

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROBIOLOGIA**

**RECUPERAÇÃO DE SOLO EM PROCESSO DE  
ARENIZAÇÃO COM O USO DE ESPÉCIES VEGETAIS  
EM POMAR DE AMOREIRA-PRETA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Jéssica Cristine Viera Machado**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2012**

**RECUPERAÇÃO DE SOLO EM PROCESSO DE  
ARENIZAÇÃO COM O USO DE ESPÉCIES VEGETAIS EM  
POMAR DE AMOREIRA-PRETA**

Jéssica Cristine Viera Machado

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia, Área de concentração Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agrobiologia.**

Orientador: Dr. Sandro José Giacomini

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Educação  
Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**RECUPERAÇÃO DE SOLO EM PROCESSO DE ARENIZAÇÃO COM O  
USO DE ESPÉCIES VEGETAIS EM POMAR DE AMOREIRA-PRETA**

Elaborada por  
**Jéssica Cristine Viera Machado**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Agrobiologia

Comissão Examinadora

Sandro José Giacomini, Dr.  
(Orientador)

Zaida Inês Antonioli, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)

Carlos Augusto Posser Silveira, Dr.  
(Embrapa Clima Temperado)

**Santa Maria, 27 julho de 2012.**

*Aos meus pais, Darci Machado e Cleci Verani Viera Machado, que nunca mediram esforços e sempre me apoiaram na busca por meus objetivos.*

**Dedico...**

## **AGRADECIMENTOS**

*Á Deus, por sempre iluminar meu caminho e guiar meus passos.*

*Aos meus pais Darci Machado e Cleci Verani Viera Machado, pelo carinho constante e enorme confiança em mim depositada.*

*Ao meu noivo, Ronaldo Comin Santini, por todo apoio, incentivo, cumplicidade, paciência nos momentos de ausência e alegrias que sua companhia me proporcionou.*

*Ao professor Sandro José Giacomini, pela oportunidade.*

*Aos professores Zaida Inês Antonioli e Celso Aita por aceitarem o convite para integrarem a comissão de orientação e pela ajuda durante as atividades e realização da docência.*

*Ao professor Rodrigo Seminoti Jacques pelo tempo disponibilizado no esclarecimento de dúvidas no decorrer das atividades.*

*Ao Doutor em Ciência do Solo Ricardo Bemfica Steffen pela grandiosa ajuda nas avaliações estatísticas.*

*Á Mestre em Ciência do Solo Marta Eliane Doumer pelo apoio prático a mim disponibilizado durante a realização das avaliações de laboratório.*

*Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria pela disponibilidade e empréstimo de materiais e transporte.*

*Aos integrantes da equipe do Labcen- Laboratório de Biotransformação do Carbono e do Nitrogênio pela colaboração no decorrer das atividades: Aílson , Alex, Luana, Raquel , Isaias, Diego, Marciel, Leonardo , Guilherme, Eduardo, Getúlio, Wiliam, Ricardo.*

*Aos meus colegas e amigos do Programa de Pós Graduação em Agrobiologia da Universidade Federal de Santa Maria.*

*Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Estudos.*

*Á todos que fizeram parte de mais esta fase da minha vida e que, de uma forma ou outra contribuíram para esta conquista, meus sinceros agradecimento.*

**MUITO OBRIGADA!**

***“Tudo posso naquele que me fortalece”.***

(Filipenses 4:13)

## RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia

Universidade Federal de Santa Maria

### **RECUPERAÇÃO DE SOLO EM PROCESSO DE ARENIZAÇÃO COM O USO DE ESPÉCIES VEGETAIS EM POMAR DE AMOREIRA-PRETA**

AUTOR: Jéssica Cristine Viera Machado

ORIENTADOR: Sandro José Giacomini

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de Julho de 2012.

Na região sudoeste do Rio Grande do Sul (RS) existem extensas áreas com solos arenosos em processo de arenização. O objetivo deste estudo foi de avaliar o efeito de diferentes culturas intercalares a amoreira-preta sobre a recuperação de solo em processo de arenização e produtividade da cultura na região Sudoeste do RS, no município de São Francisco de Assis. O solo do experimento foi um Neossolo Quartzarênico típico com 60 g kg<sup>-1</sup> de argila e 0,5 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica na camada de 0-10 cm. Os tratamentos avaliados nas entrelinhas da amoreira-preta foram os seguintes: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*)/aveia preta (*Avena strigosa*) (FP-AP); *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*) (BRA); e campo nativo (CN). A recuperação do solo no pomar foi medida através da avaliação da recuperação dos estoques de C e N no solo e de indicadores biológicos como, a atividade enzimática e a fauna do solo em relação ao campo nativo sob pastejo tradicional (CN-T). Os tratamentos FP-AP, BRA e CN nas entrelinhas da amoreira-preta resultaram em melhora das condições biológicas do solo em relação ao CN-T. A combinação de feijão-de-porco e aveia-preta nas entrelinhas da amoreira-preta apresentou maior produção de matéria seca da parte aérea e acúmulo de C e N. A BRA foi a espécie que se destacou quanto a capacidade de promover o aumento do estoque de C e N no solo na entrelinha da amoreira-preta. Efeito esse devido possivelmente ao sistema radicular agressivo desta gramínea. A permanência do CN nas entrelinhas da amoreira-preta, além de permitir a obtenção de média produtividade de frutos, se apresenta como uma alternativa para a redução no custo de implantação e condução do pomar com essa espécie frutífera na região dos solos arenosos do sudoeste do RS. A amoreira-preta apresentou adaptação às condições edafoclimáticas dos solos arenosos do sudoeste do RS, podendo ser considerada como alternativa para a recuperação e redução do avanço das áreas arenizadas e também como uma possibilidade de fonte de renda para o produtor rural desta região do estado.

**Palavras-chave:** Carbono. Fauna do solo. Atividade enzimática. Plantas de cobertura de solo.

## ABSTRACT

Master Dissertation

Graduation Program in Soil Science

Federal University of Santa Maria

### RECOVERY OF THE SOIL IN SANDIFICATION PROCESS BY INTERCROPPING BLACKBERRY WITH DIFFERENT PLANT SPECIES

AUTHOR: Jéssica Cristine Viera Machado

ADVISOR: Sandro José Giacomini

Defense Place and Date: Santa Maria, July 27<sup>th</sup>, 2012.

The southwest region of Rio Grande do Sul (RS) state has widespread areas with sandy soils in the process of sandification. In the present study, we report the effect of different intercropping in blackberry plants on the soil recuperation and crop productivity. The experiment was conducted in São Francisco de Assis located in southwest region of the RS. The soil was a typical Psament with 60 g kg<sup>-1</sup> clay and 0.5 g kg<sup>-1</sup> organic matter in the top 0-10 cm layer. The crops that were intercropped with blackberry were jack bean (*Canavalia ensiformis*) / oat (*Avena strigosa*) (JB-O); *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*) (BRA) and native grass (NG). The soil recuperation was measured by assessing the C and N stocks in the soil and biological indicators such as the enzymatic activity and soil fauna in relation to traditional grazing native grass (GNP). Results showed that intercropping of crops with blackberry improved soil biological conditions in relation to the GNP. Intercropping of JB-O with blackberry resulted in high dry matter production and C and N accumulation in shoots. Similarly, among the crops BRA appeared to be the crop that has potential to increase C and N stocks in the soils. This effect could be explained the rooting system of this grass. The presence of NG under blackberry helped to achieve average fruit yield and could be used as a strategy to establish the cultivation of blackberry in this region. Moreover, blackberry showed adaptation to the ecological conditions of the sandy soils and can be considered as an alternative crop for 1) recovering and reducing the outspread of sandification 2) as a possible source of income for the farmers of this region.

**Keywords:** Carbon. Soil fauna. Enzymatic activity. Cover crops.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Desenho esquemático com detalhes da Armadilha Provid (ANTONIOLLI et. al, 2006) e foto da armadilha instalada em uma parcela do experimento.....	15
<b>Figura 2</b> - Atividade a hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) no solo dos tratamentos intercalares a amoreira-preta e da área controle no outono (a) e na primavera (b) em São Francisco de Assis/RS. FP-AP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; CN: campo nativo; BRA: Braquiária; CN-T: campo nativo sob pastejo tradicional....	22
<b>Figura 3</b> - Atividade da enzima $\beta$ -glucosidase no solo dos tratamentos intercalares a amoreira-preta e da área controle no outono (a) e na primavera (b) em São Francisco de Assis/RS. FP-AP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; CN: campo nativo; BRA: Braquiária; CN-T: campo nativo sob pastejo.....	23
<b>Figura 4</b> - Produtividade de frutos de amoreira-preta cultivada em associação com diferentes espécies de plantas na entrelinha em São Francisco de Assis/RS.. FP-AP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; CN: campo nativo; BRA: Braquiária.....	29

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Matéria seca, carbono e nitrogênio acumulado nos tratamentos na entrelinha da amoreira-preta. ....	17
<b>Tabela 2</b> - Estoques de carbono e nitrogênio no solo dos tratamentos nas entrelinhas da amora-preta e na área controle ao final do segundo ano de condução do experimento em São Francisco de Assis/RS. ....	20
<b>Tabela 3</b> - Número de indivíduos por grupo mais expressivos, coletados nos tratamentos nas entrelinhas da amora-preta e no controle, nas quatro estações do ano. São Francisco de Assis/RS. ....	25
<b>Tabela 4</b> - Valores médios encontrados para os índices de diversidade de Simpson e Shannon e riqueza e abundância de espécies nos tratamentos nas entrelinhas da amora-preta e no controle, nas quatro estações do ano. São Francisco de Assis/RS. ..	27

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1 Processos de arenização na região Sudoeste do RS .....	5
2.2 Qualidade do solo e recuperação de áreas degradadas.....	7
2.3 Atividade Enzimática .....	8
2.4 Fauna do Solo.....	10
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4.1 Produção de biomassa e acúmulo de N pelas plantas intercalares .....	17
4.2 Estoque de carbono e nitrogênio no solo .....	19
4.3 Enzimas .....	21
4.4 Fauna do solo .....	24
4.5 Produtividade da amoreira-preta .....	28
5 CONCLUSÕES .....	31
6 REFERÊNCIAS .....	32

# 1 INTRODUÇÃO

O solo é um importante recurso natural que suporta a flora, a fauna, as atividades agropastoris, o armazenamento da água e as edificações do homem, podendo ser considerado um componente vital para os agroecossistemas no qual ocorrem os processos e ciclos de transformações físicas, biológicas e químicas, e quando mal manejado pode degradar todo o ecossistema (STRECK et al., 2002), implicando em riscos ambientais com impacto negativo para as comunidades rurais e repercussão no meio urbano (REICHERT et al., 2003).

Estudos da FAO (2008) apontam que a degradação do solo em nível mundial está aumentando em gravidade e extensão, sendo o mau manejo do solo a principal causa. Segundo a ONU há 2 bilhões de hectares de solos degradados no planeta e, de acordo com a Embrapa (2002), 200 milhões estão no Brasil, sob ações como cultivo de solos sem aptidão agrícola, mineração, construção de estradas, represas e áreas industriais.

No Brasil, na década de 50, iniciou-se o processo de modernização do campo, que se acentuou a partir da década de 60, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, e expandiu para outras regiões, sobretudo a partir da década de 70 (TEIXEIRA, 2005). No Rio Grande do Sul (RS), essa modernização trouxe consigo graves conseqüências em termos de degradação ambiental, tendo na introdução do cultivo da soja e no pisoteio do gado os principais responsáveis pela intensificação dos processos erosivos do solo (SUERTEGARAY, 2001).

Esse trabalho utiliza o conceito de arenização (SUERTEGARAY, 1987), o qual é um processo de retrabalhamento de depósitos arenosos pouco ou não consolidados, que acarreta nessas áreas uma dificuldade de fixação da cobertura vegetal, devido à intensa mobilidade dos sedimentos pela ação das águas e dos ventos. Conseqüentemente arenização indica uma área de degradação, relacionada ao clima úmido, em que a diminuição do potencial biológico não desemboca, em definitivo, em condições de tipo deserto. Ao contrário, a dinâmica dos processos envolvidos nesta degradação dos solos é fundamentalmente derivada da abundância de água. A Região Sudoeste do RS é identificada como área de atenção especial (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 1997), isto é, apresenta forte processo de degradação ambiental derivado da ação do homem.

