

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar



Tese

**Produção de biomassa vegetal e fertilização com húmus líquido como
estratégia técnica em sistemas de produção de base ecológica**

Willian Fontanive Jandrey

Pelotas, 2019

Willian Fontanive Jandrey

**Produção de biomassa vegetal e fertilização com húmus líquido como
estratégia técnica em sistemas de produção de base ecológica**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Dr. Gustavo Schiedeck

Co-Orientadora: Prof. Dra. Ana Cláudia Rodrigues de Lima

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

J33p Jandrey, Willian Fontanive

Produção de biomassa vegetal e fertilização com húmus líquido como estratégia técnica em sistemas de produção de base ecológica / Willian Fontanive Jandrey ; Gustavo Schiedeck, orientador ; Ana Cláudia Rodrigues de Lima, coorientadora. — Pelotas, 2019.

111 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Agricultura orgânica. 2. Biodiversidade. 3. Plantas de cobertura. 4. Qualidade do solo. 5. Sustentabilidade. I. Schiedeck, Gustavo, orient. II. Lima, Ana Cláudia Rodrigues de, coorient. III. Título.

CDD : 630.2745

Willian Fontanive Jandrey

Produção de biomassa vegetal e fertilização com húmus líquido como estratégia técnica em sistemas de produção de base ecológica

Tese aprovada como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 29/07/2019

Banca examinadora:

Pesq. Dr. Gustavo Schiedeck (Orientador)

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Pesq. Dr. Eberson Diedrich Eicholz

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Carlos Rogério Mauch

Doutor em Agronomia pela Universidad Politécnica de Valencia-España

Prof. Dr. Marcio de Medeiros Gonçalves

Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Dedico este trabalho aos meus pais Egon e Marlene
e a minha amada Tina

Agradecimentos

Neste momento especial fica oportunidade de agradecer a todos que fizeram parte desta caminhada.

A Deus, pela vida, família, amigos, saúde e por todos os momentos que proporciona em nosso caminho.

A meus pais, Egon e Marlene, por ser exemplo a ser seguido, por todo o carinho e incentivos prestados e pela compreensão da ausência em muitos momentos.

A Ana Cristina, minha amada, pelo apoio, carinho, dedicação e incentivo durante esta caminhada.

A Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, pela oportunidade oferecida e também a CAPES, pela bolsa vinculada ao programa, que foi fundamental para o estudo.

A Embrapa Clima Temperado, especialmente a Estação Experimental Cascata, pela estrutura e recursos disponibilizados, e também a seus colaboradores, pela participação na construção deste estudo.

Ao meu orientador, Gustavo Schiedeck, pela confiança, oportunidade e conhecimento nesta árdua caminhada.

A minha coorientadora, Ana Claudia Rodrigues de Lima, pelos ensinamentos, e também aos demais professores do SPAF, Roberta, Tânia, Lucio e Helvio.

Aos demais mestres que influenciaram esta jornada científica, professores Vanderlei, Lago, Wolmar, Homero, Glauco e Marcelino.

Aos colegas e amigos, Fabiane, Amanda, Louise, Camila, Reges, Volnei, Priscila, Maurício, Rafaela, Rudinei, Guilherme, Davi, Eduarda, Gabriela, Daniela, Cristine, Letícia, Marciana, Scheila, Marina, pelo companheirismo e descontração, pelas horas de estudos e também de festas, pois amigos são para todas as horas.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma outra contribuíram nesta jornada, meus agradecimentos.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”

Mahatma Gandhi

Resumo

JANDREY, Willian Fontanive. **Produção de biomassa vegetal e fertilização com húmus líquido como estratégia técnica em sistemas de produção de base ecológica**. Orientador: Gustavo Schiedeck. 2019. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

Preocupações com o futuro dos sistemas produtivos promovem discussões em nível mundial sobre modelos que possam minimizar os impactos da ação antrópica sobre os recursos naturais. A Agroecologia surge nesse contexto como um caminho potencial para o equilíbrio entre produção e conservação, porém, necessita de uma maior elucidação sobre os impactos da adoção de práticas em diferentes ambientes. Adicionar biomassa ao sistema produtivo e utilizar fontes de fertilização locais são opções de técnicas para promover a renovação de recursos na agricultura. Nesse contexto, o objetivo do estudo foi analisar possíveis combinações de diferentes espécies vegetais de adubos verdes e de fertilização com húmus líquido nas estratégias técnicas que potencializam os sistemas de produção agroecológicos na produção de biomassa vegetal e na capacidade do solo em exercer funções no agroecossistema. A área experimental foi dividida em canteiros de 1 m x 15 m onde foram aplicados os tratamentos. O delineamento foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial (4x2) com quatro adubos verdes (crotalária, milheto, mucuna e vegetação espontânea) e duas doses de húmus de minhoca (0 Mg ha⁻¹ e 6 Mg ha⁻¹). A aplicação do húmus ocorreu na forma líquida. As variáveis analisadas compreenderam parâmetros de desenvolvimento das plantas, com coleta de plantas em quatro períodos, e variáveis do solo, mensuradas entre o período vegetativo e o período de decomposição da biomassa. As espécies crotalária e o milheto foram superiores na produção de massa seca e a fertilização com húmus líquido não apresentou diferença no desenvolvimento vegetal das espécies de adubos verdes com a dose utilizada. Nos atributos físicos de densidade e resistência do solo à penetração foi visualizado um adensamento natural do solo, sem a interferência dos tratamentos. O pH apresentou acidificação do solo e a condutividade elétrica elevou seus valores no período avaliado. A maioria dos tratamentos respondeu positivamente quanto ao acúmulo de carbono no solo. A fertilização com húmus líquido influenciou principalmente a dinâmica do nitrogênio, com o nitrogênio orgânico na camada de 0-5 cm e o nitrato na camada de 5-10 cm. A biodiversidade da edafofauna demonstrou os maiores valores de riqueza, abundância, diversidade e equabilidade no período de maior desenvolvimento da biomassa vegetal.

Palavras-chave: Agricultura orgânica. Biodiversidade. Plantas de cobertura. Qualidade do solo. Sustentabilidade.

Abstract

JANDREY, Willian Fontanive. **Plant biomass production and fertilization with vermicompost tea as technical strategie in agroecological production systems.** Advisor: Gustavo Schiedeck. 2019. 111 f. Thesis (Doctor in Agronomy). - Post Graduate Program in Family Agricultural Production Systems, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2019.

Concerns about the future of production systems promote worldwide discussions on models that can minimize the impacts of anthropogenic action on natural resources. Agroecology emerges in this context as a potential pathway for the balance between production and conservation, however, it needs a greater elucidation on the impacts of adopting practices in different environments. Increase biomass to the production system and used local fertilizer sources are options for techniques to promote renewal of resource in agriculture. In the context, the aim of the study was to analyze possible combinations of different plant species of green manures and fertilization with vermicompost tea in the technical strategies that potentiate the agroecological production systems in the production of vegetal biomass and in the capacity of the soil to exert functions in the agroecosystem. An experimental area was divided into beds of 1 m x 15 m where treatments were dispensed. The experimental desing was a randomized complete block design (4x2) with four green manures (crotalaria, millet, mucuna and spontaneous vegetation) and two doses of earthworm humus (0 Mg ha⁻¹ and 6 Mg ha⁻¹). The application of vermicompost occurred in liquid form. The variables analyzed included development parameters of the plants, with collection of plants in four periods, and soil variables, measured between the vegetative period and the period of decomposition of the biomass. Crotalaria and millet were higher in dry matter production and fertilization with vermicompost tea showed no difference in the vegetative development of the green manure species at the dose used. In the physical attributes of soil density and resistance to penetration a natural soil densification was visualized, without the interference of the treatments. The pH presented soil acidification and the electrical conductivity increased its values in the period evaluated. Most of the treatments were positive in soil carbon accumulation. Fertilization with vermicompost tea mainly influenced the dynamics of nitrogen, with organic nitrogen in the 0-5 cm layer and the nitrate in the layer of 5-10 cm. The biodiversity of edafauna showed higher values of richness, abundance, diversity and equability in the period of greater development of the vegetal biomass.

Keywords: Organic agriculture. Biodiversity. Cover crops. Soil quality. Sustainability.

Lista de Figuras

Figura 1	Condução do experimento no segundo ciclo e semanas de realização das avaliações.....	49
Figura 2	Representação do manejo no processo de formação de húmus sólido..	50
Figura 3	Produção do húmus líquido. (A) Tecido Voile utilizado como filtro para o material; (B) Material sólido colocado na caixa d'água; (C) Processo de aeração do húmus líquido.....	52
Figura 4	Fluxograma da sequência de procedimentos para análises de nitrogênio.....	56
Figura 5	Acúmulo de massa seca média ($\text{Mg ha}^{-1} \pm \text{dp}$) de diferentes espécies de adubos verdes e de vegetação espontânea ao longo do experimento.....	62
Figura 6	Altura do dossel ($\text{m} \pm \text{dp}$) de diferentes espécies de adubos verdes e de vegetação espontânea ao longo do experimento.....	63
Figura 7	Relação entre os sólidos voláteis na primeira e na última amostragem de diferentes espécies de adubos verdes.....	65
Figura 8	Resistência à penetração (Mpa) entre 5 e 40 cm de profundidade em solos com diferentes coberturas vegetais.....	69
Figura 9	pH ($\text{m} \pm \text{dp}$) na camada superficial do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	71
Figura 10	Condutividade elétrica ($\mu\text{S} \pm \text{dp}$) na camada superficial do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	72
Figura 11	Relação entre carbono orgânico final e inicial na camada superficial do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	74
Figura 12	Nitrogênio extraível total – NET ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	78
Figura 13	Nitrogênio amônio – N-NH_4^+ ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	80

Figura 14	Nitrogênio nitrato – N-NO_3^- ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	82
Figura 15	Nitrogênio orgânico solúvel – Norg ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	84
Figura 16	Número de indivíduos ($m \pm \text{dp}$) da fauna edáfica do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	86
Figura 17	Número de ordens ($m \pm \text{dp}$) da fauna edáfica presentes do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	87
Figura 18	Índice de Margalef ($m \pm \text{dp}$) na fauna edáfica do solo em diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	88
Figura 19	Índice de Simpson ($m \pm \text{dp}$) na fauna edáfica do solo em diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	89
Figura 20	Índice de Diversidade de Shannon ($m \pm \text{dp}$) na fauna edáfica do solo em diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	90
Figura 21	Índice de Equabilidade ($m \pm \text{dp}$) na fauna edáfica do solo em diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	91

Lista de Tabelas

Tabela 1	Atributos químicos do solo na camada 0-20 cm no momento de implantação do experimento.....	45
Tabela 2	Representação dos tratamentos no primeiro ciclo (ano teste) e segundo ciclo (ano de avaliação) do experimento.....	46
Tabela 3	Atributos químicos e físicos do húmus sólido utilizado no experimento....	51
Tabela 4	Características do húmus líquido.....	52
Tabela 5	Análise de variância da massa seca final em função da espécie, fertilização e interação.....	59
Tabela 6	Massa seca média ($\text{Mg ha}^{-1} \pm \text{dp}$) de diferentes espécies de adubos verdes e de vegetação espontânea ao final do ciclo vegetativo.....	60
Tabela 7	Densidade do solo ($\text{g cm}^{-3} \pm \text{dp}$) em duas profundidades realizadas duas semanas após a semeadura e 16 semanas após o manejo da biomassa vegetal.....	66
Tabela 8	Análise de variância para a relação entre o carbono orgânico final e inicial do solo na profundidade de 0-5 cm.....	74
Tabela 9	Análise de variância para nitrogênio extraível total (NET) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	76
Tabela 10	Nitrogênio extraível total – NET ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	77
Tabela 11	Análise de variância para nitrogênio amônio (N-NH_4^+) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	79
Tabela 12	Nitrogênio amônio – N-NH_4^+ ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	79
Tabela 13	Análise de variância para nitrogênio nitrato (NO_3^-) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	81

Tabela 14 Nitrogênio nitrato – N-NO ₃ ⁻ (µg g ⁻¹ ± dp) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	81
Tabela 15 Análise de variância para nitrogênio orgânico solúvel (Norg) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	83
Tabela 16 Nitrogênio orgânico solúvel – N-Norg (µg g ⁻¹ ± dp) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido.....	83

Sumário

1 Introdução.....	15
2 Objetivos.....	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3 Revisão de literatura.	20
3.1 Importância e impactos dos sistemas de produção.....	20
3.1.1 Sistemas de produção de base ecológica.....	23
3.1.2 Implicações e aplicações da Agroecologia nos sistemas de produção.....	25
3.1.3 Gestão dos recursos nos agroecossistemas agroecológicos.....	27
3.1.4 O papel da agricultura familiar nos sistemas de produção agroecológicos...	29
3.2 Sistemas de produção com biomassa vegetal e húmus como meio de promover funções no solo.....	31
3.2.1 O solo e os sistemas de produção.....	32
3.2.2 Utilização de húmus como promotor de qualidade no sistema produtivo.....	34
3.2.3 Adição de biomassa vegetal no sistema produtivo.....	36
3.2.4 Manejo da biomassa vegetal.....	38
3.2.5 Escolha das espécies para produção de biomassa vegetal.....	39
3.2.5.1 Crotalária juncea.....	40
3.2.5.2 Mucuna-preta.....	41
3.2.5.3 Milheto.....	42
4 Material e métodos.....	44
4.1 Histórico e caracterização da área experimental.....	44
4.2 Delineamento experimental.....	45
4.3 Condução do experimento a campo.....	47
4.4 Produção de húmus.....	49
4.5 Variáveis determinadas.....	53
4.5.1 Biomassa vegetal (fresca e seca).....	53
4.5.2 Altura do dossel.....	53
4.5.3 Umidade gravimétrica do solo (Ug).....	53
4.5.4 Densidade do solo (Ds).....	54

4.5.5 Resistência do solo à penetração (RP).....	54
4.5.6 Sólidos voláteis.....	54
4.5.7 Potencial hidrogeniônico (pH).....	55
4.5.8 Condutividade elétrica (CE).....	55
4.5.9 Nitrogênio (N).....	55
4.5.10 Índices ecológicos.....	57
4.6 Análise estatística.....	58
5 Resultados e discussão.....	59
5.1 Produção de biomassa vegetal.....	50
5.2 Efeito dos tratamentos sobre atributos do solo.....	66
5.2.1 Densidade e resistência do solo à penetração (RP).....	66
5.2.2 Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE).....	70
5.2.3 Carbono orgânico.....	74
5.2.4 Nitrogênio.....	76
5.3 Efeitos dos tratamentos sobre a biodiversidade da edafofauna.....	86
6 Conclusões.....	94
Referências.....	95
Apêndice A.....	111

1 Introdução

A agricultura constantemente efetua rompimento de paradigmas nos ambientes de produção, o que se torna fundamental para evoluções nos sistemas agroalimentares. Preocupações com o futuro dos sistemas produtivos promovem discussões a nível mundial sobre modelos que minimizam os impactos da ação antrópica sobre os recursos naturais.

As tendências atuais de uso do solo necessitam a apropriação de uma fração cada vez maior de bens e serviços da biosfera, resultando simultaneamente na diminuição da capacidade dos ecossistemas globais para sustentar a produção de alimentos e manter os recursos naturais sem sofrer impactos (FOLEY et al., 2005). Faz-se necessário que a pesquisa científica colabore com o desenvolvimento de técnicas que integrem um sistema que promova sustentabilidade nos agroecossistemas. De acordo com Casalinho (2003), a interação entre áreas como Agronomia, Ecologia, Sociologia e Economia, é uma forma de compreender e avaliar efeitos de diferentes tecnologias, com o homem e a natureza como elementos fundamentais na complexa relação existente nos sistemas de produção. As ciências naturais, sociais e agrárias estão intrinsecamente interligadas nos sistemas de produção de alimentos e a transição agroecológica possibilita novos desafios e oportunidades para investigações com a integração destas áreas (HATT et al., 2016).

Os estudos de enfoque agroecológico abordam a compreensão do sistema produtivo sobre seus diversos aspectos ou áreas do conhecimento. Segundo Altieri (1999), a principal estratégia da Agroecologia é explorar as complementariedades e sinergias que resultam de diversas combinações entre culturas, árvores e animais, com arranjos espaciais e temporais, aumentando a abundância e diversidade de organismos acima e abaixo do solo. Princípios agroecológicos sugerem que devemos exaltar os processos ecológicos locais que sustentam a prestação de serviços ambientais cruciais para atividades agrícolas, mantendo ao mesmo tempo a

função produtiva da agricultura (MALEZIEUX, 2012). Essa forma de produção alternativa busca a promoção da biodiversidade ambiental e também cumpre um papel importante na autonomia dos agricultores pela busca de minimização na dependência de insumos externos para a unidade de produção.

Nos sistemas produtivos, os insumos compostos em parte por práticas de adubação orgânica, são de extrema importância para os agroecossistemas, e ao mesmo tempo, compõem um gargalo presente na Agroecologia, necessitando pesquisas e abordagens sobre seus usos. O uso de insumos externos em práticas ecológicas deve ser minimizada, para assim, contribuir com o aumento da sustentabilidade ambiental na agricultura (HATT et al., 2016). Entre os adubos orgânicos utilizados, o húmus de minhoca pode ser definido como a bio-oxidação e estabilização da matéria orgânica na ação conjunta de minhocas e micro-organismos, na qual as minhocas alteram a atividade microbiana pelas ações de arejar e fragmentar o substrato, proporcionando melhores condições para a degradação bioquímica dos micro-organismos (LAZCANO; GOMEZ-BRANDON; DOMINGUEZ, 2008).

Aliado a adição de adubos orgânicos, um dos processos mais antigos na agricultura é a utilização de plantas produtoras de biomassa e fixadoras de nitrogênio atmosférico. O aumento de aporte de resíduos orgânicos à superfície do solo vincula-se a incorporação de carbono e a ciclagem de nutrientes, proporcionando um novo equilíbrio no habitat (PERREIRA, 2012). A união de práticas deve compor novas opções aos agricultores, com benefícios que podem estar relacionados ao ecossistema, ao solo, à fatores econômicos e sociais. Com a identificação de associações entre diferentes práticas de adubação que potencializem benefícios fitotécnicos, ambientais e econômicos, torna-se possível uma maior difusão da Agroecologia. Além de benéfico, é necessário ao ambiente, promover práticas produtivas com princípios que direcionem a agricultura aliada a sustentabilidade.

O potencial total para a utilização de microrganismos benéficos como aliados naturais na inoculação de solos ou sementes ainda não foi atingido (CHAVE; TCHAMITCHIAN; OZIER-LAFONTAINE, 2014). O solo deve ser entendido como um sistema dinâmico, cuja funcionalidade emerge a partir de interações entre componentes físicos, químicos e biológicos (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). Hole et al. (2005) observaram em uma série de trabalhos realizados, que a

agricultura orgânica tem o potencial de ajudar a alcançar o equilíbrio ecológico, importante para o dinamismo do ecossistema.

A conservação da biodiversidade com diferentes sistemas de cultivo será uma abordagem cada vez mais importante para o desenvolvimento sustentável da produção agrícola e necessita de maior investigação (HUANG et al., 2013). De acordo com Ciaccia et al. (2015), mesmo com uma ampla conscientização acerca da importância dos serviços ecossistêmicos nos sistemas produtivos, ainda não há informações sobre a eficácia da combinação de adubos orgânicos com o manejo de culturas de cobertura para melhorar a capacidade produtiva em sistemas agroecológicos.

O húmus de minhoca é considerado na agricultura como uma alternativa promissora aos fertilizantes, possuindo impactos positivos no crescimento e saúde das plantas (LAZCANO; DOMINGUES, 2011). Da mesma forma, plantas produtoras de biomassa também se apresentam como fonte de nutrientes para as culturas subsequentes, ao mesmo tempo em que podem auxiliar a redução de impactos ambientais e melhorar a viabilidade econômica de unidades de produção (CHERR; SCHOLBERG; MCSORLEY, 2006). Além disso, a adição de plantas de cobertura ao sistema contribui para reduzir os insumos agrícolas externos e minimizar os usos de recursos não renováveis (ROBACER et al., 2016). De acordo com Lazcano e Domingues (2011), os efeitos do húmus em sistemas solo-planta ainda não são totalmente compreendidos, indicando necessidade de abrir novas linhas de pesquisa. Resultados que compõem práticas de adubação, podem auxiliar em futuras indicações técnicas e científicas relacionadas a plantas de cobertura e ao húmus de minhoca.

Os esforços para a contribuição de informações sobre adubação orgânica seguem os princípios da difusão da proposta de Agroecologia, buscando fortalecer a categoria da agricultura familiar e resgatar a autonomia dos agricultores. Os sistemas agroecológicos estão profundamente enraizados na lógica ecológica da agricultura tradicional de pequena escala, com sistemas agrícolas caracterizados por conhecimento sobre as interações entre os regimes de manejo do solo, da água e da biodiversidade (ZANELLA et al., 2015).

Uma das principais questões discutidas na Agroecologia contempla a autossuficiência, de forma que o agricultor possa utilizar insumos oriundos de seu próprio sistema produtivo. As técnicas do uso de plantas de cobertura e húmus de

minhoca contemplam práticas que possibilitam economia em insumos e a conferem de qualidade aos sistemas de produção. Wezel et al. (2014) citam as plantas de cobertura e a adubação como práticas agroecológicas e questionam acerca da necessidade de ampliar o conhecimento sobre suas vantagens, limitações e seu potencial para o futuro.

Existem diferentes formas de utilização de adubos orgânicos com diferentes efeitos resultantes de sua aplicação. As escolhas contemplam abordagens complexas entre interações produtivas, do solo e de gestão. Para tanto, surge à indagação sobre quais as possíveis combinações de diferentes espécies vegetais de adubos verdes e de fertilização com húmus líquido nas estratégias técnicas que potencializam os sistemas de produção de base ecológica na produção de biomassa vegetal e na capacidade do solo em exercer funções no agroecossistema?

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito do cultivo e manejo de diferentes espécies vegetais de adubos verdes associado com a aplicação de húmus líquido como estratégias técnicas que potencializam os sistemas de produção de base ecológica na capacidade do solo em exercer funções no agroecossistema.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a produção de biomassa de diferentes espécies vegetais de adubos verdes submetidos à fertilização com húmus líquido;

Analisar a capacidade do solo em exercer funções no agroecossistema após aplicação de práticas agroecológicas com diferentes espécies vegetais de adubos verdes e de fertilização com húmus líquido.

3 Revisão de literatura

Este capítulo abordará os temas científicos relacionados ao estudo, elencando os sistemas de produção agroecológicos como base para a aplicação de práticas de manejo pertinentes aos agroecossistemas.

3.1 Importância e impactos dos sistemas de produção

As modificações históricas nas formas de produção e tipos de agricultura no mundo são, em parte, responsáveis pelo desenvolvimento da sociedade. A base da evolução da agricultura encontra-se atrelada às inovações, sejam elas tecnológicas ou em conhecimento.

A agricultura proporcionou, ao longo dos anos, constantes aumentos de produtividade nas mais distintas culturas e, apesar disso, a produtividade é um dos assuntos mais destacados quando se apresentam as estimativas de crescimento populacional até o final do século. Como alimentar o mundo, é uma preocupação cada vez mais urgente, discutida desde grupos comunitários locais até organismos nacionais e internacionais de governos (KREMEN; ILES; BACON, 2012). De acordo com United Nations (2017), as estimativas mundiais de população ultrapassam 9,7 bilhões de pessoas no ano de 2050 e 11,1 bilhões em 2100. Essas estimativas reforçam as indagações de quais tipos de agriculturas são necessárias para alimentar essa crescente população.

A agricultura é uma atividade dinâmica e diversificada, que, em cada região do mundo possui diferentes formas de trabalhar a terra, tornando-se uma atividade que abrange pessoas com distintas condições econômicas e tradições culturais (FEIDEN et al., 2002). Atualmente, a agricultura familiar é a forma predominante no setor de produção de alimentos, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento (TOADER; ROMAN, 2015). Mesmo conhecendo a participação

massiva da agricultura familiar na produção de alimentos (isso sem contar sua importância social, econômica, etc.), muitas vezes as políticas públicas por meio das nações não priorizam esse setor. Graeub et al. (2016), analisando o sistema alimentar global, destacam que a contribuição dos agricultores familiares para a segurança alimentar e para o desenvolvimento local é mal documentada, pois a estimativa de participação da agricultura familiar na produção de alimentos no mundo chega a 80%. Esta participação na alimentação mundial reforça o papel fundamental da agricultura familiar.

A existência de colheitas que possibilitaram alimentar bilhões de pessoas em todo o planeta, ao longo do último meio século, ocorreu devido à aceleração da intensificação agrícola (ICKOWITZ et al., 2019). Pretty e Bharucha (2014) destacam que, tradicionalmente, a intensificação agrícola foi definida de três maneiras: pelo aumento dos rendimentos por hectare; pelo aumento da intensidade das colheitas com duas ou mais colheitas por unidade de terra; e pela mudança no uso da terra com culturas de baixo valor ou commodities para aquelas que recebem maiores preços de mercado ou possuem melhor conteúdo nutricional.

A intensificação da agricultura é um processo que teve seu início entre 7.000 a 10.000 anos atrás, com a transição da caça e coleta na agricultura para os primeiros cultivos, porém teve seu ritmo dramaticamente acelerado a partir da "Revolução Verde" na década de 1960 (HOCHMAN et al., 2013). Nos sistemas agrícolas promovidos pela Revolução Verde, com a grande variedade de culturas empregando diversos métodos de cultivo, adotaram-se métodos similares, com variedades melhoradas, uso de fertilizantes inorgânicos, pesticidas, máquinas e irrigação (PRETTY; BHARUCHA, 2014).

A porcentagem de pessoas que passam fome é a menor da história moderna graças ao processo de intensificação (ICKOWITZ et al., 2019). Mesmo ainda existindo populações sem acesso ao alimento mínimo necessário, é fato que houve um progresso, porém, também deve ser levantada a discussão dos custos desse modelo de intensificação e agregar alternativas para o futuro dos sistemas produtivos. Historicamente, a agricultura contribuiu com a maior produtividade das culturas, crescimento no agronegócio e com variados produtos alimentícios processados nos supermercados, porém, questões como as alterações climáticas, a poluição, o declínio no número de agricultores e a qualidade dos alimentos foram pouco abordadas (HATT et al., 2016).

Ao mesmo tempo em que a intensificação da agricultura é considerada a principal responsável pelos aumentos de rendimentos, ela também se torna responsável pela degradação de recursos naturais (FOLEY et al., 2011). Desde a Revolução Verde, a agricultura está centrada principalmente na produção de alimentos com o uso de práticas altamente dependentes de insumos, e está substituindo processos ecológicos essenciais no sustento dos serviços ambientais que mantêm um desempenho a longo prazo (HATT et al., 2016). De acordo com Foley et al. (2005), as práticas modernas de uso da terra aumentam as fontes de curto prazo de bens materiais, porém, podem comprometer serviços dos ecossistemas em longo prazo, tanto em escalas regionais quanto em escalas globais. A Terra, que já foi concebida como uma fonte inesgotável de recursos é hoje vista com limitações, exigindo usos eficientes (MAZZOLENI; NOGUEIRA, 2006).

Ao aprofundar as observações sobre as formas de produção, amplia-se a consciência e responsabilidade sobre os desequilíbrios que podem ser causados ao ambiente. A década de 1990 foi um marco para o surgimento de questionamentos sobre o futuro dos recursos naturais e também acerca das formas de produção de base ecológica. Grande parte do foco para as formas de produção agroecológicas deve-se aos consumidores que na década de 1990 representaram um aumento significativo nas compras de alimentos orgânicos (LUND; ANDERSEN; JENSEN, 2013). Outro fator importante nestes anos, foi a agricultura familiar brasileira enfrentar o desafio de desenvolver estratégias como meio de superar a tendência mercadológica da sua exclusão (WILKINSON, 2008). Voisin et al. (2014), relatam que os primeiros sinais que contestaram o sistema de produção agrícola de capital intensivo e especializado estavam vinculados à crescente incerteza sobre a disponibilidade futura de recursos energéticos, à crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e ao desenvolvimento de sistemas de produção para a agricultura de base ecológica.

As formas de produção caracterizadas hoje como de base ecológica surgiram de uma fração de agricultores que optou por não se adequar a esse sistema de produção baseado em insumos químicos (KESSE-GUYOT et al., 2013). Essa fração de agricultores também pode ser vista como uma forma de resistência às imposições dos grandes atores da cadeia produtiva e de conservação e valorização dos saberes tradicionais.

3.1.1 Sistemas de produção de base ecológica

Em todo o planeta surgiram diferentes denominações para as formas de agricultura que mantiveram seus métodos tradicionais de cultivo. A origem da Agroecologia, segundo Khatounian (2001), dá-se na América Latina, procurando atender às necessidades de preservação ambiental e de promoção socioeconômica dos pequenos agricultores. Altieri (1999) destaca o ano de surgimento da Agroecologia como 1928 e que, em sua evolução durante o século XX, seu objetivo principal foi reduzir o uso de insumos e o impacto da agricultura sobre o meio ambiente. Outra abordagem mais abrangente exalta que as práticas agroecológicas podem ser descritas como práticas agrícolas com o objetivo de produzir quantidades significativas de alimentos, valorizando da melhor forma os processos ecológicos e serviços do ecossistema, de forma a integrá-los como elementos fundamentais em seu desenvolvimento (WEZEL et al., 2014).

