.; GOULSON, D. Epigeic collembola in winter wheat under organic, integrated and convencional farm management regimes. **Agriculture, ecossystems & enviroments,** v. 82. p. 95-110, 2001.

AMADO, T. J. C.; ALMEIDA, E. X. **Adubação verde de verão para o alto vale do Itajaí.** In: Pesquisa em Andamento, n. 3. Florianópolis: EMPASC, 1987. 5p.

AMADO, T. J. C. et al. Qualidade de solos derivados de areias quartzosas da fronteira sudoeste do RS: indicadores químicos. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo – Manejo Sustentável do Solo, II. **Anais...** Santa Maria, RS. 1998. p. 275-278.

ANTONY, L. M. K. Abundância e distribuição vertical da fauna do solo de ecossistemas amazônicos naturais e modificados. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XXV, Reunião Brasileira sobre Micorrizas VIII, Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo VI, Reunião Brasileira de Biologia do Solo, III. 2000, Santa Maria, RS. **Anais…** Santa Maria: SBCS/SBM/UFSM, 2000. 1 CD-ROM.

ANYANGO, B., et. al. Diversity of rhizobia nodulation *Phaseolus vulgaris* L. in two kenyan soils with contrasting pHs**. Applied and Environmental Microbiology, Washington,** v.61, n.11, 1995. p.4016-4021.

ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: Vargas, M. A. T. & Hungria, M. (eds.) **Biologia dos solos dos Cerrados.** Planaltina: Embrapa, 1997. p. 363-443.

AUER, C. G., SILVA, R. Fixação de nitrogênio em espécies arbóreas. In: Cardoso, E. J. B. N., Tsai, S. M., Neves, M. C. P.(eds). **Microbiologia do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.157-172.

AZEVEDO, A. C.; KAMINSKI, J. Considerações sobre os solos dos campos de areia no Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**, n. 11. Santa Maria: Editora da UFSM, 1995. p. 7-31.

BARETTA, J. C. P. S. et al. Mesofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo do solo. In: FERTIBIO 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 1 CD-ROM.

BARNI, N. A. et al. **Plantas recicladoras de nutrientes e de proteção do solo, para uso em sistemas equilibrados de produção agrícola.** Porto Alegre: FEPAGRO, 2003. Boletim Fepagro, n. 12. 84p.

BARRADAS, C. A. A. Comportamento de adubos verdes de inverno na região serrana fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12. Brasília, 2001. p. 1461-1468.

BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 23. Viçosa, 1999. p. 687-694.

BEARE, M. H. et al. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. **Plant and Soil**, n. 170. 1995. p. 5-22.

BEGON, M.; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C. R. Ecology: **Individuals, populations and Communities.** 2° Ed.. Londres: Blackwell Scientific Publications, 1990. 945 p.

BIANCHI, M. A. et al. Resposta do trigo a culturas semeadas após o milho no sistema plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

BIDONE, E. D.; CASTILHOS, Z. C.; AZEVEDO, J. **Avaliação socioeconômica de impactos ambientais em estruturas do tipo Pressão-Condicionamento-Impacto-Resposta (PCIR).** In: Romeiro, A. R. (org.). Avaliação e contabilização de impactos ambientais. Campinas: Ed. UNICAMP., 2004. p. 183 – 195.

BOLDES, U. et al. Canopy flow and aspects of the response of plants protected by herbaceous shelterbelts and wood fences. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, n. 90, 2002. p. 1253 – 1270.

BOLDRINI, I. I. Biodiversidade dos Campos Sulinos. In: Simpósio de forrageiras e produção animal, 1. Porto Alegre, 2006. **Anais...** Porto Alegre: Departamento de plantas forrageiras e agrometeorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. p. 11-23.

BORKERT, C. M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, jan. Brasília, 2003. p.143-153.

BOUWMAN, A. F. et al. A global high-resolution emission inventory for ammonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 11, n. 4. Washington, 1997. p. 561- 587.

BROWN, K. S. Insetos como rápidos e sensíveis indicadores de uso sustentável dos recursos naturais. In: Martos, H. L.; Maia, N. B. (ed.) **Indicadores ambientais**, 1° Ed. Sorocaba, 1997. p. 143 – 151.

BURKART, A. **Flora Ilustrada de Entre-Rios (Argentina).** Parte III. Dicotiledoneas metaclamideas. A: Salicales a Rosales (incluso Leguminosas). Colecion cientifica. Tomo VI, parte 3. Secretaria de Agricultura, Ganaderia y Pesca. Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária. Buenos Aires, Argentina, 1987.

CALEGARI, A. Adubação verde. In: Secretaria da Agricultura e Abastecimento (Ed.). **Manual técnico do sub-programa de manejo e conservação do solo.** Paraná: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, 1989. p. 85-178.

CALEGARI, A. et al. Caracterização das principais espécies de adubo verde. In: CALEGARI, A. (ed.) **Adubação verde no sul do Brasil.** 2° Ed.. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p. 207-324.

CAMARGO, F.; SÁ, L. S. Nitrogênio e adubos nitrogenados. In: Bissani, C. A. et al. (Ed.) **Fertilidade dos solos e manejo de adubação de culturas.** Porto Alegre: Ed. Gênesis, 2004. p. 93–116.

CAMPELLO, E. F. C. Sucessão vegetal na recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. (eds.) **Recuperação de áreas degradadas,** v. 1, Viçosa: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 183-195.

CARPANEZZI, A. A. Ecologia aplicada ao planejamento de espécies madeireiras nativas. In: Simpósio sobre ecossistemas naturais do Mercosul, 1. Santa Maria, 1996. **Anais...** p. 13-19.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 14. Campinas, 1990. p. 99-105.

CECONI, E. D. et al. Revegetação como fator de recuperação de solos em áreas degradadas pela mineração de carvão na Depressão Central do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Nacional, 6, Congresso Latino-Americano de Recuperação de Áreas Degradadas, 1. Curitiba, 2005. **Anais…**Curitiba: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. p. 487-488.