A introdução da agricultura mecanizada nesses solos arenosos, constituídos basicamente de pastagens com gramíneas, provocou a oxidação da matéria orgânica da camada superficial e o avanço do processo de arenização. Nesta situação o crescimento da

maioria das espécies vegetais é limitado em razão da deficiência em nitrogênio, já que a disponibilidade deste nutriente está diretamente relacionada ao teor de matéria orgânica do solo. Aliado a isso, a pecuária extensiva também contribuiu para a degradação desses solos pela redução da biomassa vegetal que protege o solo. Isso porque, além da fragilidade física esses solos apresentam baixa fertilidade natural (AZEVEDO; KAMINSKI, 1995), o que acarreta em uma vegetação escassa, a qual não cobre totalmente a superfície do solo.

Na região sudoeste do RS, mais especificamente na região dos solos arenosos a degradação do solo tem efeitos negativos sobre as condições socioeconômicas da população local. Essa degradação tem ocasionado uma perda da qualidade de vida do homem do campo e, conseqüentemente, do aumento da pobreza nessa região. Assim, além de recuperar as áreas degradadas é necessário propor alternativas para que o processo de arenização seja reduzido e que as áreas agricultáveis possam ser inseridas em sistemas agrícolas (silvicultura, fruticultura, pastagens, produção de grãos). Considerando que essa região apresenta uma pluviometria próxima a 1.400 mm anuais, o que limita principalmente seu uso para fins agrícolas é o elevado grau de degradação das condições físicas, químicas e biológicas desses solos. Acredita-se que a melhora dessas características possa ser obtida através de sistemas que utilizem o não revolvimento do solo e a maximização dos dois principais processos biológicos que ocorrem na natureza, a fotossíntese e a fixação biológica de N (FBN).

O uso da fruticultura como forma de recuperar e impedir o avanço da arenização do solo baseia-se no mesmo princípio da inclusão de plantas para a produção de madeira. Nesses dois sistemas de produção o solo não é revolvido e pode permanecer permanente coberto, seja por uma cobertura vegetal viva ou por resíduos culturais. A inclusão de plantas de cobertura, principalmente leguminosas, também deverá favorecer o aporte de C e N ao solo, melhorando a ciclagem de nutrientes e com isso promover uma redução na demanda de fertilizantes nitrogenados. Considerando as condições dos solos em processo de arenização, as espécies frutíferas devem ser bastante rústicas e adaptadas a solos arenosos. Entre as espécies frutíferas com essas características se destaca a amoreira-preta (PEREIRA et al., 2009). Segundo Pereira et al. (2009) a amoreira-preta é uma espécie do grupo das pequenas frutas, cuja intensa exigência de mão-de-obra, torna-a uma importante fonte geradora de empregos, desempenhando papel social fundamental, além de possibilitar excelente retorno econômico em áreas de pequeno cultivo, num curto espaço de tempo. Além disso, o autor relata que o fruto da amoreira-preta apresenta compostos funcionais, com destaque para os compostos antocianicos, polifenóis com elevada capacidade antioxidante e que tem sido associados a redução do risco de desenvolvimento de tumores, entre eles o câncer de esôfago.

A produção de amoreira-preta no mundo ocupa área de 20 mil hectares, distribuídos em todos os continentes. Cerca de dois terços da produção são destinados ao processamento e o restante os mercado de frutas frescas (STRIK et.al. 2007). A amoreira é uma espécie arbustiva de porte ereto ou rasteiro (CRANDALL, 1995), que produz frutos agregados, com cerca de 4 a 12 gramas, de coloração negra, saber ácido a doce-ácido e possui baixa conservação em pós-colheita. Apresenta espinhos em suas principais cultivares comerciais, o que exige do operados da colheita muito cuidado com sua integridade física, assim como com a qualidade da fruta (ANTUNES et.al., 2006a, 2006 b). No RS as maiores produções de amoreira-preta encontram-se nos municípios de Vacaria, Campestre da Serra e Ipê, onde a cultivar Tupy responde por 70% da área cultivada, com produção a partir de 20 de novembro (HOFFMANN et.al, 2005). É um cultivo de retorno rápido, pois já no segundo ano entra em produção e dá ao pequeno produtor opções de renda, destinando seu produto ao mercado *in natura*, indústria de produtos lácteos e congelados, fabricação de geléias caseiras (ANTUNES et.al. 2004). A produtividade pode chegar até 10.000 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> sob condições adequadas (ANTUNES et. al., 2000a).

Atualmente vários atributos físicos, químicos e biológicos do solo são utilizados para avaliar a recuperação de solos em de áreas degradados (BURNS, 1978). Os atributos biológicos são considerados os mais sensíveis às modificações do ambiente e normalmente fornecem repostas em curto período de tempo a partir da aplicação de métodos de recuperação de solos degradados. A atividade enzimática tem sido relatada como um importante indicador da qualidade do solo, pois controla a liberação de nutrientes para plantas e o crescimento microbiano (BURNS, 1978). No Brasil, a maioria dos estudos realizados envolvendo enzimas ocorreu em regiões de clima Tropical, principalmente no Cerrado Brasileiro. Nesses locais observa-se que geralmente a atividade da  $\beta$ - glucosidase apresenta grande variação na profundidade 0-5 cm, sendo que nem sempre os locais com vegetação nativa apresentam os maiores valores quando comparados aos solos cultivados (REIS-JUNIOR; MENDES, 2006). A diversidade de insetos edáficos pode revelar o nível de qualidade ambiental, a partir do qual podem ser determinadas intervenções a fim de manter, recuperar ou restaurar a sanidade ambiental, atingindo a sustentabilidade ecológica dos ecossistemas (WINK et al., 2005). A respiração do solo é um atributo usado para monitorar a decomposição da matéria orgânica, sendo considerada um importante indicador da atividade microbiana do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1990). Atualmente, considerando a importância dos indicadores biológicos para os processos que ocorrem no solo, verifica-se que estudos a respeito da quantidade e atividade

da biomassa microbiana podem fornecer subsídios para o planejamento correto do manejo do solo.

Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes culturas intercalares na recuperação de solo em processo de arenização e na produtividade da amoreira-preta na região Sudoeste do RS, no Município de São Francisco de Assis. A recuperação do solo foi medida através da avaliação da recuperação dos estoques de C e N no solo e de indicadores biológicos como, a atividade enzimática e a fauna do solo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Processos de arenização na região Sudoeste do RS**

A região sudoeste do RS vivencia um processo de arenização que vem ocorrendo ao longo de milhares de anos devido à fragilidade natural do ecossistema, associada à erosão eólica e intensificada pelas práticas inadequadas de manejo do solo. A formação dos areais, interpretada a partir de estudos geomorfológicos, somada à dinâmica hídrica e eólica indica que os areais resultam inicialmente de processos hídricos (SUERTEGARAY, 2001).

No Brasil a grande maioria dos solos está sob algum tipo de degradação. Ações como cultivos intensos e contínuos, queimadas indiscriminadas, desmatamentos, urbanização sem planejamento, áreas de terra desnudas e abandonadas estão livres para os agentes naturais como o vento e a água, e assim, favorecendo a degradação desses solos. O chamado processo de arenização, ou seja, a transformação de um solo muito arenoso com uma cobertura vegetal fraca, em uma área com areia sem nenhuma ou quase nenhuma cobertura vegetal, pode ocorrer em poucos anos, dependendo da intensidade com que manejos inadequados de agricultura ou pecuária são conduzidos sobre estas áreas.

A gênese da arenização ocorre pela influência de fatores edáficos, geomorfológicos e climáticos incidindo sobre o material de origem, ocasionando, primeiramente, na formação de ravinas e, posteriormente, pela erosão lateral e regressiva, originando voçorocas (SUERTEGARAY, 1987). A ocorrência de chuvas possibilita o transporte de sedimentos arenosos, desta forma iniciando o processo de arenização, em condições de declividade e posição no relevo favoráveis. A erosão eólica, entretanto, interfere remobilizando o sedimento arenoso inconsolidado transportado na erosão hídrica. 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 relevo elevado, a incidência das chuvas, atuando na movimentação de sedimentos descendentes, resulta em depósitos nas bases destas formações, os quais dão origem aos areais.

Aproximadamente 1,4 milhões de hectares da região Sudoeste do RS são constituídos por solos arenosos (SOUTO, 1994) do tipo Neossolo Quartzarênico Órtico. Em consequência de sua fragilidade, esses solos têm apresentado o processo de arenização. Considerando que essa região apresenta uma pluviometria próxima a 1.400 mm anuais, o que limita principalmente seu uso para fins agrícolas é o elevado grau de fragilidade intrínseca das



condições físicas, químicas e biológicas desses solos. Segundo Suertegaray (1998), antes mesmo dessa região ter sido colonizada já existiam relatos da ocorrência de fragilidade intrínseca do solo, indicando que esse processo tem origem natural pela erosão geológica. No entanto, a ação do homem através do uso do solo para fins agrícolas a partir da década de 70 intensificou esta condição levando-os a um estágio avançado de degradação.

A região de ocorrência dos solos que apresentam areais está localizada a partir do meridiano de 54° em direção oeste até a fronteira com a Argentina e Uruguai (Anexo A). A degradação do solo nesta região se manifesta com vastas áreas apresentando a forma de areais. Estes areais ocupam uma larga faixa onde se localizam os municípios de Alegrete, Cacequi, Itaqui, Maçambará, Manuel Viana, Quaraí, Rosário do Sul, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda. O processo de arenização no Estado do RS, que ocorre em sua região sudoeste, deve-se a presença de dunas eólicas do antigo deserto de Botucatu, constituinte da denominada Formação Botucatu, o qual originará solos de textura muito arenosa, tais como o Neossolo Quartzarênico.

Os Neossolos Quartzarênicos são originados de depósitos arenosos, apresentando textura areia ou areia franca ao longo de pelo menos 2 m de profundidade. Esses solos são constituídos essencialmente de grãos de quartzo, sendo, por conseguinte, praticamente destituídos de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo (Anexo A).

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. Atualmente com o avanço das pesquisas sobre o tema, sabe-se que estes solos são naturalmente pobres em fertilidade natural.

Ao final da década de 70, inicia-se um dos estudos pioneiros sobre arenização, o chamado Plano Piloto de Porto Alegre, realizado através de convênio firmado pela Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul e Ministério da Agricultura. 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”.

A Universidade Federal de Santa Maria vem estudando a arenização desde 1997, realizando experimentos com o objetivo de conhecer a dinâmica deste processo, 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).

No Sudoeste do RS, devido às características, um dos principais agentes de expansão dos areais é o processo de erosão eólica. Principalmente quando formados em relevo plano, nota-se grande influência deste agente erosivo no transporte de partículas e no soterramento do campo ao redor. 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, ou seja, causas naturais, não antrópicas. 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.

Os efeitos da erosão eólica são proporcionais à velocidade dos ventos e a 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. Esses ventos ganham forças erosivas, principalmente em determinados locais da paisagem, como cabeceiras de drenagem, vertentes e extensos interflúvios planos da região.

Solos arenosos do Bioma Pampa são de difícil recuperação após serem perturbados, apresentando baixa resiliência, devido à fragilidade dos componentes solos e cobertura vegetal. Um dos principais passos para a 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.

## **2.2 Qualidade do solo e recuperação de áreas degradadas**

O solo é fundamental para a sustentabilidade e produtividade de ecossistemas naturais e agrícolas. A qualidade do solo é um conceito desenvolvido para caracterizar o uso e a saúde do solo. Uma definição geral da qualidade do solo é a aptidão que um solo tem para um uso específico. 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.

O conceito de qualidade do solo data de civilizações muito antigas (DORAN et al., 1996) e compreende um subconjunto fundamental da qualidade ambiental. No final da década de 70 e durante os dez anos seguintes esteve muito associado ao conceito de fertilidade, sendo um solo considerado de alta qualidade quando se apresentava quimicamente rico (ZILLI et al., 2003). No entanto, os conceitos foram renovados e o solo de alta qualidade passou a ser visto de outra forma. Segundo Gil-Sotres et al. (2005), há duas opções para definir o termo qualidade do solo. A primeira considera que a qualidade máxima do solo é a de um solo que está em equilíbrio com todos os outros componentes do ambiente. A segunda opção considera que a referência de qualidade máxima está relacionada aos solos capazes de manter alta produtividade, causando o mínimo de distorção no ambiente.