Os sistemas de produção de base ecológica são constituídos por várias correntes que possuem como foco comum a busca de um sistema de produção sustentável no tempo e no espaço (PENTEADO, 2001). Esses sistemas de produção possuem o objetivo de criar um ambiente ecologicamente equilibrado e conforme Velimirov et al. (2010), sua gestão não segue simplesmente um conjunto de regras, mas sim, promove uma aplicação de princípios. Isso leva a entender o porquê da complexidade de tais sistemas.

Os princípios agroecológicos assumem diferentes formas tecnológicas, dependendo das circunstâncias ambientais, sociais e econômicas de cada sistema agrícola, que quando projetado e gerenciado com esses princípios, tornam-se mais diversificados, produtivos, resilientes e eficientes (ZANELLA et al., 2015). As contribuições de Béné et al. (2019) indicam que o foco deve ser a gestão dos recursos naturais e seu uso sustentável, porém é possível e necessário ampliar o horizonte da agricultura, englobando os aspectos econômicos, sociais e culturais.

Quando se vinculam discussões ambientais, econômicas e sociais, temos a Agroecologia também fortemente ligada à sustentabilidade. Propor a aplicação de soluções à problemas de acordo com a complexidade das condições locais, como é a ênfase da Agroecologia, é um meio adequado para alcançar a sustentabilidade na agricultura e na organização do sistema alimentar (HATT et al., 2016). Enquanto as

plantas cultivadas fornecem produtos para o consumo humano, os animais silvestres, direta e indiretamente mediam a quantidade e qualidade dos bens produzidos através de sua atividade nos agroecossistemas (SAUNDERS et al., 2016). Com isso, Hatt et al. (2016) complementam que a paisagem circundante precisa ser levada em conta na avaliação local. Um agroecossistema pode ser definido um local de produção, sendo analisado como um todo, com a inclusão dos conjuntos de insumos e produção, e ainda suas interconexões entre as partes que o compõem (GLIESSMAN, 2000).

Além de entender que os sistemas de manejo agroecológicos são de alta complexidade, outro ponto importante para a discussão de sustentabilidade no ambiente produtivo remete ao equilíbrio do sistema. Lopes e Lopes (2011) complementam que todos os movimentos de base ecológica se preocupam com métodos sustentáveis de relacionamento do ser humano com a natureza, de forma a intervir o menos possível no ambiente, promovendo ações que levem à consideração e conservação dos recursos naturais.

Buscando um entendimento mais refinado, pode-se direcionar o foco em uma visão agrônoma da Agroecologia. Esta visão é destacada por Foran et al. (2014), quando as explorações agrícolas e as paisagens agroecológicas são concebidas de forma a sinergizar interações, melhorar a eficiência biológica, preservar a biodiversidade e manter a produtividade. A diversidade é vista como um benefício para a Agroecologia e como um fardo para a agronomia clássica, pois os estudos relacionados à Agroecologia priorizam a complexidade e aleatoriedade, enquanto na agronomia clássica o foco direciona-se à previsibilidade (LESCOURRET et al., 2015b).

No desenvolvimento de práticas agroecológicas, a questão da diversificação é inevitável, uma vez que estas práticas são baseadas em processos ecológicos e prestação de serviços de ecossistema (WEZEL et al., 2014). Os serviços ambientais ou ecossistêmicos podem ser definidos separadamente ou com um sentido único sendo serviços prestados pela natureza, com ou sem a interferência humana, para benefício do equilíbrio do planeta (HERCOWITZ; MATTOS; SOUZA, 2011).

É cada dia mais urgente a necessidade de mudança de paradigmas produtivos em prol da conservação dos recursos naturais nos agroecossistemas. No entanto, para implementar as práticas agroecológicas que são baseadas na diversificação, uma reformulação dos sistemas de cultivo é muitas vezes necessária,

porque a tendência geral após a Revolução Verde foi, ao contrário, para simplificar os sistemas de produção (WEZEL et al., 2014). O primeiro passo para gerar sistemas de produção agrícola ecologicamente dirigidos, é entender com profundidade como estes funcionam.

3.1.2 Implicações e aplicações da Agroecologia nos sistemas de produção

Historicamente, a agricultura sempre teve seus processos relacionados à natureza e mesmo com a agricultura moderna avançando em processos e técnicas que procurem ultrapassar limites, a prática agrícola ainda é uma atividade essencialmente dependente do meio ambiente (ASSIS; ROMEIRO, 2002). Wezel et al. (2014) relatam que as práticas agroecológicas também se utilizam de práticas inovadoras por meio de técnicas adaptadas. A adaptação, por sua vez, necessita de conhecimento adquirido, troca de experiências e criatividade para a resolução das situações ocasionais. Foran et al. (2014) citam o conhecimento antepassado sobre biodiversidade, manejo do solo e da água, projetos agrícolas e capacidades associadas para inovar, destacando que é comum encontrar diversos tipos de sistemas semelhantes ao redor do mundo.

A existência de um conjunto de sistemas tradicionais, principalmente em países da América Latina, África e Ásia compreende uma herança agrícola engenhosa e globalmente importante, pois reflete o valor da diversidade de sistemas agrícolas adaptados à diferentes ambientes (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012). Além disso, os autores complementam ser necessário enaltecer a história da capacidade e engenhosidade dessas pessoas que se ajustam aos ambientes físicos e de geração em geração renovam um compromisso permanente com a conservação e respeito pelo seu patrimônio natural.

Embora a Agroecologia tenha sua construção aliada aos elementos da agricultura de várias partes do planeta, ela nem sempre é aceita de forma positiva. Sua história pode ser controversa ao ser considerada por alguns como uma abordagem ineficiente para produção de alimentos, mesmo que alimentos orgânicos sejam um segmento de mercado em rápido crescimento na indústria global (REGANOLD; WACHTER, 2016). Este se torna mais um aspecto que

fortalece a necessidade de investigação acerca das práticas de manejo deste sistema produtivo.

A história mostra que práticas agrícolas como a adubação orgânica, a rotação de culturas, e o controle biológico de pragas são amplamente conhecidas e foram utilizadas ao longo do tempo na agricultura convencional, porém ultimamente estão cada vez mais sendo descritas como práticas agroecológicas (WEZEL et al., 2014). Isso exemplifica como adequações também podem ocorrer ao longo do tempo, modificando as práticas mais utilizadas e mais eficazes para cada sistema produtivo. Em sequência a análise, Wezel et al. (2014) ainda citam a ciclagem de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio, a regulação natural de pragas, a conservação do solo e da água, a conservação da biodiversidade e o sequestro de carbono, como práticas visualizadas em diferentes graus e em diferentes regiões do mundo, sendo, algumas bem desenvolvidas e outras com uma taxa de aplicação limitada.

A adaptação e a construção do conhecimento andam lado a lado com a Agroecologia desde o início de sua descrição como ciência. Altieri e Nicholls (2003) expõem que a filosofia original que guiou este tipo de agricultura enfatizava o uso de recursos disponíveis ou próximos da propriedade agrícola, aspectos que realçam a autossuficiência. Para utilizar os recursos disponíveis é necessário conhecer a biodiversidade local e respeitar seus limites, todavia, seu uso com consciência possibilita promover os serviços do ambiente. O aumento da biodiversidade em sistemas agrícolas é a chave para melhorar a sustentabilidade da agricultura (BERTRAND et al., 2015).

Exemplos da biodiversidade nos agroecossistemas muitas vezes são descritos com a presença ou ausência de insetos indesejáveis e doenças. A regulação de potenciais pragas e o rendimento das culturas são fornecidos pela biodiversidade e não por insumos antrópicos (CHAVE; TCHAMITCHIAN; OZIER-LAFONTAINE, 2014). Impactos nas propriedades e processos da biodiversidade nos ecossistemas ocorrem porque as espécies ou os próprios indivíduos diferem na sua produtividade e contribuições para as funções do ecossistema (WOOD et al., 2015).

Gerar uma compreensão mais detalhada de como os serviços ambientais variam de acordo com as práticas agrícolas e com o ambiente, ajuda a desenvolver estratégias de gestão que poderiam ser facilmente implementadas pelos agricultores (WOOD et al., 2015). Promover a segurança alimentar sustentável no contexto das mudanças globais está relacionada a uma gestão inteligente da biodiversidade

funcional, pois esta, auxilia a produção agrícola a longo prazo e a preservação dos recursos com supressão das doenças e aumento da resiliência nos agroecossistemas (CHAVE; TCHAMITCHIAN; OZIER-LAFONTAINE, 2014).

As interações existentes são múltiplas, contemplando alguns fatores manipuláveis pelo ser humano e outros, inclusive, ainda desconhecidos. Promover o máximo conhecimento e utilizar uma interação produtiva sem impactar negativamente o ambiente torna-se, um dever necessário para a conservação dos recursos naturais.

3.1.3 Gestão dos recursos nos agroecossistemas agroecológicos

Os sistemas de produção agroecológicos necessitam de uma gestão que se adapte ao ambiente, ou seja, as regras de decisão devem ser capazes de adaptar as práticas reais com as circunstâncias, o que também pode ser chamado de gestão adaptativa (RAPIDEL et al., 2015). Posteriormente os autores ainda complementam que a amplitude da intervenção deve ser considerada com cuidado, por exemplo, considerar a heterogeneidade é ótimo do ponto de vista do solo, porém necessita-se verificar se é possível utilizar os recursos de mão-de-obra de acordo com esta variabilidade.

A escolha dos recursos disponíveis, aliada à promoção de qualidade para o sistema produtivo, também é importante para avaliar o gerenciamento do sistema, sendo que a tomada de decisão está integrada aos resultados produtivos e financeiros de uma unidade de produção. Rapidel et al. (2015) citam os serviços ambientais mais próximos aos sistemas de cultivo, sendo primeiro o fornecimento de produtos ou a renda para o agricultor. Os autores relatam como intermediários, os serviços de interesse direto para os agricultores, como a reciclagem de nutrientes ou controle de pragas e de doenças, e sequencialmente, outros serviços como o fornecimento de água em quantidade e qualidade ou a conservação da biodiversidade. Esta classificação não se remete a qual é mais importante, mas sim qual possui uma afinidade ou presença maior na gestão dos sistemas produtivos.

A gestão baseada nos serviços ambientais é um desafio, onde o agricultor, na tomada de decisões, necessita analisar múltiplas situações positivas e negativas

como efeitos das práticas aplicadas nestes sistemas biofísicos complexos (LESCOURRET et al., 2015a). Os agroecossistemas são geridos por agricultores que têm objetivos específicos sobre diferentes serviços dos ecossistemas, e de acordo com estes objetivos, o agricultor decide qual deve ser a combinação de práticas de cultivo, modificando por exemplo, sequências de cultivos e associação entre culturas (RAPIDEL et al., 2015). Uma definição de agroecossistemas consiste em ecossistemas que incluem fatores bióticos e abióticos e suas interações, e são geridos na unidade de produção (WOOD et al., 2015).

A gestão é amplamente enfatizada por Rapidel et al. (2015), que destacam as combinações de serviços prestados por agroecossistemas promovendo diversidade de coexistência de espécies, e assim, resultando em opções de gestão que permitem uma utilização muito mais completa e eficiente dos recursos, com diferentes nichos sendo explorados por diferentes espécies no espaço. A gestão ecologicamente sustentável dos agroecossistemas é crucial, dada a rápida expansão da área agrícola para sustentar a crescente demanda da humanidade por alimentos, fibras e biocombustíveis (SAUNDERS et al., 2016). A produção contínua é necessária e por isso, deve seguir um sistema de gestão de uso dos recursos. Para Chave, Tchamitchian e Ozier-Lafontaine (2014) a tomada de decisões e o desenvolvimento de intervenções de gestão precisarão promover sinergias entre interações abaixo e acima do solo. A complexidade dos agroecossistemas deve ser, cada vez mais, bem avaliada dentro dos sistemas produtivos.

As iniciativas agroecológicas visam transformar a agricultura industrial pela transição dos sistemas agroalimentares baseados na produção direcionada a exportação de culturas e biocombustíveis, em direção a um paradigma agrícola alternativo que estimula a produção local de alimentos (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012). Além de promover qualidade ambiental, um alicerce necessário à mudança de paradigmas constitui criar uma alternativa a agricultura familiar.

3.1.4 O papel da agricultura familiar nos sistemas de produção agroecológicos

Os princípios da Agroecologia já eram amplamente utilizados na agricultura antes de se conceituar a agricultura familiar, mas este surgimento de classe definida fortificou a identidade associativa entre os agricultores familiares e a Agroecologia. A construção do termo agricultura familiar desenvolveu-se posteriormente à introdução dos métodos de cultivos relacionados aos pacotes tecnológicos promovidos pela Revolução Verde.

A ênfase da construção do conceito de agricultura familiar em estudos associados à política do Brasil está vinculada ao movimento de modernização conservadora adotado na época entre 1970 e 1990, que aumentou significativamente a produção agrícola, mas como consequência, promoveu a concentração de terras e a migração da população para áreas urbanas (CABRAL et al., 2016). O desenvolvimento de políticas específicas para a agricultura familiar surgiu somente depois da década de 1990, oriundo principalmente da união dos agricultores manifestando-se em prol de direitos e incentivos. O Brasil foi pioneiro em muitos programas destinados à agricultura familiar e mesmo assim, se forem comparados os recursos entre agricultura familiar e agricultores do agronegócio¹, a agricultura familiar possui recursos ínfimos (GRAEUB et al., 2016).

O incentivo à agricultura familiar faz-se necessário por aspectos que vão muito além da produção de alimentos. A agricultura fundamentada em propriedades familiares, é tida como um modo de vida que parte inicialmente do sustento das famílias, e ainda se apresenta como uma solução viável para o equilíbrio econômico, social e ambiental global (TOADER; ROMAN, 2015). As práticas tradicionais da agricultura familiar, aliadas à valores fundamentais para a sociedade promove alternativas aos padrões dominantes por meio do movimento da agricultura ecológica (WILKINSON, 2008). Os agricultores familiares também podem ser vistos como componentes-chave para melhorar a segurança alimentar e nutricional e acabar com a pobreza global (GRAEUB et al., 2016). A mais comum entre todas as

¹ Termo utilizado neste caso com o viés político, onde os grandes detentores de terras constituem agricultura do agronegócio, em comparativo as pequenas unidades de produção compostas pela agricultura familiar.

considerações já feitas, é a necessidade de auxílio dos órgãos representativos nacionais, conhecendo e valorizando esse setor muitas vezes marginalizado.

O papel da agricultura familiar com vários focos nos leva a refletir em uma complexa definição da agricultura familiar. Toader e Roman (2015), baseados nas políticas da FAO (Food and Agriculture Organization), destacam a agricultura familiar como um meio de organizar a produção agrícola, florestal, pesqueira, pastoril e aquícola que é gerida e operada por uma família e predominantemente dependente do trabalho familiar, incluindo mulheres e homens. O tamanho de uma unidade de produção agrícola familiar economicamente viável varia de acordo com a região, estratégia de produção, nível de integração de mercado, estrutura familiar, acesso à insumos, tecnologia e infraestrutura, além de oportunidades de trabalho não agrícola (GRAEUB et al., 2016). São diversos os fatores que destacam a alta heterogeneidade presente na agricultura familiar no Brasil, apresentando categorias distintas de características socioeconômicas e de estado de relação com o mercado (CABRAL et al., 2016).

Existe uma ampla discussão sobre produtividade em pequenas e grandes unidades de produção que possibilita muitos pontos de vista. Na comparação de produtividade, Graeub et al. (2016) reuniram um grande número de estudos empíricos demonstrando que fazendas menores também podem ser mais produtivas se avaliadas em uma base por hectare, no que é conhecido como a relação inversa entre tamanho e produtividade. Segundo Altieri, Funes-Monzote e Petersen (2012), as pequenas propriedades familiares são mais produtivas que grandes fazendas, se for considerada a produção total ao invés do rendimento de uma única cultura.

Os pacotes tecnológicos favoreceram a produção em larga escala, no entanto, mesmo assim, um grupo significativo de pequenas unidades de produção agrícola demonstraram desempenho semelhante ao de grandes fazendas (CABRAL et al., 2016). Considerando igual produtividade por hectare e avaliando índices globais, pode-se calcular que aproximadamente 53% da produção agrícola mundial é fornecida por agricultores familiares (GRAEUB et al., 2016). Deve ser levado em consideração que os agricultores de pequena escala trabalham com sistemas integrados que produzem simultaneamente grãos, frutas, vegetais, forragem e produtos de origem animal, enquanto as grandes fazendas focam em monoculturas (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012).

A atual existência de sistemas integrados na agricultura familiar facilita o aporte dos sistemas de produção agroecológicos, dada a complexidade dos policultivos. Escolher e adaptar o sistema produtivo ao ambiente de inserção, torna-se mais fácil a partir do momento em que se tem conhecimento sobre a visão do sistema produtivo como um todo. O sucesso do sistema produtivo vai depender da tomada de decisão dos agricultores na melhor escolha de adoção de práticas.

3.2 Sistemas de produção com biomassa vegetal e húmus como meio de promover funções no solo

Meios de conservação e renovação dos recursos naturais podem espelhar-se na reprodução das relações presentes nos sistemas naturais. De acordo com Mohamed, Saleh e Belal (2014), uma agricultura sustentável centraliza-se em uma produção que renova recursos.

A energia existente dentro de um sistema isolado somente pode mudar de forma, não podendo ser criada nem destruída, constatação essa que parte de lei da física, chamada lei da termodinâmica (HOCHMAN et al., 2013). Utilizando esse raciocínio, os autores relatam na agricultura o uso da energia solar transformando-se em alimentos, por meio de entradas de água e nutrientes a partir do solo. Os agricultores familiares utilizam como pilares do sistema de produção: a inovação, os recursos locais e a energia solar (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012). Hochman et al. (2013) ainda colaboram com o debate dando ênfase as relações de entradas e saídas, que são necessárias para que haja garantia de equilíbrio e para que o sistema possa ser considerado sustentável. Em um sistema direcionado ao equilíbrio, a nutrição das plantas deverá estar fundamentada nos próprios recursos do solo, com a base para a adubação sendo preferencialmente o material biodegradável produzido nas próprias unidades de produção ecológicas (PENTEADO, 2010).

Historicamente, várias plantas faziam parte dos sistemas produtivos familiares, onde os agricultores guardavam sementes de culturas que visualmente lhes demonstravam algum benefício ao solo ou as outras plantas. No Brasil, nos anos de 1970, o início da Revolução Verde substituiu parcialmente os adubos

verdes pelos fertilizantes químicos, desestimulando as culturas que não possuíam interesse econômico (WUTKE et al., 2008). Os autores complementam que uma década mais tarde, com problemas de erosão e degradação do solo, os adubos verdes retornaram ao sistema como plantas de cobertura do solo, como parcial solução destes problemas, seguindo a partir de 1990 como práticas conservacionistas do solo.

3.2.1 O solo e os sistemas de produção

Aliada à necessidade de produzir quantidades de alimentos para suprir a demanda crescente, desenvolveu-se a preocupação com o avanço dos processos de degradação instalados em grande parte dos solos e com a prevenção e qualidade dos agroecossistemas. Segundo Schiefer, Lair e Blum (2015), a terra produtiva não é automaticamente a melhor terra para a agricultura intensiva, pois a agricultura intensiva pode causar poluição das águas subterrâneas e afetar a biodiversidade de forma negativa. Assim, os autores complementam que deve-se determinar os locais de altos rendimentos para a produção de forma intensiva, por meio da análise de resiliência e de desempenho. O desenvolvimento de práticas e sistemas de uso sustentável do solo são urgentemente necessárias por causa da degradação generalizada dos recursos em uso de terra pobres (MOTAVALLI et al., 2013).

O solo deve ser pensado como a fundação do ecossistema, pois é a sua produtividade que determina o que um ecossistema será em termos da vida vegetal e animal e o que pode suportar (SCHOONOVER; CRIM, 2015). Promover sua qualidade pode ser vista como uma forma de promover sua capacidade de funcionar (DORAN; PARKER, 1994). Segundo Altieri (1999), dentre os aspectos positivos no uso de adubos verdes, bem como de adubos animais, está o aumento da população e atividade da biota do solo. Invertebrados interagem com outros organismos do solo para formar sistemas organizados que regulam os fluxos de diferentes serviços do ecossistema (LAVELLE et al., 2006). O conceito de serviços ecossistêmicos é frequentemente usado em conexão com o conceito de funções do solo (BÜNEMANN et al., 2018).

A maior diversidade encontrada nos agroecossistemas ocorre no solo. Chave, Tchamitchian e Ozier-Lafontaine (2014), complementam que o solo é um ambiente complexo, sendo o local de múltiplas interações em uma variedade de escalas de espaço e tempo. Lavelle et al. (2006) relatam que em alguns ecossistemas, a diversidade local de fauna do solo pode ser muito acima da presente em grupos de plantas acima do solo ou de animais. O solo contém uma vasta diversidade de microrganismos, e estes, são cruciais para muitos dos processos, químicos, físicos e biológicos que impulsionam os ecossistemas terrestres (HUANG et al., 2013).

A diversidade microbiana é importante para a qualidade e pode ser influenciada pelo tipo de solo, pelo histórico de plantas, e pelas práticas agrícolas, tais como a fertilização ou aplicação de pesticidas (HUANG et al., 2013). Uma eficiente atividade microbiana muitas vezes está relacionada à macro e mesofauna do solo. Os invertebrados são mediadores-chave da função do solo para a diversidade de processos de engenharia do ecossistema em que eles participam (LAVELLE et al., 2006).

O aproveitamento da capacidade da planta de mobilizar interações benéficas da rizosfera é uma estratégia promissora para incluir na concepção de agroecossistemas inovadores de supressão de doenças, possibilitando um meio de defesa contra insetos ou doenças indesejadas e beneficiando assim, a saúde e a produtividade das plantas (CHAVE; TCHAMITCHIAN; OZIER-LAFONTAINE, 2014).

As práticas de conservação do solo obtiveram reconhecimento a partir da observação de problemas oriundo de efeitos das lavouras, como erosão, degradação da estrutura, macro organismos e perda de nutrientes e matéria orgânica do solo (ZUBER; VILLAMIL, 2016). A adição de resíduos vegetais no solo compreende uma das principais práticas conservacionistas e ainda é de fácil aplicabilidade. A entrada de materiais orgânicos no solo ocorre continuamente durante o ciclo de vida das plantas de cobertura e assim ocorre a estimulação da vida do solo, devido a manutenção e/ou ampliação da ecologia natural, de notável importância para a agricultura de base ecológica (REDIN et al., 2016).

É importante ressaltar que existem conexões entre sistemas de manejo do solo e a sua estruturação. Assim, em sistemas com nível estrutural que potencializam a continuidade dos processos que envolvam o fluxo de água, de nutrientes, de gases, e de temperatura, provavelmente potencializarão alterações na

amplitude dos valores de propriedades físicas que influenciam no crescimento radicular e produtivo das culturas (MORAES et al., 2016).

A fertilidade biológica, por sua vez, nos oferece indicação sobre a efetividade dos fluxos dos nutrientes nos diversos compartimentos do sistema, compondo processos que dependem dos organismos vivos, constituídos pelas plantas, fauna do solo e microrganismos (PENTEADO, 2010). Lavelle et al. (2006) destaca que mesmo com uma investigação que iniciou com cientistas como Gilbert White ou Charles Darwin, os invertebrados ainda são pouco reconhecidos como mediadores da função do solo e da prestação de serviços ambientais.

3.2.2 Utilização de húmus como promotor de qualidade no sistema produtivo

Muitas práticas agrícolas podem alterar o tamanho, a estrutura e a atividade das comunidades microbianas do solo (TAO et al., 2015). A agricultura orgânica é uma prática que preconiza a reposição constante de matéria orgânica morta com o objetivo de alimentar a atividade biológica que produz húmus, o que pode ser feito de várias formas, entre as quais a adubação verde e a adição de composto (PENTEADO, 2010). A denominação “húmus” contempla uma enorme coleção de moléculas orgânicas e minerais produzidas por organismos do solo, entre as quais encontram-se compostos fisiologicamente ativos com importantes papéis ecológicos (BLOUIN, 2018).

O húmus de minhoca é um excelente fertilizante orgânico, com condições de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, bem como o crescimento, o rendimento e a qualidade das plantas (JOSHI; SINGH; VIG, 2015). Arancon et al. (2006) relatam que aplicações de vermicomposto são eficientes em aumentar o rendimento e o crescimento de culturas alimentares e ornamentais, sendo compostos ricos em nutrientes disponíveis para as plantas. O húmus atua produzindo e/ou concentrando aminoácidos, ácidos carboxílicos, e demais moléculas indicadas como responsáveis por atividade hormonal (SCAGLIA et al., 2016). A utilização de húmus de minhoca promove um aporte de ácidos húmicos no solo (THEUNISSEN; NDAKIDEMI; LAUBSCHER, 2010).

Diferentes formulações de vermicompostos incluem, lixiviados e outros extratos, e podem ser caracterizados como produtos escuros, inodoros e ricos em nutrientes, e que podem ser obtidos de uma ampla gama de resíduos orgânicos (AREMU et al., 2015). No uso de húmus na forma líquida, tem-se a vantagem de servir o solo com um extrato a base de água, que atua melhorando a estrutura da teia alimentar do solo (WANG et al., 2014). No caso da adição do húmus líquido, tem-se um aporte de microrganismos entrando no agroecossistema. Dentre os benefícios da aplicação do húmus líquido no solo estão: aumento da resistência de plantas a patógenos, incremento na fixação biológica de nitrogênio e nutrição, aumento da quantidade de carbono existente no solo e incremento do número de microrganismos existentes, criando assim um ambiente mais favorável ao crescimento e desenvolvimento das plantas (LAZCANO; DOMINGUEZ, 2011).

Além do efeito fertilizante, adubos orgânicos possuem um efeito benéfico sobre a população de microrganismos do solo e, conseqüentemente, na resistência da planta. Aproveitar as interações da rizosfera é uma das formas inovadoras de conceber agroecossistemas que suprimem as doenças (CHAVE; TCHAMITCHIAN; OZIER-LAFONTAINE, 2014). De acordo com Tao et al. (2015), a substituição de componentes do adubo químico por adubos orgânicos pode permitir uma maior adoção dessa prática, não só pela melhoria na fertilidade biológica do solo, mas também, porque minimiza o risco econômico causado pelo baixo rendimento das culturas na ocorrência de doenças transmitidas pelo solo. Isso ocorre, pois, a adubação orgânica tem efeitos significativos sobre a diversidade funcional e a estrutura da comunidade microbiana de organismos benéficos no solo, enquanto restringe a ocorrência de doenças transmitidas pelo solo (TAO et al., 2015). Joshi, Singh e Vig, (2015) citam que a presença de microbiota e compostos fenólicos no húmus ajudam a controlar efetivamente patógenos e pragas de plantas.

As substâncias húmicas são muito diversas e o papel específico de muitas delas ainda é pouco documentado (BLOUIN, 2018). A aplicação integrada de vermicomposto e agentes microbianos melhora seu potencial de substituir às práticas de fertilização química (SONG et al., 2015). Aremu et al. (2015) enfatizam o uso de bioestimulantes orgânicos aplicados em baixas concentrações, destacando entre eles, microrganismos eficientes, reguladores de crescimento, extratos de algas e vermicomposto. Joshi, Singh e Vig, (2015) relatam que quando aplicado em

combinação com fertilizantes químicos ou outros, o húmus provou ser um substituto do uso isolado de fertilizantes químicos, apresentando resultados equivalentes.

As minhocas que vivem no solo também são capazes de modificar o desenvolvimento, a imunidade e o crescimento das plantas através de moléculas sinalizadoras (BLOUIN, 2018). O efeito das minhocas no ambiente em que estão presentes, ocorre por meio da alteração na estrutura das comunidades microbianas de forma que acelera a decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo (BERTRAND et al., 2015). A adição de matéria orgânica é a principal fonte de carbono e energia para o metabolismo e crescimento populacional dos microrganismos, os quais realizam processo de mineralização, liberando nutrientes para o solo (PENTEADO, 2007). Deve ser considerada numa agricultura ecológica que a fertilidade do solo e sua atividade microbiana deverão ser aprimoradas ou conservadas, mediante o aporte de quantidade suficiente de material biodegradável de origem vegetal ou animal (PENTEADO, 2010).

A utilização dos serviços das minhocas em sistemas de cultivo contribui para aumentar a sustentabilidade na agricultura (BERTRAND et al., 2015; BLOUIN et al 2019). Um meio de promoção da sustentabilidade ocorre pela possibilidade dos agricultores reduzirem a necessidade de insumos externos, podendo produzir o húmus em suas propriedades. Utilizar resíduos de esterco animal e a gêneros de minhoca *Eisenia* resulta em um custo mínimo para produtores rurais (BERTRAND et al., 2015).

3.2.3 Adição de biomassa vegetal no sistema produtivo

A função de produzir biomassa é a mais relevante para sustentar a produção de alimentos e responder às práticas culturais que conduzem ao manejo sustentável no contexto do uso dos solos agrícolas (BLUM, 2013). A escolha de espécies de cobertura produtoras de biomassa e os efeitos dos resíduos no solo são importantes para a adoção de estratégias adequadas de manejo visando à sustentabilidade do solo (CARNEIRO et al., 2008). O uso de plantas de cobertura pode ser reconhecido como um importante método de gestão em sistemas de produção orgânicos de vegetais (ROBACER et al., 2016). A escolha depende de múltiplos fatores e cabe ao

agricultor escolher aquelas que mais se adaptam às suas necessidades. As culturas de cobertura que fornecem múltiplos serviços aos agroecossistemas são geralmente preferidas pelos agricultores (LEMESSA; WAKJIRA, 2015).