CEPAL, PNUMA. Unidade Conjunta de Desarrollo y Medio Ambiente. Ecosistemas: Conceptos fundamentales. **Ciência e Ambiente**, n. 9. Santa Maria, 1994. p. 64-72.

COLEMAN, D. C.; HENDRIX, P. F. **Invertebrates as Webmasters in Ecosystems**. London: CABI Publishing, 2000. 336 p.

CONCEIÇÃO, P.C. et al. Avaliação de um método alternativo à armadilha de tretzel para coleta de fauna edáfica. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28, Londrina, 2001. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p. 66.

CONCEIÇÃO, P.C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29. Viçosa, 2005. p. 777-788.

CONSERVATION. Capturado em 14 de novembro de 2002. Disponível na internet http://www.conservation.org.br.

CONTERATO, I. F. **Estudos citocinéticos em espécies americanas de Lupinas L.: número cromossômico e comportamento micótico. Porto Alegre, RS.** 2004. 122f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CORREIA, M.E.F. et al. Organização da comunidade de macroartrópodos edáficos em plantio de eucalipto e leguminosas arbóreas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 4, Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo ,1995. p. 442-444.

COSGROVE, O mundo da natureza. In: Boyle, C. (Ed.). **Série História em Revista.** USA: Time-Life Books, 1991. 176p.

CROSSLEY, D. A.; COLEMAN, D. C. Microarthropods. In: SUMMER, M. E. **Handbook of Soil Science.** New York: CRC Press. 2000. p. C59-C85.

D'ANTONIO, C.; MEYERSON, L. A. Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. **Restoration Ecology**, v. 10, n. 4, 2002. p. 703-713.

DECAENS, T. et al. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. **European Journal of Soil Biology**, Paris, 1994. p. 157-168.

DERPSCH, R. et al. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 20, v. 7, jun., 1985. Brasília, p. 761-773.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. (eds.) **Recuperação de áreas degradadas,** v. 1, Viçosa: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.p 1-7.

DORAM, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W. et al. (eds). **Defining soil quality for a sustenaible environment.** (Special publication, 35). Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

ECOSOLIDARIEDADE. **Campos Sulinos.** Capturado em 12.04.2001 disponível na internet http: // www.ecosolidariedade.com.br/por/camposdosul.

ELTZ, F. L.; ROVEDDER, A. P. M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 2, abr- jun. Pelotas, 2005. p. 193-200.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de janeiro: Embrapa, 1999. 412p.

FARIA, S. M. et al. Revegetação com espécies arbóreas fixadoras de N em taludes de exploração de ferro na Samarco minerações. Mariana, MG. In: Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 5. Belo Horizonte, 2002. **Anais...**Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. p. 520-521.

FERREIRA, R. M. A. Avaliação do impacto ambiental e a legislação brasileira. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 202. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2000. p. 5-11.

FRANCO, A. A.; NEVES, M. C. P. Fatores limitantes à fixação biológica do nitrogênio. In: Cardoso, E. J. B. N. et al. (eds.). **Microbiologia do Solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, 360p. p. 219-230.

FREIRE, J.R.J. Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosas. In: CARDOSO, E. J. B. N. et al. (eds.). **Microbiologia do Solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, 360p. p. 120-140.

FRIES, M. R.; AITA, C. Aspectos básicos sobre a importância dos microorganismos em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, 2002. p. 13-21.

GALLO, D. et al. **Manual de entomologia agrícola.** São Paulo: Ceres, 1988. 649p.

GIACOMINI, S. J. **Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto.** Santa Maria, RS. 2001. 124f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

GIACOMINI, S. J. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9. Brasília, 2003. p. 1097-1104.

GOLVEIA, R. F.; ALMEIDA, D. L. **Avaliação das características agronômicas de sete adubos verdes de inverno no município de Paty do Alferes (RJ).** In: Embrapa. Comunicado Técnico Embrapa, n. 20. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB), 1997. p. 1-7.

GONZAGA, J. V.; FREITAS, A. J. P.; SCHENEIDER, P. Deserto de São João: modelo de recuperação. Simpósio FLORAM, Belo Horizonte, 1995. **Anais...** Belo Horizonte, 1995.

GUEDES, F. Um deserto ameaça o Pampa. **Revista Geográfica Universal**, n. 10, jul. São Paulo, 1975. p. 63–71.

HALE, W. G. Colêmbolos. In: BURGES, A.; RAW, F. (eds.). **Biología del Suelo.** Ed. Omega, 1971. p. 463–477.

HSU, P. H. Aluminum Hydroxides and Oxyhydroxides. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (eds.). **Minerals in soil environments.** Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 331-378.

HUFFMAN, E. et al. Canadian agri-environmental indicators related to land quality integrating census and biophysical data to estimate soil cover, wind erosion and soil salinity. **Agriculture, Ecosystems and Environment** , n. 81, 2000. p. 113–123.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja.** Circular Técnica, n. 35. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p.

IBAÑEZ, J. J. et al. Pedodiversity: concepts and measures. **Catena**, n. 24, 1995. p. 215-232.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Mapa de Biomas do Brasil**, 2004. Disponível em: http://www.ibge.gov.br. Acessado em 15.07.2006.

INSTITUTO DESERT. **Desertificação no Brasil**. Acessado em 13.03.02. Disponível na internet http://www.desert.org.br

JANDL, R. et al. Forest soil chemistry and mesofauna 20 years after an amelioration fertilization. **Restoration Ecology**, v. 11, n. 2., 2003. p. 239-246.

KAGEYAMA, P. Y. et al. Implantação de matas ciliares: estratégias para auxiliar a sucessão secundária de Matas Ciliares. In: Simpósio sobre Mata Ciliar, 1. Campinas, 1989. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 130-143.

KLAMT, E. Solos arenosos da região da Campanha do Rio Grande do Sul. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão.** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p. 19-37.

KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Solos suscetíveis à erosão eólica e hídrica na região da Campanha do Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**, n. 11. Santa Maria, 1995. p. 71-80.