A avaliação da qualidade de solos compreende características físicas, químicas e biológicas. Índices de qualidade de solo têm sido propostos, baseados em modelos matemáticos que combinam medidas de diferentes características indicadoras de qualidade, às quais, geralmente, se atribuem pesos de acordo com sua importância. Algumas características podem ser comparadas às de ecossistemas naturais estáveis, como florestas. Características que têm sido utilizadas são: pH, CTC, matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, densidade e profundidade de solo, aeração, ausência de toxicidade, ciclagem eficiente, infiltração e disponibilidade de água, estabilidade de agregados; e características biológicas como: biomassa microbiana, atividade enzimática, diversidade, densidade e atividade de grupos funcionais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A manutenção da qualidade do solo é princípio fundamental das técnicas de manejo conservacionistas, muitas das quais desenvolvidas antes mesmo do conceito de qualidade se firmar como norteador para o uso sustentável. Os processos acentuados de degradação que ocorreram durante o século XX, serviram como agente propulsor para técnicas conservacionistas. Já 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 de capacidade produtiva (ROVEDDER, 2007).

### **2.3 Atividade Enzimática**

Em células vivas as reações químicas são catalisadas por um grupo especial de proteínas que apresentam alta especificidade funcional, denominadas enzimas. São essenciais a todas as formas de vida, e têm sua síntese e atividade muito bem reguladas. Podem atuar

fora da célula, ou seja, excretadas no meio, permanecem ativas, mesmo sem o crescimento microbiano (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). As exoenzimas estão constantemente sendo sintetizadas, acumuladas, inativadas e/ou decompostas, enquanto desempenham seu importante papel tanto nos sistemas naturais, quanto nos sistemas agrícolas. Como grande parte das transformações bioquímicas do solo é dependente ou relacionada à presença de enzimas, a avaliação de suas atividades pode ser útil para indicar se um solo está desempenhando adequadamente processos que estão intimamente ligados a sua qualidade.

A atividade enzimática pode ser influenciada por propriedades do solo como: umidade e quantidade de conteúdo orgânico (JORDAN et. al., 1995), também pela dinâmica da água e distribuição da biomassa no solo (AMADOR et. al., 1997) e por práticas de manejo (MATSUOKA, 2006). O cultivo do solo costuma reduzir suas atividades enzimáticas (GUPTA; GERMIDA, 1988) sendo que os solos manejados com cultivo reduzido ou plantio direto costumam apresentar atividades enzimáticas mais altas do que aqueles que sofreram mobilizações (ANGERS et. al., 1993). A temperatura influencia diretamente a atividade dos microrganismos no solo, e conseqüentemente a atividade enzimática, desempenhando um papel chave no controle dos ciclos biogeoquímicos, com efeitos sobre o conteúdo e emissão de carbono e metano (MOOR; DALVA, 1993).

A arilsulfatase é uma enzima de atividade hidrolítica, que se encontra ligada à parede celular dos fungos e bactérias Gram-negativas e positivas. Essa enzima é responsável pela mineralização do enxofre orgânico no solo. A atividade da arilsulfatase no solo é influenciada pela variação na profundidade, teor de carbono, nitrogênio e pela capacidade de troca catiônica do solo. Sua atividade é inibida tanto pela presença do enxofre na forma inorgânica como orgânica (TABATABAI, 1994).

As glucosidases podem ser encontradas em plantas, animais e microorganismos, catalisam reações de hidrólise de maltose e celobiose, cujos produtos são importantes fontes de energia para microorganismos do solo (TABATABAI, 1994).

As enzimas chamadas de fosfatases catalisam a hidrólise da ligação éster de fosfato. Há três grupos de fosfatase, de acordo com o tipo de ligação fosfórica que hidrolisam: fosfomonoesterases, fosfodiesterases e fosfotriesterases. As fosfomonoesterases têm sido muito estudadas, pois transformam o fósforo orgânico em inorgânico, que pode ser absorvido pelas plantas. Estas enzimas classificam-se em ácidas, neutras e alcalinas, dependendo do pH ótimo para que a hidrólise ocorra (TABATABAI, 1994).

As ureases participam do ciclo do N, contribuindo para liberação de N-orgânico, catalisam a hidrólise da uréia a  $\text{CO}_2$  e  $\text{NH}_3$ , é amplamente distribuída na natureza e é

detectada em microorganismos, plantas e animais. A urease foi a primeira enzima cristalizada em 1926. É encontrada principalmente em sementes de plantas, microorganismos e invertebrados (REYNOLDS et al., 1987).

O método da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) também pode ser usado para estimar a atividade microbiana, detectando células microbianas ativas em cultura pura ou no solo, sendo que a reação pode ser catalisada pelas próprias células ou pelas enzimas extracelulares. Os microorganismos, algas, protozoários e tecidos animais estão habilitados a catalisar esta reação (MONTEIRO, 2000). O método é aplicado, com sucesso, em várias classes de solos submetidos a diferentes práticas de manejo em biomas brasileiros (MATTOS et al., 2008).

As enzimas têm participação essencial nos processos relacionados à qualidade do solo e como são sintetizadas, principalmente, pelos organismos que nele crescem, as condições que favorecem a atividade da biota como adubação orgânica, presença de vegetação e rotação de culturas, também favorecem a atividade enzimática, que muitas vezes, relaciona-se positivamente com produtividade ou com a qualidade do solo. Por essa razão e por serem muito sensíveis a mudanças no solo as enzimas são consideradas bons indicadores de qualidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

## **2.4 Fauna do Solo**

A fauna edáfica representa uma força motriz na decomposição e ciclagem dos nutrientes (HÖFER et al., 2001). Ela ocupa diversos níveis tróficos dentro da cadeia alimentar no solo e afeta a produção primária de maneira direta e indireta (AQUINO et al., 2008a). A macrofauna edáfica é representada por animais com diâmetro do corpo maior do que 2 mm, como formigas, coleópteros, aranhas, minhocas, centopéias, térmitas, diplópodes, etc. (AQUINO et al., 2008b).

A diversidade biológica é definida como a variabilidade entre os organismos vivos. Os organismos edáficos apresentam alta diversidade metabólica e fisiológica o que os torna extremamente versáteis para ocupação dos diversos nichos ecológicos. Alguns grupos de animais são responsáveis pela predação de outros invertebrados e outros contribuem diretamente na modificação da estrutura do solo, por meio de sua movimentação pelo perfil (CORREIA; ANDRADE, 2008), sendo por isso, comumente denominados de “engenheiros

do solo” (LAVELLE et al., 1997). Os invertebrados do solo alteram as populações e atividade de microrganismos responsáveis pelos processos de mineralização e humificação da matéria orgânica do solo e, portanto, exercem influência sobre a disponibilidade de nutrientes assimiláveis pelas plantas (DECAËNS et al., 2003). A composição da comunidade da macrofauna edáfica do solo e sua abundância são indicadores da biodiversidade do solo e da intensidade das atividades biológicas (VELÁSQUEZ et al., 2007).

A agricultura intensiva envolve elevado uso de insumos externos, que promovem alterações importantes na estrutura das comunidades, abundâncias e biomassas da fauna e microbiota do solo (MARCHÃO et al., 2009) e sobrepõem-se a processos biológicos do solo na definição da produtividade agrícola (ANDERSON, 2009). Contudo, para manutenção da qualidade do solo e da sustentabilidade de seu uso é fundamental que a abundância e diversidade de espécies da macrofauna edáfica seja promovida (SILVA et al., 2008).

As alterações causadas pela atividade agrícola podem ocorrer indiretamente, pela melhoria na fertilidade do solo e aumento da qualidade nutricional dos resíduos, que possibilitariam colonização de habitats antes desfavoráveis. Também podem ocorrer diretamente pelo efeito negativo do revolvimento do solo e da aplicação de defensivos agrícolas (MARCHÃO, 2007).

O uso de diferentes coberturas vegetais e de práticas culturais podem atuar diretamente sobre a população da fauna edáfica. Esse efeito, muitas vezes, está relacionado à permanência de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo. As coberturas geralmente formam uma camada espessa de folhas mortas, com vários estratos de matéria fresca e em decomposição, capaz de abrigar uma fauna mais diversificada (CANTO, 1996).

Os organismos edáficos, por sua sensibilidade a alterações no meio, têm sido utilizados como indicadores de modificações nos níveis de qualidade do solo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em experimento instalado em agosto de 2009, em área experimental localizada a 29°33' latitude sul e a 55°07' longitude oeste no município de São Francisco de Assis, RS (Anexo B), pertencente à mesorregião Sudoeste Riograndense e Microrregião Campanha Ocidental. A área encontra-se em uma zona de transição entre o Planalto e a Campanha Gaúcha, onde o relevo apresenta-se tabuliforme com ondulações suaves e a vegetação predominante de campos limpos, principalmente, com pastagens nativas utilizadas na criação de gado (AUZANI, 2003). O clima da região é classificado como subtropical úmido do tipo Cfa na classificação de Köppen (MORENO 1961). A pluviosidade anual varia de 1.250 mm a 1.500 mm por ano.

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico típico (EMBRAPA, 1999). No início do experimento o solo da camada de 0-10 cm apresentou as seguintes características físicas e químicas: 60 g kg<sup>-1</sup> de argila; pH em água = 5,2; índice SMP = 7,1; 3 mg L<sup>-1</sup> de P; 60 mg L<sup>-1</sup> de K; 0,3 cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> de Al<sup>3+</sup>; e 0,5 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica (MO). Anteriormente a instalação do experimento a área estava sendo usada para a criação de gado no sistema extensivo desde os anos 70 após sucessivos cultivos de soja (*Glycine max*). O solo da área apresentava sinais visíveis de degradação e vegetação bastante rala formada basicamente por *Paspalum notatum*.

O experimento iniciou com o plantio da amoreira-preta (*Rubus* sp.) Cv. Tupi, em 12/09/2009 (Anexo C). O espaçamento utilizado entre plantas na linha foi de 0,5 m e entre linhas de 3,5 m, sendo implantadas nove linhas com 24 metros de comprimento totalizando uma área de cultivo de 756 m<sup>2</sup> (432 plantas). Para a implantação da amoreira-preta foi preparado e adubado o solo de uma faixa de 1,2 m de largura, no centro da qual foi realizado o plantio da amora. A área entre as linhas de plantio (entrelinha) foi mantida com a vegetação nativa (campo nativo) até a implantação dos tratamentos.

Em 08/11/2009 a área foi dividida em 12 parcelas de 56m<sup>2</sup> (8 m x 7 m), nas quais foram implantados três tratamentos com quatro repetições distribuídos no delineamento blocos ao acaso. Os tratamentos avaliados foram: T1- feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*)/Aveia-preta (*Avena strigosa*) (FP-AP); T2- Braquiária (*Brachiaria decumbens*) (BRA); T3- campo nativo (CN). Além desses tratamentos foi avaliada uma área contígua ao experimento sob campo nativo sob pastejo tradicional (CN-T), sendo que a mesma era utilizada para a criação de gado. Essa área foi usada como referência para avaliação dos

efeitos dos três tratamentos utilizados na amora-preta sobre as modificações nas características biológicas do solo.

O feijão-de-porco e a braquiária foram semeadas manualmente com espaçamento entre linhas de 0,55 m em densidade de semeadura de 140 kg ha<sup>-1</sup> e 12 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Anexo D). Na semeadura das espécies de cobertura foram utilizados P e K e micronutrientes. As sementes de feijão-de-porco foram inoculadas com estirpes de rizóbio específico. Anteriormente a semeadura das espécies, a área de cada parcela foi dessecada com glifosate na dose de 5 L ha<sup>-1</sup>.

Em 26/05/10 quando iniciou a queda das folhas do feijão-de-porco foi realizada a semeadura da aveia-preta manualmente a lanço sobre as plantas da leguminosa. As plantas de feijão-de-porco não receberam nenhum manejo com objetivo de simular o seu uso para produção de sementes. A quantidade de sementes utilizada de aveia-preta foi de 100 kg ha<sup>-1</sup>. No pleno florescimento da aveia-preta as plantas foram manejadas com roçadeira costal (16/10/10) e sua palhada foi deixada sobre a superfície do solo. Essas mesmas parcelas receberam o feijão-de-porco em 06/11/2010 e a aveia-preta em 30/05/11 sendo aplicados os mesmos manejos descritos anteriormente.