Utilizar diversas culturas nos sistemas produtivos é uma maneira de promover a biodiversidade local. Segundo Wezel et al. (2014) o objetivo geral da diversificação é valorizar diferentes serviços dos ecossistemas, a fim de aumentar a resiliência dos agroecossistemas à perturbação, diminuir os surtos de pragas ou controlá-las em um nível aceitável, e para conservar a biodiversidade. Ramírez-Garcia et al. (2015) destacam que uma cultura de cobertura em particular deve ser capaz de fornecer mais de uma função no sistema ao longo de seu ciclo.

A ciclagem de nutrientes está presente em todos os ecossistemas, variando em intensidade, de acordo com as espécies do habitat. O nitrogênio é o nutriente mais estudado em relação aos efeitos da adubação verde nas culturas vegetais (ESPINDOLA et al., 1998). Há um enorme potencial das leguminosas na reciclagem rápida de nutrientes, ocorrente pela baixa relação Carbono/Nitrogênio da sua resteva (ALTMANN, 2010). Além da fixação biológica, elevadas quantidades de nitrogênio são acumuladas na parte aérea das leguminosas, o que se reflete em maiores teores desse nutriente no solo após o manejo (ESPINDOLA et al., 1998).

Podemos diferenciar culturas de cobertura de adubos verdes de acordo com a função específica desenvolvida pela cultura no sistema, onde as culturas de cobertura são introduzidas principalmente para controlar a erosão ou aumentar o armazenamento de água do solo, enquanto os adubos verdes têm a função de funcionar como fonte de nutrientes para a cultura seguinte (RAMÍREZ-GARCÍA et al., 2015). Embora exista uma função principal na prática adotada, ambas realizam as funções de conservar a camada superficial e adubar, simultaneamente. A identificação de espécies com forte capacidade para recrutar microrganismos benéficos ou compostos tóxicos é uma questão chave e primordial nos agroecossistemas (CHAVE; TCHAMITCHIAN; OZIER-LAFONTAINE, 2014). Segundo Chave, Tchamitchian e Ozier-Lafontaine (2014), combinar processos ecológicos desencadeados pelas práticas implementadas, provavelmente pode ser importante para produzir sinergias dinâmicas nos sistemas produtivos.

A adubação verde tem sido utilizada como alternativa prática e eficaz para o fornecimento de nutrientes e a adição de matéria orgânica ao solo, diretamente na área de cultivo (SEDIYAMA; SANTOS; LIMA, 2014). Espindola et al. (1998) apontam

civilizações milenares, como a chinesa, grega e romana, que adotavam adubação verde para melhorar o desempenho da agricultura, e que a civilização moderna adotou fertilizantes minerais, mas há um número cada vez maior de produtores rurais de diversas regiões repensando este caminho e adotando agriculturas de base ecológica como sistema produtivo. As culturas de cobertura também oferecem uma série de benefícios adicionais a um sistema de cultivo, entre elas, encontrar alternativas para substituir ou minimizar fertilizantes, o que é necessário para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (SAMARAPPULI et al., 2014).

3.2.4 Manejo da biomassa vegetal

O manejo da biomassa vegetal das plantas de cobertura do solo possui o foco de determinar o período de decomposição da palha e consequentemente velocidade de interações com a biota do solo. Sistemas de manejo são descritos com base no grau de inversão do solo e da percentagem de resíduos remanescentes na superfície, na sequência de operações de lavoura (ZUBER; VILLAMIL, 2016). As plantas de cobertura e os métodos de terminação foram considerados para Liang, Grossman e Shi, (2014) como fatores críticos que determinam a eficácia da gestão de culturas de cobertura para melhorar a fertilidade e a qualidade do solo. As culturas de cobertura e os sistemas de manejo das culturas podem afetar populações de plantas daninhas e rendimentos em curto e longo prazo (ROBACER et al., 2016).

Além de promover uma barreira protetora, os resíduos também são fundamentais na ciclagem de nutrientes. O método de término das culturas de cobertura também pode afetar a decomposição dos resíduos (LIANG; GROSSMAN; SHI, 2014). O manejo dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nutrientes nos agroecossistemas, sendo que a incorporação de leguminosas no solo proporciona uma liberação mais rápida de nitrogênio, quando comparado a sua manutenção na superfície do terreno (ESPINDOLA et al., 2005).

Além de uma velocidade de decomposição diferente quando os resíduos ficam incorporados ou depositados na superfície, as características físicas, químicas e biológicas do solo também afetam a taxa de liberação e a atividade dos compostos

no solo (LEMESSA; WAKJIRA, 2015). Segundo Liang, Grossman e Shi (2014) na exposição de uma maior área de superfície para os micro-organismos do solo, os resíduos vegetais picados podem se decompor mais rápido do que partes mantidas intactas. O estudo de Liang, Grossman e Shi (2014), também mostrou que a bioquímica das espécies de plantas de cobertura não deve ser ignorada, pois pode ser um forte indicador das contribuições das culturas de cobertura para a fertilidade do solo.

A manutenção da cobertura sobre o solo reduz a erosão, que apresenta um risco especialmente em solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e em terrenos inclinados (ROBACER et al., 2016). O método de manejo da cultura de cobertura também afeta o grau de supressão de plantas espontâneas pelos resíduos (LEMESSA; WAKJIRA, 2015). Outro fator é que o acúmulo de resíduos na superfície em função da utilização de plantas de cobertura, oferece ainda proteção contra forças externas capazes de degradar a qualidade estrutural do solo, a exemplo de pressões aplicadas pelos rodados das máquinas agrícolas ou pelas patas de animais em sistema integrado de produção agropecuária (integração lavoura-pecuária) (MORAES et al., 2016).

3.2.5 Escolha das espécies para produção de biomassa vegetal

Inúmeras são as espécies que podem ser utilizadas como produtoras de biomassa. O cultivo de leguminosas no período de verão pode beneficiar a produção de oleráceas, ou também é possível associar essa forma de adubação verde com o plantio direto em sistemas de produção orgânica (ESPINDOLA et al., 2005). Os autores, porém, complementam que como fator negativo do uso de espécies de verão na adubação verde para a rotação de culturas, destaca-se a ocupação de áreas agrícolas durante um período propício ao plantio de culturas de interesse econômico, devendo-se então haver um planejamento que interfira o menos possível na gestão econômica da propriedade. No entanto, dependendo dos sistemas produtivos existentes, torna-se uma ótima possibilidade de rotação. Além de otimizar os serviços ecológicos, as rotações de culturas são um ponto importante para manter a boa produtividade agrícola e rentabilidade (WEZEL et al., 2014).

Quando o objetivo é a melhoria da qualidade do solo, espera-se encontrar maior número de espécies, mais sensíveis às condições de estresse, que produzam mais biomassa, absorvam mais nutrientes e possam ser manejadas mais facilmente pelos agricultores (FAVERO et al., 2001). A escolha da cobertura vegetal é um fator muito importante na gestão dos sistemas de produção que visam promover serviços ambientais. A cobertura vegetativa e residual dos solos proporcionada pelas culturas de cobertura reduz o desprendimento de partículas do solo e minimiza a erosão do solo (LEMESSA; WAKJIRA, 2015).

Entre espécies produtoras de biomassa e que também possuem efeitos secundários na proteção dos cultivos sobressaem-se a crotalária, a mucuna e o milheto. Redin et al. (2016) apontam as três espécies como destaque entre as plantas de cobertura de solo podendo ser utilizadas no controle de nematóides fitopatogênicos. As plantas podem influenciar os organismos do solo, que por sua vez, podem alterar o desempenho da planta por meio de interações mutualísticas (HUANG et al., 2013).

No estudo foram escolhidas espécies com ciclo de verão, com uma gramínea e duas leguminosas. As leguminosas possuem maior variedade de plantas com características distintas, a exemplo do hábito de crescimento. Assim, escolheram-se duas leguminosas com hábitos de crescimento diferentes e uma gramínea, que serão descritas a seguir.

3.2.5.1 Crotalária juncea

A *Crotalaria juncea* é uma leguminosa anual, originária da Índia e Ásia Tropical e caracteriza-se por ser uma planta subarborescente que atinge até 3 m de altura, com caule ereto, semilenhoso e crescimento rápido (ALTMANN, 2010). O crescimento é mais acelerado até os 40 dias após a semeadura, reduzindo entre os 40 a 60 dias e, voltando a acelerar novamente após esse período (TEODORO et al., 2011). O manejo recomendado é na plena floração (110 a 140 dias) e seu ciclo vegetativo é de aproximadamente 210 a 240 dias (SANTOS; FONTANÉTTI, 2007a).

Dentre as diversas espécies de crotalárias existentes, a *Crotalaria juncea* destaca-se como um dos principais adubos verdes utilizados, grande parte devido a

produzir maior quantidade de massa por unidade de superfície (TORRES, 1954). No uso animal, Jordan (1955) cita que os animais comem esta leguminosa como pastagens, desde que não encontrem outras plantas que lhes apeteçam mais. Porém, mesmo não sendo a primeira opção forrageira, Torres (1954) destaca seu potencial de crescimento em solos pobres e sua tolerância a períodos de escassez de chuvas, ótimas características para plantas de cobertura do solo.

Esta espécie é recomendada para adubação verde em cultivo isolado, intercalada com espécies perenes ou em rotação com culturas comerciais de graníferas (REDIN et al., 2016). Torres (1954) relata que dentre seus usos, podem ser apontados a adubação verde, alimentação como forragem verde, silagem, feno ou pastagem suplementar. Santos e Fontanétti (2007a) citam a crotalária com ótimos resultados para adubação verde de hortaliças. Na agricultura de base ecológica são espécies de grande importância, pois além da proteção do solo e do incremento da fertilidade do solo, atuam no controle biológico de pragas e, por consequência auxiliam na promoção da agricultura sustentável (REDIN et al., 2016).

3.2.5.2 Mucuna-preta

A mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* ou *Mucuna aterrima*) é uma leguminosa originária da África e conhecida pelo seu efeito alelopático no controle de nematóides e de plantas espontâneas (ALTMANN, 2010). O sombreamento das folhas também é um fator importante no controle de plantas invasoras (REDIN et al., 2016). Também pode ser conhecida como feijão-veludo por seus ramos e frutos cobertos de pelos aveludados (MENEGARIO, 1966).

É uma planta anual de clima tropical e subtropical, robusta, de hábito de crescimento indeterminado e rasteiro, com folhas trifoliadas e ramos trepadores, que pode crescer até 1 m de altura (ALTMANN, 2010). Menegario (1966) a classifica como uma das leguminosas mais vigorosas, com seus cipós atingindo de 6 a 8 m de comprimento. Altmann (2010), ainda complementa que em menos de 60 dias, já proporciona uma cobertura de 100% do solo. Teodoro et al. (2011) avaliando a velocidade de cobertura do solo constatou essa cobertura de 100% do solo aos 60 dias.

Seu cultivo ocorre principalmente para adubação verde, porém, pode ser utilizada na alimentação animal como forrageira, em pastejo direto, na forma de silagem ou feno e ainda seus grãos triturados constituem suplemento proteico aos animais (CALEGARI, 1995). Menegario (1966) destaca sua excelente composição química, facilidade de cultivo e perfeita aceitação pelo gado. O autor destaca que nas folhas, reside a maior parte dos princípios alimentícios com a mais elevada digestibilidade. Sua utilização na alimentação animal já era indicada a muitos anos, sendo que Otero (1952) destacava o uso de dois cortes para forragem verde, fenação, e também o cultivo consorciado com o milho para silagem.

Mucunas são espécies muito rústicas indicadas para recuperação de solos degradados, ótimas para adubação verde e fixação de N atmosférico, podendo fixar na parte aérea de 170 a 250 kg ha⁻¹, no entanto, apresenta ciclo longo de aproximadamente 156 dias até a plena floração (REDIN et al., 2016). Santos e Fontanétti (2007b) apontam que o período de florescimento pode ocorrer entre 120 a 180 dias e seu ciclo completo varia entre 210 a 260 dias. Além disso, Redin et al. (2016) também destacam seu potencial para acúmulo de matéria orgânica no solo.

3.2.5.3 Milheto

O milheto (*Pennisetum glaucum*) é uma gramínea anual de verão do tipo C4, originária da África/Ásia, vulgarmente conhecida por capim-charuto, pasto italiano e penicilária (ALTMANN, 2010). É uma planta cespitosa, de crescimento ereto, e apresenta excelente produção de perfilhos e vigoroso rebrote após cortes ou pastejo (PIZZANI, 2008). É utilizada para adubação verde, cobertura morta e pastejo de animais (REDIN et al., 2016).

Dentre as principais características do milheto estão a alta resistência à seca, a alta capacidade de adaptação e produção de massa e sua fácil instalação, condução e produção de sementes (ALTMANN, 2010). É uma forrageira cultivada de grande importância, com cultivo realizado principalmente em sistemas mais avançados de produção animal, apresentando-se como alternativa valiosa na integração agricultura-pecuária, pois é altamente palatável, de grande capacidade de rebrota e bom valor nutricional (PIZZANI, 2008). Por isso, tornou-se amplamente

utilizado em sistemas de rotação, sucessão de culturas e integração lavoura-pecuária (REDIN et al., 2016).

Na fase inicial, apresenta alta sensibilidade à competição com plantas espontâneas, no entanto possui crescimento rápido (ALTMANN, 2010). Quando o milheto for utilizado como planta de cobertura de solo, ele funcionará como uma “bomba” recicladora de nutrientes e, dependendo do nível de fertilidade do solo, pode-se dispensar a adubação, aproveitando o adubo residual da cultura anterior, geralmente o milho ou a soja (PEREIRA FILHO et al. 2003).

4 Material e métodos

Neste capítulo é descrita a metodologia da pesquisa, estabelecida com base em experimentos de campo realizados nos anos de 2016 e 2017. O texto detalha a estruturação das práticas a campo, o momento e o modo de coleta de dados, as análises e as formas de avaliação dos dados.

4.1 Histórico e caracterização da área experimental

Os dados apresentados nesta tese foram obtidos pela realização de experimentos de campo nas dependências da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Clima Temperado, Estação Experimental Cascata, localizada no município de Pelotas (RS), na latitude 31° 37' S e longitude 52° 31' O, estando a uma altitude aproximada de 180 m. O relevo é ondulado e o clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e verões quentes (MOTA et al., 1986). O solo é classificado como Argissolo vermelho-amarelo eutrófico (EMBRAPA, 2013).

Foram utilizadas duas áreas distintas para o cultivo e avaliações, uma no ano de 2016 e outra no ano de 2017. As duas áreas precedentes à instalação do experimento estavam em pousio pelo período aproximado de dois anos. Na implantação foi realizada uma amostragem do solo, na camada de 0 a 20 cm, cujos resultados constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo na camada 0-20 cm no momento de implantação do experimento.

Experimento:									
Área	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _{efetiva}	Saturação (%)		Índice SMP
		----- cmol _c dm ⁻³ -----					Al	Bases	
Ano 1	5,1	3,3	1,1	0,3	3,9	5,0	5,9	55	6,1
Ano 2	5,5	3,3	1,0	0,4	3,9	4,9	4,0	59	6,2
Área	% MO	% Argila	Classe de Argila	S	P-Mehlich	K	CTC _{pH7}	K	
	----- m/v -----			----- mg dm ⁻³ -----			-- cmol _c dm ⁻³ --		
Ano 1	2,21	25	3	10,9	13,3	89	8,5	0,23	
Ano 2	2,4	29	3	10,4	16,9	110	8,7	0,28	
Área	Cu	Zn	Mn	Na	%Fe	Relações Molares			
	----- mg dm ⁻³ -----					Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	
Ano 1	1,6	1,3	51	12	0,28	3,00	14,35	4,78	
Ano 2	1,5	1,2	67	12	0,26	3,30	11,78	3,57	

pH em água 1:1; Ca, Mg, Al, e Mn trocáveis extraídos com KCL 1 mol l⁻¹ e CTC a pH 7,0; MO: matéria orgânica; argila determinada pelo método do densímetro; P, K, Na, Zn e Cu determinados pelo método de Mehlich I; S-SO₄ extraído com CaHPO₄ 500 mg l⁻¹ de P.

4.2 Delineamento experimental

Foram realizados dois ciclos de cultivo de plantas anuais de verão, com coletas de solo durante e posterior ao período dos cultivos. O experimento foi dividido em duas etapas, abrangendo fatores distintos no primeiro e no segundo ciclo. O primeiro ciclo serviu como parâmetro para definições e ajustes dos tratamentos do segundo ciclo, optou-se assim, para haver um melhor detalhamento na avaliação do sistema produtivo. Dessa forma estabeleceram-se um ano de teste e um ano de avaliação.

No primeiro ciclo o experimento de campo foi conduzido seguindo delineamento de blocos casualizados, em arranjo fatorial (4x2x5) com quatro coberturas de solo (três espécies de plantas de cobertura e vegetação espontânea), dois manejos da biomassa vegetal e cinco doses de húmus de minhoca. No segundo ciclo, houve modificação no arranjo fatorial (4x2x2), tendo as mesmas quatro coberturas de solo (três espécies de plantas de cobertura e vegetação espontânea), duas doses de húmus de minhoca e duas profundidades de coleta do solo (Tabela 2).

Tabela 2 – Representação dos tratamentos no primeiro ciclo (ano teste) e segundo ciclo (ano de avaliação) do experimento. Embrapa Clima Temperado, 2016/2017.

Experimento de campo (primeiro ciclo)	
Variável	Tratamento
Espécies de adubos verdes	Crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.)
	Milheto (<i>Pennisetum glaucum</i> L.)
	Mucuna-preta (<i>Mucuna aterrima</i> Piper et Tracy Holland)
	Vegetação espontânea
Manejos da Biomassa Vegetal	Acamamento com rolo faca
	Incorporação com grade
Doses de Húmus* (massa seca)	0 Mg ha ^{-1**}
	1 Mg ha ⁻¹
	2 Mg ha ⁻¹
	3 Mg ha ⁻¹
	4 Mg ha ^{-1**}
Experimento de campo (segundo ciclo)	
Variável	Tratamento
Espécies de adubos verdes	Crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.)
	Milheto (<i>Pennisetum glaucum</i> L.)
	Mucuna-preta (<i>Mucuna aterrima</i> Piper et Tracy Holland)
	Vegetação espontânea
Doses de Húmus* (massa seca)	0 Mg ha ^{-1***}
	6 Mg ha ⁻¹
Profundidade de coleta do solo	0 – 5 cm
	10- 15 cm

* Doses aplicadas na semeadura e no manejo da biomassa vegetal.

** Para as avaliações de solo no primeiro ciclo somente foram analisadas as doses zero e máxima.

***No segundo ciclo as parcelas com dose 0 Mg ha⁻¹ foram irrigadas com água, com quantidade referente a dose de húmus.

Experimento de campo ano 1 (primeiro ciclo) - A área utilizada foi de aproximadamente 0,3 ha, contendo quatro blocos com 40 parcelas cada, totalizando 160 parcelas. Cada parcela teve 4 m x 4 m. As densidades de semeadura foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas para as culturas e a aplicação do húmus ocorreu na forma líquida, a 15% de diluição, sendo realizada metade no período entre a semeadura e a emergência das plantas e outra metade após o manejo da biomassa vegetal.

Experimento de campo ano 2 (segundo ciclo) - A área utilizada foi de aproximadamente 0,1 ha, contendo quatro blocos com 8 parcelas cada, totalizando

32 parcelas. Cada parcela foi representada por um canteiro de 1,0 m x 15 m. As densidades de semeadura foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas para as culturas e a aplicação do húmus ocorreu na forma líquida, a 10% de diluição, sendo realizada metade no período entre a semeadura e a emergência das plantas e outra metade após o manejo da biomassa vegetal.

4.3 Condução do experimento a campo

No primeiro ciclo, o preparo inicial da área foi realizado com manejo convencional do solo, tendo primeiramente o revolvimento da camada superficial do solo com uso de arado de discos e posteriormente um manejo secundário para nivelamento com uso de grade. Os manejos de revolvimento do solo foram realizados um mês antes da semeadura, com a aração em 24 de novembro e a gradagem no dia 1º de dezembro, no ano de 2015. A semeadura foi em 21, 28 e 29 de dezembro de 2015, período estabelecido de acordo com as condições climáticas favoráveis e com o período central do recomendado para as culturas. Um dia após a semeadura, houve a primeira aplicação do húmus, que foi realizada na forma líquida, na concentração de 15% de matéria seca.

A quantidade de húmus líquido foi determinada com base em massa seca. Assim, com as doses citadas na Tabela 2, o primeiro ciclo utilizou 512 kg de matéria seca de húmus sólido por aplicação. Para cada bloco foram necessárias duas caixas d'água com 430 litros da mistura (contendo a matéria seca, a água presente na umidade do húmus e a água adicionada). De toda água adicionada à mistura, parte fica absorvida no húmus e, por isso, o húmus líquido final contém entre 70 a 80% da água adicionada ao sistema. O conteúdo final possibilitou aplicar ao solo 5, 10, 15 e 20 litros de húmus líquido por parcela nas doses de 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹, respectivamente.

As coletas das amostras de biomassa das plantas iniciaram no dia 27 de abril de 2016, com espaçamento de 3 a 4 dias entre os blocos, de acordo com a possibilidade climática. Neste momento, a mucuna apresentou as primeiras flores, a crotalária tinha mais de 50% de sua floração e o milheto havia passado totalmente o período de floração, porém, ainda não tinha completado seu ciclo. Os manejos de

acamamento e incorporação da biomassa vegetal no primeiro ciclo foram realizados em 19 de maio de 2016, com todos os blocos manejados no mesmo dia.

A segunda aplicação do húmus líquido, foi efetuada sobre a biomassa vegetal, no 4º, 5º e 6º dia após seu manejo. Completando 20 dias após o manejo da biomassa e 16 dias posteriores à aplicação do húmus, foi realizada a primeira coleta das amostras de solo para avaliação em laboratório e uma semana depois, ocorreu a coleta das armadilhas Pittfall e a avaliação da resistência do solo à penetração, efetuada no campo. A segunda coleta de solo a campo foi realizada em 10 e 11 de outubro, completando 144 dias após o manejo e 124 dias após a primeira coleta.

No segundo ciclo, delimitado como ano de avaliação, uma semana antes da semeadura, realizaram-se uma operação de gradagem do solo e posteriormente, com auxílio da enxada rotativa foram construídas estruturas de canteiros para o cultivo das plantas de cobertura do solo. A semeadura no segundo ciclo ocorreu nos dias 6 e 7 de janeiro de 2017. A primeira aplicação do húmus líquido foi realizada três dias após a semeadura e sua diluição foi baseada na concentração de 10% de matéria seca.

No segundo ciclo, os ajustes resultaram em concentração menor e dose de húmus em matéria seca maior, foi possível uma aplicação com maior rega. Nesse ciclo, foram necessários 144 kg de matéria seca de húmus, e utilizando uma caixa d'água com 360 litros de mistura, foi possível aplicar ao solo 60 litros de húmus líquido por parcela. O tratamento sem aplicação de húmus teve a irrigação de 60 litros de água na parcela. A quantidade aplicada, tanto em água como em húmus líquido foi 4 l m², o que é equivalente a 4 mm de chuva.

As amostras de biomassa das culturas no segundo ciclo foram coletadas em quatro momentos. A primeira coleta ocorreu na terceira semana após a semeadura, a segunda coleta na sétima semana, a terceira coleta de plantas foi com 10 semanas e a última coleta com 19 semanas do ciclo vegetativo de plantas. As características das plantas eram semelhantes às do primeiro ciclo, com a mucuna apresentando as primeiras flores, a crotalária com mais de 50% de sua floração e o milheto com seu período de floração completo. O manejo definido para a biomassa vegetal foi com a roçada das plantas, mantendo sua cobertura vegetal sobre o solo, evitando sua desestruturação. O manejo foi realizado em 14 de junho completando 22 semanas de ciclo vegetativo, com todos os blocos manejados no mesmo dia.

A segunda aplicação do húmus líquido foi realizada sobre a biomassa vegetal, em dois dias posteriores ao manejo. Neste ciclo produtivo, foram realizadas 3 coletas para avaliação do solo, sendo a primeira na emergência das plantas e, concomitantemente, uma semana após a primeira aplicação de húmus. A segunda coleta de solo ocorreu um dia posterior a segunda aplicação de húmus no período do manejo da biomassa, e a última coleta ocorreu 16 semanas depois do manejo da biomassa vegetal. As armadilhas Pittfall também foram instaladas em mais períodos, sendo três durante o ciclo vegetativo e duas após o manejo da biomassa vegetal (Figura 1).

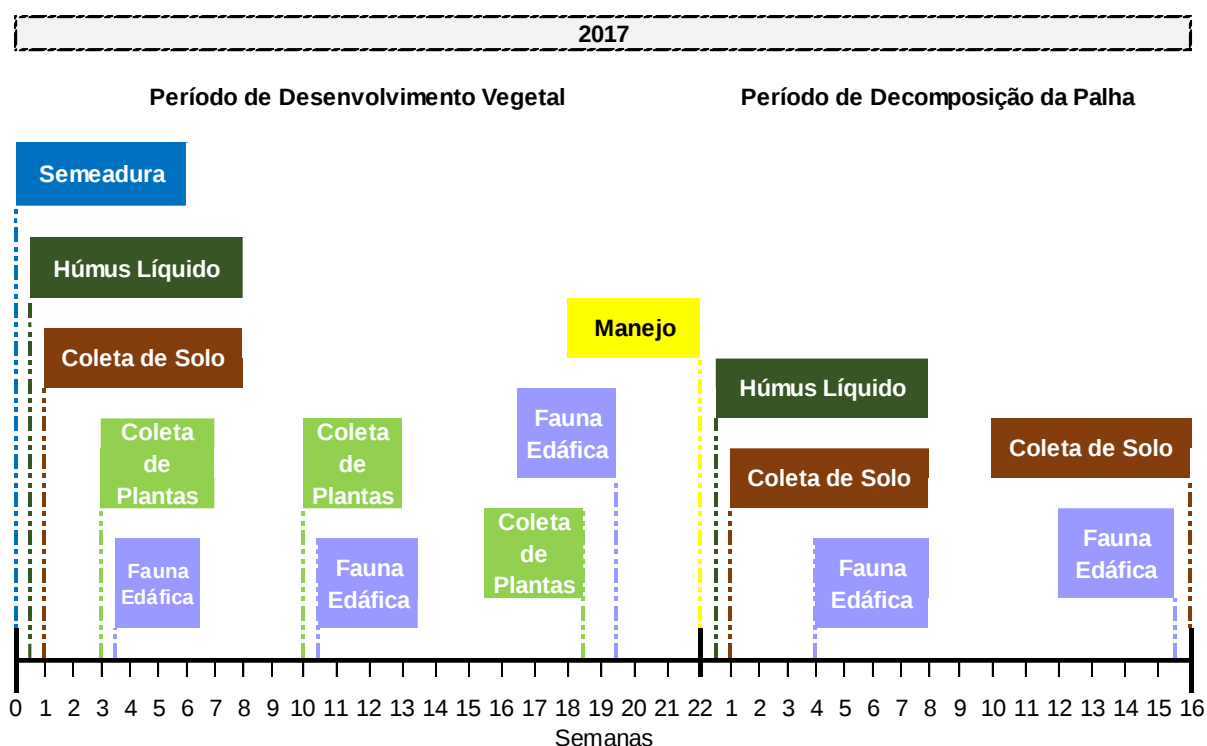


Figura 1 – Condução do experimento no segundo ciclo e semanas de realização das avaliações. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2017.

4.4 Produção de húmus

O húmus de minhoca foi produzido por minhocas da espécie *Eisenia andrei* a partir de esterco bovino no galpão da central de adubos orgânicos da Estação Experimental Cascata - Embrapa Clima Temperado. O esterco é parte proveniente

de uma propriedade rural familiar de base ecológica de Morro Redondo, RS, e parte da própria estação experimental. Antes do início do processo de vermicompostagem, as minhocas foram submetidas ao teste de aceitação do esterco, conforme descrito por Schiedeck, Gonçalves e Schwengber (2006).

O tempo para a estabilização do húmus foi de aproximadamente 60 dias, com variação resultante das condições ambientais de temperatura, com um período de tempo mais curto no verão. A definição da estabilização deu-se por aspectos visuais, de tato, e de movimentação das minhocas (SCHIEDECK et al., 2009). O sistema de produção de húmus era manejado de forma contínua, com entrada de esterco novo sempre ao lado do material que estava sendo processado pelas minhocas (Figura 2). O esterco era colocado em uma camada de 20 cm e coberto com uma tela de sombreamento, com a função de manter a umidade do material. Quando o húmus encontrava-se estabilizado, ele era mantido no local com as mesmas condições de ambiente até o momento de seu uso.