KLAMT, E.; MEURER, E. J. Composição da fase sólida mineral do solo. In: Meurer, E.J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre: Genesis, 2000. 174p. p. 23-44.

KÄMPF, N.; SCHEINOST, A. C.; SCHULZE, D. G. Oxide Minerals In: SUMMER, M. E. (ed.) **Handbook of Soil Science.** New York: CRC Press. 2000. p. F125 – F168.

LANGMAACK, M.; SCHRADER, S.; HELMING, K. Effect of mesofaunal activity on the rehabilitation of sealed soil surfaces. **Applied Soil Ecology**, v. 16, 2001. p. 121-130.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem functions. In: World Congress Soil Science, 15. Acapulco, 1994. **Anais…** Acapulco, 1994. p. 189-220.

LAVELLE, P. Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. **Biology International**, n. 33, 1996. p. 3-15.

LORENGER, G. et al. Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique). **European Journal of Soil Biology**, v. 34, n. 3, 1999. p. 157-165.

LUCHESI, L. A. C. et al. Pastagens: um sistema de produção para a reabilitação de áreas degradadas. In: Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. Curitiba, 1992. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1992. p.83 a 92.

MACEDO, R. L. G.; SOUZA, M. L. Comportamento de espécies de Eucalyptus em áreas degradadas pela atividade agropecuária na Baixada Cuiabana/MT. In:

Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. **Anais...** UFPR, Curitiba, PR, 1992. p.366-372.

MADUREIRA FILHO, J. B.; ATENCIO, D.; MCREATH, I. Minerais e rochas: constituintes da terra sólida. In: TEIXEIRA, W. et al. (eds) **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de textos, 2000. p. 27-42.

MALUCHE, C. D. R et al. Fauna edáfica como bioindicadora da qualidade do solo em pomares de macieiras conduzidos nos sistemas orgânico e convencional. In: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 1. Porto Alegre, 2003. **Anais...**Porto Alegre: Emater/Ascar-RS, 2003. 1 CD-ROM.

MANFROI, A. F. et al. Diversidade da fauna edáfica como bioindicador da recuperação de solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto. In: FERTIBIO. Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 1 CD-ROM.

MARCHIORI, J. N. C. Vegetação e areais no sudoeste rio-grandense. **Ciência & Ambiente,** n. 11. Santa Maria, 1995. p. 81-92.

MARCHIORI, J. N. C.; ELESBÃO, L. E. G.; ALVAREZ FILHO, A. O Palmar de Coatepe. **Ciência & Ambiente,** n. 11. Santa Maria, 1995. p. 93-104.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul.** Campos Sulinos.Porto Alegre: EST Ed., 2004. 110p.

MAY, P. Valoração econômica e cobrança dos serviços ambientais de florestas: identificação, registro, compensação e monitoramento de benefícios sociais. In: ROMEIRO, A. R. (org.). **Avaliação e contabilização de impactos ambientais.** Campinas: Ed. UNICAMP, 2004. p. 172 – 182.

MEDEIROS, E.; ROBAINA, L. E.; CABRAL, I. L. L. C. Degradação ambiental na região sudoeste do Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente,** n. 11. Santa Maria, 1995. p. 53-64.

MERICO L.F.K. **Introdução à economia ecológica**. Blumenau: Ed. da FURB, 1996. 160p.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, R. D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de sorção em solos. In: MEURER, E.J. (ed.) **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre: Gênesis, 2006. p. 117- 162.

MICHIELS, J. et al. *Phaseolus vulgaris* is a non-selective host for nodulation. **Microbial Ecology**, v.26. Heidelberg, 1998. p. 193-205

MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas à produtividade, conservação e recuperação de solos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 21. Campinas, 1988. **Anais...** Campinas : SBCS, 1988. p.109-116.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 3. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 209 – 248.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes.** Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. 1992. 365p.

MOÇO, M.K.S. et al. **Composição da fauna edáfica em diferentes ecossistemas florestais da região norte fluminense.** In: FERTIBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa;Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. CD-ROM.

MOÇO, M.K.S. et al. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** n. 29. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 555-564.

MOREIRA, D. Efficient removal of PCR inhibitors using agarose-embedded DNA preparations. **Nucleic Acids Research**, v. 26, n. 13, 1998. p. 3309-3310.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46p.

MULLER F°, I. L. **Notas para o estudo da geomorfologia do Rio Grande do Sul.** Santa Maria: Editora da UFSM, 1970. p. 1-37.

MYROLD, D. Transformations of Nitrogen. In: FUHRMANN, S. D. M. et al. **Principles in applications of soil Microbiology.** New Jersey,1998. p 259-294.

NABINGER, C. Manejo e Produtividade das pastagens nativas do subtrópico brasileiro. In: Simpósio de forrageiras e produção animal, 1. Porto Alegre, 2006. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, 2006. p. 25-76.

NAHAS, E. Solubilização microbiana de fosfato e outros elementos. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, UFLA, 1999. p. 467 – 481.

NEVES, M. C.; RUMJANECK, N. G. Bioquímica e fisiologia da fixação de nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N. et al. (eds.). **Microbiologia do Solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, 360p. p. 141-156.

ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1988. 434p.

OLIVEIRA, E. P.; FRANKLIN, E. Efeito do fogo sobre a mesofauna do solo: recomendações em áreas queimadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n.3. Brasília, 1993. p. 357-369.

OLSON, G. W. Archaeology: lessons on future soil use. **Journal of Soil Water Conservation**, v. 36, 1981. p. 261-264.

PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio em adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, jan.. Brasileira, 2004. p. 35-40.

PILLAR, V. P. et al. **Estado atual e desafios para a conservação dos campos**, Workshop. Porto Alegre: Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 24p.

PINHEIRO, A. Monitoramento e avaliação da qualidade das águas. In: ROMEIRO, A. R. (org.). **Avaliação e contabilização de impactos ambientais.** Campinas: Ed. UNICAMP, 2004. p. 172 – 182.