Nos tratamentos com campo nativo e a braquiária o único manejo aplicado foi a realização de dois cortes durante o seu crescimento no período de primavera/verão (Anexo D). No período de inverno as baixas temperaturas provocam a dessecação natural da braquiária, espécie que retomou seu crescimento com a elevação das temperaturas na estação da primavera.

Nos dois anos a produção de matéria seca (MS) foi avaliada no pleno florescimento do feijão-de-porco e da aveia-preta, coletando-se as plantas de duas áreas de 0,25 m<sup>2</sup> em cada parcela. Mesmo procedimento foi adotado para o campo nativo e braquiária, porém nesses tratamentos as avaliações foram realizadas juntamente com os dois cortes aplicados na primavera/verão. As amostras coletadas foram secas em estufas reguladas a 65°C e após pesadas para determinação da MS. No material vegetal seco e moído foram determinadas as concentrações de C e N conforme metodologias descritas em Tedesco et al. (1995).

Durante o ano de 2011 foram realizadas duas coletas de solo para avaliar a atividade enzimática no solo. As coletas do solo foram realizadas na entre linha da amora-preta no outono (07/04/2011) e na primavera (19/10/11). O solo foi coletado nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm com auxílio de um trado tipo calador. Após a coleta, o solo foi acondicionado em caixa de isopor em ambiente resfriado e transportado até o laboratório onde



foi peneirado em peneira com malha 2 mm. No solo foram avaliadas a atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidase (TABATABAI, 1994) e hidrólise do FDA (SCHNURER; ROSSWALL, 1982).

Para avaliação da atividade da  $\beta$ -glucosidase foi pesado 0,5 g de solo de cada amostra em Erlenmeyer de 50 mL, e em seguida foram adicionados, 2 mL de MUB (pH6,0), 0,5 mL da solução de PNG. Os frascos foram fechados e agitados por alguns segundos, posteriormente levados para a incubadora por 1 hora a 37°C. Após este período, com os frascos abertos, foram adicionados 0,5 mL de  $\text{CaCl}_2$  e 2 mL do tampão THAM (0,1M) pH 12 e depois de agitados foram filtrados em. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 400nm. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g}$  p-nitrofenol  $\text{g}^{-1}$  solo  $\text{h}^{-1}$ . Na análise hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) utilizou-se o método descrito por Schnurer; Rosswall (1982). Pesou-se 2 g de solo úmido em erlenmeyer, no qual foi adicionado 25 mL de tampão fosfatado pH 7,6 e 2,5 mL de diacetato de fluoresceína. Em seguida as amostras foram incubadas em BOD a 24°C por 3h. Após foi realizada a adição de acetona até a concentração final de 50% v/v (25 mL), filtragem e leitura a 490nm. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g}$  de fluoresceína  $\text{g}^{-1}$  de solo  $\text{h}^{-1}$ .

A avaliação da fauna do solo foi realizada em quatro épocas entre os meses de novembro de 2010 a dezembro de 2011, sendo realizada uma coleta em cada estação do ano. Os dados foram apresentados com referência às épocas do ano: verão-dezembro de 2010; outono-abril de 2010; inverno-junho de 2011; primavera-novembro de 2011. O método para avaliação e coleta da fauna foi a utilização de armadilhas tipo "PROVID" (ANTONIOLLI et al., 2006), constituídas por uma garrafa de plástico tipo Pet com capacidade de dois litros, contendo quatro aberturas na forma de janelas com dimensões de 6 x 4 cm na altura de 20 cm de sua base (Figura 1). Em cada parcela foi instalado um PROVID por um período de dez dias, contendo em seu interior 100 mL de solução de álcool (70%) e glicerina (5%) a fim de conservar e manter a maleabilidade dos organismos ali contidos, respectivamente. As armadilhas foram enterradas no solo de modo que as aberturas dos frascos ficassem ao nível da superfície do solo.

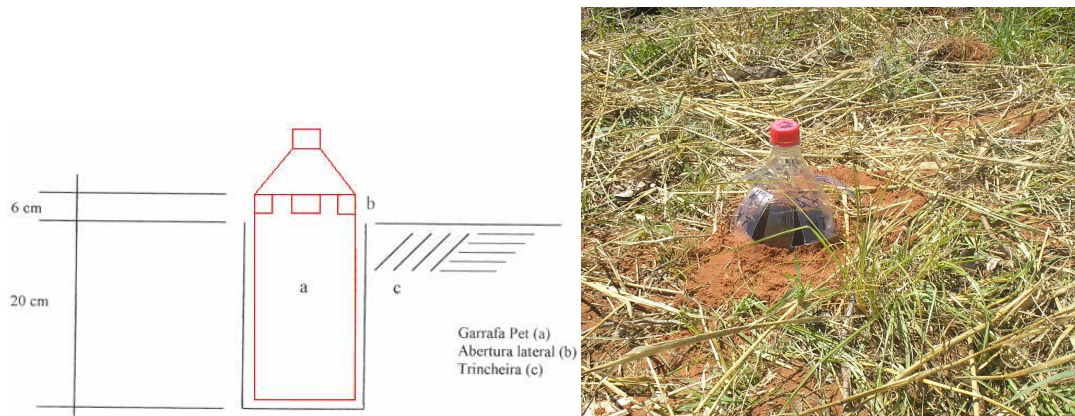


Figura 1 - Desenho esquemático com detalhes da Armadilha Provid (ANTONIOLLI et. al, 2006) e foto da armadilha instalada em uma parcela do experimento.

Ao final dos dez dias, as armadilhas Provid foram retiradas e levadas ao laboratório onde foi retirada a solução através de filtragem com cuidado para não ocorrer perda dos organismos. Para a identificação, os organismos foram separados por área de estudo e colocados em placas de vidro onde foi realizada a identificação em nível de ordem manualmente, com auxílio de microscópio estereoscópico e guia/manual de identificação da fauna edáfica. Após a identificação e contagem, os organismos foram acondicionados em frascos também com a solução de álcool 70% mais glicerina 5%, porém agora com separação por ordem.

Em novembro de 2011 foi realizada coleta de solo até a profundidade de 40 cm para análise dos estoques de C e N no solo. Para isso, foram abertas em cada parcela duas trincheiras com dimensões de 30 cm x 10 cm das quais foram retiradas amostras de solo nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 e 20 a 40 cm. Após a coleta, as amostras foram peneiradas a 2 mm para retirar os resíduos vegetais grosseiros, submetidas à secagem ao ar e em seguida finamente moídas em moinho de bolas. Os teores de C e de N foram determinados em um analisador elementar (modelo FlashEA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Itália). Em cada camada de solo também foi avaliada a densidade aparente do solo, a qual foi utilizada para realizar a quantificação dos estoques de C e N no solo. O efeito dos tratamentos sobre a evolução nos estoques de C e N do solo foi avaliado em comparação aos estoques de C e N em amostras coletadas na área controle (CN-T).

Os frutos de amoreira-preta foram colhidos semanalmente a partir do final do mês de novembro de 2010 e de 2011, sendo que o período de colheita teve duração média de 40 dias. Os frutos de cada parcela foram colhidos quando estavam no estágio de maturação completa,

com coloração negra. Após a coleta, os frutos eram colocados em potes plásticos e levados para o laboratório para serem pesados para posterior cálculo da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

A análise estatística dos resultados constou da análise de variância e da comparação das médias dos tratamentos através do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, índices de Diversidade de Simpson (1-D), Diversidade Shannon ( $H'$ ), Riqueza de espécies (S) e Abundância (N).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Produção de biomassa e acúmulo de N pelas plantas intercalares

Os maiores valores de matéria seca total (MS total) adicionados ao solo foram observados no tratamento FP-AP, o qual superou 1,7 e 3,0 vezes os tratamentos BRA e CN, respectivamente (Tabela 1). Da quantidade total de MS adicionada no tratamento FP-AP, aproximadamente 59% da matéria seca foi proveniente da leguminosa e 41% da aveia-preta. Analisando a produção de MS em cada ano, observa-se que no verão de 2009/2010 os maiores valores de MS foram observados no FP e na BRA. Já no verão de 2010/2011 o FP superou os demais em 31 e 74%, respectivamente, a BRA e o CN.

Tabela 1 - Matéria seca, carbono e nitrogênio acumulado nos tratamentos na entrelinha da amoreira-preta.

Tratamento <sup>1</sup>	2009/10		2010/11		Total acumulado
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	
			MS (kg ha <sup>-1</sup> )		
FP-AP <sup>1</sup>	4.126 a <sup>2</sup>	2.318	3.715 a	3.184	13343 a
BRA	4.904 a	—	2.843 b	—	7747 b
CN	2.425 b	—	2.130 b	—	4555 c
			C (kg ha <sup>-1</sup> )		
FP-AP	1.733 a	974	1.560 a	1.337	5604 a
BRA	2.060 a	—	1.194 b	—	3254 b
CN	1.019 b	—	895 c	—	1913 c
			N (kg ha <sup>-1</sup> )		
FP-AP	130 a	25	117 a	35	307 a
BRA	40 bc	—	23 b	—	63 b
CN	22 c	—	19 b	—	41 b

<sup>1</sup> FP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; BRA: Braquiária; e CN: campo nativo. <sup>2</sup> Médias de tratamentos na coluna seguidos por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os resultados obtidos com o feijão-de-porco confirmam a sua rusticidade já verificada em outros trabalhos. Importante ressaltar que durante o crescimento vegetativo do feijão-de-porco, este sofreu nos dois anos o ataque de lagartas o que levou a um desfolhamento, no entanto, a leguminosa recuperou-se de maneira muito eficiente, alcançando alta produção de

MS em um solo de baixa fertilidade. Conforme Aita; Giacomini (2006), o feijão-de-porco por ser originário de regiões tropicais, com solos intemperizados e ácidos, caracteriza-se pela rusticidade e se adapta bem em solos degradados. Essas características demonstram o grande potencial desta espécie para a cobertura do solo, servindo como uma excelente alternativa no controle da erosão e na melhoria das características do solo pela fixação biológica de nitrogênio.

A braquiária também mostrou-se eficiente quanto a produção de MS, demonstrando a grande habilidade desta gramínea em adaptar-se a solos muito pobres, o que a caracteriza com uma planta com alta rusticidade, vigor e agressividade. Essas características são importantes para uma eficiente proteção do solo. O fato de não ter sido aplicado fertilizantes nitrogenados em nenhuma das culturas de cobertura reforça ainda mais a habilidade dessa espécie em crescer em ambientes pobres em N. Estudo realizado por Reis Junior et al. (2004) indicou que a braquiária apresenta associação com bactérias diazotróficas indicando que essa gramínea pode ser beneficiada pela fixação biológica de N.

A quantidade total de C acumulado na MS seguiu o mesmo comportamento da MS, decrescendo na seguinte ordem: FP-AP > BRA > CN (Tabela 1). Gonçalves; Ceretta (1999) afirmam que a quantidade de carbono acumulado no solo depende basicamente da quantidade de massa seca produzida pela cultura, sendo assim, um dos critérios de escolha das plantas de cobertura deve ser a produção de MS. O feijão-de-porco e a braquiária, individualmente, foram as espécies que promoveram elevado aporte de C, as quais apresentaram na média dos dois anos  $1.600 \text{ kg ha}^{-1}$ . Já o tratamento com campo nativo apresentou valor médio de  $957 \text{ kg ha}^{-1}$  de C acumulado, isso devido principalmente a sua menor produção de MS.

Analisando as culturas de verão, verifica-se valores próximos de MS e C acumulados pelas espécies feijão-de-porco e braquiária (Tabela 1). No entanto, quando analisado o tratamento feijão-de-porco + aveia (FP-AP) verifica-se um aumento no aporte de C ao solo em relação ao tratamento BRA. Esse resultado deve-se a inserção da cultura da aveia-preta no sistema, espécie adaptada a condição de inverno, enquanto que o CN e a BRA tem seus crescimentos diminuídos nessa estação. Portanto, para maximizar o aporte de C ao solo é necessário o uso de no mínimo duas espécies, uma adaptada a estação quente e a outra a estação fria.