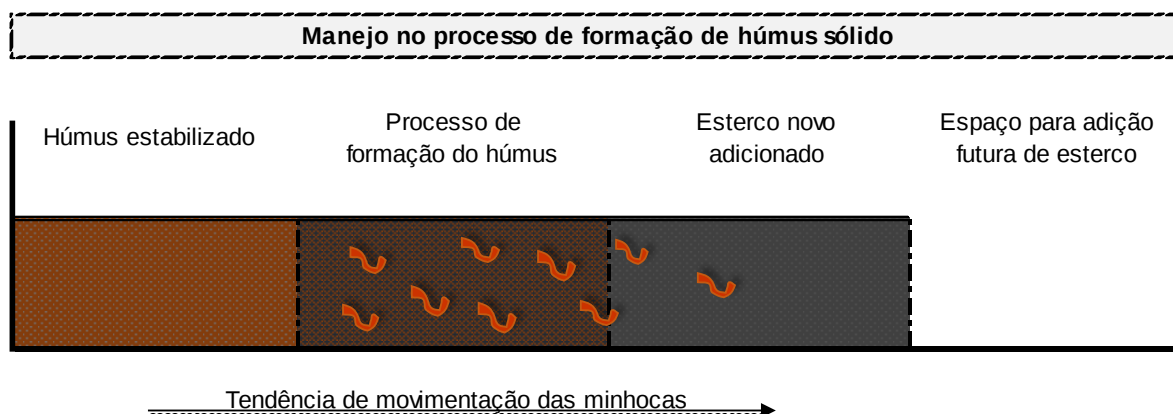


Figura 2 – Representação do manejo no processo de formação de húmus sólido.

As amostras de húmus sólido foram avaliadas periodicamente quanto à umidade, sólidos voláteis e densidade. Os valores médios dos momentos de uso foram umidade de 56%, sólidos voláteis 58% e densidade de $0,46 \text{ g cm}^{-3}$. Para um detalhamento maior, foram enviadas amostras para laboratório de análise de resíduos (Tabela 3).

Tabela 3 – Atributos químicos e físicos do húmus sólido utilizado no experimento. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2016/2017.

Ano	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
----- g kg ⁻¹ -----							
2016	18,35	3,24	10,32	5,16	4,04	3,34	1,25
2017	16,14	6,14	13,76	7,86	4,43	2,73	1,04
Ano	Cu	Zn	Fe	Mn	pH	Umidade	C
----- mg kg ⁻¹ -----					----- % -----		
2016	20,32	66,6	1432,96	591,29	5,37	30,1	24,72
2017	19	72,95	1523,46	414,02	6,42	39,86	13,27

Finalizado o processo de formação de húmus sólido, a próxima etapa consistiu no início da produção do húmus líquido. Esta foi realizada utilizando-se caixas d'água de polietileno com capacidade para 500 litros (Figura 3). O húmus sólido foi colocado sobre um tecido Voile, possibilitando a drenagem do líquido filtrado depois do período de aeração. A aeração da solução foi realizada com um compressor de ar marca Resun®, modelo ACO-003, com capacidade de injetar 63L de ar por minuto. No compressor foi adaptado um derivador de fluxo que distribuiu a vazão de ar para seis mangueiras, sendo colocadas três em cada caixa d'água. Na extremidade de cada saída de ar foi adaptada uma pedra porosa para facilitar o fluxo na saída de ar e evitar o entupimento das mangueiras. Dessa forma, cada caixa d'água recebeu aproximadamente 31,5 l de ar por minuto. A aeração do húmus líquido foi realizada de forma ininterrupta por 24 horas.



Figura 3 – Produção do húmus líquido. (A) Tecido Voile utilizado como filtro para o material; (B) Material sólido colocado na caixa d'água; (C) Processo de aeração do húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2016/2017.

As características do húmus líquido avaliados em laboratório são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Características do húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2016/2017.

	pH	CE (μS)	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Nitrogênio Orgânico
			----- $\mu\text{g g}^{-1}$ -----		
Médias*	7,1	6060,0	8,30	58,35	13,00

*Médias de 4 momentos distintos, avaliados em triplicata.

4.5 Variáveis determinadas

4.5.1 Biomassa vegetal (fresca e seca)

As avaliações da biomassa vegetal foram realizadas por meio do corte de 0,5 m² da área útil da parcela. A amostra da massa fresca foi pesada logo após o corte e a amostra da massa seca foi pesada após secagem em estufa a 65°C, por aproximadamente 72 horas, até peso constante.

4.5.2 Altura do dossel

As medições de altura do dossel foram realizadas com 10 repetições aleatórias por parcela nos mesmos períodos de coleta de plantas. A leitura foi realizada com auxílio de uma trena.

4.5.3 Umidade gravimétrica do solo (Ug)

A umidade gravimétrica do solo foi determinada por meio da diferença de peso com amostras secas em estufa a 105°C, por aproximadamente 24 horas, até peso constante (EMBRAPA, 1997). A equação 1 foi utilizada para determinar a Ug.

(1)

$$Ug(\%) = \left(\frac{Msu - Mss}{Mss} \right) * 100$$

Onde: Ug = Umidade do solo (%); Msu = Massa da amostra de solo úmida; Mss = Massa da amostra de solo seca a 105°C.

4.5.4 Densidade do solo (Ds)

A densidade do solo foi determinada por meio da relação massa/volume, pela coleta de uma amostra indeformada em anel volumétrico. A amostra foi levada a estufa a 105°C, por aproximadamente 24 horas, até peso constante (EMBRAPA, 1997). A equação 2 foi utilizada para determinar a Ds.

(2)

$$Ds(g\text{ cm}^{-3}) = \frac{M_{ss}}{V_t}$$

Onde: Ds = Densidade do solo (g cm⁻³); Mss = Massa da amostra de solo seca a 105°C; Vt = Volume total do anel.

4.5.5 Resistência do solo à penetração (RP)

A resistência do solo penetração foi avaliada diretamente na área experimental com um penetrômetro digital FALKER, modelo PenetroLOG - PLG 1020, com aquisição eletrônica de dados. A avaliação contou com 4 repetições por parcela.

4.5.6 Sólidos voláteis

Os sólidos voláteis foram avaliados a partir de amostras secas a 105°C que posteriormente foram levadas em cadinhos de porcelana, à combustão por alta temperatura em mufla da marca ZEZIMAQ® a 550°C ± 50°C durante quatro horas. A equação 3 foi utilizada para determinar os sólidos voláteis.

(3)

$$Sv(\%) = \frac{Mc}{Mss} * 100$$

Onde: Sv = Sólidos voláteis (%); Mc = Massa da amostra calcinada (g); Mss = Massa da amostra de solo seca a 105°C.

4.5.7 Potencial hidrogeniônico (pH)

As leituras de pH foram realizadas em um Potenciômetro com eletrodo combinado Marconi®, modelo MA552. A diluição do solo em água destilada foi na proporção 1:1, conforme metodologias adaptadas de Tedesco et al. (1995).

4.5.8 Condutividade elétrica (CE)

As leituras de condutividade elétrica foram realizadas em um condutivímetro marca Digimed®, modelo DM-32. As amostras foram as mesmas utilizadas na leitura do pH, seguindo a diluição do solo em água destilada na proporção 1:1. Após a leitura do pH, as amostras foram filtradas em algodão, para então leitura da condutividade, conforme metodologias adaptadas de Tedesco et al. (1995).

4.5.9 Nitrogênio (N)

Os níveis de nitrogênio total, orgânico, inorgânico, amoniacal e nítrico, foram determinados por meio de colorimetria® com o uso do leitor de microplacas marca Bio-Rad modelo iMark. O procedimento adotado, conforme descrito em Aira (2005), pode ser visualizado na Figura 4.

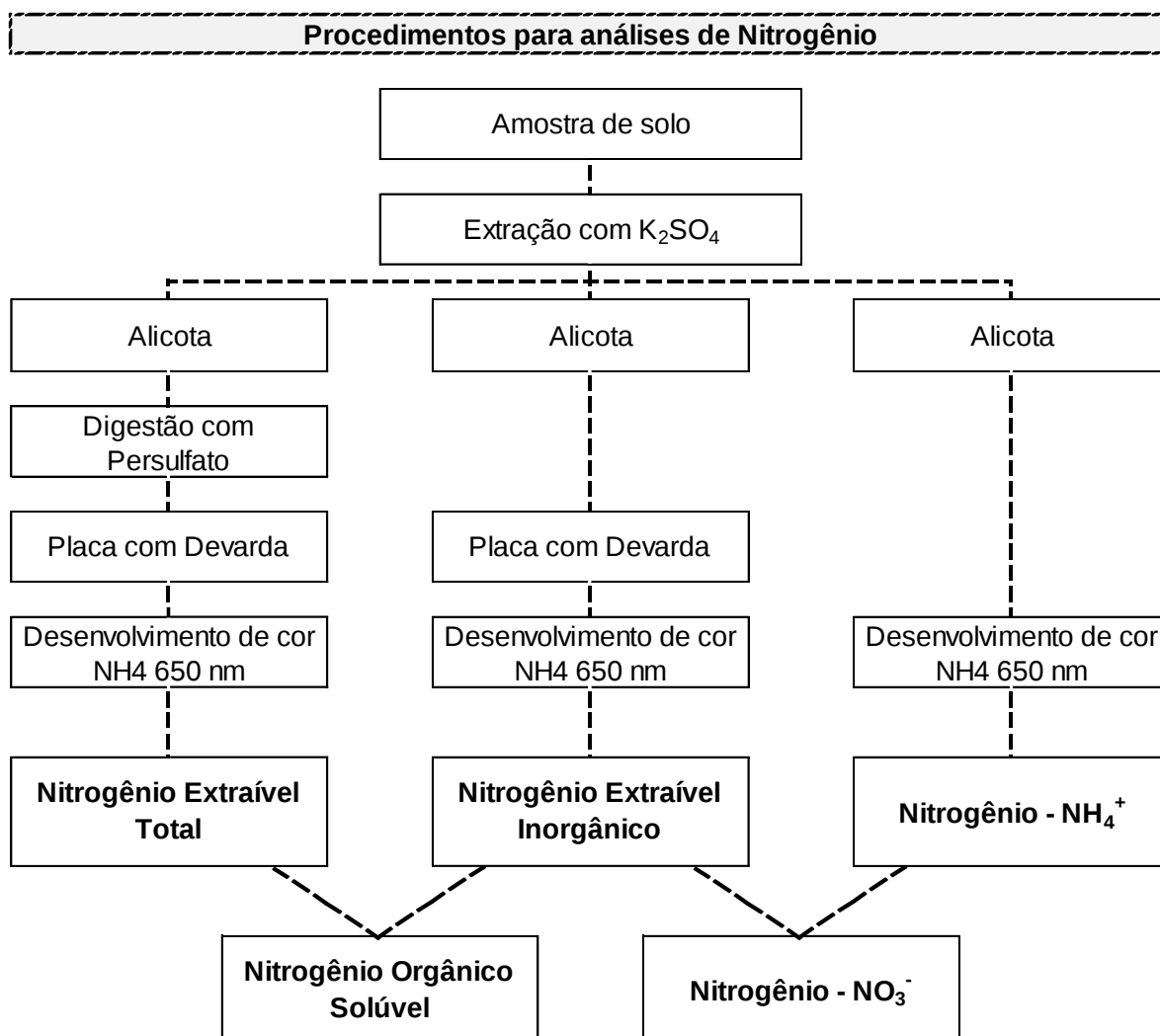


Figura 4 – Fluxograma da sequência de procedimentos para análises de nitrogênio.

As amostras foram diluídas na proporção 1:5 em K_2SO_4 0,5 M, utilizando-se 10 g de solo e 50 ml da solução. Na sequência, as amostras foram alocadas em frascos snap-cap e homogeneizadas em mesa agitadora orbital, durante uma hora a 200 rpm. Depois de 30 minutos de decantação, as amostras foram filtradas em filtro Whatman nº 42 e armazenadas em vidros âmbar em ambiente com temperatura entre 2°C e 4°C (SIMS et al., 1995). Posteriormente, as amostras foram submetidas a uma sequência de procedimentos utilizando-se as microplacas e os reagentes específicos para desenvolvimento de cor, e realizou-se a leitura por espectrofotometria a 650 nm.

A determinação do nitrogênio é realizada pela leitura de cor desenvolvida a partir das reações entre amostra e agentes químicos, que por meio da reação desenvolvem coloração de acordo com a quantidade de amônio. O nitrogênio

amoniacoal (N-NH_4^+) é medido diretamente. O nitrogênio presente na forma de nitrato (N-NO_3^-) é lido pela transformação de todo nitrogênio inorgânico para forma de nitrogênio amoniacoal, para então, realizar a leitura. Logo, para obter-se o nitrogênio orgânico, primeiro este deve ser mineralizado, e depois transformado em amônio, para então ser medido como nitrogênio extraível total. Os valores indiretos de nitrogênio orgânico solúvel são obtidos pelas equações 4, e de nitrato pela equação 5.

(4)

$$\text{DON } (\mu\text{g g}^{-1}) = \text{NET} - \text{NEI}$$

Onde: DON = Nitrogênio orgânico solúvel; NET = Nitrogênio extraível total; NEI = Nitrogênio extraível inorgânico.

(5)

$$\text{N-NO}_3^- (\mu\text{g g}^{-1}) = \text{NEI} - \text{N-NH}_4^+$$

Onde: N-NO_3^- = Nitrato; NEI = Nitrogênio extraível inorgânico; N-NH_4^+ = Amônio.

4.5.10 Índices ecológicos

A avaliação dos índices ecológicos dos solos ocorreu por meio da instalação de armadilhas de queda do tipo Pittfall. As armadilhas foram mantidas no campo por uma semana para posterior quantificação e identificação das ordens de insetos existentes. Após a identificação e quantificação das ordens analisaram-se índices de Margalef, Simpson, Shannon e Equabilidade, que foram calculados por meio do programa Past 3.14 (HAMMER, HARPER, RYAN, 2001).

4.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade pelo teste de Anderson Darling e Q-Q Plot, enquanto a homocedasticidade e a independência dos resíduos por análise gráfica. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância através do teste F ($p \leq 0,05$). Constatando-se significância estatística, os efeitos foram submetidos à comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5 Resultados e discussão

5.1 Produção de biomassa vegetal

O ano teste foi fundamental para ajustar os tratamentos e possibilitou avaliar a produção de massa seca das espécies, com crotalária, mucuna, milho e pousio resultando em 8,20, 4,64, 2,98, 2,74 Mg ha⁻¹, respectivamente. Assim, decidiu-se por manter as quatro espécies para o ano de avaliação, o qual foi avaliado estatisticamente. A massa seca final e a relação final:inicial do ano de avaliação não demonstraram interação significativa entre os fatores e o único fator que apresentou efeito significativo foi a espécie (Tabela 5). O fator fertilização não foi significativo, com a média do controle (sem húmus) aferida em 4,65 ± 0,48 Mg ha⁻¹ e a média do húmus em 5,08 ± 0,53 Mg ha⁻¹.

Tabela 5 – Análise de variância da massa seca final em função da espécie, fertilização e interação. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, jan-mai/2017.

	G.L.	Massa seca final		Relação Final:Inicial	
		Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor
Espécie	3	28.4330	1.38e ⁻⁰⁷	8.7357	0.0006
Fertilização	1	1.3699	0.2549	0.0179	0.8948
Espécie * Fertilização	3	1.0942	0.3734	1.6304	0.2125
Bloco	3	1.3943	0.2722	0.2448	0.8641
Resíduos	21				

Trabalhos utilizando húmus sólido demonstram efeito benéfico no crescimento e produtividade de plantas (AYNEHBAND; GOROOEI; MOEZZI, 2017; COULIBALI et al., 2018). Embora o húmus líquido não possua a mesma carga de nutrientes que o húmus sólido, existe uma alta concentração de ácidos húmicos. Arancon et al. (2006) destacam os ácidos húmicos extraídos de vermicomposto influenciando o crescimento de plantas, porém atuando como um regulador de crescimento e com maior influência em flores e frutos de pimentão. Lim et al. (2015) complementam que no húmus de minhoca, o fator nutriente não fornece evidências suficientes para explicar completamente o aumento do crescimento das plantas, sugerindo que as ações de ácidos húmicos e hormônios de crescimento de plantas, como auxinas,

giberelinas e citocininas, tenham uma influência maior nas estruturas reprodutivas da plantas. Pode-se inferir que os adubos verdes não tiveram produtividades diferenciadas porque há maior influência dos ácidos húmicos nas estruturas reprodutivas de plantas. Outra reflexão que pode ser feita é que a ação dos ácidos húmicos ainda não é totalmente compreendida na relação direta com o crescimento de diferentes espécies. Embora verificada influência no crescimento das plantas, os vermicompostos devem ser aplicados em concentrações apropriadas para obter o máximo rendimento de plantas, pois concentrações inapropriadas poderiam inclusive levar a um crescimento mais lento das plantas (LIM et al., 2015).

As médias de massa seca e a relação final:inicial para as espécies podem ser visualizadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Massa seca média ($\text{Mg ha}^{-1} \pm \text{dp}$) de diferentes espécies de adubos verdes e de vegetação espontânea ao final do ciclo vegetativo. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, jan-mai/2017.

Espécie	Massa seca (Mg ha^{-1})		Relação Final:Inicial	
Crotalária	$7,09 \pm 0,47$	a	$11,87 \pm 0,93$	a
Milheto	$5,94 \pm 0,53$	a	$4,38 \pm 0,56$	b
Mucuna	$3,33 \pm 0,20$	b	$11,88 \pm 0,82$	a
Vegetação espontânea	$3,11 \pm 0,19$	b	$12,41 \pm 2,15$	a

*n=32; Médias seguidas de mesma letra não se diferenciam estatisticamente pelo Teste de Tukey à 5%.

As médias de produção de massa seca foram estatisticamente superiores para crotalária e milho, com respectivamente, $7,09$ e $5,94 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto que, as produções de massa seca da mucuna e da vegetação espontânea foram de $3,33$ e $3,11 \text{ Mg ha}^{-1}$. No início do desenvolvimento das espécies, a vegetação espontânea teve como principais gêneros identificados, *Amaranthus*, *Bidens*, *Ipomea* e *Tagetes*. Uma ressalva que deve-se fazer é relacionada à produção mínima anual de massa seca de plantas adicionada ao solo, que deve ser 6 Mg ha^{-1} para um sistema em equilíbrio (DAROLT, 1998). O tratamento com milho praticamente atingiu esse índice, porém a mucuna e a vegetação espontânea seriam insuficientes na produção de massa seca se este fosse o único cultivo do ano. Um fator climático a ser destacado é a chuva, que pode influenciar a produção de biomassa, porém não foram observados períodos de déficit no decorrer do desenvolvimento das culturas. Desde a semeadura até o manejo a precipitação acumulada foi de $900,2 \text{ mm}$ (Apêndice A), quantidade superior à média histórica para a região que é de 735 mm para o primeiro semestre do ano (WREGGE et al., 2012). De forma geral, entre as

culturas utilizadas pode-se citar que a crotalária é exigente em luz, calor e umidade (MONEGAT, 1991), responde ao fotoperíodo, o qual interfere na produção de biomassa (SANTOS; FONTANÉTTI, 2007a), e a mucuna não tolera geadas (EIRAS; COELHO, 2010), portanto a entrada do outono é um fator que influencia seu desenvolvimento.

De um modo geral, as culturas não apresentaram a mesma produção de massa seca quando comparadas às regiões mais quentes, mas pode-se aferir que apresentaram um desenvolvimento satisfatório no ambiente de estudo. A temperatura média para os meses de cultivo foi acima das médias mensais para a região e a umidade relativa média manteve-se sempre acima de 80%, o que está de acordo com as médias históricas (WREGE et al., 2012). Até a 7^a semana de desenvolvimento vegetal, a temperatura se manteve estável, apresentando inclusive uma leve tendência de aumento, o que para espécies com ciclo de verão é benéfico. Assim, destaca-se que as primeiras semanas de cultivo, ainda no verão apresentaram ótimas condições de desenvolvimento, e a entrada do outono pode ser um fator que influenciou o desenvolvimento da mucuna.

A crotalária produz em média, de 6 a 17 Mg ha⁻¹, enquanto a mucuna preta pode chegar a atingir 8 Mg ha⁻¹ de matéria seca (SANTOS; FONTANÉTTI, 2007b). Na região do Cerrado, por exemplo, são comuns produções de 7 a 17 Mg ha⁻¹ de massa seca para crotalária e 4 a 11 Mg ha⁻¹ para a mucuna (ALTMANN, 2010). Em avaliações realizadas em Minas Gerais, Perin et al. (2004) aferiram produções de 9,3 e 7,1 Mg ha⁻¹ de massa seca para crotalária e milho, respectivamente. O milho cultivado no Mato Grosso do Sul apresentou como produção massa seca aos 75 dias entre 9 e 11 Mg ha⁻¹ (PADOVAN et al., 2011), e em São Paulo aos 60 dias acima de 6 Mg ha⁻¹ para (CALVO; FOLONI; BRANCALIÃO, 2010). Ainda em São Paulo, Silva, Hirata e Monquero (2009), aferiram produção de massa seca de 20,1 Mg ha⁻¹ para crotalária, 23,8 Mg ha⁻¹ para milho e 7,7 Mg ha⁻¹ para mucuna.

Logo, na região Sul, em Santa Catarina, experimentos com mucuna preta resultaram em 5,9 Mg ha⁻¹ de biomassa seca, com 17,5% de percentual de biomassa seca na parte aérea (MONEGAT, 1991). No Rio Grande do Sul, na fronteira Oeste, Missio, Debiasi e Martins (2004), citam as produções de massa seca de 5 Mg ha⁻¹ para a crotalária e de 5,6 Mg ha⁻¹ para a mucuna. Outros dados produtivos do Rio Grande do Sul relataram uma produtividade média de biomassa seca na região da Campanha de 11,0 Mg ha⁻¹ para a crotalária, 4,5 Mg ha⁻¹ para a

mucuna e de $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o milheto, e para a região Litoral Sul $8,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a crotalária e $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a mucuna (FEPAGRO, 2003). Ambos resultados demonstram que a produtividade avaliada no experimento foi menor que a de outras regiões do Brasil, porém, a quantidade de massa seca foi semelhante aos resultados citados pela Fepagro para a região Litoral Sul do Rio Grande do Sul.

Quanto à relação final:inicial, avaliada entre a 3ª e a 19ª semana de desenvolvimento vegetativo, houve diferença estatística para o milheto, que tem um desenvolvimento inicial mais robusto que os demais tratamentos. Aliada a produção de massa seca uma das qualidades do milheto é o rápido crescimento (DURÃES; MAGALHÃES; SANTOS, 2003). Calvo, Foloni e Brancalião (2010), destacam a capacidade de ocupação do solo na cultura do milheto, que com desenvolvimento inicial mostrou-se superior entre gramíneas e leguminosas. O rápido desenvolvimento inicial diminui a competição de outras plantas e possibilita também um manejo mais precoce e com maior biomassa acumulada no período.

Ao longo do desenvolvimento das culturas, o milheto apresentou maior quantidade de massa seca até em torno da 14ª semana, quando então a crotalária passou a ter o maior acúmulo de massa seca em números brutos (Figura 5).

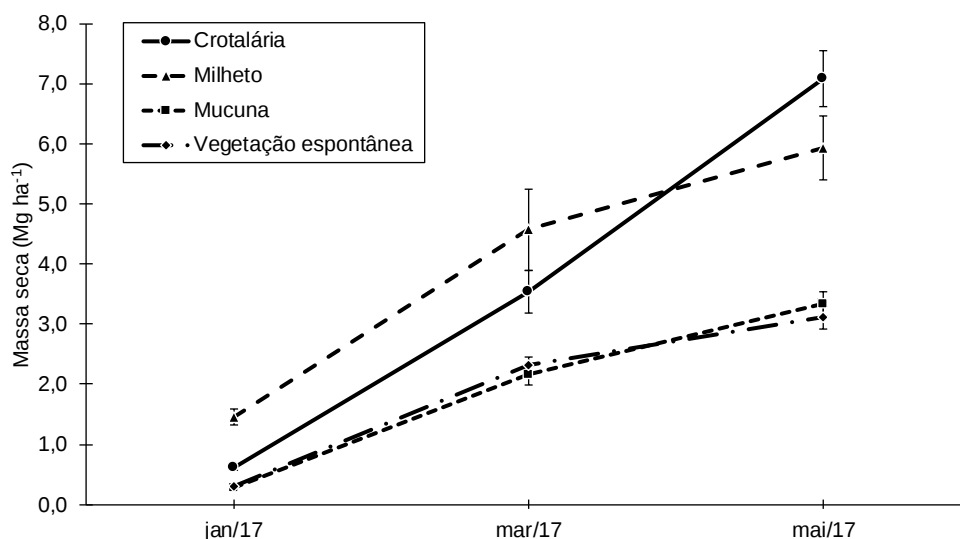


Figura 5 – Acúmulo de massa seca média ($\text{Mg ha}^{-1} \pm \text{dp}$) de diferentes espécies de adubos verdes e de vegetação espontânea ao longo do experimento. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, jan-mai/2017.

O momento de cruzamento das linhas corresponde a um período posterior aos 75 dias após a emergência, que é citado por Padovan et al. (2011) como de

máximo acúmulo de massa seca para o milho. Mais precocemente, Calvo, Foloni e Brancalião (2010) relatam o período de 60 dias após a emergência com acúmulo máximo de matéria seca, pois a cultura praticamente não acumulou matéria seca dos 60 aos 90 dias de cultivo, destacando a gramínea para cultivos em safrinha nas regiões tropicais.

O acúmulo de massa seca das culturas atingiu seu máximo no período estipulado para o manejo, sendo que a última avaliação de massa fresca, realizada depois de 4 meses de cultivo, foi o que apresentou maiores quantidades de massa seca. Após o 2º mês, o aumento de massa seca diminuiu para milho, mucuna e vegetação espontânea, porém, a crotalária manteve seu crescimento. Essa diferença pode ocorrer por possuir um ciclo mais longo que o milho, por exemplo, ou também pelo favorecimento de seu hábito de crescimento, fazendo comparação à mucuna. A mucuna possui hábitos rasteiro e trepador, de forma que tem dificuldade de manter a altura de dossel, porém, sua extensão lateral atingem até 6 m (PENTEADO, 2007), com ramos podendo alcançar 12 m de comprimento (MONEGAT, 1991).

A Figura 6 apresenta o crescimento das culturas em quatro amostragens durante o ciclo vegetativo.

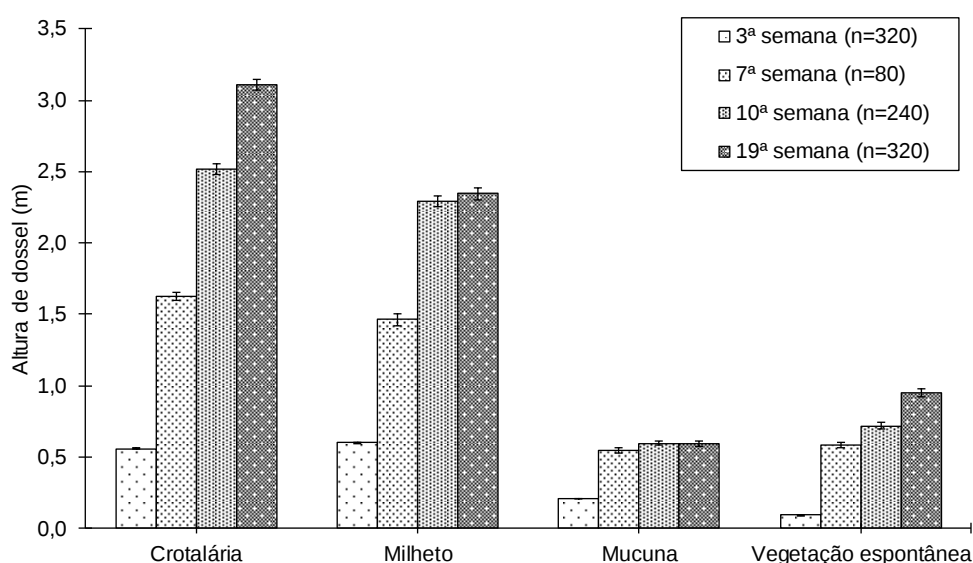


Figura 6 – Altura do dossel (m $\pm$ dp) de diferentes espécies de adubos verdes e de vegetação espontânea ao longo do experimento. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, jan-mai/2017.

As amostragens comprovam a altura do dossel de plantas na 3^a, 7^a, 10^a e 19^a semanas de desenvolvimento vegetativo. Da mesma forma que houve um crescimento contínuo no acúmulo de massa seca da crotalária, também se observa que o crescimento dessa cultura foi constante. Logo, para o milho e para a mucuna não houve aumento na altura do dossel a partir da 10^a semana, o que comparado a Figura 5 demonstra, que as plantas somente acumularam matéria seca sem crescimento adicional. O tempo que uma cultura cresce e mantém o acúmulo de matéria seca é variável com as condições ambientais. Cardozo et al. (2013), por exemplo, avaliaram o máximo crescimento e acúmulo de matéria seca de crotalária aos 73 dias após a semeadura, período que foi exatamente igual ao milho naquele experimento. A vegetação espontânea, mesmo que de forma mais lenta, ainda teve aumento da altura do dossel no período correspondente à última amostragem, o que se justifica pela existência de várias espécies diferentes que possuem distintos hábitos de crescimento.