PINHEIRO, M.; MIOTTO, S.T.S. Flora Ilustrada do Rio Grande do Sul. Fasc. 27. **Leguminosae**: Faboideae, gênero *Lupinus* L. **Boletim do Instituto de Biociências**, n. 60. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 100p.

PÔTTKER, D.; TEDESCO, M.J. Efeito do tipo e tempo de incubação sobre a mineralização da matéria orgânica e nitrogênio total em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, n.1. Campinas, 1979. p. 20-24.

QUEMADA, M.; CABRERA, M. L. Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied clover residues. **Plant and Soil**, v. 189, 1997. p. 127-137.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**: ensaio de monografia natural. 2° ed. Porto Alegre: Selbach, 1960. 438p.

RAPAPORT, E. H. La fauna edáfica y sus aplicaciones em la caracterización de los suelos. In: Congresso Latino-Americano de Biologia do Solo, 2. **Anais...**Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1968. p. 155-173.

REINERT, D. J. et al. Qualidade de solos derivados de Areias Quartzosas da fronteira sudoeste do RS: indicadores físicos. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 2. Santa Maria, 1998. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. p. 34-38.

RESENDE, A. V.; KONDO, M. K. Leguminosas e recuperação de áreas degradadas. **Informe Agropecuário,** v. 22, n. 210. Belo Horizonte, 2001. p. 46-56.

RODRIGUES, L. O. et al. Avaliação da fauna do solo sob vários sistemas de manejo em um latossolo da região dos Cerrados. In: Simpósio sobre Cerrado, 8. Proceedings International Symposium on Tropical Savannas, 1. Planaltina, 1996. **Anais...** Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. p. 375-378.

ROSSATO, R. R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo de milho e trigo sob plantio direto**. Santa Maria, RS. 2004. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ROVEDDER, A.P. M. **Revegetação com culturas de cobertura e espécies florestais para a contenção do processo de arenização em solos areníticos no sudoeste do Rio Grande do Sul.** Santa Maria, RS. 2003. 120f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

ROVEDDER, A. P. M. et al. Fauna edáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 03, n. 2. Lages: CAV/UDESC, 2004. p. 87-96.

ROVEDDER, A. P. M. et al. Produção de fitomassa e conteúdo de nitrogênio de *Lupinus albescens* H. et Arn.: nova alternativa para a recuperação de solos arenizados no sudoeste gaúcho. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, V. Florianópolis, 2004. **Anais..**.. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2004. 1 CD-ROM.

ROVEDDER, A. P. M. et al. Análise da composição florística do campo nativo afetado pelo fenômeno da arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11 n. 4, out-dez, Pelotas, 2005. p. 501-503.

RUSSEL, E. W. A importância da estrutura ativa do solo na história da humanidade. In: Progressos em Biodinâmica do solo. Congresso Latino Americano de Biologia do Solo, 2. Santa Maria, 1968. **Anais...** Santa Maria, 1968. p. 269-283.

SANTOS, A. C. et al. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25. Viçosa, 2001. p. 1063- 1071.

SAUTTER, K. D. Meso (Acari e Collembola) e macrofauna (Oligochaeta) na recuperação de solos degradados. In: In: DIAS, L. E. & MELLO, J. W. V. (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas.** Vol. 1, Viçosa: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1988. 251 p.

SCHIAVO, J. A.; MARTINS, M. A. Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila no município de Campos dos Goytacazes com *Acacia mangium* Willd, colonizada com rizóbio e micorriza. In: Simpósio Brasileiro de Recuperação de Áreas degradadas, 5. Belo Horizonte, 2002. **Anais...** Belo Horizonte, 2002. p. 448-450.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron Oxides In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (eds.). **Minerals in soil environments.** Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 379-437.

SECRETARIA DA AGRICULTURA DO RIO GRANDE DO SUL. Despojamos nosso solo da proteção natural. **Lavoura & Pecuária**, n. 11. Porto Alegre, 1980. p. 4-8.

SILVA, R. A.; CARVALHO, G. S. Ocorrência de insetos na cultura do milho em sistema de plantio direto, coletados com armadilhas de solo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2. Santa Maria, 2001. p. 199-203.

SILVA, L. S. et al. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: Meurer, E. J. (ed.) **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre: Gênesis, 2000. 173p. p45-61.

SILVEIRA, S. N. et al. Uso da análise faunística de insetos na avaliação do impacto ambiental. **Science Agricultural**, v.52, n.1, 1995. p. 9-15.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do solo. 10° Ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

SOUTO, J. J **Deserto, uma ameaça?** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria Geral, , 1984. 169p.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F. Impactos Ambientais de Agrotóxicos: monitoramento e avaliação. In: ROMEIRO, A.R. (org.). **Avaliação e contabilização**

de impactos ambientais. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, São Paulo, SP. p. 112-122, 2004.

SPAIN, J. M.; SALINAS, J. G. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 16. Ilhéus 1984. **Anais...** Ilhéus: CEPLC. 1984. p.259-299.

SPRENT, J. I.; SPRENT, P. **Nitrogen fixing organisms: pure and applied aspects.** 2° Ed. Cambridge: University Press. 1990. p. 256.

STATISTICA FOR WINDOWS RELEASE 4.5 STATSOFT – INC, 1993. **Módulo Cluster Análises**, Joining (Tree Clostering).

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil Plant Science**, n. 49, 1999. p. 1-24.

SUERTEGARAY, D. M. A. **A trajetória da natureza**: **um estudo geomorfológico sobre as areias de Quaraí, RS.** São Paulo, SP. 1987. 243f. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de São Paulo, Departamento de Geografia, São Paulo, 1987.

SUERTEGARAY, D. M. O Rio Grande do Sul descobre os seus desertos. **Revista Ciência & Ambiente,** n, 11. Santa Maria, 1995. p. 33-52.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Deserto grande do sul**: controvérsia. 2° Ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS,1998. 130p.