O feijão-de-porco foi a espécie de cobertura que acumulou maior quantidade de N na fitomassa, atingindo um valor médio de  $124 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 1). A braquiária mesmo tendo adicionado quantidade de MS semelhante ao feijão-de-porco, acumulou apenas 25% do N acumulado pela leguminosa. Entre as espécies empregadas, o feijão-de-porco destacou-se por

combinar o aporte ao solo de elevadas quantidades de C e N, contribuindo para a recuperação de solos arenosos degradados. O fato dos resíduos culturais do feijão-de-porco serem ricos em N, indica que os mesmos serão rapidamente decompostos no solo diminuindo sua contribuição para a proteção do solo após o seu manejo. Assim, recomenda-se que após o manejo desta espécie seja realizada a semeadura de culturas que apresentem rápido desenvolvimento e elevada demanda em N. No presente estudo essa cultura foi a aveia-preta.

A quantidade de N acumulada pela parte aérea da aveia-preta semeada em sucessão ao feijão-de-porco indica que houve uma baixa recuperação do N adicionado pelo feijão-de-porco. Isso porque a aveia acumulou em sua fitomassa, na média dos dois anos, apenas 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, representando apenas 25% da quantidade de N adicionada pela leguminosa. Tal resultado indica que grande parte do N adicionado pela leguminosa foi perdida pelo sistema. Possivelmente, a principal via de perda tenha sido a lixiviação, pois o solo do presente estudo é arenoso, apresentando apenas 6% de argila.

A braquiária se destacou pelo elevado aporte de C ao solo. Uma característica importante dos resíduos de gramíneas, como os da braquiária, é a sua baixa taxa de decomposição, o que possibilita proteção do solo por um período maior de tempo comparado às leguminosas. Deste modo, a adubação verde, para solos arenosos degradados deve buscar sistemas que promovam o aporte de elevadas quantidades de C e N e ao mesmo tempo promovam a proteção do solo contra os agentes erosivos. Tal condição pode ser obtida com a combinação do feijão-de-porco com braquiária e/ou braquiária e uma leguminosa de inverno.

## **4.2 Estoque de carbono e nitrogênio no solo**

Os tratamentos influenciaram os estoques de C e N no solo em relação a área controle (Tabela 2). Na camada superficial de 0-5 cm observa-se que o estoque de C e N dos tratamentos não diferiu entre si e superaram aqueles da área controle (CN-T) em 43% e 38%, respectivamente. Nas demais camadas, observam-se diferenças entre tratamentos com destaque para BRA, apresentando os maiores valores de estoque de C e N no solo, principalmente em profundidades abaixo de 10 cm.

Considerando a camada de 0-40 cm a quantidade de C e N no solo decresceu na seguinte ordem: BRA > FP-AP = CN > CN-T (Tabela 2). O tratamento BRA apresentou estoques de C e N na camada de 0-40 cm que superaram os demais tratamentos em 6,5% e o CN-T em 15%. O efeito da braquiária sobre a quantidade total de C e N no solo ocorreu

devido principalmente ao acúmulo desses elementos em camadas mais profundas (tabela 2), provavelmente isso ocorreu devido ao sistema radicular agressivo da braquiária que atinge camadas mais profundas e contribui para a adição de C em profundidade. Esse comportamento também foi observado no tratamento campo nativo em que a quantidade de C e N na camada de 20-40 cm foi semelhante aos estoques observados na braquiária.

Tabela 2 - Estoques de carbono e nitrogênio no solo dos tratamentos nas entre linhas da amora-preta e na área controle ao final do segundo ano de condução do experimento em São Francisco de Assis/RS.

	Camadas				
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	0-40 cm
	Carbono (kg ha <sup>-1</sup> )				
BRA <sup>1</sup>	362a <sup>2</sup>	264a	729a	993a	2348
FP-AP	371a	281a	753a	765b	2170
CN	367a	261a	633b	958a	2218
CN-T	257b	228a	662ab	884ab	2030
	Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )				
BRA	33,2a	27,4a	48,3a	106,6a	215,4
FP-AP	35,6a	31,1a	51,2a	87,0b	204,9
CN	33,5a	26,3a	44,1a	98,9a	202,8
CN-T	24,8b	22,8a	45,4a	93,5ab	186,5

<sup>1</sup>FP-AP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; CN: campo nativo; BRA: Braquiária; CN-T: campo nativo sob pastejo tradicional; <sup>2</sup>Médias de tratamentos na coluna seguidos por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

O acúmulo de C no solo depende, entre outros fatores, da quantidade de C adicionado via os materiais orgânicos e da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo (BAYER; MIELNICZUKI, 1999). O tratamento BRA adicionou maior quantidade de C e N ao solo (Tabela 2), no entanto, era esperado um maior estoque desses elementos no solo do tratamento FP-AP em relação aos demais. Possivelmente a elevada taxa de decomposição dos resíduos culturais do feijão-de-porco foi responsável pela redução da contribuição deste resíduo para o estoque de C e de N. Esse resultado também deve estar relacionado às características do solo do presente estudo. Segundo Bayer (1996) solos argilosos e com a presença de óxidos acumulam mais C do que solos arenosos. Isso ocorre principalmente pela proteção física do C no interior do solo, impedindo que o mesmo seja degradado pela

população microbiana. Baseado nessas informações pode-se dizer que o solo do presente estudo apresenta baixa capacidade de acumular C no solo devido ao seu baixo conteúdo de argila e óxidos. Em relação ao nitrogênio, também não se observou relação direta, entre a quantidade de N adicionado e N acumulado no solo. Possivelmente com a rápida decomposição dos resíduos culturais do FP uma grande quantidade de N é liberada dos resíduos culturais, passando da forma orgânica para a mineral, a qual é passível de perdas, contribuindo para a redução do efeito do FP sobre o aumento do estoque de N no solo.

Os resultados do presente estudo indicam que culturas que apresentam sistema radicular agressivo como a braquiária apresentam maior potencial para promover o acúmulo de C e N no solo, conforme observado no presente estudo. Entre as justificativas estão que, o C contido nas raízes está protegido do ataque microbiano pela maior interação solo-resíduo. Aliado a isso, a menor disponibilidade de O<sub>2</sub> em profundidade deve diminuir a oxidação do C dos materiais orgânicos pela população heterotrófica do solo.

### **4.3 Enzimas**

As enzimas  $\beta$ -Glicosidade e FDA apresentaram maiores valores de atividade nas duas camadas superficiais, com destaque para a camada de 0-5 cm (Figura 2 e 3). Esse resultado está de acordo com diversos trabalhos realizados em distintas condições edafoclimáticas e ocorre devido que na camada superficial do solo existe uma maior concentração destas enzimas devido a presença de um grande número de organismos nessa camada. No presente estudo, em todos os tratamentos avaliados, o solo não foi revolvido indicando a concentração de C e nutrientes na superfície do solo o que deve ter contribuído para uma maior concentração da biomassa microbiana na superfície do solo e conseqüentemente maior concentração destas enzimas. Balota et al. (2004) investigaram a atividade de algumas enzimas do solo sob sistemas de manejo convencional, plantio direto e rotação de culturas e observaram correlações significativas entre a atividade enzimática e o teor de C e N microbiano do solo.

Os tratamentos aumentaram a atividade enzimática em relação a área controle CN-T apenas na avaliação realizada no outono de 2010 (Figura 2 e 3). Esse efeito foi verificado apenas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Considerando apenas a camada de 0-5 cm, na média dos três tratamentos (FP-AP, CN e BRA), a atividade da  $\beta$ -Glicosidade (14,4  $\mu$ g p-nitrofenol



$\text{g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ) e da FDA ( $30,6 \mu\text{g}$  de Fluoresceína  $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) nesta camada superou em 32 e 157% aquela observada no CN-T. Esse efeito deve estar relacionado ao aporte de C e nutrientes ao solo nos tratamentos nas entrelinhas através dos resíduos culturais em relação ao CN-T.

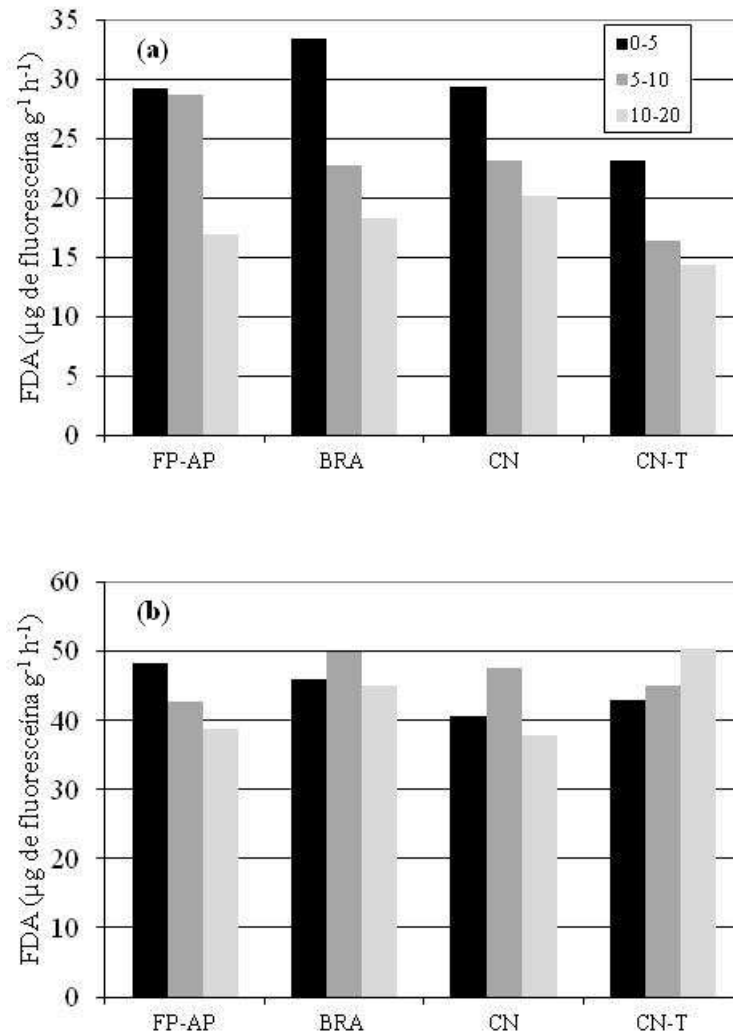


Figura 2 - Atividade a hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) no solo dos tratamentos intercalares a amoreira-preta e da área controle no outono (a) e na primavera (b) em São Francisco de Assis/RS. FP-AP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; CN: campo nativo; BRA: Braquiária; CN-T: campo nativo sob pastejo tradicional.

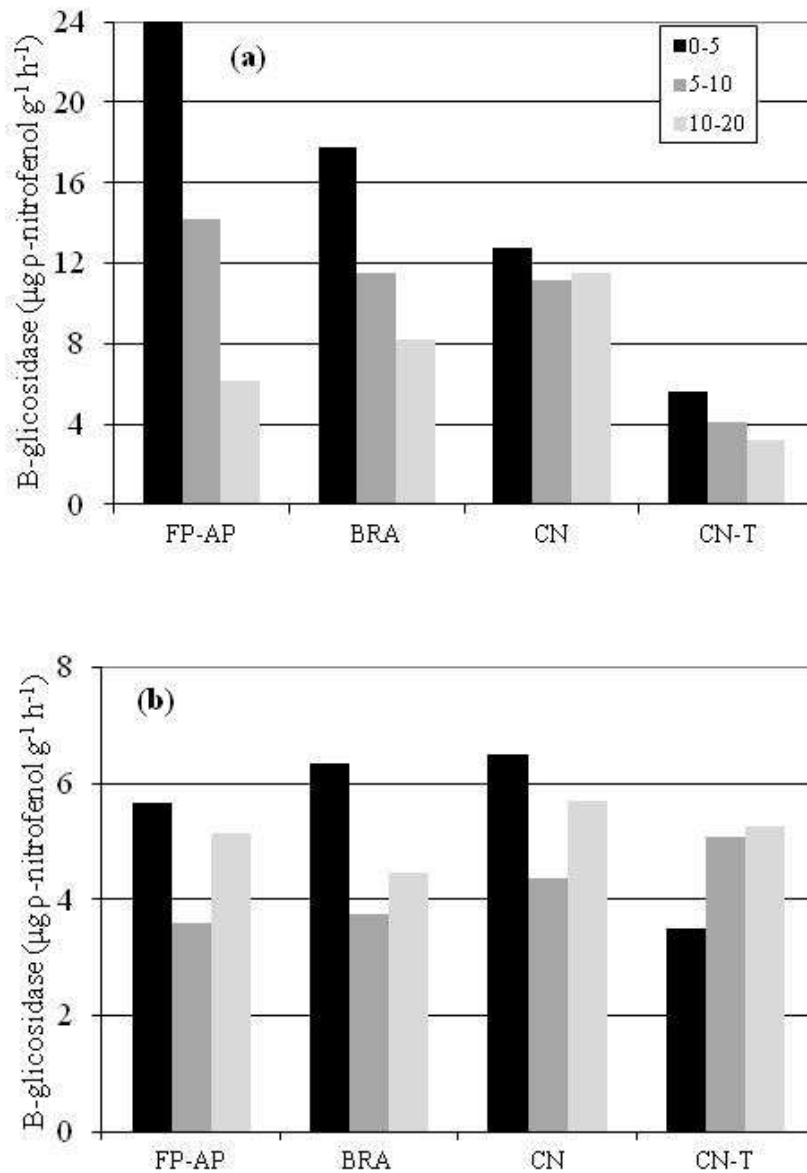


Figura 3 - Atividade da enzima  $\beta$ -glucosidase no solo dos tratamentos intercalares a amoreira-preta e da área controle no outono (a) e na primavera (b) em São Francisco de Assis/RS. FP-AP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; CN: campo nativo; BRA: Braquiária; CN-T: campo nativo sob pastejo.

A  $\beta$ -glucosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose. Essa enzima é responsável pela hidrólise dos resíduos de celobiose formando o açúcar simples  $\beta$ -D-glucose (Tabatabai, 1994). Já, a hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) é um método que avalia a atividade hidrolítica indiscriminada (SCHNÜNER; ROSSWALL, 1982) e

segundo Alencar; Costa (2000) tem sido usado para avaliar a atividade microbiana nas amostras de solo. Desta forma percebe-se que essas duas enzimas estão intimamente ligadas as biotransformações do C no solo. Assim, sistemas que promovam maior aporte de C ao solo poderão resultar em uma maior atividade destas enzimas. Taylor et al. (2002) sugerem duas razões para avaliar as enzimas do solo. A primeira, como informativo do potencial bioquímico e de manipulação do solo, e a segunda, como indicador de qualidade devido à sensibilidade para prover informações sobre mudanças nas funções-chave do solo. A  $\beta$ -glucosidase foi a enzima que mais detectou diferenças entre as culturas. Com isso os maiores valores da atividade enzimática no solo no outono nos tratamentos em relação ao CN-T indicam uma melhora na qualidade do solo através da melhora das condições para os microrganismos do solo.

#### **4.4 Fauna do solo**

Os grupos de organismos com maior frequência nas avaliações realizadas nas quatro estações do ano foram a Coleoptera (650), a Collembola (1.929) e a Hymenoptera (584) (Tabela 3). Com número de organismos inferiores a 100, destacaram-se os grupos Aranae, Diptera, Isoptera, Orthoptera e Pulmonata. O número total de organismos em cada estação do ano decresceu da seguinte ordem: verão > outono > inverno > primavera. De acordo com Lee (1994), os organismos da fauna edáfica apresentam comportamento sazonal. Além disso, apresentam caráter oportunista, explorando condições favoráveis do solo para aumentarem suas populações, as quais podem, posteriormente, serem diminuídas novamente.

Para Assad (1997), a sazonalidade pluviométrica também altera estas populações, visto que estes tem na água o principal fator limitante da sua atividade. Diminuições do número total de organismos de uma estação quente para uma menos quente, são citadas na literatura como resposta a mudança de temperatura (MANFROI et.al., 2002; MOÇO et.al., 2005). Para alguns autores a sensibilidade à temperaturas não é uma característica desejável para que um organismo seja um eficiente bioindicador (VISSER; PARKINSON, 1992). Por outro lado, destaca-se que a própria temperatura do solo, cuja amplitude sofre influência da estação do ano e da cobertura vegetal, é uma propriedade alterada por perturbações no sistema, como a perda de cobertura vegetal.

Tabela 3 - Número de indivíduos por grupo mais expressivos, coletados nos tratamentos nas entrelinhas da amora-preta e no controle, nas quatro estações do ano. São Francisco de Assis/RS.

Tratamentos	AC	AN	AR	CO	COL	CR	DIP	HEM	HYM	ISO	IX	LEP	ORT	PU	SC	SQ	Total
Verão (Dezembro)																	
FP-AP <sup>2</sup>	1	0	6	6	371	0	7	0	7	18	0	0	3	0	0	1	420
CN	1	0	8	1	270	0	4	0	10	4	0	0	3	0	0	0	301
BRA	2	0	4	9	391	1	5	0	7	0	0	0	4	0	0	0	423
CN-T	0	0	1	1	25	0	1	0	32	0	0	0	0	0	0	0	62
Outono (Abril)																	
FP-AP	2	0	7	18	194	2	31	1	32	0	0	0	34	0	0	0	321
CN	3	0	1	30	90	0	11	0	38	0	0	0	15	7	0	0	195
BRA	1	0	6	22	69	0	22	0	60	0	0	0	6	75	0	0	261
CN-T	0	0	2	9	68	0	0	0	55	0	0	0	0	12	0	0	145
Inverno (Julho)																	
FP-AP	1	0	0	92	13	0	3	0	21	0	0	0	3	0	0	0	133
CN	1	0	1	160	29	0	6	0	135	0	0	1	4	2	0	0	339
BRA	0	0	2	115	43	0	8	0	6	0	0	0	3	0	0	0	177
CN-T	0	0	2	92	19	0	0	0	11	0	0	0	1	2	0	0	127
Primavera (Outubro)																	
FP-AP	0	0	1	38	107	0	0	0	80	3	3	0	3	2	1	0	238
CN	0	1	8	29	53	0	2		23	1	0	0	2	0	0	0	119
BRA	0	0	4	16	110	0	1	1	29	1	0	0	4	0	0	0	166
CN-T	0	0	2	13	78	0	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	129
Total	12	1	54	650	1.929	3	101	2	584	27	3	1	85	100	1	1	

<sup>1</sup>AC: Acarina; AN: Anura; AR: Araneae; CO: Coleoptera; COL: Collembola; CR: Crustacea; DIP: Diptera; HEM: Hemiptera; HYM: Hymenoptera; ISO: Isoptera; LEP: Lepidoptera; IX: Ixodida; LEP: Lepdoptera; ORT: Orthoptera; PU: Pulmonata; SC: Scorpione; SQ: Squamata. <sup>2</sup>FP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; CN: campo nativo; BRA: Braquiária; CN-T: campo nativo sob pastejo tradicional.

Além das baixas temperaturas no inverno, nesse período existe uma menor disponibilidade de alimento, ou seja, de resíduos orgânicos no solo. Correa Neto et al. (2001), trabalhando em duas áreas, uma com plantio de Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e outra área de floresta secundária em processo espontâneo de regeneração, observaram que entre as estações, os maiores valores de diversidade foram encontrados na estação do outono provavelmente, devido a uma maior adição de material decíduo principalmente do estrato folhar, contribuindo na oferta de alimento e favorecendo o aumento do número de grupos funcionais da fauna do solo. Souto (2006), estudando a acumulação e decomposição da serrapilheira e distribuição de organismos edáficos, em área de caatinga, se observou decréscimo na população da

mesofauna nos períodos secos, atribuindo esse fato, provavelmente, a diminuição na oferta de alimento, o que limita a existência de alguns grupos. No entanto, Soares; Costa (2001) pesquisando fauna do solo em áreas com *Eucalyptus ssp* e *Pinus elliottii*, mais precisamente Phylum Annelida e Arthropoda que participam nas transformações ambientais caracterizando as relações entre solo-vegetação-fauna, acreditam que as temperaturas baixas, que ocorreram no inverno, pouco influenciaram na fauna do solo, onde a variável estação do ano não apresentou uma diferença significativa na distribuição populacional.

O número de ordens e de indivíduos foi influenciado pelos tratamentos (Tabela 4). Em média o número de ordens foi de oito nos tratamentos contra apenas cinco no CN-T. Já, em relação ao número total de indivíduos, o valor encontrado nos tratamentos superaram aqueles do CN-T em 2,2 vezes (1.031 vs 463). Para Rovedder et al. (2004), devido à alta sensibilidade as alterações ambientais, a fauna edáfica vem sendo utilizada como indicador da qualidade do solo e, constataram que em área degradada houve um menor número total de organismos e um menor índice de diversidade, além de um menor número de colêmbolos, evidenciando as características de solo degradado pela arenização.

Organismos conhecidamente bioindicadores da qualidade do solo como os colêmbolos prevaleceram em quase todas as coletas exceto na coleta realizada no inverno em que se destacaram os coleópteros. Considerando todo o período de estudo, o número de colêmbolos foi maior nos tratamentos FP-AP e BRA, seguidos pelo CN, sendo que todos os tratamentos apresentaram valores superiores aos da área controle (CN-T). Tais resultados reforçam uma melhora do solo ocasionado pelo maior aporte de serrapilheira, que atuará como fonte de alimento e abrigo, amenizando por vezes variações de temperatura do solo. Rovedder et al. (2001), avaliando a população de colêmbolos de três diferentes coberturas vegetais e de um solo degradado, confere que a ordem Collembola destaca-se como a mais eficiente como indicadora de áreas degradadas, por serem organismos que respondem, sensivelmente as modificações imprimidas ao solo, além de serem a base alimentar de uma grande variedade de organismos. O aumento da densidade de colêmbolos em solos com pouca serrapilheira, conforme o presente estudo, é um comportamento possível (KLADIVKO, 2001) e já verificado por Baretta et al. (2006) em solos sob sistema de cultivo convencional comparado ao sistema plantio direto. Essas observações aliadas aos resultados do presente estudo indicam que a alteração nas condições edafoclimáticas ocasionadas pelos tratamentos, principalmente pela cobertura do solo, viva ou morta, resultou em melhores condições para a atividade da fauna do solo. Essa alteração também pode indicar que os tratamentos melhoraram a qualidade do solo em relação ao CN-T.

Tabela 4 - Valores médios encontrados para os índices de diversidade de Simpson e Shannon e riqueza e abundância de espécies nos tratamentos nas entrelinhas da amora-preta e no controle, nas quatro estações do ano. São Francisco de Assis/RS.

<b>Épocas de coleta</b>	<b>FP-AP<sup>1</sup></b>	<b>BRA</b>	<b>CN</b>	<b>CN-T</b>
<b>Verão</b>				
Diversidade Simpson (1-D)	0,773	0,802	0,794	0,402
Diversidade Shannon (H')	0,600	0,540	0,530	1,090
Riqueza de espécies (S)	9	8	8	5
Abundância (N)	140	134	101	62
<b>Outono</b>				
Diversidade Simpson (1-D)	0,296	0,223	0,232	0,407
Diversidade Shannon (H')	1,580	1,640	1,600	1,040
Riqueza de espécies (S)	9	8	8	5
Abundância (N)	128	68	88	138
<b>Inverno</b>				
Diversidade Simpson (1-D)	0,512	0,513	0,394	0,617
Diversidade Shannon (H')	0,940	0,930	1,080	0,770
Riqueza de espécies (S)	6	6	9	6
Abundância (N)	43	55	111	127
<b>Primavera</b>				
Diversidade Simpson (1-D)	0,333	0,479	0,302	0,434
Diversidade Shannon (H')	1,28	1,020	1,350	0,980
Riqueza de espécies (S)	9	8	8	4
Abundância (N)	82	54	44	137

<sup>1</sup>FP-AP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; CN: campo nativo; BRA: Braquiária; CN-T: campo nativo testemunha.

A ocorrência da ordem Coleoptera é muito influenciada pelas condições ambientais (HOLLAND, 2002). A ação de fatores bióticos e abióticos foi investigada por Thiele (1977), que indicou como mais importantes a temperatura, a umidade, a luz e características do substrato, destacando-se a umidade do solo (LUFF, 1996). Outros fatores também importantes são: disponibilidade de alimento, cobertura vegetal e ciclo de vida (KROMP, 1999). Muitas espécies de Coleopteros estão associadas ao solo de culturas agrícolas (SOTHERTON, 1984). Devido à natureza predatória, muitas espécies destacam-se como agentes de controle biológico de pragas (MENALLED et al., 1999). Chung et al. (2000), sugerem que em locais

onde haja maior incidência de material orgânico e um sistema mais equilibrado não existe alterações no ciclo das larvas edáficas, especialmente de coleópteros, sendo que essas possuem grande importância ecológica, pois auxiliam na percepção das condições ambientais locais de uma fitofisionomia, pois interagem nos ecossistemas através de associações. A diversidade trófica destes insetos está intimamente relacionada com a composição e a estrutura da vegetação, revelando um mecanismo natural de atração, abrigo e alimentação (SCHORN, 2000).

O grupo Hymenoptera, representado neste trabalho principalmente pelas formigas, compreende insetos terrestres comumente citados como bioindicadores de alterações no manejo do solo, especialmente durante a reabilitação do solo (ANDERSEN et al., 2002). No caso do presente estudo, a ocorrência de formigas foi elevada em todos os tratamentos, provavelmente em virtude do ambiente e do manejo com a poda da amoreira-preta e a roçada das plantas de cobertura que promovem melhores condições climáticas e de disponibilidade de alimentos.

#### **4.5 Produtividade da amoreira-preta**

As maiores produtividades de frutos da amoreira-preta “Tupy” foram obtidas, nos dois anos, nos tratamentos FP-AP e CN, sendo que a produtividade média desses tratamentos superou aquela obtida no tratamento BRA em 3 e 1,7 vezes, respectivamente, em 2010/11 e 2011/12 (Figura 4). O valor médio de produtividade obtidos nos tratamentos FP-AP e CN ( $2.942 \text{ kg ha}^{-1}$ ) atingiu apenas 57% daquela relatada por Antunes et al. (2010) e 45% daquela obtida por Pereira et al. (2009), respectivamente, em experimentos realizados em Pelotas (RS) e São Mateus do Sul (PR). Essas diferenças podem estar relacionadas às condições edafoclimáticas distintas de cada local, sendo as condições de solo e clima do presente estudo mais restritivas à amoreira-preta comparadas com aquelas dos estudos de Antunes et al. (2010) e Pereira et al. (2009). No entanto, é importante destacar que no trabalho de Pereira et al. (2009), embora a produtividade média de duas safras tenha sido de  $6.554 \text{ kg ha}^{-1}$ , a mesma variou da primeira para a segunda safra de  $9.773 \text{ kg ha}^{-1}$  para  $3.373 \text{ kg ha}^{-1}$ .

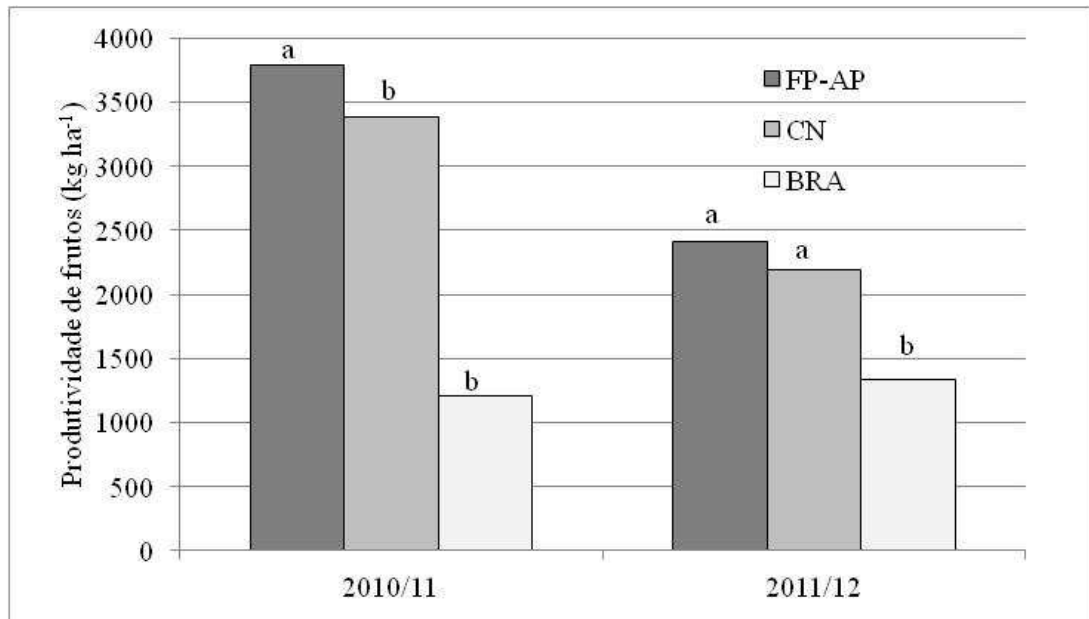


Figura 4 - Produtividade de frutos de amoreira-preta cultivada em associação com diferentes espécies de plantas na entrelinha em São Francisco de Assis/RS.. FP-AP: Feijão-de-porco/Aveia-preta; CN: campo nativo; BRA: Braquiária.

A menor produtividade na segunda safra é semelhante àquela do presente estudo, obtida no tratamento FP-AP, indicando que mesmo nas condições de solo arenoso e baixa fertilidade natural a amoreira-preta pode atingir produções próximas àquelas de áreas com maior potencial. Esse resultado também reforça que a amoreira é uma planta que apresenta elevada rusticidade e pode ser uma alternativa para solos arenosos da região Sudoeste do RS. Além de fatores edafoclimáticos, Pereira et al. (2009) cita que um dos principais fatores que provocam essa variação na produtividade da amoreira-preta está ligado a densidade de hastes produtivas da planta, as quais são influenciadas pela poda.

Os maiores estoques de C e N no solo do tratamento BRA (Tabela 2), não mostrou maior produção de frutos de amoreira-preta (Figura 4). Possivelmente o efeito da braquiária sobre o estoque de C e N no solo ocorreu apenas na área onde a mesma foi cultivada, ou seja, nas entrelinhas do experimento. Além disso, observou-se que a braquiária apresentou exuberante crescimento no mesmo período de crescimento da amoreira, o que deve ter provocado uma competição entre a gramínea e a amoreira por nutrientes e água. Com isso, para que esta espécie de planta de cobertura possa ser utilizada em sistemas de produção com a amoreira-preta é necessário a realização de algumas práticas para diminuir a competição entre essas espécies. Entre elas, sugere-se a manutenção de uma maior área sem o cultivo da braquiária próximo à linha de plantio da amoreira e a realização de cortes frequentes da braquiária para diminuir também a competição por luz entre a gramínea e a frutífera.



A adição de N ao solo através do feijão de porco proporcionou maior produtividade de amoreira-preta do que aquela obtida no tratamento com campo nativo (Figura 4). Possivelmente, esse resultado não ocorreu devido o aporte de N ao solo via a biomassa do FP ocorrer em período em que a amoreira estava dormente, com baixa demanda por nutrientes. Isso porque a fixação biológica de N pelo FP ocorre no mesmo período de crescimento e produção da amoreira-preta. Tal observação permite formular a hipótese de que culturas leguminosas de inverno que fixam N durante o outono/inverno e são manejadas na primavera, poderiam ser mais eficientes no fornecimento de N à amoreira do que as leguminosas de verão.

O fato dos tratamentos FP-AP e CN não diferirem quanto a produtividade de amoreira-preta cv. Tupy, indica que em curto prazo, a manutenção do CN nas entrelinhas da amoreira pode ser uma estratégia que permite a obtenção de produtividades satisfatórias de frutos de amoreira. A manutenção do campo nativo, ao invés da implantação de culturas intercalares, permite uma redução no custo de implantação e condução do pomar, pois não é necessária a aquisição de sementes e a realização da semeadura das espécies intercalares. Outro aspecto importante é o caráter perene do campo nativo que permite a permanente cobertura do solo protegendo-o dos agentes erosivos. Durante a realização do presente trabalho foi possível perceber que o campo nativo sem ser pastejado apresenta densa biomassa que protege eficientemente o solo. Além disso, o CN proporcionou aumento dos estoques de C e N no solo, na atividade enzimática e da fauna do solo comparado a área testemunha (CN-T) indicando a recuperação do solo nessa condição.

## 5 CONCLUSÕES

A combinação de feijão-de-porco e aveia-preta nas entrelinhas da amoreira-preta apresentou maior produção de matéria seca da parte aérea e acúmulo de C e N.

O cultivo de braquiária, feijão-de-porco + aveia-preta e a permanência do campo nativo nas entrelinhas da amoreira-preta resulta na melhora das condições biológicas do solo (fauna e atividade enzimática) em relação ao campo nativo sob pastejo tradicional.

A braquiária foi a espécie na entrelinha da amoreira-preta que se destacou quanto a capacidade de promover o aumento do estoque de C e N no solo até a profundidade de 40 cm. Efeito esse devido possivelmente ao sistema radicular agressivo desta gramínea.

A permanência do campo nativo nas entrelinhas da amoreira-preta, além de permitir a obtenção de média produtividade de frutos, se apresenta como uma alternativa para a redução no custo de implantação e condução do pomar com essa espécie frutífera na região dos solos arenosos do sudoeste do RS.

A amoreira-preta apresentou adaptação às condições edafoclimáticas dos solos arenosos do sudoeste do RS, podendo ser considerada como alternativa para a recuperação e redução do avanço das áreas arenizadas e também como uma possibilidade de fonte de renda para o produtor rural desta região do estado.

## 6 REFERÊNCIAS

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

AITA, C. ; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES, B. J. R. et al. (ed). **Manejo de sistemas agrícolas impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. cap. 3, p. 59-79.

ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P., eds. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. New York, Academic Press, 1995.p.313-315.

ALENCAR, F.C.N.; COSTA, J.L.S. Impacto da fungigação na biomassa e atividade microbiológica dos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 33., 2000, Belém. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.25, (suplemento), 2000. p.359.

AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J.; GRAPEGIA JÚNIOR, G.; PONTELLI, C.B.; ESPÍNDOLA, M.C.G. & PEDRUZZI, C. Qualidade de solos derivados de Areias Quartzosas da fronteira sudoeste do RS: indicadores químicos. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Santa Maria, 1998. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.275-278.

AMADOR, E.S. 1997. Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza.

ANDERSON, J.M. Why should we care about soil fauna? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.835-842, 2009.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of ecophysiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990.

ANGERS, D.A., BISSONNETTE, N., LÉGÈRE, A., SAMSON, N., 1993. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73, 39–50.

ANTONIOLLI, Z. I; CONCEIÇÃO, P.C; BOCK, V; PORT, O; SILVA, D. M; SILVA, R. F. Método Alternativo para Estudar a Fauna do Solo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.16, n.4, p.407-417, 2006.

ANTUNES, L.E.C.; CHALFUN, N.N.J.; REGINA, M. de A.; DUARTE FILHO, J. Fenologia e produção de variedades de amora-preta nas condições do planalto de Poços de Caldas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.22, n.1, p.89-95, 2000a.

ANTUNES, L. E. C.; TREVISAN, R.; GONÇALVES, E. D. Propagação, plantio e tratos culturais. In: ANTUNES, L. E. C. (Ed.). **Aspectos técnicos da cultura da amorapreta**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2004. p.37-42. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 122)

ANTUNES, L. E. C.; GONÇALVES, E. D.; TREVISAN, R. Alterações de compostos fenólicos e pectina em pós colheita de frutos de amora-preta. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 1, p. 57-61, 2006a.

ANTUNES, L. E. C.; GONÇALVES, E. D.; TREVISAN, R. Alterações da atividade da poligalactutonase e pectinametilesterase em amora-preta (*Rubus* spp) durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 1, p. 63-66, 2006b.

ANTUNES, L.E.C. et al. Fenologia e produção de cultivares de amoreira-preta em sistema agroecológico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.9, p.1929-1933, 2010.

AQUINO, A.M. de; CORREIA, M.E.F.; ALVES, M.V. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008a. p.143- 170.

AQUINO, A.M. de; SILVA, R.F. da; MERCANTE, F.M.; CORREIA, M.E.F.; GUIMARÃES, M. de F.; LAVELLE, P. Invertebrate soil macrofauna under different ground

cover plants in the no-till system in the Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, v.44, p.191-197, 2008b.

ASSAD, M.L.L. Fauna do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M.; eds. *Biologia dos Solos do Cerrados*. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1997. p.363-431.

AUZANI, G. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da arenização no 1º Distrito de São Francisco de Assis - RS. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

AZEVEDO, A.C. ; KAMINSKI, J. 1995. Considerações sobre os solos dos campos de areia no Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente 11**: 65-70.

BALOTA E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 35, p. 300-306, 2004.

BARRETTA, D; MAFRA, A.L; SANTOS, J.C.P; AMARANTE, C.V; BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p.1675-1679, 2006.

BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 240p. (Tese de Doutorado)

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Matéria orgânica do solo**: fundamentos e caracterização. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.9-26.

BURNS, R. G. *Soil enzymes*. Academic Press, New York, 364 p., 1978.

CANTO, A.C. Alterações da mesofauna do solo causadas pelo uso de cobertura com plantas leguminosas na Amazônia Central. **Revista Ciências Agrárias**, v.4, n.5, p.79-94, 1996.

CHUNG, A. Y. C.; EGGLETON, P.; SPEIGHT, M. R.; HAMMOND, P. M.; CHEY, V. K. 2000. The diversity of beetle assemblages in different habitat types in Sabah, Malaysia.

**Bulletin of Entomological Research**, 90: 475-496. COLEMAN, D.C.; HENDRIX, P.F. Invertebrates as webmasters in ecosystems. London, CABI Publishing, 2000. 336p.

CORREA NETO, T. A.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M.E.F.; ANJOS, L.H. C. Deposição de Serrapilheira e Mesofauna edáfica em Áreas de Eucalipto e Floresta Secundária. *Floresta e Ambiente*, v.8, n.1, p.70-75, 2001.

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. Formação da serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2nd ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.137-158.

CRANDALL, P.C. **Bramble production: the management and marketing of raspberries and blackberries**. New York: The Haworth Press. 1995. 213 p.

DECAËNS, T.; BUREAU, F.; MARGERIE, P. Earthworm communities in a wet agricultural landscape of the Seine Valley (Upper Normandy, France). **Pedobiologia**, v.47, p.479-489, 2003.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 56, p. 2-54, 1996.

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

FAO. Land degradation on rise. FAO Newroom, 2008.

GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIROS, M.C. & SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biol. Biochem.*, 37:877-887, 2005.

GONÇALVES, C.N. ; CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:307-313, 1999.

GUPTA, V.V.S.R. ;GERMIDA, J.J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregation size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.*, 20:777-786, 1988.

HOFFMANN, A.; PAGOT, E.; PALTRONIERI, P.; SANHUEZA, R. M. V. Pequenas frutas na região de Vacaria, RS: um breve histórico. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS FRUTAS, 3., 2005, Vacaria. **Anais...** Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2005. v.1, p.11-14. (Embrapa Uva e Vinho. Documentos, 53)

HÖFER, H; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; MARTIUS, C.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J.; BECK, L. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. **European Journal of Soil Biology**, v.37, p.229-235, 2001.

HOLLAND, J.M. Carabid beetles: their ecology, survival and use in agroecosystems. In: HOLLAND, J.M. (Ed.). *The agroecology of carabid beetles*. Andover: Intercept, 2002. 356p.

JORDAN, D.; KRAMER. R.J.; BERGFELD, W.A.; KIM, K.Y.; CACNIO, V.N. Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.19, p.297-302, 1995.

KLADIVKO, E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. **Soil & Tillage Research**, 61: 61-76.

KROMP, B. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts **and enhancement**. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, v.74, n.1/3, p.187-228, 1999.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O.W.; DHILLON, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v.33, p.159-193, 1997.

LUFF, M.L. Use of carabids as environmental indicators in grasslands and cereals. *Annales Zoologici Fennici*, v.33, p.185-195, 1996.

MANFROI, A. F.; SANTOS, J. C. P.; MENDONÇA, D. et al. Diversidade da fauna edáfica como bioindicador da recuperação de solo reconstruído após mineração de carvão a céu aberto. In: FERTBIO, 2002, Rio de Janeiro, **Resumos expandidos...** Rio de Janeiro: EMBRAPA e UFRRJ (2002) (CD-ROM).

MARCHÃO, R.L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L.C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1011-1020, 2009.

MATSUOKA, M. **Atributos Biológicos de solos cultivados com videira na região da Serra Gaúcha**. 2006.171f. (Tese) Doutorado- programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, porto Alegre, 2006.

MATTOS, M. T. M.; MARTINS, J. F. da S.; ANDRES, A.; GRÜTZMACHER, A. D.; Comportamento ambiental de agrotóxicos em lavouras de arroz irrigado. In: GOMES, A. da S. (Ed.). *Novos horizontes para a sustentabilidade da lavoura orizícola do Rio Grande do Sul*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 191 p.

MENALLED, F.D.; LEE, J.C.; LANDIS, D.A. Manipulating carabid beetle abundance alters prey removal rate in corn fields. *Biocontrol*, v.43, p.441-456, 1999.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (1997) Plano Nacional de Combate à Desertificação, Centro de Sensoriamento remoto, IBAMA.

MOÇO, M.K.S.; RODRIGUES, E.F.G.; RODRIGUES, A.C.G.; CORREIA, M.E.F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 555-564, 2005.

MONTEIRO, T. R. R. Estimativa da atividade microbiana: método de hidrólise do diacetato de fluoresceína. In: FRIGHETTO, R. T.S.; VALARINI, P. J. *Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198 p.



MOOR, T.R., DALVA, M. The influence of temperature and water table position on carbon dioxide and methane emissions from laboratory columns of peatland soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.44, n.4, p.651-664, 1993.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2.ed. atual. e ampl. Lavras: Ufla, 2006. 729p.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

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

PEREIRA, I. S. et al. **Caracterização agronômica da amoreira-preta cultivada no Sul do estado do Paraná**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 19p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 271).

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-48, jul./dez. 2003.

REINERT, D.J.; AMADO, T.J.C.; REICHERT, J.M. & FONTINELLI, F. 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, 1998. p.34-38.

REIS JUNIOR, F.B; SILVA, M.F; TEIXEIRA, K.R.S. **Identificação de isolados DE *Azospirillum amazonense* associados a *Brachiaria* spp., em diferentes épocas e condições de cultivo e produção de fitormônio pela bactéria**. R. Bras. Ci. Solo, 28:103-113, 2004

ROVEDDER, A.P.; VENTURINI, S.; SPAGNOLLO, E.; ANTONIOLLI, Z.I. Colêmbolos como indicadores biológicos em solos areníticos da região Sudoeste do rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.5, p.95-99, 2001.

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. 2003. 120f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria.

ROVEDDER, A.P.; ANTONIOLLI, Z.I.; SPAGNOLLO, E.; VENTURINI, S. Fauna edáfica em solo susceptível à arenização na região Sudoeste do Rio Grande do Sul. *Revista de ciências agroveterinárias*, Lages, v. 3, n. 2, p. 87-96, 2004.

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

\_\_\_\_\_. Potencial do *Lupinus albecens* Hook. & Arn. Para recuperação de solos arenizados do Bioma Pampa. 2007. 145 f.Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria.

SCHNÜNER, J., ROSSWALL, T., 1982. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology* 6, 1256–1261.

SCHORN, L. A. 2000. Fatores que afetam a produção de sementes (Curso de Manejo e Conservação de Sementes de Espécies Arbóreas da Mata Atlântica – Região Sul), 1. Blumenau.

SILVA, R.F. da; AQUINO, A.M. de; MERCANTE, F.M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.30, p.725-731, 2008.

SOARES, M.I.J.S.; COSTA, E.C. Fauna do solo em áreas com *Eucalyptus spp.* E *Pinus elliotti*, Santa Maria, RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 29-43, 2001.

SOTHERTON, N.W. The distribution and abundance of predatory arthropods overwintering on farmland. *Annals of Applied Biology*, v.105, n.3, p.423-429, 1984.

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

SOUTO, P.C. Acumulação e decomposição da serrapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de Caatinga na Paraíba, Brasil. 2006. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002. 127 p.

STRIK, B. C.; CLARK, J. R.; FINN, C. E.; BANADOS, M. P. Worldwide Blackberry Production. **Hortechology**, Alexandria, v.17, n. 2, p. 205-213, April–June, 2007.

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

SUERTEGARAY, D. M. A. **Deserto grande do sul: controvérsia.**2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/ UFRGS,1998.109p.

SUERTEGARAY, D.M.A.; GUASSELLI, L.A.; VERDUM, R. (Org.) (2001) Atlas da Arenização Sudoeste do Rio Grande do Sul. Secretaria da Coordenação e Planejamento e Secretaria da Ciência e Tecnologia Governo do Estado do RS, 1.ed. Porto Alegre, 84p.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In WEAVER, R.W.; ANGLE, J.S.; BOTTOMLEY, P.S. (Ed.). **Methods of soil analysis** microbiological and biochemical properties. Madison Soil Science Society of America, 1994. pt.2, p.775-833.

TAYLOR, J. P.; WILSON, M.; MILLS, S.; BURNS, R. G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 387-401, 2002.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A., BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TEIXEIRA, J. C. Modernização da Agricultura no Brasil: Impactos econômicos, sociais e ambientais. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros. Três Lagoas, v. 2 – n. 2. 2005.

THIELE, H.U. *Carabid beetles in their environments*. Berlin: Springer, 1977. 369p.

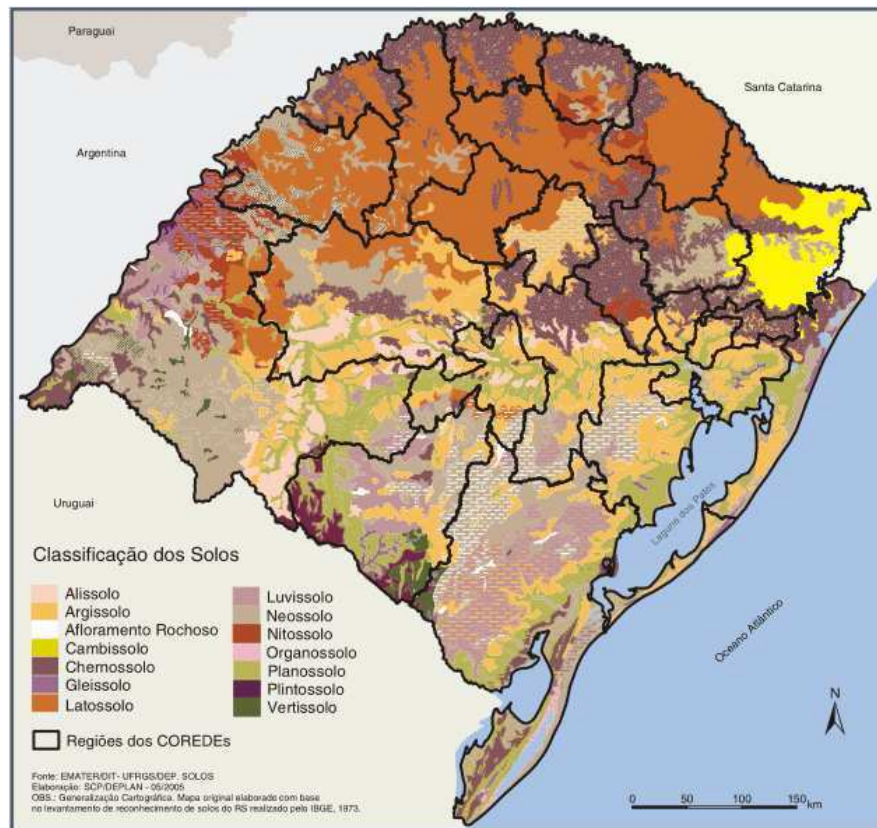
VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v.39, p.3066-3080, 2007.

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

WINK, C.; JERSON, V.C. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. *Revista de ciências agroveterinárias*, Lages, v. 4, n. 1, p. 60-70, 2005.

ZILLI, E.J.; RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R.; COUTINHO, H.L.C.; NEVES, M.C.P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.

**Anexo A** – Mapa de solo do Rio Grande do Sul e solo com processo de arenização já avançado na região Sudoeste do Rio Grande do Sul. Fonte: [www.al.rs.gov.br/arenizacao](http://www.al.rs.gov.br/arenizacao)



**Anexo B – Vista aérea da área experimental** na cidade de São Francisco do Sul/RS e vista geral da área onde foi instalado o experimento em São Francisco do Sul/RS



Fonte: <https://maps.google.com.br/maps>



Foto: Sandro José Giacomini

**Anexo C** – Vista geral do preparo do solo e implantação da amoreira-preta cv. Tupi (*Rubus* sp.) em 12/09/2009.



Fotos: Sandro José Giacomini

**Anexo D** - Implantação dos tratamentos avaliados: T1- feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*)/Aveia-preta (*Avena strigosa*) ; T2- Braquiária (*Brachiaria decumbens*) ; T3- campo nativo



Fotos: Sandro José Giacomini