O crescimento das plantas, de um modo geral comportou-se de acordo com o encontrado em outros estudos. A vegetação espontânea tem seu desenvolvimento totalmente relacionado ao banco de sementes do solo e as sementes terão a quebra de dormência de acordo com fatores específicos para cada espécie, por isso, tende a ter um desenvolvimento inicial mais lento. A mucuna que tem média de altura de 0,5 a 1 m, além de ter dificuldade de atingir maiores alturas de dossel (MATEUS; WUTKE, 2006), teve seu desenvolvimento inicial mais lento, quando comparada à crotalária e ao milho, o que também foi observado por Silva, Hirata e Monquero (2009), em experimento com as três espécies.

Em uma comparação que envolveu as três espécies, os resultados visualizados na Figura 8 foram semelhantes a Silva, Hirata e Monquero (2009), que aferiram 2,77 m na crotalária, 0,63 m na mucuna e 2,64 m no milho, expressando diferenças de 34 cm, 4 cm e 29 cm, respectivamente. Embora a literatura cite que o milho pode atingir até 5 m de altura (DURÃES; MAGALHÃES; SANTOS, 2003; PADOVAN et al., 2011), estudos no Brasil mostram uma média de 1,3 a 1,7 com diferentes doses de nitrogênio (ROCHA et al. 2017), 2,64 m em boas condições de fatores climáticos (TIMOSSI et al., 2014) e com potencial médio entre 1,5 e 3,0 m de altura (DURÃES; MAGALHÃES; SANTOS, 2003). Penteado (2007) cita que no caso de safrinha admite-se altura de plantas de 1,5 a 1,8 m.

A crotalária foi a espécie que atingiu maior altura de dossel, com 3,11 m, resultados dentro da média citada pela literatura com 3 a 3,5 m (MATEUS; WUTKE, 2006). Os resultados de crotalária são bem distintos de acordo com a região e variáveis climáticas, mostrando-se altamente influenciáveis pelas condições ambientais. Timossi et al. (2014) mencionam que, para produção de biomassa a crotalária deve ser semeada no início da estação chuvosa, o que enfatiza sua necessidade de água para crescimento. Entre as médias de altura citadas em experimentos, destacam-se utilizando diferentes linhagens resultados entre 1,54 a 1,72 m (RODRIGUES et al., 2014), em diferentes épocas 1,33 a 2,48 m (LEAL et al., 2012) e em casos mais extremos de épocas de semeadura diferentes, 0,5 a 3 m (TIMOSSI et al., 2014).

Na sequência, a Figura 7 apresenta a relação entre os sólidos voláteis na primeira e na última amostragem.

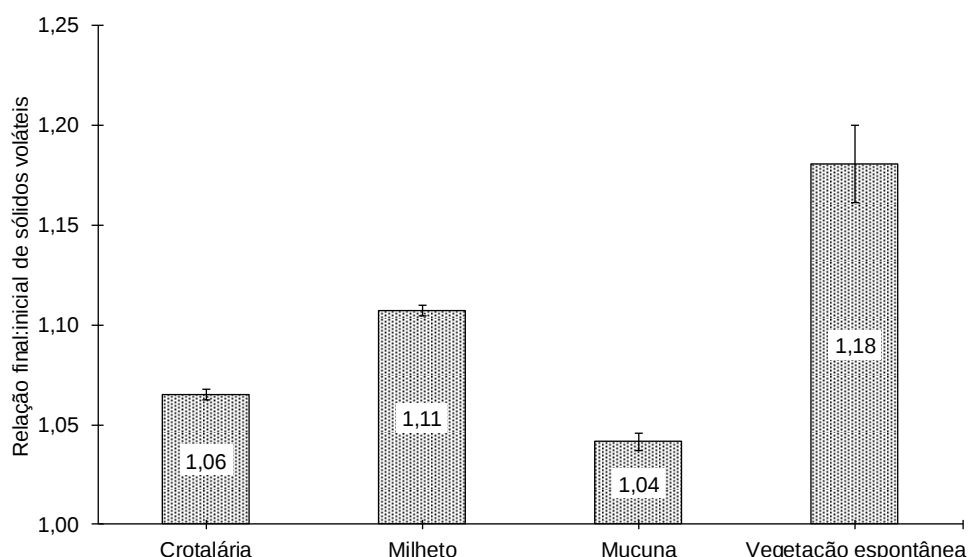


Figura 7 – Relação entre os sólidos voláteis na primeira e na última amostragem de diferentes espécies de adubos verdes. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, jan-mai/2017.

A relação analisada permitiu observar a diferença entre o material orgânico presente na massa seca entre a 3ª e a 19ª semana de desenvolvimento vegetativo. Demonstra-se, um acúmulo de material orgânico maior para a vegetação espontânea, intermediário para o milheto, menor para a crotalária e para a mucuna. Isso aponta que as leguminosas ao longo do período de desenvolvimento, tem um acúmulo de massa seca com pouca interferência na proporção entre material orgânico e mineral. Logo, a vegetação espontânea, que pode apresentar diferenças

de acordo com as espécies locais acumulou, ao longo tempo, mais material orgânico em comparação ao mineral.

5.2 Efeito dos tratamentos sobre atributos do solo

5.2.1 Densidade e resistência do solo à penetração (RP)

A densidade do solo foi analisada no intuito de acompanhar a influência dos tratamentos no adensamento natural do solo, que ocorre após um manejo de revolvimento da camada superficial, o qual foi necessário para estruturar os canteiros. A coleta inicial de solo foi realizada na segunda semana após a semeadura e a coleta final na 16ª semana após o manejo, em um intervalo de 8 meses e 15 dias. Neste tempo decorrido, houve o desenvolvimento completo das plantas, e ainda, 4 meses de decomposição da palhada sobre o solo. Os valores médios da densidade do solo obtidos para os adubos verdes nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm de profundidade são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Densidade do solo ($\text{g cm}^{-3} \pm \text{dp}$) em duas profundidades realizadas duas semanas após a semeadura e 16 semanas após o manejo da biomassa vegetal. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, jan-out/2017.

	Profundidade 0-5 cm		Profundidade 10-15 cm	
	Jan/2017	Out/2017	Jan/2017	Out/2017
Crotalária	$1,20 \pm 0,03$	$1,29 \pm 0,04$	$1,28 \pm 0,03$	$1,32 \pm 0,02$
Milheto	$1,18 \pm 0,02$	$1,29 \pm 0,04$	$1,24 \pm 0,02$	$1,28 \pm 0,02$
Mucuna	$1,18 \pm 0,04$	$1,26 \pm 0,01$	$1,18 \pm 0,04$	$1,29 \pm 0,02$
Veg. espontânea	$1,15 \pm 0,03$	$1,22 \pm 0,04$	$1,23 \pm 0,04$	$1,26 \pm 0,02$
Média	1,18	1,27	1,23	1,29

Na primeira avaliação realizada, os valores encontravam-se entre 1,15 e 1,20 g cm^{-3} na camada de 0-5 cm e entre 1,18 a 1,28 g cm^{-3} na camada de 10-15 cm de profundidade do solo. Esses valores são utilizados como parâmetro na comparação entre culturas no decorrer do tempo. Observa-se que na camada superficial (0-5 cm), o aumento de resistência no período foi de 0,09 g cm^{-3} na crotalária, 0,11 g cm^{-3} no milho, 0,08 g cm^{-3} na mucuna e 0,07 g cm^{-3} na vegetação espontânea. Logo, na

camada de 10-15 cm, os aumentos de densidade foram de $0,04 \text{ g cm}^{-3}$ para crotalaria e milho, $0,11 \text{ g cm}^{-3}$ para mucuna e $0,03 \text{ g cm}^{-3}$ para a vegetação espontânea. Com isso, pode-se inferir que a média de adensamento na camada superficial foi levemente maior em comparação à camada 10-15 cm.

A camada superficial tem o direto impacto da gota da chuva e outras influências ambientais ocorrendo diretamente no agroecossistema. Machado e Favaretto (2006) citam que todos os fatores que interferem no espaço poroso irão interferir na densidade do solo. A existência de biomassa é um dos mais influentes fatores na superfície do solo, pois segundo Panachuki et al. (2006), a maior densidade de massa vegetal favorece uma melhor absorção do impacto das gotas de chuva, protegendo o solo da erosão e evitando modificação em sua estrutura.

Quando existe preparo com revolvimento do solo na camada de 0 a 10 cm, a densidade do solo apresenta índices reduzidos (TORMENA et al., 2002). A existência de maiores densidades na camada superficial do solo, em comparação a camadas mais profundas é visível, por exemplo, em áreas de plantio direto (TORMENA et al., 2002) e pastagens (PANACHUKI et al., 2006), porém, os valores são muito relativos as cargas exercidas sobre o solo, existindo uma camada densa com maior espessura. Em uma comparação direta com áreas de floresta, estas apresentam menor densidade que solos agrícolas (MACHADO; FAVARETTO, 2006).

Existem valores considerados ideais e críticos quando se busca uma avaliação mais criteriosa da variável densidade. Camargo e Alleoni (1997), destacam a faixa de $1,0$ e $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ como uma faixa ideal. Logo, como valores críticos para o desenvolvimento das plantas, Reynolds et al. (2002) apontam entre $1,4$ e $1,8 \text{ g cm}^{-3}$, variando em função da textura do solo, tendo um aumento inversamente proporcional ao teor de argila. De forma geral, são comuns em solo minerais valores de densidade entre $1,1$ e $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ (MACHADO; FAVARETTO, 2006). Os valores médios encontrados na avaliação do experimento foram todos inferiores ao mínimo valor crítico citado pela literatura, o que possibilita inferir que para as camadas 0-5 cm e 10-15 cm do solo não exista nenhuma restrição para o desenvolvimento das plantas relacionado à densidade do solo.

Em avaliação ao crescimento de plantas de cobertura em Argissolo, entre as quais estavam presentes crotalaria e mucuna, Reinert et al. (2008) observaram crescimento normal até a densidade de $1,75 \text{ g cm}^{-3}$, o que confirma os dados obtidos

tendo uma densidade apropriada ao desenvolvimento das culturas. Machado e Favaretto (2006) apontam que uma das aplicações da densidade do solo é inferir sobre o impedimento mecânico ao sistema radicular das plantas. As gramíneas, por sua vez, geralmente contribuem para uma estrutura melhor do solo na camada superficial (PANACHUKI et al., 2006). Ramírez-Garcia et al. (2015) destacam que as gramíneas tiveram um bom estabelecimento no campo e um rápido crescimento permitindo a rápida cobertura do solo.

A combinação de preparo reduzido e incorporação de adubação verde é tida como uma boa opção para a melhoria na estrutura do solo (GARCIA-FRANCO et al. 2015). Segundo Reichert, Reinert e Braida (2003) a densidade do solo está diretamente relacionada com a resistência do solo a penetração e redução da porosidade afetando a infiltração de água e consequentemente interferindo na compactação. A densidade do solo por possuir estreita relação com outros atributos do solo é amplamente usada como indicador em pesquisas e converge para o fato de que, com o aumento da densidade do solo, ocorre diminuição da porosidade total, assim como o consequente aumento da resistência mecânica à penetração de raízes (LIMA et al., 2007).

Os valores médios da resistência à penetração entre 0 e 40 cm de profundidade são exibidos na Figura 8. Na resistência a penetração do solo a umidade é um fator que influencia a coleta de dados. Com o aumento da umidade em profundidade, Tormena et al. (2002), observaram, simultaneamente, a redução da resistência a penetração. Condições extremas de umidade podem interferir nas amostras, portanto, indica-se realizar as avaliações quando o solo estiver no estado de consistência friável (MACHADO; FAVARETTO, 2006). No experimento, a umidade gravimétrica na coleta inicial (janeiro/2017) encontrava-se entre 14 e 19%, e na coleta final (outubro/2017) na faixa entre 19 e 22%.

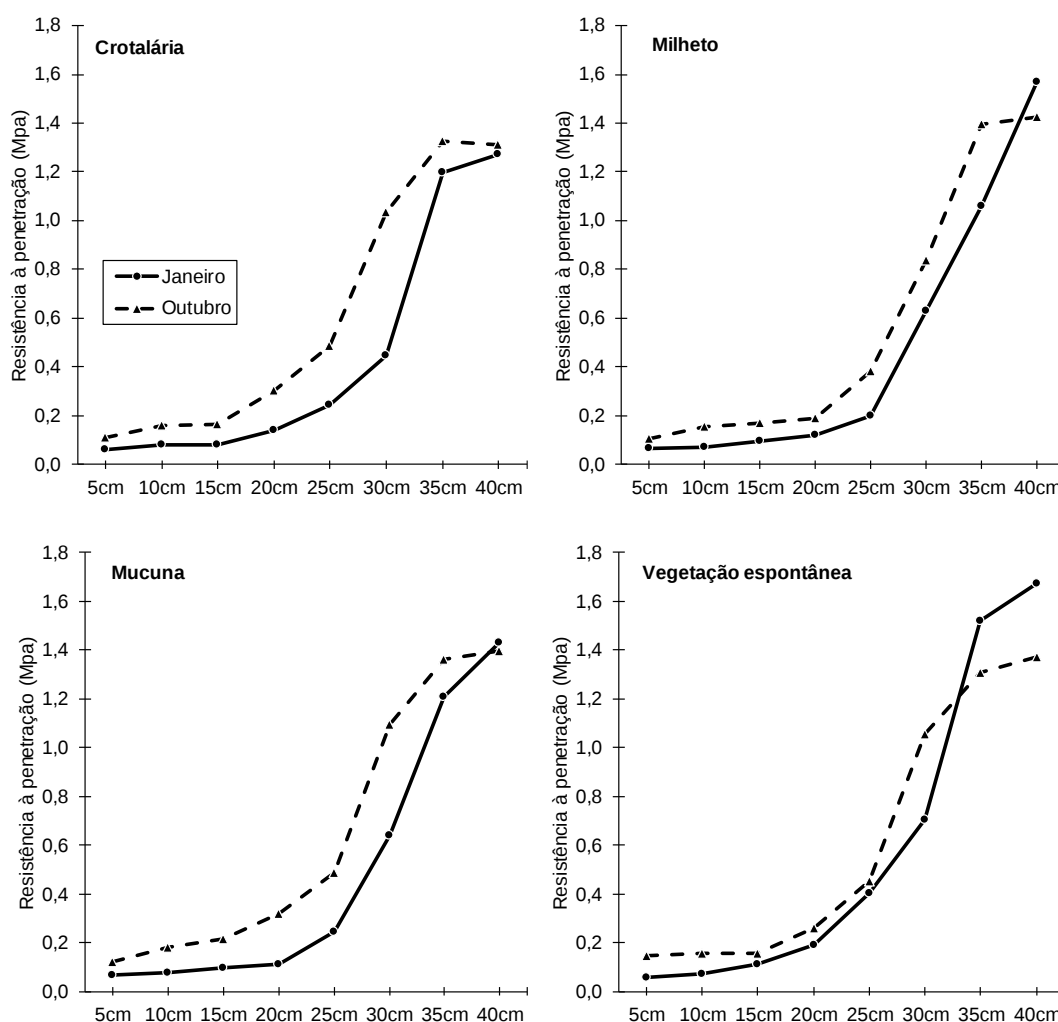


Figura 8 – Resistência à penetração (Mpa) entre 5 e 40 cm de profundidade em solos com diferentes coberturas vegetais. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

Até 30 cm de profundidade, os valores em janeiro foram sempre inferiores aos de outubro. Esta é uma tendência natural de um solo manejado, e que, semelhantemente a densidade citada para as profundidades de 0-5 e 10-15 cm, sofreu um leve aumento no índice. Na camada aproximada de 35 a 40 cm observa-se uma aleatoriedade nos dados, o que pode ser relacionada à camada limite de divisa no manejo de revolvimento.

Como valor de referência para a resistência à penetração do solo, Collares et al. (2006) apontam 2 Mpa para não haver interferência direta ao crescimento das raízes, enquanto que Machado e Favaretto (2006) consideram valores na faixa de 3,5 a 6,5 Mpa para considerar que um solo possivelmente esteja apresentando problemas de impedimento mecânico às raízes da cultura. Complementando as definições de valores aceitáveis, Canarache (1990), elaborou uma classificação de

limitação média para o crescimento das raízes, onde tem-se: $\leq 1,0$ sem limitações; 1,1 a 2,5 poucas limitações; 2,6 a 5,0 moderadas restrições; 5,1 a 10,0 Críticas restrições; 10,1 a 15,0 praticamente sem crescimento de raízes e; $>15,0$ nenhum crescimento de raízes. Tais constatações demonstram que nas profundidades de 0-5 e 10-15 cm todos os tratamentos se encontram com poucas limitações.

Podem existir grande variações na resistência à penetração em uma mesma área de cultivo, pois um dos maiores agentes de compactação do solo é o trânsito de máquinas e equipamentos agrícolas sobre o mesmo (MACHADO; FAVARETTO, 2006). Tormena et al. (2002) constataram maiores valores de resistência do solo à penetração no sistema de plantio direto comparado ao plantio convencional até a profundidade de 25 cm. No experimento, essa profundidade foi a com menores variações, estando sempre abaixo de 0,5 Mpa, e expressando a camada com maior interferência do manejo de preparo do solo. A resistência à penetração é um parâmetro que pode ser elencado por alguns pesquisadores como fator mais importante relacionado ao crescimento radicular, inclusive com um peso maior que o da densidade do solo (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

5.2.2 Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE)

O contato da palha na superfície do solo proporcionou alterações no valor de pH na camada de 0-5 cm de profundidade (Figura 9). O milho, representante das gramíneas, foi a única espécie a ter o valor final de pH sendo maior no controle (5,34) em comparação ao húmus (5,23), mesmo assim ao observar os valores iniciais, nota-se que a diminuição nos dois casos de milho são praticamente iguais. Na decomposição dos resíduos ocorre o processo de mineralização do nitrogênio, liberando de íons hidrogênio, o que contribui para a acidificação do solo (LOPES, 1998). Motta e Lima (2006) destacam que no longo prazo os resíduos em decomposição podem atuar na elevação do pH.

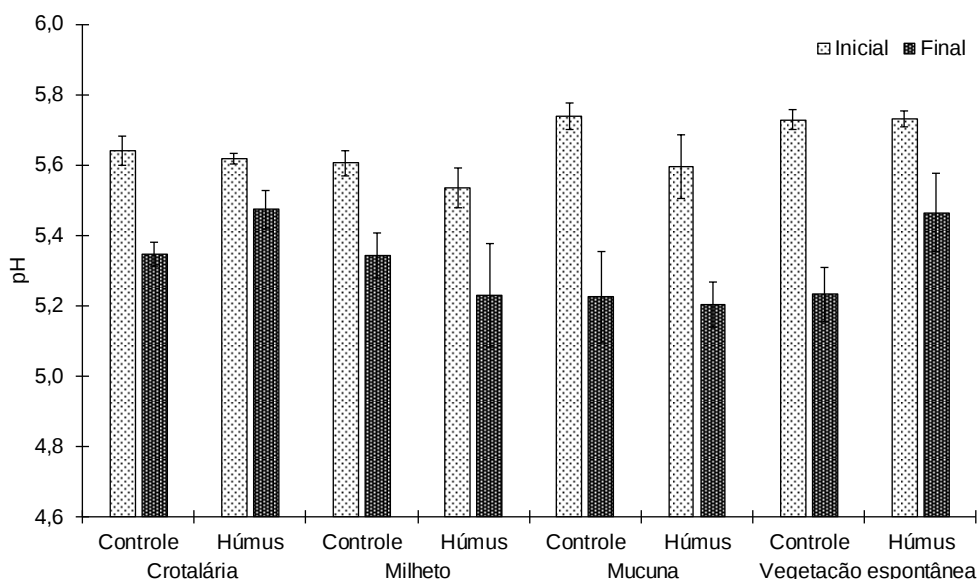


Figura 9 – pH ($m \pm dp$) na camada superficial do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

Os valores médios de pH demonstram para o período entre janeiro e outubro, acidificação em todas as espécies e na fertilização com húmus líquido. No momento inicial, os valores de pH, variaram entre 5,54 e 5,74 e na avaliação final abrangeram valores entre 5,20 e 5,47, demonstrando que em todos os tratamentos o solo acidificou. Na cultura da crotalária, a redução foi de 0,30 (controle) e 0,14 (húmus), no milho de 0,26 (controle) e 0,31 (húmus), na mucuna de 0,51 (controle) e 0,39 (húmus), e na vegetação espontânea de 0,50 (controle) e 0,27 (húmus). Embora houve redução no pH do solo durante o período, não foi ultrapassada a faixa de 5,0 a 6,5, que é a requerida pela maioria das culturas (MARQUES, 2006).

Visualizam-se as maiores reduções de pH na vegetação espontânea controle e na mucuna controle, além de observar que a mucuna em outubro, apresentou a menor média para cultura, com valor de 5,22. Por outro lado, a menor diminuição de pH ocorreu na crotalária húmus que em outubro apresentou valor de 5,47, número igual ao da vegetação espontânea húmus.

Em análise separada do fator espécie, as leituras de pH, resultaram em diminuição de 0,22 para crotalária, 0,28 para o milho, 0,45 para mucuna e 0,38 para a vegetação espontânea. Já, no fator húmus, as diminuições foram de 0,39 no controle e 0,28 no húmus. Dois fatores podem relacionar-se diretamente a modificações de pH influenciadas pelas plantas. No caso das plantas leguminosas a fixação de N_2 quando combinada a uma alta CTC do solo, influencia promovendo uma efetiva redução no pH do solo (SOUZA et al., 2010). A adição de fertilizante

orgânico ao solo intensifica a atividade microbiana, o que resulta em um processo acidificante, e assim, pode justificar as quedas de pH (YAN; SCHUBERT; MENGEL, 1996).

As modificações no pH também podem sofrer influência da relação C/N da espécie. Eira e Carvalho (1970) relatam que diferentes fontes carbono alteram o pH inicial do solo, devido a decomposição pela microbiota do solo. Isso explica menores valores de pH para as espécies com diminuição da relação C/N e com características de fixação de N_2 . Bai et al. (2018) relatam que para o pH, os efeitos dependeram do tipo de solo do local, por exemplo, a entrada de matéria orgânica é um fator que pode afetar favoravelmente o pH de solos ácidos.

Existe uma tendência a estabilização com a sequência de um manejo específico. Avaliando variabilidade espacial em plantio direto para pH a matéria orgânica, Zanão Júnior, Lana e Guimarães (2007) relatam que o coeficiente de variação indicou baixa variabilidade para o pH em água e para a matéria orgânica. Logo, ao comparar diferenças de agricultura convencional e agricultura orgânica, BAI et al. (2018) concluíram que, no geral, nenhuma tendência clara foi encontrada para o pH.

A condutividade elétrica da mesma forma que o pH, foi avaliada na camada superficial do solo, sendo apresentada na Figura 10.

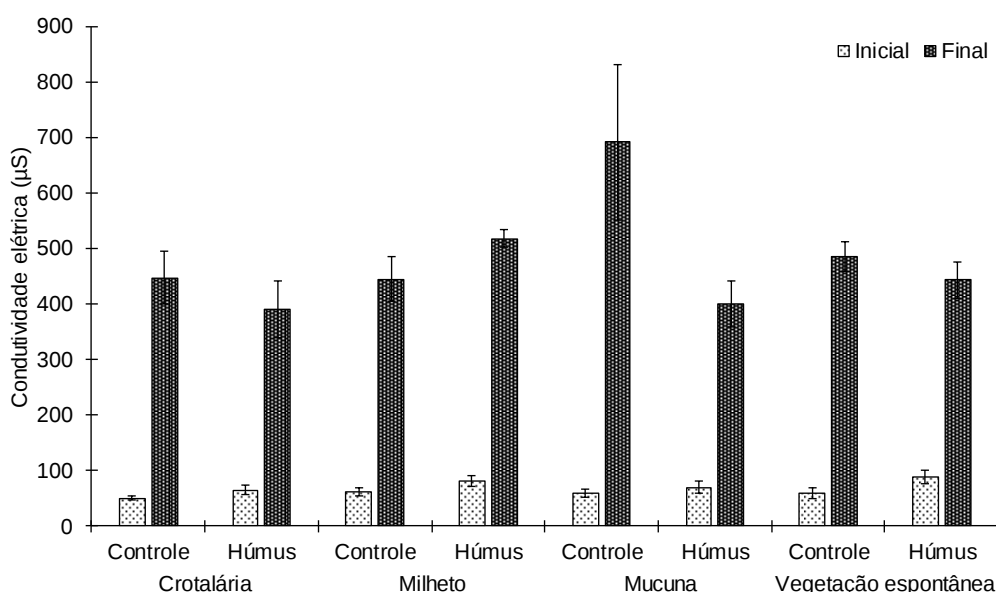


Figura 10 – Condutividade elétrica ($\mu S \pm dp$) na camada superficial do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

A condutividade elétrica foi semelhante em todos os tratamentos iniciais, e na avaliação final teve um aumento considerável, com variações de 4,9 a 11,7 vezes maiores na comparação com o valor inicial. O milho foi a única espécie em que a condutividade elétrica com uso de húmus foi maior que a do controle.

Apesar de haver um crescimento nos valores de condutividade elétrica, estes ainda podem ser considerados baixos. Para interferir no desenvolvimento da maioria das culturas o valor de condutividade deve estar próximo ou acima de 4000 μS (Embrapa, 2006). Na comparação entre diferentes profundidades, a condutividade elétrica pode ser maior na camada de 0-5 cm de solo pela maior reciclagem de nutrientes (DOLINSKI et al., 2009). A adição de biomassa é uma ferramenta de estabilidade da produção, que visa estabilizar a produtividade com um sistema que induz processos na camada superficial do solo (KNAPP; HEIJDEN, 2018).

Segundo Reetz (2017), os padrões de condutividade elétrica do solo dentro de uma área não tendem a mudar significativamente como tempo, mas alterações podem ser relacionadas movimentações e entradas e saídas de nutrientes. Maiores índices de condutividade foram encontrados na projeção da copa das árvores de ameixa em comparação com as ruas em pomares, o que pode indicar efeitos de maior decomposição de material vegetal (DOLINSKI et al., 2009). Falcão et al. (2013) observaram valores de condutividade elétrica significativamente superiores em área sob sistema convencional de olerícolas em comparação ao sistema orgânico. Os autores destacam correlação do aumento da condutividade com a elevada aplicação de fertilizantes.

Em contrapartida, Dolinski et al. (2009) relatam que em sistemas de pomar de ameixa, três anos de aplicação de diferentes doses de adubação nitrogenada não foram eficientes para modificar a condutividade elétrica e o pH do solo. Uma das maneiras mais de melhor interpretar as modificações é pela comparação de mapas, associando a condutividade elétrica com produtividade ou levantamento de características solo na área de interesse (REETZ, 2017).

5.2.3 Carbono orgânico

A relação entre carbono orgânico final e inicial do solo apresentou interação significativa entre os fatores espécie e fertilização com húmus líquido (Tabela 8).

Tabela 8 – Análise de variância para a relação entre o carbono orgânico final e inicial do solo na profundidade de 0-5 cm. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

	G.L.	Estat. F	P-valor
Espécie	3	4.5479	0.0053
Fertilização	1	5.7670	0.0185
Bloco	3	5.4411	0.0018
Espécie * Fertilização	3	6.9426	0.0003
Resíduos	85		

A relação foi estipulada com as coletas de solo realizadas em janeiro e em outubro de 2017. Quando o resultado é maior que 1, indica acúmulo de carbono no solo, e quando é menor que 1, indica perda de carbono. As diferenças encontradas na relação podem se visualizadas na Figura 11.

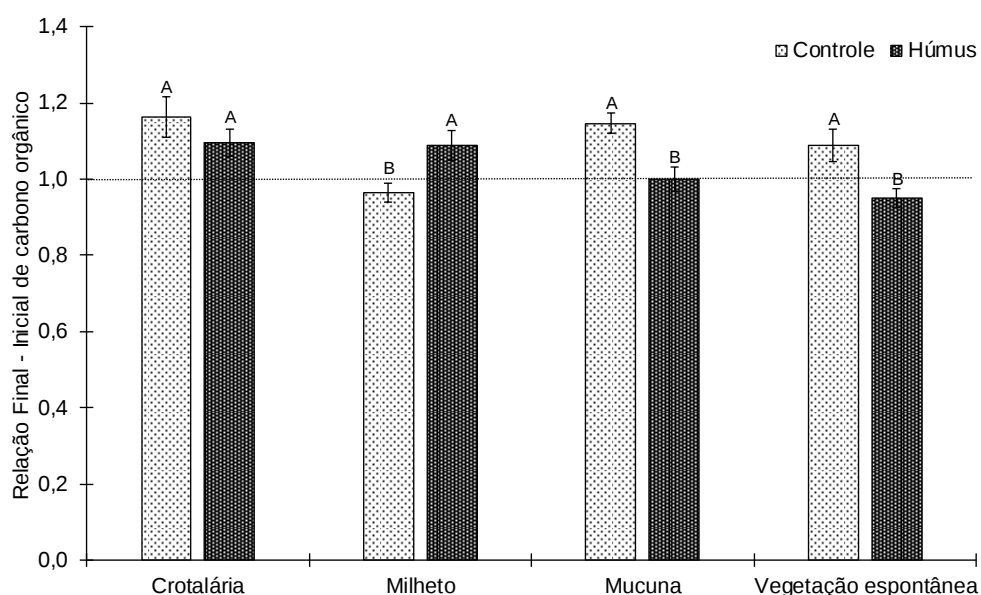


Figura 11 – Relação entre carbono orgânico final e inicial na camada superficial do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Colunas com letra diferente diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Linha pontilhada expressa o equilíbrio entre perda e acúmulo de carbono no sistema. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

A comparação de médias demonstrou que os tratamentos, de um modo geral, apresentaram valores de carbono orgânico com húmus sendo inferiores ao controle,

exceto no milheto, que apresentou melhor resposta com a utilização de húmus, e na crotalária, que foi estatisticamente igual. Além disso, cabe destacar que o balanço na mucuna submetida ao húmus manteve exatamente o equilíbrio da relação em 1, e ainda, a vegetação espontânea com húmus e o milheto controle ficaram abaixo de 1, apresentando perda de carbono no período avaliado.