SUERTEGARAY, D. M. A. et al. Projeto arenização no Rio Grande do Sul, Brasil: Gênese, dinâmica e espacialização. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**, n. 287, 2001. Universidad de Barcelona. Capturado em 29.03.02 Disponível na internet http://www.ub.es/geocrit/b3w-287.htm.

TANAKA, R. T. A adubação verde. **Informe Agropecuário**, n.7. Belo Horizonte, 1981. p.62-67.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

THOMAZINI, M. J.; THOMAZINI, A. P. B. W. **Levantamento de insetos e análise entomofaunística em floresta, capoeira e pastagem no Sudeste Acreano**. Circular Técnica, n. 35. Rio Branco: Embrapa, 2002. 41p.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276.

TRIVELIN, P. C. O. et al. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n.2, Brasília, 2002. p. 193-201.

TRUJILLO, M. E. et al. Nodulation of *Lupinus albus* by strains of *Ochrobactrum lupini* sp. **Applied and Environmental Microbiology**, v.71, n.3, Washington, 2005. p.1318-1327.

UNCCD. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação** – UNCCD – RIO 92. Rio de Janeiro, 1992.

USD. University South Dakota. The Dust Bowl. Disponível em: www.usd.edu/anth/epa/dust.html. Acessado em: 09. 09.2006.

VENTURINI, S. F. et al. Efeito do vermicomposto, uréia e inoculação com *Rhizobium phaseoli* na cultura do feijão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, n. 1. Lages, 2005. p. 52-59.

VERSALOVIC, J. M. et al. Genomic fingerprinting of bacteria using repetitive sequence-based polymerase chain reaction. **Methods Mol. Cell. Biol**., n. 5, 1994. p. 25-40.

VICTORIA, R. L.; PICCOLO, M. C.; VARGAS, A. A. T. O Ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N. et al. (eds.). **Microbiologia do Solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, p. 105-119.

VISSER, S.; PARKINSON, D. Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. **American Journal Alternative Agriculture**, v.7, 1992. p. 33-37.

ZABO, L. et al. Análise de crescimento da cultivar de feijão BR IPAGRO 44 Guapo Brilhante cultivada na safrinha em quatro densidades de semeadura em Santa Maria – RS. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 3, n. 2. Lages: CAV/UDESC, 2004. p. 105-115.

WATT, A. D. et al. Impacto f forest loss and regeneration on insect and diversity. In: Watt, A. D.; Stork, N. E.; Hunter, M. D. (eds). **Forests and insects.** London: Chapmam & Hall, 1997. p. 272-286.

WIETHOLTER, S. Nitrogênio para o trigo obtido através do cultivo intercalar de nabo forrageiro. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1 CD-ROM.

APÊNDICE A - Análise da variância para produção de biomassa e conteúdo de nitrogênio e fósforo na parte aérea de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado e sobre campo nativo. Santa Maria, 2007.

ANOVA		Biomassa		
	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	1	22,1523	22,1523	0,008*
Resíduo	13	29,2572	2,2505	
Total	14	51,4096		
Média	5,43			
CV%	27,64			
		Nitrogênio		
Tratamento	1	76,6927	76,6927	0,106^{NS}
Resíduo	12	301,9544	25,1628	
Total	13	378,6472		
Média	14,64			
CV%	34,26			
		Fósforo		
Tratamento	1	94,3022	94,3022	0,380 ^{NS}
Resíduo	16	1850,5622	115,6601	
Total	17	1944,8644		
Média	19,54			
CV%	55,00			
		Potássio		
Tratamento	1	490,8888	490,8888	0,008*
Resíduo	16	863,1111	53,9444	
Total	17	1354,0000		
Média	25,66			
CV%	28,61			
		Cálcio		
Tratamento	1	3,8364	3,8364	0,004*
Resíduo	16	5,6048	0,3503	
Total	17	9,4412		
Média	2,77			
CV%	21,36			
		Magnésio		
Tratamento	1	0,8234	0,8234	0,009*
Resíduo	16	1,4711	0,0919	
Total	17	2,2946		
Média	0,88			
CV%	34,26			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F.

* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.
^{NS} – diferenças estatisticamente não significativas.

APÊNDICE B – Análise da variância para teor de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomasa da parte aérea de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado e sobre campo nativo. Santa Maria, 2007.

ANOVA		Nitrogênio		
	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	1	0,0245	0,0245	0,721^{NS}
Resíduo	16	2,9757	0,1859	
Total	17	3,0003		
Média	2,47			
CV%	16,60			
		Fósforo		
Tratamento	1	0,0102	0,0102	0,384^{NS}
Resíduo	16	0,2053	0,0128	
Total	17	0,2156		
Média	0,33			
CV%	14,64			
		Potássio		
Tratamento	1	1,4028	1,4028	0,008*
Resíduo	16	2,4021	0,1501	
Total	17	3,8049		
Média	1,5			
CV%	29,00			
		Cálcio		
Tratamento	1	0,0383	0,0383	0,004*
Resíduo	16	0,0560	0,0035	
Total	17	0,0944		
Média	0,4			
CV%	21,36			
		Magnésio		
Tratamento	1	0,0250	0,0250	0.055 ^{NS}
Resíduo	16	0,0940	0,0058	
Total	17	0,1190		
Média	0,55			
CV%	47,00			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F,* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos, ^{NS} – diferenças estatisticamente não significativas.

APÊNDICE C – Análise da variância para produção de biomassa, conteúdos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomassa de raízes de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado e sobre campo nativo. Santa Maria, 2007.