A capacidade dos solos de armazenar carbono orgânico representa uma função fundamental dos solos, que não é apenas decisiva para a regulação do clima, mas também afeta outras funções do solo (WIESMEIER et al., 2019). Arai et al. (2018) observaram que parâmetros físicos e biológicos que potencialmente controlam o carbono no solo respondem a práticas agrícolas em um curto período, porém, para que a entrada de matéria orgânica seja refletida no solo é necessário um período de tempo mais longo. O armazenamento de carbono, juntamente com armazenamento de água, produção de biomassa e reciclagem de nutrientes pode ser considerada uma das principais funções ecológicas do solo (WIESMEIER et al., 2019).

A relação entre o carbono orgânico e a matéria orgânica pode ser considerado de forma direta, sendo que a matéria orgânica possui em média 58% de carbono orgânico (SERRAT; KRIEGER; MOTTA, 2006). A matéria orgânica do solo é constituída por resíduos vegetais e animais parcialmente decompostos bem como por substâncias orgânicas complexas de difícil decomposição (húmus do solo) (MACHADO; FAVARETTO, 2006). O aumento da matéria orgânica é geralmente considerado um método eficaz para melhorar a qualidade do solo e da água, bem como para garantir uma produção agrícola sustentável e segurança alimentar (JOUQUET et al., 2011).

Avaliando a profundidade onde se encontrava o carbono, Garcia-Franco et al. (2015) observaram que entre 40% a 60% do conteúdo total, encontrava-se na camada de 0-5 cm. Relacionando 5 indicadores de qualidade do solo Bai et al. (2018), relatam que a adição de matéria orgânica afetou favoravelmente todos eles, com efeito mais favorável para o número de minhocas, seguido pelo rendimento, teor de matéria orgânica e estabilidade do agregado do solo.

Na camada superficial do solo o carbono orgânico é encontrado em sua maioria associado com silte e partículas de argila (GARCIA-FRANCO et al., 2015). Isso faz com que o manejo se torne fundamental na manutenção da quantidade de carbono no solo. Garcia-Franco et al. (2015) complementam que a interrupção do

preparo do solo produziu uma tendência ao acúmulo de carbono orgânico, no entanto, quatro anos em plantio direto não foram suficientes para aumentar significativamente o conteúdo total no solo.

O vermicomposto pode ser relatado com limitação de uso na substituição de fertilizantes químicos quando são esperados efeitos de curto prazo sobre o crescimento das plantas (JOUQUET et al., 2011). Bai et al. (2018) reforçam que a agricultura orgânica tende a resultar em maior estabilidade agregada e maior conteúdo de matéria orgânica no solo ao longo do tempo. Fator esse, que é influenciado pelas constantes entradas de materiais ricos em carbono.

5.2.4 Nitrogênio

O nitrogênio foi avaliado como nitrogênio extraível total (NET), e nas frações de nitrogênio orgânico (N-org), nitrato, (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). As avaliações foram realizadas na camada superficial (0-5 cm) e na camada de 10-15 cm de profundidade.

O nitrogênio extraível total (NET) não demonstrou interação significativa entre os fatores em nenhuma das profundidades (Tabela 9). O único fator que apresentou efeito significativo foi a fertilização na coleta inicial.

Tabela 9 – Análise de variância para nitrogênio extraível total (NET) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

	G.L.	Profundidade 0-5 cm				Profundidade 10-15 cm			
		Inicial		Final		Inicial		Final	
		Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor
Espécie	3	1,6052	0,2182	0,6515	0,5908	0,4380	0,7282	0,6112	0,6152
Fertilização	1	5,1274	0,0343*	3,5403	0,0738	7,5442	0,0121*	0,8588	0,3646
Blocos	3	4,6031	0,0126	1,1291	0,3600	3,2879	0,0408	0,7306	0,5452
Espécie * Fertilização	3	2,8672	0,0609	0,4934	0,6907	1,5720	0,2259	0,7127	0,5553
Resíduos	21								

As médias de NET para espécie e fertilização com húmus líquido podem ser visualizadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Nitrogênio extraível total - NET ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

	Profundidade 0-5 cm				Profundidade 10-15 cm			
	Inicial		Final		Inicial		Final	
Crotalária	50,47 $\pm$ 1,75	ns	45,07 $\pm$ 1,06	ns	49,93 $\pm$ 1,01	ns	46,01 $\pm$ 0,09	ns
Milheto	50,83 $\pm$ 1,93		46,67 $\pm$ 1,18		50,00 $\pm$ 1,13		48,05 $\pm$ 0,11	
Mucuna	48,12 $\pm$ 1,38		45,17 $\pm$ 0,60		51,10 $\pm$ 1,55		47,47 $\pm$ 0,08	
Veg. espontânea	53,73 $\pm$ 3,76		45,27 $\pm$ 0,90		51,32 $\pm$ 1,64		45,55 $\pm$ 0,07	
Controle	48,73 $\pm$ 0,91	b	49,08 $\pm$ 1,00	ns	46,43 $\pm$ 0,74	a	46,07 $\pm$ 0,98	ns
Húmus	52,84 $\pm$ 2,11	a	52,10 $\pm$ 0,69		44,66 $\pm$ 0,51	b	47,47 $\pm$ 1,05	

Médias acompanhadas por letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$); ns não significativo.

A comparação de médias pelo teste de Tukey realizada entre as avaliações iniciais para a fertilização com húmus líquido mostrou superioridade para o tratamento com húmus na camada 0-5 cm de solo, enquanto, na camada 10-15 cm o índice de NET foi superior para o controle.

O nitrogênio é necessário para a síntese de clorofila e, como parte da molécula de clorofila, está envolvido na fotossíntese (LOPES, 1998). No uso de leguminosas, o cultivo explora maiores níveis atmosféricos, que são sintetizados no sistema solo-planta, enquanto que com o cultivo de gramíneas, tem-se um maior período de imobilização de nitrogênio em uma palhada que leva um tempo para se decompor (BARÃO et al., 2019). Com a existência de uma maior fração disponível de nitrogênio, as proteínas sintetizadas a partir dos aminoácidos promovem o crescimento das folhas, aumentando assim a superfície fotossintética (FIORIN, 2007). Taiz e Zaiger (2009) relatam que pela importância da função do nitrogênio nos processos bioquímicos realizados na planta, ele se torna um dos principais fatores limitantes a produtividade das culturas.

A quantidade total de nitrogênio dos solos é extremamente variável e seus valores tendem a diminuir com a profundidade do solo (HAVLIN et al., 2014). Como as avaliações compõem as faixas de 0-5 e 10-15 cm, não foram alcançadas profundidades que possibilitassem visualizar essa diminuição, visto que essa área concentra os resíduos da parte aérea e as raízes em decomposição.

Na Figura 12, podemos visualizar o comportamento do NET, que praticamente diminui em todos os casos.

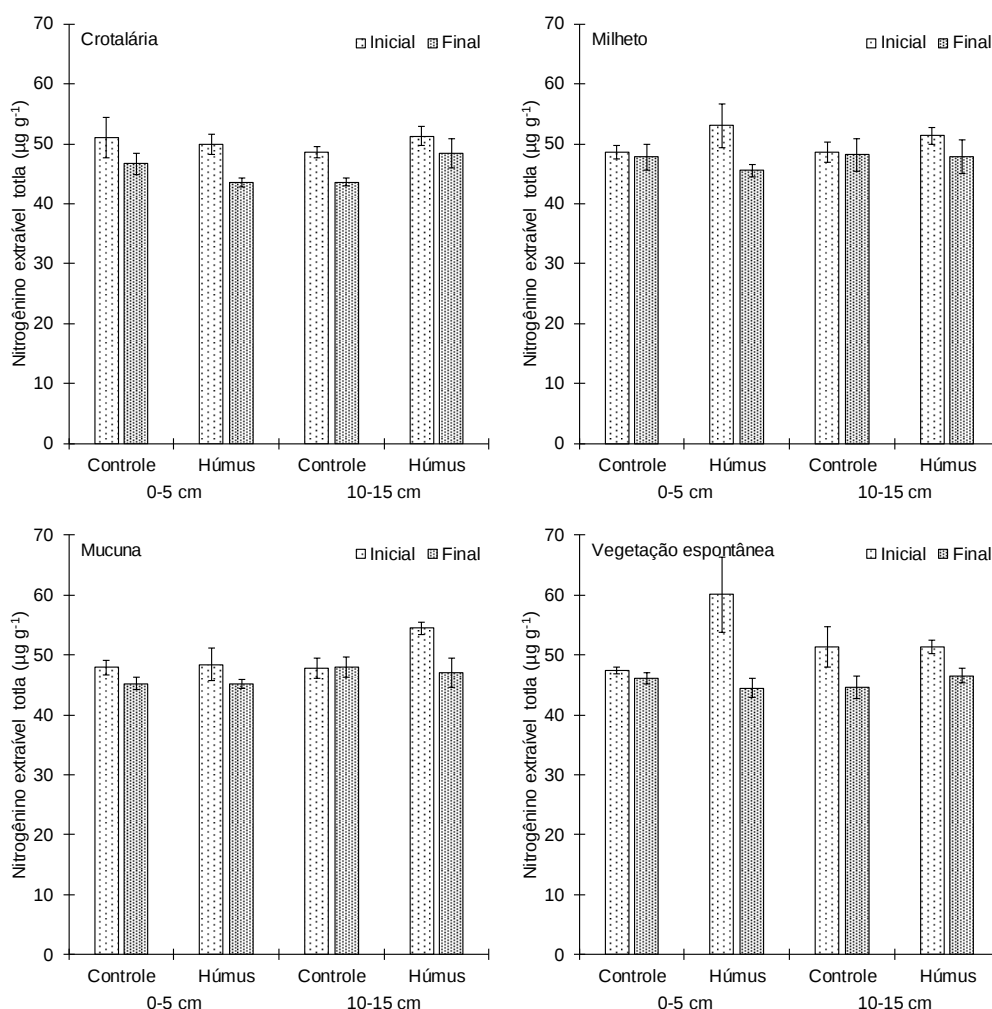


Figura 12 – Nitrogênio extraível total - NET ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

O uso do húmus líquido pode ter influenciado a camada superior do solo (0-5 cm) pela indução da microbiota na superfície do solo. Dominguez et al. (2019) destacam que as funções microbianas são o fator que melhor pode explicar os efeitos benéficos da utilização de vermicomposto no solo e nas plantas. Os inúmeros efeitos benéficos do húmus líquido não podem ser atribuídos a um aumento na oferta de macro e micronutrientes, mas sim, a reguladores de crescimento e outras biomoléculas eliciadoras consideradas como ingredientes ativos (AREMU et al. 2015).

Na divisão do NET, tem-se amônio e nitrato compondo a fração mineral de nitrogênio do solo. O processo de mineralização ocorre à medida que os microrganismos decompõem materiais orgânicos para seu suprimento de energia (LOPES, 1998).

O Nitrogênio presente na forma de amônio (NH_4^+) não demonstrou interação significativa entre os fatores em nenhuma das profundidades e não foi significativo para nenhum dos efeitos simples (Tabela 11).

Tabela 11 – Análise de variância para nitrogênio amônio (N-NH_4^+) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

	G.L.	Profundidade 0-5 cm				Profundidade 10-15 cm			
		Inicial		Final		Inicial		Final	
		Estat. F	P- valor	Estat. F	P- valor	Estat. F	P- valor	Estat. F	P- valor
Espécie	3	0,8279	0,4933	2,6139	0,0780	0,4453	0,7232	1,4556	0,2552
Fertilização	1	0,9166	0,3493	0,0028	0,9584	0,9560	0,3393	0,8702	0,3615
Blocos	3	2,8236	0,0635	19,2937	3,0e ⁻⁰⁶	0,9119	0,4521	18,3987	4,3e ⁻⁰⁶
Espécie * Fertilização	3	0,1937	0,8995	0,1786	0,9097	0,3634	0,7801	0,2412	0,8666
Resíduos	21								

As médias de NH_4^+ para espécie e fertilização com húmus líquido podem ser visualizadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Nitrogênio amônio – N-NH_4^+ ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

	Profundidade 0-5 cm				Profundidade 10-15 cm			
	Inicial		Final		Inicial		Final	
Crotalária	9,42 ± 1,29	ns	3,38 ± 1,54	ns	7,52 ± 1,04	ns	3,05 ± 1,31	ns
Milheto	8,14 ± 0,34		4,60 ± 1,60		7,68 ± 0,77		3,91 ± 1,26	
Mucuna	9,90 ± 1,15		1,90 ± 0,30		8,89 ± 1,39		1,80 ± 0,63	
Veg. espontânea	10,06 ± 0,95		4,13 ± 1,02		7,47 ± 0,36		2,76 ± 0,80	
Controle	9,84 ± 0,82	ns	3,52 ± 1,00	ns	8,38 ± 0,84	ns	2,54 ± 0,78	ns
Húmus	8,92 ± 0,56		3,48 ± 0,76		7,40 ± 0,42		3,22 ± 0,90	

ns não significativo pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

O amônio não foi significativo em nenhum dos casos, porém, se compararmos a quantidade inicial e final, observa-se que houve diminuição em todos os casos em valores expressivos (Figura 13). As perdas por volatilização e ou por lixiviação podem ser bastante significativas (MARQUES, 2006).

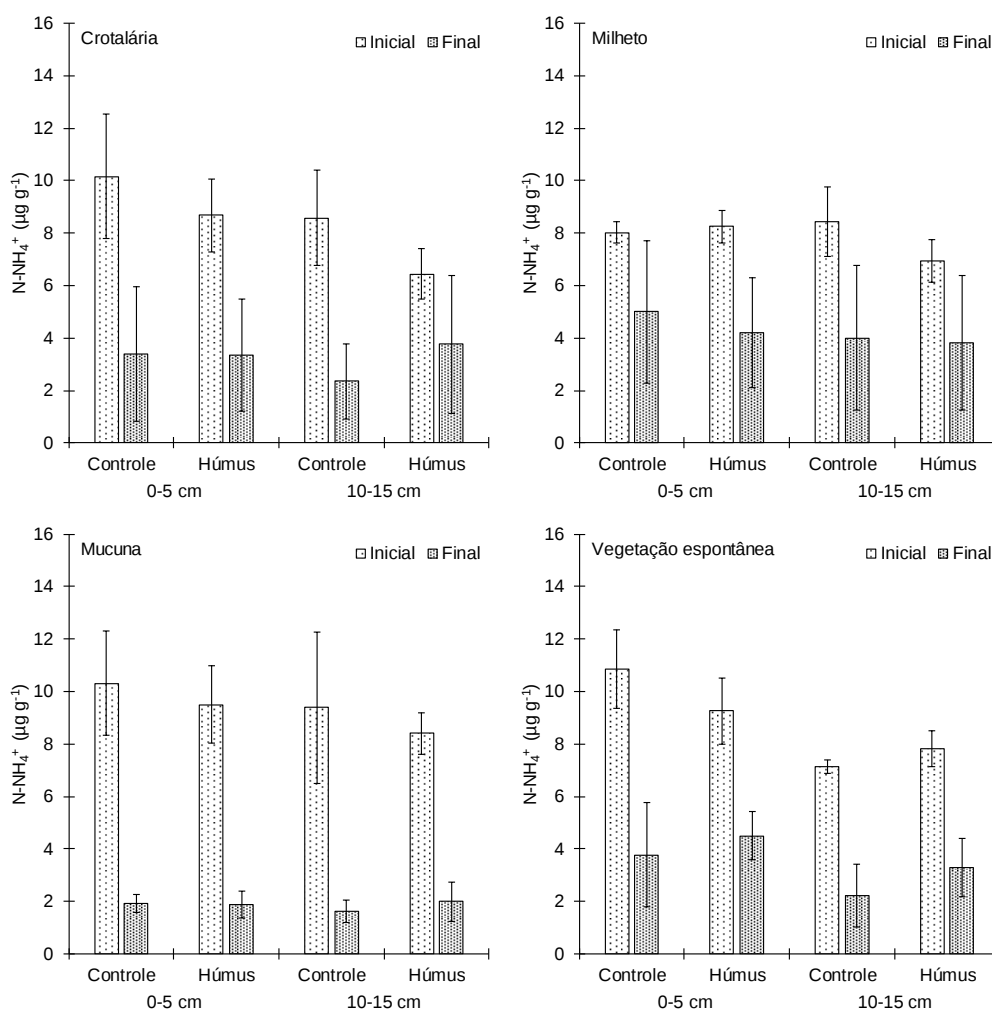


Figura 13 – Nitrogênio amônio - N-NH_4^+ ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

Na comparação de espécies, observa-se que a menor variação de NH_4^+ foi no milho. A decomposição mais lenta de gramíneas influencia a liberação de nitrogênio. As fontes orgânicas de nitrogênio, como resíduos de culturas, liberam nitrogênio à medida que se decompõem (LOPES, 1998). Além do NH_4^+ , a outra fração que compõe o nitrogênio inorgânico é composta pelo NO_3^- , que origina-se em grande parte da decomposição da matéria orgânica do solo e, assim, estando intimamente ligada às mudanças proporcionadas pelas plantas ou pela biota do solo (MARQUES, 2006).

O nitrogênio presente como nitrato (NO_3^-) não apresentou interação significativa entre os fatores em nenhuma das profundidades (Tabela 13). O único fator que apresentou efeito significativo foi a fertilização na coleta inicial com profundidade de 10-15 cm.

Tabela 13 – Análise de variância para nitrogênio nitrato (NO_3^-) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

	G.L.	Profundidade 0-5 cm				Profundidade 10-15 cm			
		Inicial		Final		Inicial		Final	
		Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor
Espécie	3	0,9313	0,4430	0,0333	0,9916	0,4782	0,7009	0,2298	0,8746
Fertilização	1	2,9435	0,1009	0,2172	0,6460	5,4937	0,0290*	0,0777	0,7831
Blocos	3	6,7745	0,0023	12,625	0,0001	1,7148	0,1946	12,384	0,0001
Espécie * Fertilização	3	0,5264	0,6690	2,2386	0,1136	0,4402	0,7266	1,5882	0,2221
Resíduos	21								

As médias de NO_3^- para espécie e fertilização com húmus líquido podem ser visualizadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Nitrogênio nitrato – N-NO_3^- ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

	Profundidade 0-5 cm				Profundidade 10-15 cm			
	Inicial		Final		Inicial		Final	
Crotalária	3,15 ± 0,81	ns	2,63 ± 0,48	ns	5,79 ± 0,74	ns	2,66 ± 0,50	ns
Milheto	4,08 ± 1,23		2,68 ± 0,56		6,25 ± 1,28		2,83 ± 0,56	
Mucuna	3,94 ± 0,95		2,65 ± 0,60		6,94 ± 1,17		2,51 ± 0,64	
Veg. espontânea	2,67 ± 0,23		2,53 ± 0,53		7,22 ± 0,79		2,50 ± 0,37	
Controle	2,87 ± 0,42	ns	2,54 ± 0,36	ns	5,45 ± 0,68	b	2,58 ± 0,33	ns
Húmus	4,05 ± 0,74		2,70 ± 0,39		7,65 ± 0,62	a	2,67 ± 0,34	

Médias acompanhadas por letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$); ns não significativo.

A comparação de médias realizada na avaliação inicial para a fertilização com húmus líquido na profundidade 10-15 cm, mostrou superioridade para o tratamento com húmus.

Na Figura 14, é possível visualizar o comportamento do NO_3^- , que apresentou maior diminuição ao longo do tempo na camada 10-15 cm de profundidade do solo. As potenciais perdas de nitrato resumem-se a maior preocupação relacionada ao nitrogênio em relação ao meio ambiente e, por isso, indica-se sempre a existência de culturas subsequentes em crescimento, para utilizar esse nutriente (LOPES, 1998).

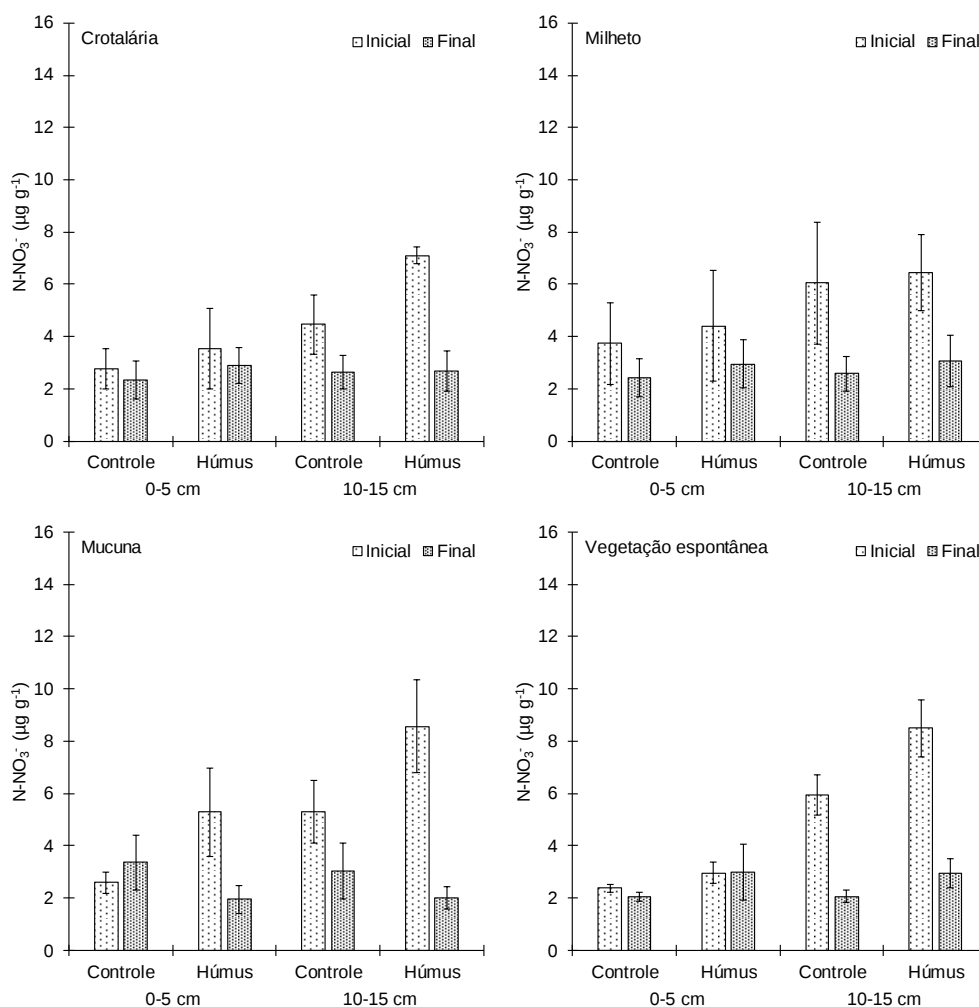


Figura 14 – Nitrogênio nitrato - N-NO_3^- ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

O NO_3^- apresentou ao longo do tempo, redução na profundidade 10-15 cm quando comparada a camada superficial do solo. Essa diferença ocorreu em virtude de existirem valores iniciais maiores na camada mais profunda. Por meio da visualização do desvio padrão do NO_3^- inicial em 10-15 cm de profundidade, nota-se que o húmus somente não foi superior ao controle na espécie milheto. Assim, novamente há diferenciação da gramínea em comparação as leguminosas e a vegetação espontânea. Os efeitos da comparação entre gramíneas e leguminosas necessitam ser entendidos considerando o tempo de cultivo dos adubos verdes e a cultura subsequente (WITTWER et al., 2017). Os nitratos são extremamente móveis, movimentando-se livremente com a água do solo (LOPES, 1998). Períodos com altos índices de precipitação pluviométrica podem influenciar quedas nos teores de NO_3^- e NH_4^+ do solo (SHARIFI et al., 2014).

No ciclo do nitrogênio também ocorre o processo de imobilização, que consiste na conversão da forma inorgânica para orgânica (HAVLIN et al., 2014; LOPES, 1998). Do total de nitrogênio presente no solo, cerca de 90 a 95% pode ser encontrado na forma orgânica (HAVLIN et al., 2014; MARQUES, 2006). O nitrogênio orgânico solúvel (Norg) apresentou interação significativa entre os fatores espécie e fertilização com húmus líquido na coleta inicial da profundidade 0-5 cm do solo (Tabela 15).

Tabela 15 – Análise de variância para nitrogênio orgânico solúvel (Norg) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

	G.L.	Profundidade 0-5 cm				Profundidade 10-15 cm			
		Inicial		Final		Inicial		Final	
		Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor	Estat. F	P-valor
Espécie	3	2,5975	0,0793	0,6971	0,5642	0,3002	0,8248	0,4594	0,7136
Fertilidade	1	4,9517	0,0372*	3,3696	0,0806	2,3773	0,1380	0,1017	0,7530
Blocos	3	2,2803	0,1089	6,4836	0,0028	0,3959	0,7573	1,6358	0,2113
Espécie * Fertilização	3	3,9597	0,0220*	1,2562	0,3148	2,2515	0,1121	0,2067	0,8906
Resíduos	21								

As médias do Norg para espécie e fertilização com húmus líquido podem ser visualizadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Nitrogênio orgânico solúvel – N-Norg ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

	Profundidade 0-5 cm				Profundidade 10-15 cm			
	Inicial		Final		Inicial		Final	
Crotalária	37,89 $\pm$ 1,48	ns	39,07 $\pm$ 1,56	ns	36,62 $\pm$ 1,05	ns	40,30 $\pm$ 0,16	ns
Milheto	38,61 $\pm$ 1,01		39,39 $\pm$ 1,36		36,06 $\pm$ 1,06		41,31 $\pm$ 0,20	
Mucuna	34,28 $\pm$ 1,50		40,62 $\pm$ 0,89		35,28 $\pm$ 1,21		43,17 $\pm$ 0,07	
Veg. espontânea	41,00 $\pm$ 3,68		38,60 $\pm$ 1,46		36,62 $\pm$ 1,54		40,30 $\pm$ 0,06	
Controle	36,02 $\pm$ 0,87	b	40,36 $\pm$ 0,87	ns	35,25 $\pm$ 0,96	ns	40,95 $\pm$ 1,27	ns
Húmus	39,87 $\pm$ 1,99	a	38,47 $\pm$ 0,94		37,04 $\pm$ 0,66		41,58 $\pm$ 1,45	

Médias acompanhadas por letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$); ns não significativo.

Na comparação de médias realizada na avaliação inicial com profundidade entre 0-5 cm para a fertilização com húmus líquido, constatou-se diferença

significativa com superioridade para o tratamento com húmus. Na Figura 15, é possível visualizar o comportamento do Norg.

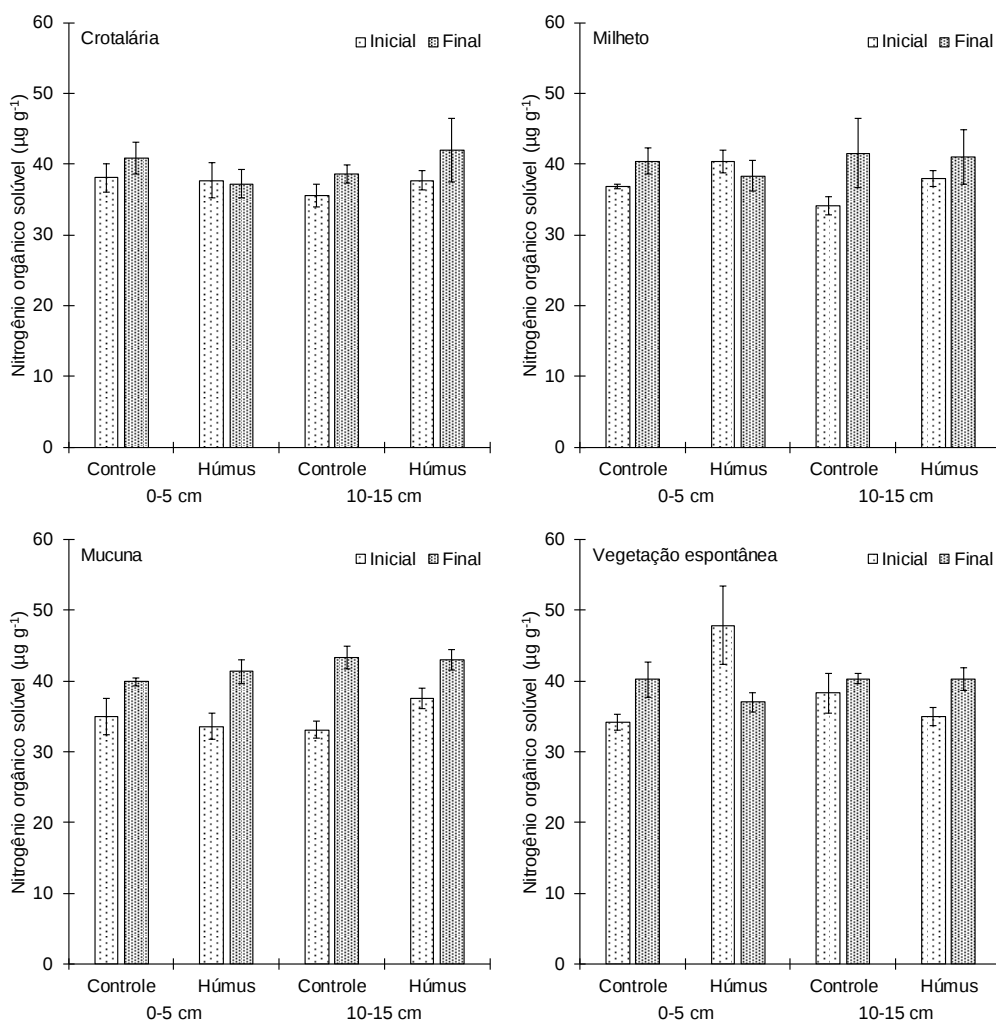


Figura 15 – Nitrogênio orgânico solúvel – Norg ($\mu\text{g g}^{-1} \pm \text{dp}$) inicial e final em duas profundidades do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

Os tratamentos que mais contribuíram com a superioridade do húmus sobre o controle na avaliação inicial de 0-5 cm foram o milho e a vegetação espontânea. Outro fator importante a ser citado é a tendência de acúmulo de Norg ao longo do tempo. Dentre esse aumento, a figura aponta a mucuna com tendência maiores no acúmulo de Norg. Ambrosano et al. (2009) observaram que a adubação com plantas como a *Crotalaria juncea* e a mucuna preta, incorporadas ao solo, propiciaram maior acúmulo de nitrogênio. O vermicomposto também é citado com efeito positivo sobre parâmetros de crescimento, rendimento e qualidade de várias culturas (JOSHI; SINGH; VIG, 2015).

Avaliando as hortaliças tomate e espinafre, Song et al. (2015) relataram que o aumento da dose de vermicomposto resultou em um aumento correspondente na disponibilidade de nutrientes no solo, incluindo nitrogênio orgânico. Jouquet (2011) define o vermicomposto com uma alternativa eficaz para diminuir a quantidade de fertilizantes inorgânicos utilizados, relatando sua importância também no caso de agricultura convencional. Na agricultura de baixo insumo, a produtividade da lavoura sob agricultura orgânica é comparável à da agricultura convencional (PATEL et al., 2015).

Segundo Knapp e Heijden (2018), a avaliação do intervalo de rendimento entre agricultura convencional e orgânica resultou em 16%, e o uso de adubo verde com um sistema aprimorado pode reduzir a lacuna de estabilidade de produção existente. Os efeitos do húmus nas propriedades do solo e na retenção de nutrientes tem os mesmos efeitos positivos sobre o crescimento das plantas que os observados com fertilizantes químicos (JOUQUET, 2011). A aplicação na forma líquida ocorre em baixas concentrações, como um banho de solo ou pulverização foliar, visualizando induzir respostas fisiológicas (AREMU et al., 2015).

Devido a produção de exsudatos pelas plantas, muitas moléculas são interpretadas como sinais pelos organismos do solo e essa emissão recíproca resulta em adaptações conjuntas na evolução entre plantas e organismos do solo (BLOUIN, 2018). Song et al. (2015) sugeriram maior desenvolvimento microbiano na presença de vermicomposto. Um exemplo citado por Puga-Freitas e Blouin (2015) é o impacto da minhoca no desenvolvimento da planta, que depende da produção de moléculas bioativas difusíveis que interagem com a via de sinalização do ácido indolacético.

A conversão de sistemas tradicionais em sistemas de base ecológica promove uma redução de intensidade no uso do solo, e nesse contexto as plantas de cobertura são essenciais em manter um nível de rendimento (WITTEWER et al., 2017). Sistemas de base ecológica promovem biodiversidade, porém o manejo deve buscar redução na variabilidade da produção (KNAPP; HEIJDEN, 2018).

A utilização de fontes orgânicas necessita de maior cuidado no manejo, pois geralmente resultam em maiores níveis de nitrato no solo (LOPES, 1998). O manejo deve ser direcionado a evitar perdas que além de degradar o sistema de cultivo, também resultam em contaminação do meio ambiente. Embora as plantas possam absorver o nitrogênio na forma orgânica, como aminoácidos, a absorção de formas

orgânicas é menos efetiva do que a de formas minerais (LOPES; LIMA, 2015). Porém, a elevação dos níveis de nitrogênio orgânico ao longo do tempo, associado ao estímulo da atividade biológica resultará em maiores disponibilidades das formas inorgânicas.

5.3 Efeitos dos tratamentos sobre a biodiversidade da edafofauna

A biodiversidade do solo é principalmente composta por organismos que passam uma parte de seu ciclo de vida no solo e interagem com as plantas (PUGA-FREITAS; BLOUIN, 2015). A biodiversidade de organismos foi avaliada por meio de índices ecológicos, com coletas de fauna realizada em 5 datas que ocorreram desde o início do cultivo dos adubos verdes até o período de decomposição da biomassa vegetal. A apresentação de indivíduos é tida em valores absolutos com valores absolutos (Figura 16).

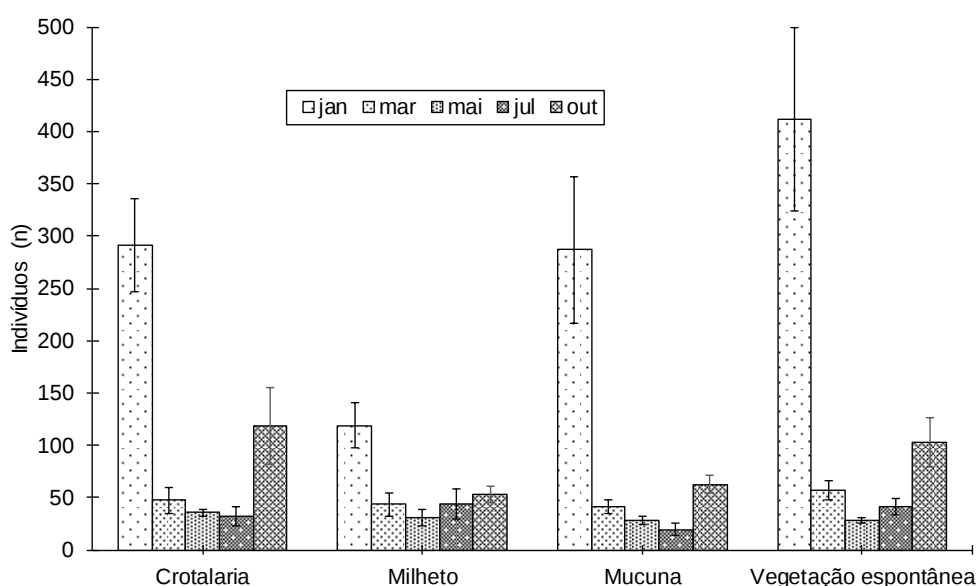


Figura 16 – Número de indivíduos ($m \pm dp$) da fauna edáfica do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

A primeira coleta, realizada em janeiro, foi a que mais apresentou indivíduos e as coletas de maio e de julho apresentaram valores inferiores para os indivíduos. Essa diminuição da quantidade de indivíduos ocorreu nos meses com temperaturas

mais baixas, referentes a chegada do inverno. O crescimento da biomassa vegetal, teve relação negativa com o número de indivíduos, demonstrando não ser fundamental para o fator quantidade.

A presença dos indivíduos do solo ocorreu em 19 distintos grupos, divididos por ordens: acari, aranae, blattodea coleóptera, collembola, dermaptera, diplura, díptera, hemíptera, hymenoptera, isopoda, lepidóptera, miriapoda, opiliones, orthoptera, protura, siphonaptera, thysanura e uma classificação com larvas de solo.

O Número de ordens presentes no fator espécie pode ser visualizada na Figura 17.

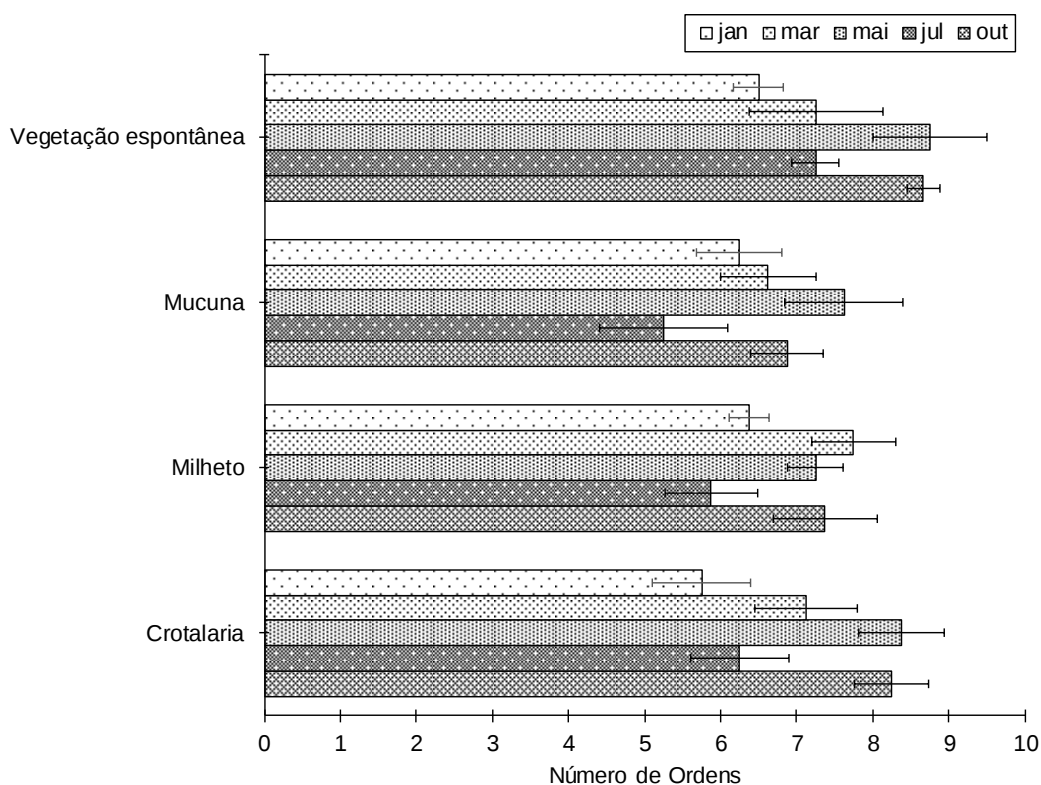


Figura 17 – Número de ordens ($m \pm dp$) da fauna edáfica presentes do solo com diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

O mês de janeiro foi o que apresentou maior número de indivíduos, porém ao relacionar esse valor com o número de ordens, tem-se um menor número de ordens nesse período. As coletas de janeiro de julho foram realizadas em dois períodos posteriores a manejos, o primeiro, três semanas após a semeadura, quando também houve revolvimento do solo, e o segundo, três semanas após o manejo da biomassa vegetal. É possível inferir que os dois manejos influenciaram em um desequilíbrio no sistema produtivo, pois no primeiro período houve um valor inferior, comparado às 2ª

e 3ª coletas, e posteriormente ocorreu diminuição no número de ordens amostradas, com uma média próxima à da 1ª avaliação.

A avaliação da fauna edáfica do solo constantemente utiliza os índices de diversidade como ferramenta de auxílio para as análises. Segundo Martins e Santos (1999) essas medidas de diversidade podem ser classificadas em três grupos, sendo: as medidas de riqueza, que expressam o número de espécies por unidade de área ou por número de indivíduos; as medidas de abundância, que consideram um modelo de distribuição de abundância entre as espécies da comunidade e a equabilidade para expressar a diversidade; e as medidas de heterogeneidade, que consideram a abundância relativa das espécies e expressam a diversidade juntando a riqueza e a diversidade em um único índice.

Para uma elucidação mais detalhada de possíveis fatores de interferência no sistema foram realizadas avaliações de diferentes índices ecológico. A Figura 18 apresenta o Índice de Margalef, que expressa uma medida de riqueza.

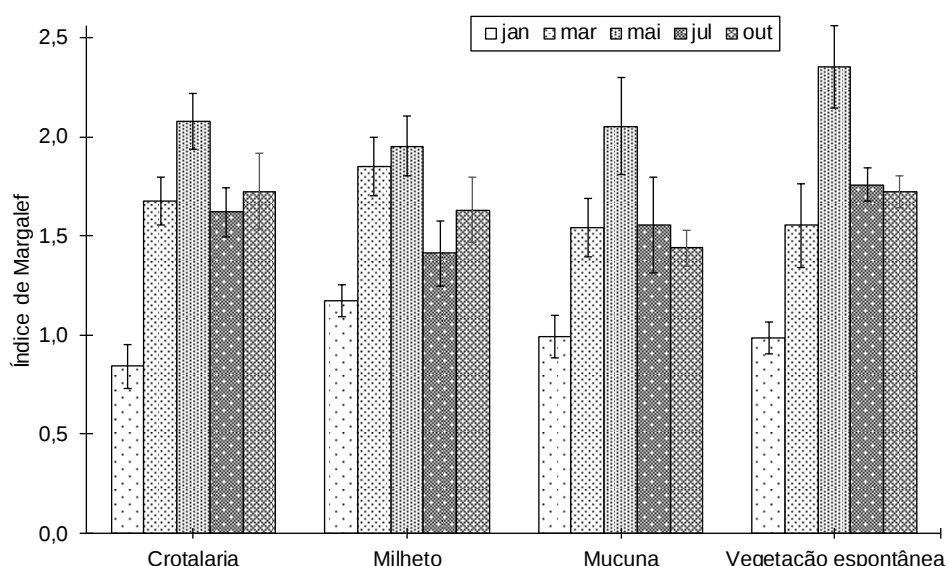


Figura 18 – Índice de Margalef ($m \pm dp$) na fauna edáfica do solo em diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

As medidas de riqueza expressam o número de espécies por unidade de área ou por número de indivíduos (MARTINS; SANTOS, 1999). O índice de Margalef considera que todas as espécies estão uniformemente distribuídas (LIMA; SOUZA; PEDERASSI, 2016). Na figura acima tem-se a relação entre as ordens e a quantidade de indivíduos por coleta nas diferentes coberturas vegetais. Logo, é

possível destacar que a 1ª coleta teve o menor índice de Margalef, e a 3ª coleta teve o maior índice. Como os resultados da 1ª coleta apresentaram um menor número de ordens relacionado a uma elevada quantidade de indivíduos, o índice apresentou menor riqueza nesse período. Já a 3ª coleta, realizada em maio, pode ser relacionada ao maior desenvolvimento da biomassa vegetal, resultando no índice mais elevado.

A Figura 19 destaca o Índice de Simpson, que expressa a concentração da dominância nas espécies mais abundantes. Martins e Santos (1999), classificam Simpson como a melhor medida da concentração de dominância. O índice de concentração de Simpson expressa a probabilidade de dois indivíduos tomados de uma comunidade de modo independente e aleatório pertencerem a uma mesma espécie (MARTINS; SANTOS, 1999). O índice captura a variância da distribuição da abundância de espécies e considera a proporção do total de ocorrências de cada espécie (LIMA; SOUZA; PEDERASSI, 2016).

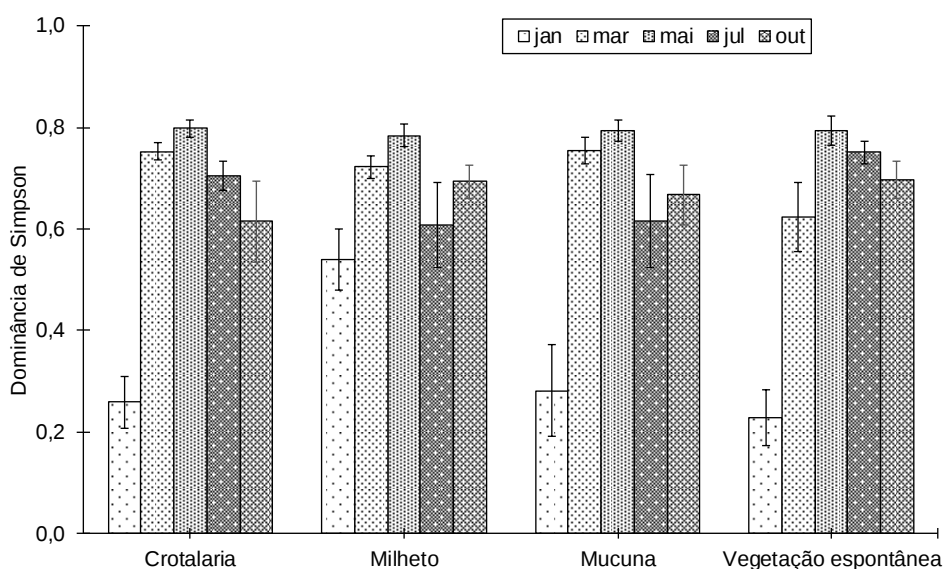


Figura 19 – Índice de Simpson ($m \pm dp$) na fauna edáfica do solo em diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

A avaliação do índice de Simpson apresenta maior dominância na 1ª coleta, com a heterogeneidade das amostras sendo a menor entre todas as coletas. Assim como no índice de riqueza, novamente a 3ª coleta de indivíduos demonstrou destaque positivo, sendo a mais heterogênea e, conseqüentemente, com menor dominância de uma espécie sobre as demais. Sistemas de cobertura de solo mais

pobres promovem mudanças na abundância e na diversidade da fauna edáfica (SIDDIKY et al., 2012).

A Figura 20 destaca o Índice de Diversidade de Shannon. De acordo com Martins e Santos (1999), Shannon é o índice de heterogeneidade mais usado. O índice de Shannon tem uma avaliação semelhante ao índice de Simpson, porém dá maior peso a riqueza de espécies, diferindo no peso para espécies raras (MELO, 2008).

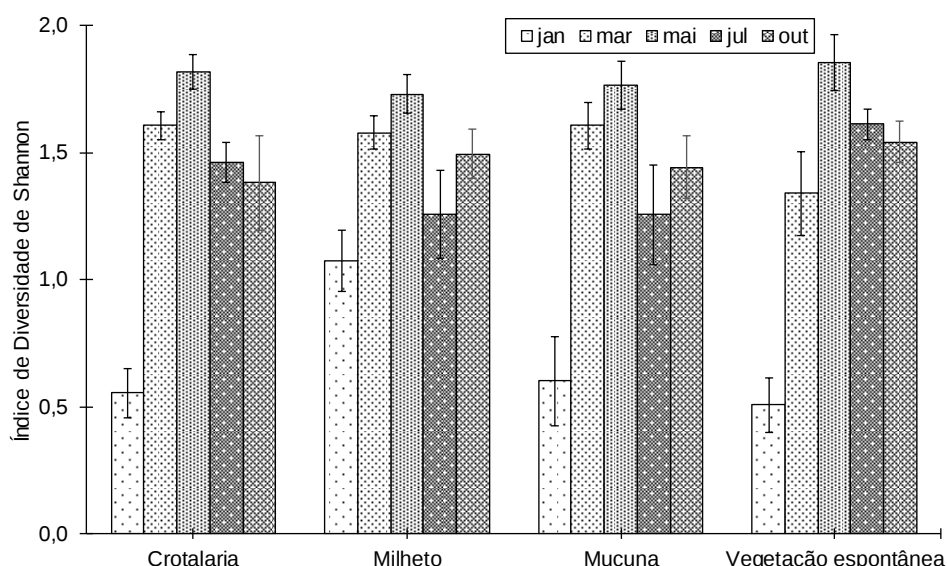


Figura 20 – Índice de Diversidade de Shannon ($m \pm dp$) na fauna edáfica do solo em diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

Os resultados do índice de Shannon seguiram o mesmo padrão de Simpson, com menor diversidade na 1ª coleta e maior na 3ª coleta. Os valores mais elevados situaram-se em torno de 1,8, enquanto na literatura cita-se uma média de 1,5 a 3,5 (LIMA; SOUZA; PEDERASSI, 2016), porém, o resultado deve ser avaliado como alto ou baixo, e sim, utilizado de forma comparativa entre os diferentes tratamentos (MELO, 2008). Rovedder et al. (2004) apontam a manutenção de palha sobre o solo como promotora da diversidade, pois avaliações em sistema plantio direto apresentaram maior diversidade de organismos em relação a com indícios de degradação e a áreas de campo nativo.

Avaliando plantas de cobertura para o inverno, Silva et al. (2013) observaram o índice de diversidade de Shannon influenciado pelo período em que houve maior

cobertura vegetal. Gatiboni et al. (2009) destacam que a diversidade da fauna edáfica diminuiu imediatamente com menor quantidade de resíduos vegetais, indicando que sua presença de tem efeito direto sobre o índice de Shannon.

A Figura 21 destaca o Índice de Equabilidade de Pielou. A equabilidade é a proporção entre a diversidade observada e a máxima diversidade, e mede a uniformidade (ou desuniformidade) da distribuição de abundância entre as espécies de uma comunidade (MARTINS; SANTOS, 1999). Em experimentos com aveia e cucurbitáceas, Balin et al. (2017) evidenciaram que as plantas de cobertura influenciam na diversidade e abundancia da fauna edáfica e os índices de Pielou e Simpson relacionaram-se a variação entre as épocas amostrais e entre os sistemas de manejo de solo, principalmente pela diferente oferta de alimento em cada época amostral.

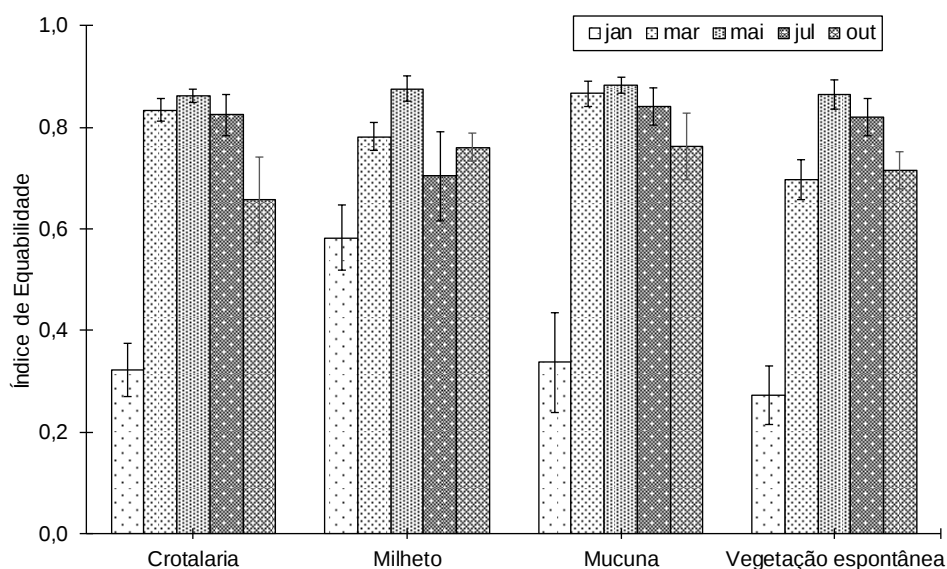


Figura 21 – Índice de Equabilidade ($m \pm dp$) na fauna edáfica do solo em diferentes coberturas vegetais e fertilização com húmus líquido. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. Jan-Out/2017.

A existência de baixa equabilidade significa que é grande a probabilidade de vários indivíduos, tomados da comunidade de modo independente e aleatório, serem de uma mesma ordem (MARTINS; SANTOS, 1999). Este fato concretiza-se com a avaliação da primeira coleta que foi a maior em número de indivíduos e apresentou baixa equabilidade. Nessa avaliação contou-se com indivíduos da ordem Collembola representando uma faixa entre 70 e 90% da amostra, o que influenciou significativamente os índices de Margalef, Simpson, Shannon e a equabilidade.

Em todos os índices é possível destacar que o pico ocorre no momento de maior acúmulo de massa seca das plantas, quando os adubos verdes estão no seu pico de produção de biomassa. Posteriormente, até o momento do manejo, essa biomassa está estruturando um ambiente, para em seguida, virar resíduo orgânico em decomposição na camada superficial do solo.

O aporte de restos das culturas, é destacado por Lima et al. (2010), na apresentação de maiores valores dos índices de Shannon e Pielou e maior riqueza de espécies, visualizados em sistemas agroflorestais. A presença de cobertura vegetal no solo promove a criação de novos habitats favoráveis à colonização por organismos invertebrados (LIMA et al., 2010). O processo de decomposição está inicialmente diretamente relacionado a fauna do solo, que age especificamente na transformação dos resíduos vegetais com a redução do tamanho, separação de componentes e, posterior mistura no solo (SILVA; MENDONÇA, 2007). De forma geral, os processos de adubação orgânica promovem a regeneração do solo, por meio de diversos organismos da macrofauna contribuindo com condições para uma decomposição mais eficiente da comunidade microbiana do solo (MOREIRA; HUISING; BIGNELL, 2010). Os organismos da fauna do solo, presentes nesses locais, atuam em sinergismo com micro-organismos em um processo biológico que resulta na decomposição dos resíduos orgânicos (LAVELLE; SPAIN, 2001).

Durante o período de avaliações, houveram dois momentos de manejo que interferiram nos índices analisados, sendo o primeiro de forma drástica, com a quebra da estrutura do solo, e o segundo, somente na fragmentação da biomassa vegetal pela roçada. Segundo Silva et al. (2006), as práticas agrícolas de manejo do solo que forem realizadas, provocam impacto e resultam em redução de densidade e de riqueza dos organismos da macrofauna do solo. Silva et al. (2013) observaram que cultivos consorciados tiveram maior capacidade para contribuir com o restabelecimento da fauna edáfica, quando comparados a cultivos solteiros ou áreas sem cobertura. Esse fato explica-se por ocorrer um maior desenvolvimento inicial das plantas.

No caso da gradagem e da estruturação dos canteiros, o efeito foi drástico, havendo praticamente um desenvolvimento partindo do zero na fauna do solo. Silva et al. (2013) cita fatores como dano mecânico de operações e ausência de cobertura vegetal resultantes de preparo do solo como um fator de alta influência sobre a frequência da fauna edáfica. Wang et al. (2014) citam que manejos frequentes

podem levar a perturbação das comunidades do solo, e assim, alterar a estrutura da teia alimentar envolvida. Durante o processo de preparo do solo, vários fatores agem contra a fauna do solo, como danos de abrasão e esmagamento ou até mesmo a remoção de serapilheira, que resulta em mudanças no microclima próximo ao solo (SILVA; JUCKSCH; TAVARES, 2012). O alto impacto é visualizado com um desequilíbrio atestado pelos baixos valores nos índices ecológicos citados anteriormente e pela alta população de indivíduos da ordem Collembola, que ocorreu somente na coleta próxima a este manejo. A distribuição de comunidades de colêmbolos edáficos é altamente influenciada pela variação na diversidade da cobertura vegetal (CHAUVAT; ZAITSEV; WOLTERS, 2003).

O manejo de roçada da biomassa vegetal, teve uma pequena influência nos índices relacionados, resultando em uma diminuição, quando comparadas as coletas anterior e posterior ao manejo da biomassa. Grande parte das espécies de invertebrados que habitam o solo utilizam os resíduos vegetais como fonte de alimento e habitat (Silva et al., 2006). Rovedder et al. (2004) comparando diferentes habitats, observou a tendência de maior abundância de organismos em áreas com maior quantidade de material vegetal. As mudanças na vegetação e nas condições do solo podem ter um efeito dramático na estrutura da comunidade faunística do solo (KRUESS; TSCHARNTKE, 2002). Gatiboni et al. (2009) concluíram em seu estudo que a redução da disponibilidade de palha sobre o solo com o passar do tempo, provocou a diminuição da diversidade da fauna edáfica, principalmente pelo aumento relativo da ordem Collembola. Essa citação também pode ser relacionada ao início desse estudo, quando a alta quantidade de colêmbolos estava relacionada a uma baixa cobertura do solo.

Uma comunidade de solo menos perturbada possui uma teia alimentar do solo mais estruturada e com maior integridade na ciclagem de nutrientes no solo (WANG et al., 2014). O equilíbrio no sistema produtivo ocorrerá com a estabilização dos cultivos e com a manutenção da cobertura vegetal. Segundo Silva et al. (2013), áreas com baixa presença de organismos edáficos, como ocorre em solos perturbados, desprotegidos e com pouca cobertura de solo, são prejudiciais à manutenção do equilíbrio e da qualidade do solo.

6 Conclusões

O cultivo de diferentes espécies vegetais de adubos verdes não demonstrou diferenças de produção de biomassa vegetal com a aplicação de húmus líquido. A dose utilizada não foi significativa para modificar a produção de massa seca das espécies. Entre as espécies utilizadas a crotalária e o milheto produziram maior quantidade de massa seca, resultando em mais biomassa adicionada ao sistema de produção. As duas espécies supriram a quantidade mínima anual de adição de massa seca ao solo para um sistema ser considerado em equilíbrio.

Os parâmetros de avaliação do solo demonstraram poucas alterações na capacidade do solo em exercer suas funções, porém observou-se uma tendência de acúmulo de carbono e de nitrogênio orgânico no sistema. Nos atributos físicos as condições de desenvolvimento das plantas eram consideradas ótimas. O pH e a condutividade elétrica sofreram alterações relacionadas a decomposição da biomassa vegetal após o manejo.