ANOVA		Biomassa		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	1	44664,9843	44664,9843	0,704
	10	2928418,9622	292841,8962	
Total	11			
Média	1263,00			
CV%	43,00			
		Nitrogênio		
Tratamento	1	274,3646	274,3646	0,140
Resíduo		1069.27375035	106.92737503	
Total	11	1343.63841996		
Média	21,23			
CV%	48,71			
		Fósforo		
Tratamento	1	41,9629	41,96294	0,263
Resíduo	11	332,3882	30.21711617	
Total	12	374,3512		
Média	9,28			
CV%	59,21			
		Potássio		
Tratamento	1	371,2929	371,2929	0,128
Resíduo	11	1511,5902	137,4172	
Total	12	1882,8832		
Média	16,00			
CV%	73,40			
		Cálcio		
Tratamento	1	24,3693	24,3693	0,649^{NS}
Resíduo	11	1227,6731	111,6066	
Total	12	1252,0425		
Média	14,00			
CV%	75,76			
		Magnésio		
Tratamento	1	11,8294	11,8294	0,172^{NS}
Resíduo	10	54,6444	5,4644	
Total	11	66,4738		
Média	4,82			
CV%	48,52			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F.
* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.
NS – diferenças estatisticamente não significativas.

APÊNDICE D – Análise da variância para teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomassa de raízes de *Lupinus albescens* sobre solo arenizado e sobre campo nativo. Santa Maria, 2007.

ANOVA	Nitrogênio			
	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	1	0,1196	0,1196	0,225^{NS}
Resíduo	11	0,7956	0,0723	
Total	12	0,9152		
Média	1,53	2973083,9466		
CV%	17,59			
	Fósforo			
Tratamento	1	18,5008	18,5008	0,135^{NS}
Resíduo	10	70,0283	7,0028	
Total	11	88,5291		
Média	6,14			
CV%	43,00			
	Potássio			
Tratamento	1	193,1428	193,1428	0,037*
Resíduo	12	422,5714	35,21428	
Total	13	615,7142		
Média	19,14			
CV%	31,00			
	Cálcio			
Tratamento	1	0,2464	0,2464	0,188^{NS}
Resíduo	11	1,3754	0,1250	
Total	12	1,6219		
Média	1,00			
CV%	35,17			
	Magnésio			
Tratamento	1	0,1748	0,1748	0,056^{NS}
Resíduo	11	0,4202	0,0382	
Total	12	0,5950		
Média	0,48			
CV%	41,00			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F.
* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.
NS – diferenças estatisticamente não significativas.

APÊNDICE E - Análise da variância para produção de biomassa, conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio na parte aérea de *Lupinus albescens* e de *Secale cereale*. Santa Maria, 2007.

ANOVA		Biomassa		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Bloco	3	847,9270	423,9635	0,200^{NS}
Tratamento	1	1189,7600	1189,7600	0,550**
Resíduo	3	4340,4670	2170,2335	
Total	7	6378,1541		
Média	148,25			
CV%	31,42			
		Nitrogênio		
Bloco	3	1,5836	0,5279	0,68^{NS}
Tratamento	1	10,881	10,8811	0,000*
Resíduo	3	2,3197	0,7732	
Total	7	14,7845		
Média	3,0			
CV%	35,20			
		Fósforo		
Bloco	2	0,4450	0,225	0,72^{NS}
Tratamento	1	36,1131	36,1131	0,000*
Resíduo	2	0,6212	0,3106	
Total	5	37,1793		
Média	6,00			
CV%	9,37			
		Potássio		
Bloco	2	4,3564	2,1782	0,88^{NS}
Tratamento	1	881,3664	888,3664	0,000*
Resíduo	2	4,9636	2,4818	
Total	5	890,6864		
Média	16,89			
CV%	9,33			
		Cálcio		
Bloco	2	2,2869	1,1425	0,58^{NS}
Tratamento	1	214,4428	214,4428	0,000*
Resíduo	2	3,9385	1,9693	
Total	5	220,6683		
Média	8,45			
CV%	16,60			
		Magnésio		
Bloco	2	0,4170	0,2085	1,33^{NS}
Tratamento	1	24,6848	24,6848	0,000*
Resíduo	2	0,3130	0,1565	
Total	5			
Média	3,32			
CV%	11,91			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = significância para o teste F; ^{NS} efeito não significativo de blocos;* diferença estatisticamente significativa entre tratamentos;**diferença estatisticamente não significativa entre tratamentos.

APÊNDICE F - Análise da variância para teor de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na biomassa da parte aérea de *Lupinus albescens* e *Secale cereale*. Santa Maria, 2007.

ANOVA		Nitrogênio		
	GL	SQ	QM	PR>F
Bloco	3	0,148693	0,049564	0,271 NS
Tratamento	1	2,200802	2,200802	0,002 *
Resíduo	3	0,068661	0,022887	
Total	7	2,4181560		
Média	1,1			
CV%	13,78			
		Fósforo		
Bloco	3	0,006833	0,002278	0,642 NS
Tratamento	1	0,001755	0,001755	0,535 NS
Resíduo	3	0,010812	0,003604	
Total	7	0,019402		
Média	0,29			
CV%	20,85			
		Potássio		
Bloco	3	0,053080	0,017693	0,506 NS
Tratamento	1	0,658148	0,658148	0,009 *
Resíduo	3	0,054011	0,765240	
Total	7			
Média	0,66			
CV%	20,15			
		Cálcio		
Bloco	3	0,015361	0,005120	0,678 NS
Tratamento	1	0,112480	0,112480	0,039 *
Resíduo	3	0,027533	0,009177	
Total	7	0,155375		
Média	0,34			
CV%	28,21			
		Magnésio		
Bloco	3	0,002977	0,000992	0,287 NS
Tratamento	1	0,013308	0,013308	0,014 *
Resíduo	3	0,001459	0,000486	
Total	7	0,017740		
Média	0,14			
CV%	15,45			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F= significância para o teste F.

NS efeito não significativo de blocos.

* diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.

APÊNDICE G - Análise da variância para produção de biomassa e conteúdo de nitrogênio na parte aérea de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4,8 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007.

		Biomassa		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Blocos	3	12,6266	4,2088	0,114^{NS}
Fator A	2	147,6085	73,8042	0,000**
Fator D	4	6,9076	1,7269	0,492^{NS}
Interação AxD	8	13,5186	1,6898	0,567^{NS}
Resíduo	40	79,6979	1,9924	
Total	57	262,2610		
Média	4,84			
CV%	29,16			
		Nitrogênio		
Blocos	3	2380,481803	793,493934	0,011*
Fator A	2	10886,30164	5443,15082	0,000**
Fator D	4	1400,39710	350,09927	0,134^{NS}
Interação AxD	8	2748,28558	343,535698	0,099^{NS}
Resíduo	38	7085,50639	186,46069	
Total	55	23786,02521		
Média	38,32			
CV%	35,63			

fator A = espaçamento entre linhas de plantio; fator D = densidades de semeadura; A*D = interação entre os fatores A e D; GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = significância para o teste F.

* Efeito significativo de blocos.

** Efeito significativo do fator.

^{NS} efeito não significativo.

APÊNDICE H - Análise da variância para conteúdo de fósforo e potássio na biomassa da parte aérea de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4,8 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007.

		Fósforo		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Blocos	3	379,3378	126,4459	0,006*
Fator A	2	26,0713	13,0356	0,610^{NS}
Fator D	4	166,2858	41,5714	0,195^{NS}
Interação AxD	8	181,1034	22,6379	0,550^{NS}
Resíduo	38	989,3729		
Total	55	1786,5821		
Média	25,03			
CV%	20,38			
		Potássio		
Blocos	3	3363,4210	1121,1403	0,018*
Fator A	2	13412,9362	6706,4681	0,000**
Fator D	4	2696,2768	674,0692	0,077^{NS}
Interação AxD	8	1367,2763	170,9095	0,784^{NS}
Resíduo	36	10539,9852	292,7773	
Total	53	32451,7587		
Média	52,47			
CV%	32.60			

fator A = espaçamento entre linhas de plantio; fator D = densidades de semeadura; A*D = interação entre os fatores A e D; GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = significância para o teste F.

* Efeito significativo de blocos.

** Efeito significativo do fator.

^{NS} efeito não significativo.

APÊNDICE I - Análise da variância para conteúdo de cálcio e magnésio na biomassa da parte aérea de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4,8 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007.

		Cálcio		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Blocos	3	6521,2659	2173,7553	0,000*
Fator A	2	6588,21930	3294,1096	0,000**
Fator D	4	682,2530	170,5632	0,346^{NS}
Interação AxD	8	961,1673	120,1459	0,596^{NS}
Resíduo	39	5769,8546	147,9449	
Total	56	20996,0491		
Média	30,33			
CV%	40,10			
		Magnésio		
Blocos	3	116,7878	38,9292	0,016*
Fator A	2	704,4677	352,2338	0,000**
Fator D	4	40,8723	10,21808	0,406^{NS}
Interação AxD	8	160,9936	20,1242	0,070^{NS}
Resíduo	38	377,9861	9,9470	
Total	55	1422,0074		
Média	9,54			
CV%	33,06			

fator A = espaçamento entre linhas de plantio; fator D = densidades de semeadura; A*D = interação entre os fatores A e D; GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = significância para o teste F.

* Efeito significativo de blocos.

** Efeito significativo do fator.

^{NS} efeito não significativo.

APÊNDICE J - Análise da variância para número de sementes produzidas por planta de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4, 8, 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007.

ANOVA		Número de sementes		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Bloco	3	103680,297	34560,099	0,191^{NS}
A	2	345355,854	172677,927	0,001**
D	4	99922,909	24980,727	0,326^{NS}
A*D	8	363453,111	45431,638	0,052^{NS}
Resíduo	36	746679,535	20741,098	
Total	53	1659091,7083		
Média	525,86			
CV%	27,4			

fator A = espaçamento entre linhas de plantio; fator D = densidades de semeadura; A*D = interação entre os fatores A e D; GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = significância para o teste F.

** Efeito significativo do fator.

^{NS} efeito não significativo.

APÊNDICE K - Análise da variância para número por planta e peso de nódulos de fixação biológica de nitrogênio em raízes de *Lupinus albescens,* em diferentes espaçamentos entre linhas (17, 34, 51 cm) e densidades de semeadura (4,8 12,16 e 20 sementes por metro linear). Santa Maria, 2007.

		Número de nódulos		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Blocos	3	21,7305	7,2435	0,000*
Fator A	2	5,0212	2,5106	0,054^{NS}
Fator D	4	10,2090	2,5522	0,023**
Interação AxD	8	1,7889	0,2236	0,967^{NS}
Resíduo	34	26,7626	0,7871	
Total	51	60,2464		
Média	2,0			
CV%	46,10			
		Peso de nódulos		
Blocos	3	45,386	15,128	0,163^{NS}
Fator A	2	61,692	30,846	0,035**
Fator D	4	1123,346	280,836	0,000**
Interação AxD	8	95,892	11,986	0,217^{NS}
Resíduo	40	336,712	8,417	
Total	57			
Média	1,00			
CV%	36,33			

fator A = espaçamento entre linhas de plantio; fator D = densidades de semeadura; A*D = interação entre os fatores A e D; GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = significância para o teste F.

* Efeito significativo de blocos.

** Efeito significativo do fator.

^{NS} efeito não significativo.

APÊNDICE L - Modelos matemáticos estimados por análise de regressão para espaçamento entre linhas (EL, cm) e densidade de semeadura (DS, plantas por metro linear) para os parâmetros massa seca da parte aérea, conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na massa seca da parte aérea, número de sementes (NS), número de nódulos (ND) e peso de nódulos de fixação biológica de nitrogênio em *Lupinus albescens.* Santa Maria, 2007.