A biodiversidade da edafofauna demonstrou os maiores valores de riqueza, abundância, diversidade e equabilidade no período de maior desenvolvimento da biomassa vegetal. Isso reforça a necessidade de construção de sistemas de produção que mantêm, além de palha, técnicas que possibilitem manter cultivos pelo máximo tempo possível.

No solo, a fertilização com húmus líquido influenciou principalmente a dinâmica do nitrogênio, com o nitrogênio orgânico na camada de 0-5 cm e o nitrato na camada de 5-10 cm. Isso demonstra que a carga de propriedades não nutricionais existentes no húmus líquido tem potencial para ser melhor explorada nos sistemas de produção de base ecológica, e pesquisas com outros direcionamentos podem auxiliar a desvendar esses efeitos que não possuem total clareza.

Referências

- AIRA M. **Efectos de las lombrices de tierra en la bioquímica de la degradación de la materia orgánica**. 2005. 329 p. Tese (Doutoramento em Biología) – Departamento de Ecoloxía e Bioloxía Animal, Universidade de Vigo, España, 2005.
- ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 74, n. 1-3, p. 19-31, jun. 1999.
- ALTIERI, M. A.; FUNES-MONZOTE, F. R.; PETERSEN, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. **Agronomy for Sustainable Development**, v.32, n.1, 2012.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Agroecologia: resgatando a agricultura orgânica a partir de um modelo industrial de produção e distribuição. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 141-152, 2003.
- ALTMANN, N. **Plantio direto no cerrado: 25 anos acreditando no sistema**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2010, 568 p.
- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; GUIRADO, N.; ROSSI, F. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, n.3, p. 386-394, 2009.
- ARAI, M.; MIURA, T.; TSUZURA, H.; MINAMIYA, Y.; KANEKO, N. Two-year responses of earthworm abundance, soil aggregates, and soil carbon to no-tillage and fertilization. **Geoderma**, v. 332, p. 135–141, 2018.
- ARANCON, N. Q.; EDWARDS, C. A.; LEE, S.; BYRNE, R. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. **European Journal of Soil Biology**, v.42, p.65–69, 2006.
- AREMU, A. O.; STIRK, W. A.; KULKARNI, M. G.; et al. Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant. **Plant Growth Regulation**, v. 75, n. 2, p. 483–492, 2015.
- ASSIS, R. L. de; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. **Desenvolvimento e meio ambiente**, v. 6, p. 67-80, jul./dez. 2002.
- AYNEHBAND, A.; GOROOEI, A.; MOEZZI, A. A. Vermicompost: An Eco-Friendly Technology for Crop Residue Management in Organic Agriculture. **Energy Procedia**, v.141, p.667–671, 2017.
- BACHELIER, G. **La faune dès sols: son écologie et son action**. Paris: ORSTOM, 1978. 391p.

BAI, Z. et al. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 265, p. 1-7, 2018.

BALIN, N. M.; BIANCHINI, C.; ZIECH, A. R. D.; LUCHESE, A. V.; ALVES, M. V.; CONCEIÇÃO, P. C. Fauna edáfica sob diferentes sistemas de manejo do solo para produção de cucurbitáceas, **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 3, p. 74-84, 2017.

BARÃO, L. et al. Assessment of promising agricultural management practices. **Science of the Total Environment**, v. 649, p. 610–619, 2019.

BÉNÉ, C.; OOSTERVEER, P.; LAMOTTE, L.; BROUWER, I. D.; DE HAAN, S.; PRAGER, S. D.; TALSMA, E. F.; KHOURY, C. K. When food systems meet sustainability – Current narratives and implications for actions. **World Development**, v.113, p.116-130, 2019.

BERTRAND, M. et al. Earthworm services for cropping systems. **A review. Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 553–567, 2015.

BLOUIN, M. Chemical communication: an evidence for co-evolution between plants and soil organisms. **Applied soil Ecology**, v. 123, p. 409-415, 2018.

BLUM, W. E. H. Soil and Land Resources for Agricultural Production: General Trends and Future Scenarios-A Worldwide Perspective. **International Soil and Water Conservation Research**, v.1 n.3, p.1-14, 2013.

BÜNEMANN, E. K. et al. Soil quality – a critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

CABRAL, L.; FAVARETO, A.; MUKWEREZA, L.; AMANOR, K. Brazil's Agricultural Politics in Africa: More Food International and the Disputed Meanings of "Family Farming". **World Development**, v. 81, p. 47-60, 2016.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 118 p. (IAPAR. Circular 80).

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v.69, p.77-86, 2010.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: USP/ESALQ, 1997.132 p.

CANARACHE, A. PENETR – A generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.51-70, 1990.

CARDOSO, D. P.; CARVALHO, G. J. de; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F. de; AVANZI, J. C. Atributos fitotécnicos de plantas de cobertura para proteção do solo.

Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Mossoró, v.8, n.1, p.19-24, 2013.

CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia** [online]. 2008, vol. 67, n.2, pp.455-462. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v67n2/a21v67n2.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2016.

CASALINHO, H. D. **Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas**. 2003. 193 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

CHAUVAT, M.; ZAITSEV, A. S.; WOLTERS, V. Successional changes of Collembola and soil microbiota during forest rotation. **Oecologia**, Berlin, v. 137, n. 2, p. 269-276, 2003.

CHAVE, M.; TCHAMITCHIAN, M.; OZIER-LAFONTAINE, H. Agroecological engineering to biocontrol soil pests for crop health. **Sustainable Agriculture Reviews**, v. 14, p. 269-297, 2014.

CHERR, C. M.; SCHOLBERG, J. M. S.; MCSORLEY, R. Green manure approaches to crop production: A synthesis. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 2, p. 302-319, 2006.

CIACCIA, C.; MONTEMURRO, F.; CAMPANELLI, G.; DIACONO, M.; FIORE, A.; CANALI, S. Legume cover crop management and organic amendments application: Effects on organic zucchini performance and weed competition. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 185, p. 48–58, 2015.

COLLARES, G. L. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1663-1674, 2006.

COULIBALY, S. S.; EDOUKOU, F. E.; KOUASSI, K. I.; BARSAN, N.; NEDEFF, V.; BIZORO, I. A. Vermicompost utilization: A way to food security in rural area. **Heliyon**, v.4, n.12, p.1-24, 2018.

DAROLT, M. R. **Princípios para implantação e manutenção de sistemas**. In: DAROLT, M. R. (Org.). Plantio direto: pequena propriedade sustentável. Londrina: IAPAR, 1998. p.16-45. (Circular, 101).

DOLINSKI, M. A.; MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; MAY-DE MIO, L. L. pH, condutividade elétrica e potássio do solo após três anos de aplicações de nitrogênio e potássio em ameixeira, no município de Araucária – PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 5, p. 371-376, 2009.

DOMINATI, E.M.E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A., A framework for classifying for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics**, v. 69, p. 1858–1868, 2010.

DOMINGUEZ, J.; AIRA, M.; KOLBE, A. R.; GÓMEZ-BRANDÓN, M.; PÉREZ-LOSADA, M. Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. **Scientific Repots**, v.9, n. 9657, p. 1-11, 2019.

DORAN, J. W.; PARKER, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: SSSA Special Publication, 1994. n. 35. p. 3-21.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; SANTOS, F. G. dos. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 16p. (Circular técnica, 28).

EIRA, A. F.; CARVALHO, P. C. T. A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos do solo e sua influência nas variações do pH. **Revista de Agricultura**, v. 45, p. 15-21, 1970.

EIRAS, P. P.; COELHO, F. C. **Adubação verde na cultura do milho**. Niterói: Programa Rio Rural, 2010. 14p. (Manual técnico, 28).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 2 ed., 1997, 212p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. – Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; ABBoud, A. C. de S. Adubação verde com leguminosas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 49 p. (Coleção Saber).

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R. da; SOUZA, F. A. de. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, p. 339-347, 1998.

FALCÃO, J. V.; LACERDA, M. P. C.; MENDES, I. de C.; LEÃO, T. P.; CARMO, F. F. do. Qualidade do solo cultivado com morangueiro sob manejo convencional e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 450-459, 2013.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 28, n. 4, p. 641-648, 2004.

FAVERO, C. et al. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesq. agropec. bras.** [online]. 2001, vol.36, n.11, pp.1355-1362. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v36n11/6808.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2016.

FEIDEN, A.; ALMEIDA, D. L. de; VITOI, V.; ASSIS, R. L. de. Processo de conversão de sistemas de produção convencionais para sistemas de produção orgânicos. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 179-204, 2002.

FEPAGRO – Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária. Boletim técnico da fundação estadual de pesquisa agropecuária. n. 12, 2003. (Boletim técnico, 12).

FIORIN, J. E. (Coord.). **Manejo e fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184p.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, n. 478, p. 337-342, oct. 2011.

FORAN, T.; BUTLER, J. R. A.; WILLIAMS, L. J.; WANJURA, W. J.; HALL, A.; CARTER, L.; CARBERRY, P. S. Taking Complexity in Food Systems Seriously: An Interdisciplinary Analysis. **World Development**, v.61, p.85-101, 2014.

GARCIA-FRANCO, N.; ALBALADEJO, J., ALMAGRO, M. MARTÍNEZ-MENA, M. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. **Soil & Tillage Research**, v. 153, p. 66-75, 2015.

GATIBONI, L. C.; COIMBRA, J. L. M.; WILDNER, L. do P.; DENARDIN, R. B. N. Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia preta, em sistema de plantio direto. **Biotemas**, v. 22, n. 2, p. 45-53, 2009.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

GRAEUB, B. E.; CHAPPELL, M. J.; WITTMAN, H.; LEDERMANN, S.; KERR, R. B.; GEMMILL-HERREN, B. The state of family farms in the world. **World Development**, v. 87, p. 1-15, 2016.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 2001. 9 p. Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm>. Acesso em: 15 de junho de 2019.

HATT S.; ARTRU S.; BRÉDART D.; LASSOIS L.; FRANCIS F.; HAUBRUGE E.; GARRÉ S.; STASSART P.; DUFRÊNE M.; MONTY A.; BOERAËVE F. Towards sustainable food systems : the concept of agroecology and how it questions current research practices. A review. **Biotechnology, Agronomy and Society Environment**, v. 20, p. 215-224, 2016.

HAVLIN, John L. Nitrogen. In: **Soil fertility and fertilizers**. 8° ed. New Jersey: Pearson, 2014. p. 117-184.

HERCOWITZ, M.; MATTOS, L.; SOUZA, R. P. de. Estudos de casos sobre serviços ambientais. In: MATTOS, L.; HERCOWITZ, M. **Economia do meio ambiente e serviços ambientais**. (eds). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 294 p.

HOCHMAN, Z.; CARBERRY, P. S.; ROBERTSON, M. J.; GAYDON, D. S.; BELL, L. W.; MCLINTOSH, P. C. Prospects for ecological intensification of Australian agriculture. **European Journal of Agronomy**, v. 44, p. 109-123, 2013.

HOLE, D. G.; PERKINS, A. J.; WILSON, J. D.; ALEXANDER, I. H.; GRICE, P. V.; EVANS, A. D. Does organic farming benefit biodiversity? **Biological Conservation**, v. 122, n. 1, p. 113-130, 2005.

HUANG, L. F.; SONG, L. X.; XIA, X. J.; MAO, W. H.; SHI, K.; ZHOU, Y. H.; YU, J. Q. Plant-Soil Feedbacks and Soil Sickness: From Mechanisms to Application in Agriculture. **Journal of Chemical Ecology**, v. 39, p. 232-242, 2013.

ICKOWITZ, A.; POWELL, B.; ROWLAND, D.; JONES, A.; SUNDERLAND, T. Agricultural intensification, dietary diversity, and markets in the global food security narrative. **Global Food Security**, v. 20, p. 9-16, 2019.

JORDAN, H. L. **Forrajicultura y pasticultura**. Barcelona: Salvat, 1955. 591 p.

JOSHI, R.; SINGH, J.; VIG, A. P. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 14, n. 1, p. 137-159, 2015.

JOUQUET, E. P.; BLOQUEL, E.; THU DOAN, T.; RICOY, M.; ORANGE, D.; RUMPEL, C.; TRAN DUC, T. Do Compost and Vermicompost Improve Macronutrient Retention and Plant Growth in Degraded Tropical Soils? **Compost Science & Utilization**, v. 19, n. 1, p. 15-24, 2011.

KESSE-GUYOT, E.; PÉNEAU, S.; MÉJEAN, C.; EDELENYI, F. S. de; GALAN, P.; HERCBERG, S.; LAIRON, D. Profiles of Organic Food Consumers in a Large Sample of French Adults: Results from the Nutrinet-Sante Cohort Study. **Plos One**, v. 8, n. 10, p. 13, 2013.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 345 p.

KNAPP, S.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2018.

KREMEN, C.; ILES, A.; BACON, C. Diversified Farming Systems: An Agroecological, Systems-based Alternative to Modern Industrial Agriculture. **Ecology and Society**, v. 17, n. 4, p. 19, 2012.

KRUESS A.; TSCHARNTKE T. Grazing intensity and the diversity of grasshoppers, butterflies, and trap-nesting bees and wasps. **Conservation Biology**, v. 16, p. 1570–1580, 2002.

LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S3–S15. 2006.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. Soil ecology. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 654 p.

LAZCANO, C.; DOMÍNGUEZ, J. The use of vermicompost in sustainable agriculture: impact on plant growth and soil fertility. In: Miransari, M. (Ed.). **Soil Nutrients**. Nova York: Nova Science Publishers. 2011. p. 1-23.

LAZCANO, C.; GOMEZ-BRANDON, M.; DOMÍNGUEZ, J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. **Chemosphere**, v. 72, n. 7, p. 1013-1019, 2008.

LEAL, M. A. de L.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. dos G.; ALMEIDA, D. L. de. Desempenho de crotalaria cultivada em diferentes épocas de semeadura e de corte. Rev. **Ceres**, Viçosa, v.59, n.3, p.386-391, 2012.

LEMESSA, F.; WAKJIRA, M. Cover crops as a means of ecological weed management in agroecosystems. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 18, p. 133–145, 2015.

LESCOURRET(a), F. et al. A social-ecological approach to managing multiple agroecosystem services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 14, p. 68–75, 2015.

LESCOURRET(b), F.; DUTOIT, T.; REY, F.; CÔTE, F.; HAMELIN, M.; LICHTFOUSE, E. Agroecological engineering. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 1191–1198, 2015.

LIANG, S.; GROSSMAN, J.; SHI, W. Soil microbial responses to winter legume cover crop management during organic transition. **European Journal of Soil Biology**, v. 65, p. 15–22, 2014.

LIM, S. L.; WU, T. Y.; LIM, P. N.; SHAK, K. P. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.95, p.1143-1156, 2015.

LIMA, C. G. da R.; CARVALHO, M. de P.; MELLO, L. M. M. de; LIMA, R. C. Correlação linear espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, p. 1233-1244, 2007.

LIMA, M. S. C. S.; SOUZA, C. A. dos S.; PEDERASSI, J. Qual índice de diversidade usar? **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 30, p. 129-138, 2016.

LIMA, S. S. de; AQUINO, A. M. de; LEITE, L. F. C.; VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 322-331, 2010.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1998. 177p.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Nitrogênio e produtividade das culturas. In: **Fisiologia da produção**. Viçosa: UFV, 2015. p. 251-284.

LOPES, P. R.; LOPES, K. C. S. A. Sistemas de produção de base ecológica – a busca por um desenvolvimento rural sustentável. **REDD – Revista Espaço de Diálogo e Desconexão**, Araraquara, v. 4, n. 1, 2011.

LUND, T. B.; ANDERSEN, L. M.; JENSEN, K. O. The Emergence of Diverse Organic Consumers: Does a Mature Market Undermine the Search for Alternative Products? **Sociologia Ruralis**, v. 53, n. 4, p. 454-478, 2013.

MACHADO, M. A. de M.; FAVARETTO, N. Atributos físicos do solo relacionados ao manejo e conservação dos solos. In: LIMA, M. R. de et al. (Ed). **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo**: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR, 2006. 349 p.

MALEZIEUX, E. Designing cropping systems from nature. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p. 15–29, 2012.

MARQUES, R. Caracterização química da fertilidade do solo. In: LIMA, M. R. de et al. (Ed). **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo**: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR, 2006. 349 p.

MARTINS, F. R.; SANTOS, F. A. M. dos. Técnicas usuais de estimativa da biodiversidade. **Revista Holos**, v. esp., p. 236-267, 1999.

MATEUS, G. P.; WUTKE, E. B. Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. **Pesquisa & Tecnologia**, v.3, n.1, p.1-15, 2006.

MAZZOLENI, E. M.; NOGUEIRA, J. M. Agricultura orgânica: características básicas do seu produtor. **RER**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 02, p. 263-293, 2006.

MELO, A. S. O que ganhamos ‘confundindo’ riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? **Biota Neotropica**, v. 8, n. 3, p. 21-27, 2008.

MENEGARIO, A. **As leguminosas forrageiras**. Campinas. DATE, 1966. 49 p. (Boletim, 29).

MISSIO, E. L.; DEBIASI, H.; MARTINS, J. D. Comportamento de leguminosas para cobertura do solo, adubação verde e controle de plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 10, n. 1-2, p. 129-136, 2004.

MOHAMED, E. S.; SALEH, A. M.; BELAL, A. A. Sustainability indicators for agricultural land use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**. v. 17, n. 1, p. 1-15, 2014.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó: Ed. do autor, 1991. 337 p.

MORAES, et al. Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo. In: TIECHER, T. (org). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil**: práticas alternativas visando a conservação do solo e da água. Porto alegre: UFRGS, 2016. 186 p.

MOREIRA, F.M.S.; HUISING, E.J.; BIGNELL, D.E. **Manual de biologia dos solos tropicais**: amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010. 368 p.

MOTA, F.S.; BEIRSDORF, M.I.C.; ACOSTA, M.J. **Estação Agroclimatológica de Pelotas**: realizações e programa de trabalho. Pelotas: UFPEL, 1986.

MOTAVALLI, P. et al. Global achievements in sustainable land management, **International Soil and Water Conservation Research**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2013.

MOTTA, A. C. V.; LIMA, M. R. de. Princípios de calagem. In: LIMA, M. R. de et al. (Ed). **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo**: aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR, 2006. 349 p.

OTERO, J. R. de. Informações sobre algumas plantas forrageiras. Rio de Janeiro, SAI, 1952. 313 p. (Séria didática, 11).

PADOVAN, M. P.; MOTTA, I. de S.; CARNEIRO, L. F.; MOITINHO, M. R. **Estádio mais adequado de manejo do milho para fins de adubação verde**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011, 6p. (Comunicado técnico, 171).

PANACHUKI, E., SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. de; URCHER, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.

PATEL, D. P. et al. Continuous application of organic amendments enhances soil health, produce quality and system productivity of vegetable-based cropping systems in subtropical eastern Himalayas. **Experimental Agriculture**, v. 51, n. 1, p. 85–106, 2015.

PENTEADO, S. R. **Adubação na agricultura ecológica**: calculo e recomendação numa abordagem simplificada. Campinas, SP, 2 ed. 2010. 168 p.

PENTEADO, S. R. **Adubos verdes e produção de biomassa**: melhoria e recuperação dos solos. Livros Via Orgânica, Campinas, SP, 2007. 164 p.

PENTEADO, S. R. **Agricultura Orgânica**. Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca e Documentação, 2001. 41 p. (Série Produtor Rural, Edição Especial).

PEREIRA FILHO, I. A. et al. **Manejo da Cultura do Milheto**. Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 17 p. (Circular Técnica, 29).

PEREIRA, J. de M. **Atributos biológicos como indicadores de qualidade do solo em Floresta de Araucária nativa e reflorestada no Estado de São Paulo**. 2012. 137 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

PIZZANI, R. Produção e qualidade de forragens e atributos de um Argissolo Vermelho. 2008. 95 f, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo, RS, 2008.

PRETTY, J.; BHARUCHA, Z. P. Sustainable intensification in agricultural systems. **Annals of Botany**, v. 114, p. 1571-1596, 2014.

PUGA-FREITAS, R.; BLOUIN, M. A review of the effects of soil organisms on plant hormone signalling pathways. **Environmental and Experimental Botany**, v. 114, n. 0, p.104–116, 2015.

RAMÍREZ-GARCÍA, J.; CARRILLO, J. M.; RUIZ, M.; ALONSO-AYUSO, M.; QUEMADA, M. Multicriteria decision analysis applied to cover crop species and cultivars selection. **Field Crops Research**, v. 175, p. 106–115, 2015.

RAPIDEL, B.; RIPOCHE, A.; ALLINNE, C.; METAY, A.; DEHEUVELS, O.; LAMANDA, N.; BLAZY, J.; VALDÉS-GÓMEZ, H.; GARY, C. Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 1373–1390, 2015.

REDIN, et al. Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. In: TIECHER, T. (org). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil**: práticas alternativas visando a conservação do solo e da água. Porto alegre: UFRGS, 2016. 186 p.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. Tradução de Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p.

REGANOLD, J. P.; WACHTER, J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. **Nature Plants**, v. 2, 2016.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, p. 26-48, 2003.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805–1816, 2008.

REYNOLDS, W. et al. Saturated and field-saturated water flow parameters. In: Dane, J.H., Topp, G. (Eds.) **Methods of Soil Analysis: Part 4**. Soil Sci. Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, pp. 797–843, 2002.

ROBACER, M.; CANALI, S.; KRISTENSEN, H. L.; BAVEC, F.; MLAKAR, S. G.; JAKOP, M.; BAVEC, M. Cover crops in organic field vegetable production. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam. v. 208, p. 104–110, 2016.

ROCHA, J. M. L.; SANTOS, A. C. dos; SILVEIRA JÚNIOR, O.; SILVA, R. R. da; SANTOS, J. G. D. dos; OLIVEIRA, L. B. T. de. Características agronômicas do milho sob efeito de nitrogênio nos sistemas consorciado e monocultivo. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa. v.11, n.1, p.37-43, 2017.

RODRIGUES, A. C. C.; KIKUTI, H.; ECCO, M.; LIMA, P. R.; INAGAKI, A. M.; CRISALDO, C. M. Desempenho de linhagens de duas espécies de crotalária em função da aplicação de nitrogênio. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3. n.2, p.44-56, 2014.

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

SAMARAPPULI, D. P. et al. Biomass yield and nitrogen content of annual energy/forage crops preceded by cover crops. **Field Crops Research**, v. 167, p. 31–39, 2014.

SANTOS, I. C.; FONTANÉTTI(a), A. **Crotalária (*Crotalaria* spp.)**. In: VENZOM, M.; PAULA JÚNIOR, T. J. de. (coord.). 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. p. 315-316.

SANTOS, I. C.; FONTANÉTTI(b), A. **Mucuna (*Stizolobium* spp.)**. In: VENZOM, M.; PAULA JÚNIOR, T. J. de. (coord.). 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. p. 581-584.

SAUNDERS, M. E.; PEISLEY, R. K.; RADER, R.; LUCK, G. W. Pollinators, pests, and predators: Recognizing ecological trade-offs in agroecosystems. **Ambio**, v. 45, p. 4–14, 2016.

SCAGLIA, B.; NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O.; TAMBONE, F.; ADANI, F. Investigating organic molecules responsible of auxin-like activity of humic acid fraction extracted from vermicompost. **Science of The Total Environment**, v. 562, p. 289–295, 2016.

SHARIFI, M.; LYNCH, D. H.; HAMMERMEISTER, A.; BURTON, D. L.; MESSIGA, A. J. Effect of green manure and supplemental fertility amendments on selected soil quality parameters in an organic potato rotation in Eastern Canada. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 100, n. 2, p. 135–146, 2014.

SCHIEDECK, G.; GONÇALVES, M. de M.; SCHWENGBER, J.E. **Minhocultura e produção de húmus para a agricultura familiar**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 11p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 57).

SCHIEDECK, G.; SCHWENGBER, J. E.; SCHIAVON, G. de A.; GONÇALVES M. de M. **Minhocultura: produção de húmus**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 52p. (ABC da Agricultura Familiar, 24).

SCHIEFER, J.; LAIR, G. J.; BLUM, W. E. H. Indicators for the definition of land quality as a basis for the sustainable intensification of agricultural production. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 1, p. 42-49, 2015.

SCHOONOVER, J. E.; CRIM, J. F. An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 154, p. 21–47, 2015.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C. dos; LIMA, P. C. de. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, supl. p. 829-837, dez. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000700008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 jul. 2016.

SERRAT, B. M.; KRIEGER, K. I.; MOTTA, A. C. V. Considerações sobre interpretação de análise de solos (com exemplos). In: LIMA, M. R. de et al. (Ed). **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR, 2006. 349 p.

SIDDIKY, R. K.; KOHLER, J.; COSME, M.; RILLIG, M. C. Soil biota effects on soil structure: Interactions between arbuscular mycorrhizal fungal mycelium and collembola. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 50, p. 33-39. 2012.

SILVA, A. C. da; HIRATA, E. K.; MONQUERO, P. A. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 22-28, 2009.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

SILVA, J.; JUCKSCH, I.; TAVARES, R. C. Invertebrados edáficos em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, p. 112-125. 2012.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M. de; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em latossolo da região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 697-704, 2006.

SILVA, R. F. da; CORASSA, G. M.; BERTOLLO, G. M.; SANTI, A. L.; STEFFEN, R. B. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 130-137, 2013.

SIMS, G.K., T.R. ELLSWORTH, AND R.L. MULVANEY. Microscale determination of inorganic nitrogen in water and soil extracts. **Soil Sci. Plant Anal.** v. 26, p. 303–316, 1995.

SONG, X.; LIU, M.; WU, D.; GRIFFITHS, B. S.; JIAO, J.; LI, H.; HU, F. Interaction matters: Synergy between vermicompost and PGPR agents improves soil quality, crop quality and crop yield in the field. **Applied Soil Ecology**, v. 89, n. MAY, p. 25–34, 2015.

SOUZA, L. H.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; VILLANI, E. M. de A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1641–1652, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719 p.

TAO, R.; LIANG, Y.; WAKELIN, S. A.; CHU, G. Supplementing chemical fertilizer with an organic component increases soil biological function and quality. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 42–51, 2015.

TEDESCO, M.J; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1995. 174p.

TEODORO, R.B et al. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, abr. 2011.

THEUNISSEN, J.; NDAKIDEMI, P. A.; LAUBSCHER, C. P. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. **International Journal of the Physical Science**, v. 5, n. 13, p.1964-1973, 2010.

TIMOSSI, P. C.; TEIXEIRA, I. R.; CAVA, M. G. B.; GOULARTE, G. D.; NASCIMENTO, M. V. R. Produção de sementes de crotalária juncea em diferentes épocas de semeadura no Sudeste Goiano. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.7, n.3, p.58-66, 2014.

TOADER, M.; ROMAN, G.V. Family farming – examples for rural communities development. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 6, p. 89-94, 2015.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. da; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORRES, A. Di Paravicini. Toxicidade de algumas crotolárias. **An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 11, p. 115-124, 1954. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0071-12761954000100011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 jul.2016.

UNITED NATIONS. World population prospects: the 2017 revision. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Populations>>. Acesso em: 15 de junho de 2019.

VELIMIROV, A. et al. Feeding trials in organic food quality and health research. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 2, p. 175-182, 2010.

VOISIN, A. S. et al. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 2, p. 361-380, 2014.

WANG, K.-H.; RADOVICH, T.; PANT, A.; CHENG, Z. Integration of cover crops and vermicompost tea for soil and plant health management in a short-term vegetable cropping system. **Applied Soil Ecology**, v. 82, p. 26–37, 2014.

WEZEL, A. et al. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, p. 1–20, 2014.

WIESMEIER, M. et al. Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma**, v. 333, p. 149–162, 2019.

WILKINSON, J. **Mercados, redes e valores: o novo mundo a agricultura familiar**. Porto Alegre: Editora da UFRGS: Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, 2008.

WITTWER, R. A.; DORN, B.; JOSSI, W.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1–12, 2017.

WOOD, S. A.; KARP, D. S.; DECLERCK, F.; KREMEN, C.; NAEEM, S.; PALM, C. A. Functional traits in agriculture: Agrobiodiversity and ecosystem services. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 30, p. 531–539, 2015.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. (Ed.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2.ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 335p.

WUTKE, E. B. et al. **Leguminosas alimentícias e adubos verdes**. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da (Ed.). *Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. pt. 2, cap. 8, p. 251-274.

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. **Soil Biology Biochemistry**, v. 28, p. 617-24, 1996.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

ZANELLA, M. A.; RAHMANIAN, M.; PERCH, L. N.; CALLENIUS, C.; RUBIO, J. L.; VUNINGOMA, F.; RIST, S.; MAPFUMO, P. Discussion: Food security and sustainable food systems: The role of soil. **International Soil and Water Conservation Research**, v.3, n.2, p.154–159, 2015.

ZUBER, S. M.; VILLAMIL, M. B. Meta-analysis approach to assess effect of tillage on microbial biomass and enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 97, p. 176–187, 2016.

Apêndices

Apêndice A - Variáveis climáticas durante o período vegetativo de diferentes espécies de adubos verdes e de vegetação espontânea. (a) Precipitação pluviométrica diária e precipitação pluviométrica acumulada (mm); (b) temperatura média ($^{\circ}\text{C}$ $\pm$ máxima e mínima); (c) umidade relativa (% $\pm$ máxima e mínima). Embrapa Clima Temperado, jan-jun/2017.