	Modelos matemáticos	R^2	CV %	CV Geral
MS	EL: y = 10,9757 – 0,27845x	0,97	29,58	29,16
	DS: não houve ajuste para os modelos testados	0,98	44,94	
N	EL: 87,57489721 – 2,15023879x	0,98	41	35,63
	DS: y= 17,01903595 + 4,87078867x - 0,24424934x^2	0,95	54,49	
P	EL: não houve ajuste para os modelos testados	1,22	23,00	20,38
	DS: y= 24,4773 + 0,09908389x + 0,0098737x^2 -0,00081194x^3	0,91	23,00	
K	EL: y= 119,91679370 – 3,08408447x	0,97	35,67	32,60
	DS: y= -9,57650096 + 17,28284670x -1,29499679x^2	0,81	46,15	
Mg	EL: 24.41336123 -0.69461144x	0.96	38,57	33,06
	DS: não houve ajuste para os modelos testados	0,71	54,26	
Ca	EL: y= 79,06806113 -2,39285989x	0,94	53,50	40,10
	DS: não houve ajuste para os modelos testados	0,92	64,62	
NS	EL: y = 200,8013+ 14,7703x	1,0	30,50	27,4
	DS: y= 326, 1443 + 43,61809x – 1,9094x^2	1,0	33,00	
ND	EL: y = 1,0782602 – 0,03381453x	0,97	55,00	46,10
	DS: 3.85993633 -0.43194126 x	0,80	55,77	
PN	EL: y= 9,6473 – 0,2076x	0,74	67,00	36,33
	DS: y= 4,3862 +0,9148x – 0,085x^2	1,0	39,00	

APÊNDICE M - Análise da variância para teor de nitrogênio no solo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007.

ANOVA	0-5 cm			
Fontes de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	5	0.00768390	0.00153678	0.000*
Resíduo	30	0.00058829	0.00001961	
Total	35	0.00827219		
Média	0,25			
CV%	17,40			
	5 – 10 cm			
Tratamento	5	0,0035	0,0007	0,000*
Resíduo	30	0,0006	0,00002	
Total	35	0,0041		
Média	0,18			
CV%	25,25			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = significância do teste F.

* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.

APÊNDICE N - Análise da variância para teor de fósforo no solo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007.

ANOVA		0-5 cm		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	5	438,1406	87,6281	0,000*
Resíduo	53	138,6172	2,6154	
Total	58	576,7578		
Média	8,42			
CV%	19,20			
		5-10 cm		
Tratamento	5	548,8366	109,7673	0,000*
Resíduo	54	83,8267	1,5523	
Total	59	632,6633		
Média	8,05			
CV%	15,47			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F.

* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.

APÊNDICE O - Análise da variância para teor de potássio no solo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007.

ANOVA		0-5 cm		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	5	1661,1328	332,2265	0,000*
Resíduo	51	1824,7440	35,7792	
Total	56	3485,8770		
Média	16,81			
CV%	35,58			
		5-10 cm		
Tratamento	5	718,9513	143,7902	0,000*
Resíduo	53	767,1555	14,4746	
Total	58	1486,1069		
Média	12,00			
CV%	31,76			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F.

* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.

APÊNDICE P - Análise da variância para teor de cálcio no solo ($cmol_c$ dm^{-3}) nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007.

ANOVA		0-5 cm		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	5	2,3031	0,4606	0,00*
Resíduo	52	0,6818	0,0131	
Total	57	2,9849		
Média	0,27			
CV%	42,17			
		5-10 cm		
Tratamento	5	0,4392	0,0878	0,000*
Resíduo	54	0,1503	0,0027	
Total	59	0,5895		
Média	0,15			
CV%	35,65			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F.

* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.

APÊNDICE Q - Análise da variância para teor de magnésio no solo ($cmol_c\ dm^{-3}$) nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007.

ANOVA		0-5 cm		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	5	0,6987	0,1397	0,000*
Resíduo	50	0,1961	0,0039	
Total	55	0,8948		
Média	0,12			
CV%	50,31			
			5-10 cm	
Tratamento	5	0,0885	0,0177	0,000*
Resíduo	54	0,1220	0,0022	
Total	59	0,2106		
Média	0,06			
CV%	73,22			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F.

* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.

APÊNDICE R - Análise da variância para teor de carbono no solo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007.

ANOVA	0-5 cm			
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	5	87,9994	17,5998	0,000*
Resíduo	51	7,1600	0,1403	
Total	56	95,1594		
Média	2,15			
CV%	17,41			
	5-10 cm			
Tratamento	5	44,5754	8,9150	0,000*
Resíduo	52	5,1579	0,0991	
Total	57	49,7333		
Média	1,52			
CV%	20,71			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F.

* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.

APÊNDICE S - Análise da variância para teor de alumínio no solo ($cmol_c\ dm^{-3}$) nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, nos tratamentos T1, T3, TN, CN, CN3 e SA. Santa Maria, 2007.

ANOVA		0-5 cm		
Fonte de variação	GL	SQ	QM	PR>F
Tratamento	5	0,2861	0,0572	0,000*
Resíduo	45	0,1641	0,0036	
Total	51	0,4502		
Média	0,21			
CV%	28,94			
		5-10 cm		
Tratamento	5	0,0463	0,0092	0,000*
Resíduo	54	0,2939	0,0054	
Total	59	0,3402		
Média	0,26			
CV%	27,89			

GL = grau de liberdade; SQ =soma de quadrados; QM = quadrado médio; PR>F = grau de significância para o teste F.

* - diferença estatisticamente significativa entre tratamentos.

APÊNDICE T – Ilustrações.

Figura 19 - Início de arenização em meio ao campo nativo. Rovedder, 2006.

Figura 20 – Efeito da formação de trilhas pela passagem do gado sobre a vegetação e o solo. Rovedder, 2004.

Figura 21 - Banco de plântulas formado pela dispersão de sementes de *Lupinus albescens* em solo arenizado. Rovedder, 2005.

A B

Figura 22 - Aspectos da fase reprodutiva: detalhe da inflorescência (A) e da formação de vagens (B) em *Lupinus albescens*. Rovedder, 2005.

Figura 23 - Colonização de *Lupinus albescens* em talude de abertura de estrada anteriormente descoberto. Rovedder, 2006.

Figura 24 - Retorno do campo nativo sob resíduo de revegetação com *Lupinus albescens* em solo anteriormente arenizado. Nota-se a presença de resíduos ainda em pé e a formação de um novo adensamento da espécie. Rovedder, 2003.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo