



Universidade de Aveiro
2013

Departamento de Biologia

**Erica Susana Mestre
Esperança**

**Serviços ecossistémicos de um campo agrícola:
efeitos da fertilização**



Universidade de Aveiro Departamento de Biologia
2013

**Erica Susana Mestre
Esperança**

**Serviços ecossistémicos de um campo
agrícola: efeitos da fertilização**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Toxicologia e Ecotoxicologia, realizada sob a orientação científica do Doutor Miguel Santos, investigador em pós-doutoramento do CESAM e Departamento de Biologia e co-orientação da Doutora Susana Loureiro, Investigadora Auxiliar do CESAM e Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro.

Este trabalho foi efetuado e financiado no âmbito do projeto CLIMAFUN - Climate Changes and Potencial Impact on Soil Functional Ecology, através do FEDER pelo COMPETE e Programa Operacional Fatores de Competitividade (FCOMP-01-0124-FEDER-008656)

o júri

Presidente

Prof. Doutor Carlos Miguel Miguez Barroso
professor associado do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Marco Filipe Loureiro Lemos
professor adjunto do Instituto Politécnico de Leiria

Prof. Doutora Susana Patrícia Mendes Loureiro
professor associado do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Doutor Miguel Santos agradeço toda a disponibilidade e acompanhamento, as preciosas correções e sugestão que me deu ao longo deste trabalho; à Doutora Susana Loureiro pelo apoio e entusiasmo na concretização deste trabalho e ao Professor Doutor Amadeu Soares por me proporcionar as condições necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro Vitor Rodrigues, agradeço a cedência do espaço para a realização deste estudo no campo de produção de morangos, pela partilha da experiência e conhecimentos sobre a cultura de morangos.

Aos meus colegas de laboratório, Diogo, Rui, Patrícia, Rita e Acácio pela disponibilidade em ajudar, simpatia e boa disposição.

Ao João Paulo, pela paciência, amizade e carinho.

A toda a minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã por estarem sempre presentes, me apoiarem incondicionalmente e me darem força para alcançar os meus objetivos.

palavras-chave

fertilizantes orgânicos, ecossistema, bioensaios, função do solo

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os serviços ecossistêmicos de um campo agrícola, e o efeito da aplicação de fertilizantes orgânicos. Esta tese encontra-se dividida em duas seções: trabalho realizado no laboratório e trabalho de campo, tendo sido este realizado num campo de produção de morangos.

Em laboratório avaliou-se o crescimento vegetativo de *Triticum aestivum* L. (trigo, monocotiledónea) e *Brassica rapa* L. (nabo, dicotiledónea), a atividade alimentar dos organismos do solo e o sucesso na reprodução de colêmbolos (*Folsomia candida*). Em cada um destes testes foram utilizadas amostras de solo recolhidas na produção de morangos, antes do plantio dos morangueiros. As amostras compreenderam solo onde houve aplicação de fertilizantes orgânicos: estrume de vaca e estrume de galinha (V+G), estrume de frango e substrato de cogumelo fresco (F+CF), substrato de cogumelo fresco (CF), substrato de cogumelo maturado (CM) e substrato de lamas de compostagem (LC), e amostras de solo sem fertilizantes: solo em pousio e solo do caminho (*off-crop*). Para além dos solos colhidos no campo foi também utilizado solo LUFA 2.2, como controlo. Nos solos com fertilizantes LC e V+G as plantas apresentaram maior comprimento e peso fresco. A maior atividade alimentar dos organismos edáficos registou-se nos solos com V+G e F+CF. No teste de reprodução com *Folsomia candida* o solo com F+CF apresentou maior número de juvenis e adultos, pelo contrário o solo com CM apresentou menor número de juvenis e adultos.

No campo de produção de morangos, foram realizadas três amostragens: em Novembro de 2012, antes do plantio das mudas de morangueiro, em Março de 2013, durante o crescimento das mudas e em Julho de 2013, na frutificação - colheita do morango. Foram também recolhidas amostras do solo de pinhal, como referência, e de solo em pousio. Em cada período de amostragem foi registada a atividade alimentar dos organismos do solo, a abundância de microartrópodes (colêmbolos e ácaros) e a produtividade da cultura (número e peso de morangos colhidos). O solo com CF, em Março e em Julho, foi o que registou menor atividade alimentar, apesar de estatisticamente não apresentar diferenças em relação aos outros tratamentos. Em Julho, o solo com CF apresentou maior abundância de microartrópodes e maior número de morangos. O solo com F+CF apresentou, em Julho, maior atividade alimentar, menor abundância de microartrópodes e um menor número de morangos, com maior peso por unidade, entre os tratamentos. No tratamento com V+G, também se avaliou o efeito da aplicação de desinfetante Metame-Sódio no solo, ao longo dos três períodos de amostragem. Em Novembro, na zona não desinfetada a atividade alimentar dos organismos do solo foi superior e a abundância de microartrópodes foi mais do dobro em relação à zona desinfetada. Em Julho, apesar de não apresentar diferenças significativas em relação à zona desinfetada, registou-se menor atividade alimentar e abundância de microartrópodes na zona não desinfetada.

Em laboratório, com a aplicação dos fertilizantes, os tratamentos (V+G e LC) que registaram maior atividade alimentar, obtiveram maior peso fresco e comprimento das plantas. No campo, em Julho, o tratamento com F+CF registou maior atividade alimentar, menor abundância de microartrópodes, um maior peso de morangos por unidade e um menor número de morangos colhidos. Com a aplicação de desinfetante, no tratamento com V+G, houve maior produtividade da cultura, em relação ao camalhão não desinfetado.

A fertilização e desinfecção do solo parecem condicionar os serviços do ecossistema agrícola.

keywords

organic fertilizers, ecosystem, bioassays, soil function

abstract

This study aimed to evaluate the ecosystem services of an agricultural field and the effects of organic fertilizers application. This thesis is divided into two sections: one concerning the work performed in the laboratory and one the field work carried out in a strawberry field.

In the laboratory, the vegetative growth of two plant species, *Triticum aestivum* L. (wheat, monocotyledonea) and *Brassica rapa* L. (turnip, dicotyledonea), the reproductive success of the Collembola *Folsomia candida* and the feeding activity of the soil organisms (using the bait-lamina test) were evaluated. All of the above tests were made in samples taken from the field samples with cow and chicken manure (V+G), chicken manure and fresh spent mushroom substrate (F+CF), spent mushroom substrate fresh (CF), spent mushroom substrate matured (CM), and sludge compost substrate (LC). Soil samples without fertilizer application were also taken from the field: an off-crop soil and a fallow soil. In addition, LUFA 2.2 soil was used as control. In the soils with, LC and V + G plants had higher length and fresh weight. The highest soil feeding activity occurred in the soils with V+G and F+CF. As to the reproduction test with *Folsomia candida*, the largest number of juveniles was found in the soil with F+CF. In the soil with CM the lowest number of juveniles and adults that survived the exposure were observed. In the field, soil sampling was carried out in November 2012, before planting; in March 2013, during crop growth; and in July 2013 at the beginning of the harvest. Samples of soil from the pinewood forest, surrounding the agricultural field, were used as reference soil. In each sampling period the feeding activity of soil organisms, the abundance of microarthropods edaphic organisms (Collembolla and Acarina) and crop yield (number and weight of the fruits) were recorded. Soil with CF showed the lowest feeding activity in July, but a higher abundance of microarthropods. The soil with F+CF showed a higher feeding activity in July, a lower abundance of microarthropods and fewer strawberries, although the fruits had the highest per unit weight among treatments. The effect of Metam-Sodium application (soil sterilant) in the plots with V+G was also analyzed during the three sampling periods. In November, the feeding activity of soil organisms in the non disinfected soil was higher and the abundance of microarthropods was more than double than in the disinfected soil. In July, while not significantly differences were observed, a lower feeding activity and lower microarthropod abundance was detected in the non disinfected soil. The crop yield was lower in non disinfected soil.

In the laboratory, treatments with V+G and LC registered both the highest feeding activity and plant fresh weight and length. In July, the treatment with F+CF showed both higher feeding activity and strawberry per unit weight, but, a lower abundance of microarthropods, and also a lower number of strawberries harvested. With the application of metam-sodium in the raised bed with V+G, not only an increase in the feeding activity and microarthropod abundance but also a greater crop yield was observed.

Soil fertilization and disinfection seemed to affect the services of the agroecosystem.

Índice

1. Introdução Geral	1
1.1. Serviços dos ecossistemas: conceptualização e enquadramento	2
1.2. Agroecossistemas - aplicação de fertilizantes e prestação de serviços.....	4
1.3. A Qualidade do Solo nos Serviços dos (Agro)ecossistemas	6
1.4. Organismos do solo como (bio)indicadores dos Serviços dos (Agro)ecossistemas, para a avaliação da qualidade do solo	7
1.5. Métodos utilizados na avaliação de indicadores de serviços ecossistémicos fornecidos pelo solo.....	8
1.5.1. Método Funcional - avaliação do funcionamento do solo: Método Bait Lamina	9
1.5.2. Método Estrutural - avaliação da comunidade de invertebrados do solo: Método Extrator de Alto Gradiente de Macfadyen.....	10
1.5.3. Métodos Físico-Químicos: avaliar propriedades físicas e químicas do solo	12
1.5.3.1. Medição do pH do solo.....	12
1.5.3.2. Cálculo do teor de matéria orgânica do solo.....	12
1.6. Objetivos e Estrutura do trabalho	13
1.7. Cronograma de atividades.....	14
1.8. Relevância da dissertação.....	15
1.9. Referências Bibliográficas.....	16
2. Avaliação dos efeitos da aplicação de fertilizantes orgânicos no crescimento de Trigo (<i>Triticum aestivum L.</i>) e Nabo (<i>Brassica rapa L.</i>), na atividade biológica do solo e na produção de <i>Folsomia candida</i>	25
2.0. Resumo	26
2.1. Introdução	27
2.2. Metodologia	30
2.2.1. Caracterização do Solo	30
2.2.2. Procedimento experimental.....	32
2.2.3. Organismos utilizados nos testes	32
2.2.4. Localização e condições dos Testes.....	32
2.2.5. Determinação de pH e matéria orgânica do solo	33
2.2.6. Teste de emergência e crescimento vegetativo	33
2.2.7. Teste <i>bait-lamina</i>	34
2.2.8. Teste de reprodução com <i>Folsomia candida</i>	34
2.2.9. Análise estatística	35
2.3. Resultados	35
2.3.1. Valores de pH e percentagem de matéria orgânica do solo	35
2.3.2. Teste de emergência e crescimento vegetativo.....	36
2.3.2.1. Crescimento vegetativo do Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	36
2.3.2.2. Crescimento vegetativo do nabo (<i>Brassica rapa</i>).....	38
2.3.3. Teste com <i>bait lamina</i> – atividade alimentar dos organismos do solo	39
2.3.4. Teste de reprodução com <i>Folsomia candida</i>	40

2.4. Discussão	42
2.5. Conclusão	44
2.6. Referências Bibliografia	45
3. Avaliação dos efeitos da aplicação de diferentes fertilizantes na atividade, abundância, distribuição de microartrópodes edáficos do solo e na produtividade de um campo de produção de morangos	50
3.0. Resumo	51
3.1. Introdução	52
3.2. Metodologia	54
3.2.1. Descrição e localização geográfica da área de estudo	54
3.2.2. Desenho Experimental: Tratamentos e Plantas	55
3.2.3. Procedimento experimental.....	58
3.2.4. Medição do pH e matéria orgânica do solo.....	58
3.2.5. Método <i>bait-lamina</i>	59
3.2.6. Método Macfadyen	60
3.2.6.1. Pré-teste para avaliar o potencial de extração.....	60
3.2.6.2. Amostragem de solo no campo.....	60
3.2.7. Produtividade da Cultura.....	61
3.2.8. Análise estatística	62
3.3. Resultados	62
3.3.1. Valores de pH e percentagem de matéria orgânica no solo	62
3.3.2. <i>Bait-Lamina</i> – atividade alimentar dos organismos do solo.....	63
3.3.3. Macfadyen – abundância de microfauna edáfica.....	65
3.3.4. Produtividade da cultura	66
3.3.5 Avaliação dos efeitos da desinfecção do solo no desempenho do tratamento com estrume de vaca e estrume de galinha.....	67
3.4. Discussão	69
3.5. Conclusão	72
3.6. Referências Bibliográficas.....	73
4. Conclusão geral.....	78
5. Anexo.....	81

Lista de Figuras

(Capítulo 2.)

Figura 2.1. Esquema de Parcelas e locais de amostragem onde foi recolhido solo para o estudo no campo de produção de morangos, antes da plantação.

Figura 2.2. Peso fresco (colunas, eixo Y do lado esquerdo) e comprimento (losangos, eixo Y do lado direito), de *Triticum aestivum* após 21 dias de exposição no solo (média com desvio padrão).

Figura 2.3. Peso fresco (colunas, eixo Y do lado esquerdo), e comprimento (losangos, eixo Y do lado direito), de *Brassica rapa* após 21 dias de exposição no solo (média com desvio padrão).

Figura 2.4. Percentagem (média com desvio padrão) de orifícios vazios dos *bait-lamina* após 14 dias de exposição.

Figura 2.5. Número de juvenis (colunas, eixo Y lado esquerdo) e número de adultos (quadrados, eixo Y lado direito) de *Folsomia candida* após 28 dias de exposição (média com desvio padrão).

(Capítulo 3.)

Figura 3.1. Vista panorâmica da área de estudo.

Figura 3.2. Esquema do local de estudo (I e II).

Figura 3.3. A) Fotografia da colocação dos camalhões com a ajuda de um trator, Novembro 2012.

B) Fotografia dos camalhões, antes da plantação, Novembro de 2012.

Figura 3.4. Esquema da zona de amostragem para cada tratamento.

Figura 3.5. Fotografias da zona de amostragem dispostas no Camalhão.

Figura 3.6. *Bait-Lamina* dispostos nas zonas de amostragem do estudo.

A. Solo com fertilizantes: *bait-lamina* aplicados no camalhão

B. Solo sem fertilizantes: *bait-lamina* aplicados diretamente no solo

Figura 3.7. Pesagem e contagem de morangos no campo, após a colheita.

Figura 3.8. Percentagem de orifícios vazios dos *bait-lamina* (média com desvio padrão), ao fim de 14 dias de exposição, nos três períodos de amostragem (Novembro de 2012, Março de 2013 e Julho de 2013).

Figura 3.9. Abundância de microartrópodes (média com desvio padrão) extraídos no Macfadyen, em 385 cm³ de solo, por local de amostragem.

Figura 3.10. Peso médio dos morangos (colunas) e número de morangos (pontos) produzidos / colhidos por planta (média com desvio padrão) em cada tratamento.

Figura 3.11. Percentagem de orifícios vazios dos *bait-lamina*, abundância de microartrópodes e produtividade de morangos do camalhão com estrume de vaca e estrume de galinha não desinfetado em relação aos camalhões com estrume de vaca e estrume de galinha desinfetados, nos três tempos de amostragem.

(Anexo)

Figura 1.1 Esquema *Bait-Lamina* (dimensões).

Figura 1.2. Modelo da Câmara, Aparelho e utensílios Macfadyen do Laboratório do Departamento de Biologia da UA – Universidade de Aveiro.

Lista de Tabelas

(Capítulo 1.)

Tabela 1.1. Cronograma de atividades realizadas em Laboratório e no Campo no período de Setembro de 2012 a Agosto de 2013.

(Capítulo 2.)

Tabela 2.1 Parcelas de solo amostrado com e sem tratamento (fertilização) no campo de produção de morangos para os ensaios em laboratório.

Tabela 2.2. Valores de pH (H₂O) e percentagem de matéria orgânica nas amostras de solo usadas na realização dos testes em laboratório.

(Capítulo 3.)

Tabela 3.1. Valores de pH (H₂O) e percentagem de matéria orgânica em Novembro 2012 (início da cultura), em Março, período de crescimento do morangueiro e em Julho 2013, período de colheita dos morangos.

Tabela 3.2. Dados das colheitas de morangos ao longo de 2 meses.

Letras diferentes indicam diferenças significativas (Teste de Tukey; $p < 0.05$) entre os tratamentos.

Abreviaturas

V+G Estrume de Vaca e Estrume de Galinha

F+CF Estrume de Frango e Substrato de Cogumelo Fresco

CF Substrato de Cogumelo Fresco

CM Substrato de Cogumelo Maturado

LC Substrato de Lamas de Compostagem

1. Introdução Geral

1.1. Serviços dos ecossistemas: conceptualização e enquadramento

Desde sempre que a humanidade dependeu dos serviços prestados pela biosfera e pelos seus diversos ecossistemas. Os serviços dos ecossistemas podem ser definidos como os benefícios que as pessoas retiram dos ecossistemas. Esses serviços são a base para a existência e reprodução dos seres humanos e restantes organismos vivos (Zhongxin & Xinshi, 2000). Consequentemente, o bem-estar humano depende do fornecimento desses mesmos serviços (MA, 2007).

Os serviços de ecossistemas podem ser divididos em quatro categorias, de acordo com a descrição feita pelo Millennium Ecosystem Assessment (MA, 2007):

- Serviços de Fornecimento de bens: produção de alimentos, água, fibra, madeira e combustível;
- Serviços de Regulação – regulação dos processos ecológicos do clima, qualidade da água e ciclo hidrológico, polinização, controlo de doenças;
- Serviços Culturais – benefícios imateriais obtidos pelos ecossistemas, tais como recreação, o valor estético e cultural da paisagem, etc.;
- Serviços de Suporte – serviços que sustentam todos os serviços dos ecossistemas citados anteriormente, tais como formação do solo, fotossíntese e reciclagem de nutrientes que estão na base da produção primária.

A definição de serviços dos ecossistemas tem evoluído ao longo do tempo e vários autores se têm debruçado sobre este conceito, mantendo, no entanto, o foco no proveito que os humanos retiram dos ecossistemas (noção fundamental deste conceito). Para Myers (Myers, 1996), os serviços de ecossistema ou serviços ambientais, são qualquer atributo funcional dos ecossistemas naturais que beneficie a humanidade. Para Costanza (Costanza et al., 1997) os serviços dos ecossistemas são o resultado dos benefícios que a população humana obtém, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas. De Groot afirma que as funções dos ecossistemas são a capacidade dos processos naturais, ou seja, o resultado das interações entre componentes bióticos (organismos vivos) e

abióticos (químicos e físicos) dos ecossistemas providenciarem bens e serviços que satisfaçam, direta ou indiretamente, as necessidades humanas (De Groot et al., 2002).

O aumento da população levou a uma degradação efetiva e contínua dos serviços dos ecossistemas. Esta degradação, por sua vez, conduziu a uma mudança na capacidade dos ecossistemas fornecerem os seus serviços (Kremen, 2005; Naeem & Li, 1997), à perda global da biodiversidade (Tilman et al., 2001), afetando desta forma o bem-estar humano (MA, 2007).

O aumento da população mundial acarreta a necessidade de aumentar a produção de alimentos. Estima-se que até 2050 terá de haver um aumento da produção agrícola de cerca de 70% (FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations) para corresponder às exigências do aumento populacional. Este aumento da produção de alimentos poderá ser alcançado implementando regimes mais eficientes de fertilização/adubação e utilizando processos mecânicos que permitam manter a estrutura do solo e não levem à erosão do mesmo.

Nos últimos anos tem aumentado a preocupação do consumidor quer com a segurança alimentar quer com a qualidade dos solos agrícolas (Pereira et al., 2009). O consumidor está interessado em saber quais as condições de produção dos alimentos, apostando em alimentos provenientes de sistemas agrícolas que assegurem a qualidade e sustentabilidade da produção e do ambiente (Yiridoe et al., 2005).

Com o domínio progressivo dos ecossistemas pela população humana e com as paisagens naturais a serem alteradas, verifica-se a expansão e intensificação da agricultura com a intenção de aumentar a produção. Este aumento na produção pode conduzir a alterações na capacidade dos ecossistemas fornecerem os seus serviços (Matson et al., 1997). No entanto, alguns estudos referem que uma adequada gestão agrícola pode levar a uma maior produtividade, bem como a um aumento de recursos para algumas espécies (Söderström et al., 2001). Por exemplo, alguns estudos relataram que a aplicação de adubos orgânicos no solo pode ter um efeito benéfico para a fauna do solo, uma vez que a incorporação de nutrientes no solo representa uma fonte alimentar adicional para estes organismos (Bengtsson et al., 2005; Nakamoto, 2006).

1.2. Agroecossistemas - aplicação de fertilizantes e prestação de serviços

Os agroecossistemas são ecossistemas modificados e controlados pelo Homem que têm como objetivo a manipulação dos recursos naturais com vista a otimizar a captura da energia solar e transferi-la na forma de alimentos, fibras e outros produtos agrícolas. Neste contexto, e inserido nos objetivos deste trabalho um agroecossistema é analisado como uma unidade/sistema de produção agrícola capaz de captar e tornar disponível a energia solar, em forma de alimento, para a espécie humana. No processo estão envolvidas comunidades de plantas e animais, o ambiente físico e o homem, como componente ativo, na sua organização e gestão (WaltnerToews, 1996).

Assim, os agroecossistemas são ecossistemas naturais transformados pelo Homem que envolvem a produção (atividade agrícola) e recursos naturais, criando uma relação muito estreita entre agricultura e ambiente. Desta forma, sistemas de produção mais intensivos podem conduzir a uma progressiva degradação do ambiente (Calouro, 2005).

A agricultura traz impactos significativos sobre o solo, água e biodiversidade (Móznér et al, 2012). Assim, têm sido feitos esforços para minimizar esses impactos sem pôr em causa a produção de alimentos (Tilman et al., 2002). Desde sempre que a aplicação de fertilizantes é associada ao aumento na produção de alimentos. Estima-se que um aumento de 50% na produção agrícola é conseguido através da aplicação de fertilizantes químicos (FAO, 1989; Morris et al., 2007). No entanto, a absorção de nutrientes no sistema solo-planta raramente excede 50% do fertilizante aplicado, enquanto o restante é perdido por lixiviação no solo (Abbasi et al., 2003) e/ou escoamento superficial que causa a contaminação dos solos, águas subterrâneas e rios (Móznér et al., 2012). Atualmente, com a procura crescente de alimentos devido ao aumento da população mundial, os fertilizantes são elementos indispensáveis da agricultura moderna.

Os Fertilizantes derivam de materiais orgânicos ou inorgânicos, de origem natural ou sintética que são incorporados nos solos para fornecerem nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Isherwood, 2000; Morris et al., 2007). Os nutrientes essenciais às plantas são provenientes de elementos orgânicos (carbono, hidrogênio e oxigênio) disponíveis no meio ambiente através do ar e água, e de micro e

macronutrientes, que são elementos minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre, zinco, molibdênio, boro) fornecidos por meio da fertilização quando não estão disponíveis no solo para absorção das plantas (Blackshaw et al., 2002).

Os fertilizantes podem ser químicos, orgânicos ou organoquímicos, sendo os últimos uma mistura entre fertilizantes químicos e orgânicos (Kikuchi, 1999). Os fertilizantes químicos são constituídos por compostos inorgânicos, sendo os mais usados na agricultura devido ao seu alto conteúdo em nutrientes, o seu menor custo por unidade do elemento e efeito mais rápido (Malavolta et al., 1997). Os fertilizantes orgânicos são produtos resultantes da decomposição de matéria orgânica de origem vegetal ou animal (Blackshaw et al., 2002).

Existe uma grande variedade de fertilizantes orgânicos que são usados na agricultura (Liang et al., 2012). O estrume de animais é o fertilizante orgânico mais conhecido, sendo formado por excrementos sólidos e líquidos dos animais (Trazzi et al., 2012). Também os compostos orgânicos provenientes de resíduos agrícolas, domésticos, municipais e industriais oferecem uma boa alternativa ao uso de fertilizantes químicos (Lal, 2004). Tanto os estrumes como os compostos orgânicos anteriormente citados são utilizados para complementar a disponibilidade de nutrientes e/ou suprir as necessidades de nutrientes do solo de modo a reduzir a dependência de aplicação de fertilizantes químicos (Chambers et al., 2000), e assim, aumentar a produtividade e melhorar as propriedades físicas e químicas do solo (Ayala e Rao, 2002).

Os fertilizantes orgânicos, de acordo com a sua origem, podem ser divididos em três classes: fertilizantes orgânicos de origem animal, como os estrumes resultantes da decomposição anaeróbica de excrementos, sólidos e líquidos, de animais; fertilizantes orgânicos de origem vegetal, resultante da compostagem de vegetais como restos de culturas, resíduos domésticos e industriais e resíduos urbanos e os fertilizantes orgânicos mistos, resultantes da mistura de vegetais e excrementos de animais (Hebbar et al., 2004).

Nos últimos anos têm-sido realizados esforços para intensificar a utilização de fertilizantes orgânicos que forneçam a quantidade necessária de nutrientes às plantas, ao

mesmo tempo que se reduz o uso de fertilizantes inorgânicos (Vanlauwe et al., 1996; Rao et al., 1998) de modo a garantir, a longo prazo, a sustentabilidade da atividade agrícola em equilíbrio com o meio ambiente.

Avaliar os efeitos da incorporação de fertilizantes orgânicos, os efeitos na produtividade dos agroecossistemas e a manutenção dos serviços prestados por estes sistemas torna-se especialmente importante no contexto atual, uma vez que um dos desafios que se colocam consiste em aumentar a produção sem comprometer os restantes serviços que os campos agrícolas providenciam (Robertson & Swinton, 2005).

1.3. A Qualidade do Solo nos Serviços dos (Agro)ecossistemas

A qualidade do solo pode ser definida como a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo que o habilitam a desempenhar as suas funções (Doran & Parkin, 1994). Por outras palavras, é a capacidade do solo providenciar corretamente os seus múltiplos serviços: funcionar como meio para o crescimento das plantas; regular o fluxo de água no ambiente; armazenar e promover a reciclagem de elementos no solo; servir como tampão ambiental e atenuar e degradar compostos prejudiciais ao ambiente (De Groot et al., 2002; Larson & Pierce, 1994; Karlen et al., 1997).

Quando se fala em qualidade do solo há que ter em conta a localização geográfica, fatores climáticos e ambientais do ecossistema, como precipitação, radiação solar e ventos. Além disso, e igualmente importante, a qualidade do solo é afetada por decisões de gestão e uso da terra (Doran & Zeiss, 2000). Neste sentido, os requisitos e funções desempenhadas por um solo agrícola são diferentes das funções desempenhadas por um solo urbano ou por um solo com pouca gestão, como, por exemplo, os solos de zonas naturais protegidas.

Nos últimos anos a comunidade científica intensificou a discussão sobre a noção de qualidade do solo, consciente da sua importância para a qualidade ambiental. Em várias publicações foi abordada a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e, nesse contexto, a preservação da qualidade do solo (Karlen et al., 1997; Carter, 2002; Andrew et al., 2004; Fließbach et al., 2007).

A qualidade do solo agrícola está diretamente relacionada com a sustentabilidade agrícola, sendo encarada como a base para o desenvolvimento e rentabilidade da produção agrícola (Doran & Zeiss, 2000; Wang & Gong, 1998). Deste modo, assegurar a qualidade do solo agrícola é assegurar o regular funcionamento do solo num processo ambientalmente seguro, economicamente viável e socialmente aceite (Smyth & Dumanski, 1995).

1.4. Organismos do solo como (bio)indicadores dos Serviços dos (Agro)ecossistemas, para a avaliação da qualidade do solo

As características de um solo agrícola são determinadas pelas suas propriedades físicas, químicas e biológicas. A interação entre as frações biótica e abiótica é essencial em processos como a reciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica, textura, pH, estrutura, capacidade de retenção e movimento da água no solo e produtividade da cultura. Como é óbvio, fatores climáticos e ambientais (temperatura, pluviosidade, vento, entre outros) têm também um papel preponderante nos processos que decorrem no solo.

A comunidade biótica do solo é representada pelos microrganismos e invertebrados (meso e macrofauna) existentes no solo. A mesofauna edáfica, que compreende invertebrados de reduzidas dimensões (100 μm - 2 mm de largura; 200 μm - 10 mm de comprimento) é composta por ácaros, colêmbolos e alguns insetos (Lins et al., 2007). A mesofauna destaca-se pela sua representatividade, uma vez que inclui cerca de 95%, dos microartrópodes do solo (Seastedt, 1984). Os ácaros e os colêmbolos, em conjunto, constituem cerca de 72 a 97% do número total de organismos edáficos (Singh & Pillai, 1975). Estes organismos têm grande influência nos processos biológicos do solo, uma vez que se alimentam de microrganismos, intervêm no processo de decomposição, fragmentam material vegetal e animal, contribuindo deste modo para a reciclagem de nutrientes no solo (serviços de suporte e de regulação). Os colêmbolos têm sido amplamente utilizados em estudos de Ecologia como indicadores da qualidade do solo, devido à sensibilidade de algumas espécies a alterações ambientais, à ação antrópica e

percentagem de matéria orgânica, constituindo uma ferramenta eficaz para avaliar o estado dos ecossistemas (Deharveng, 1996).

Os organismos do solo atuam como agentes mediadores para o fornecimento dos principais serviços de suporte, regulação e fornecimento de bens do solo. A sua atividade impulsiona mudanças que ocorrem na estrutura, função e composição do solo. Desempenham um papel importante na fragmentação, decomposição e incorporação de detritos vegetais e animais, na manutenção da porosidade do solo e na manutenção da fertilidade do solo, sendo, por isso, capazes de modificar as propriedades do solo (Pankhurst & Lynch, 1995).

Não é fácil prever a diversidade, abundância e atividade dos organismos presentes no solo, pois estes variam de acordo com diferentes fatores: o tipo de vegetação, da humidade, pH, textura, densidade e teor de nutrientes do solo, que por sua vez estão condicionados pelas condições climáticas e ambientais como precipitação, radiação solar, ventos entre outros.

As práticas agrícolas como a aplicação de pesticidas, fertilizantes e a mobilização do solo podem alterar a regulação dos processos de decomposição do solo, em grande parte devido às mudanças provocadas na diversidade e abundância dos organismos do solo (Smyth & Dumanski, 1995).

As perturbações causadas nos ecossistemas podem ter assim origem ambiental e/ou antrópica as quais provocam alterações na comunidade de organismos do solo.

1.5. Métodos utilizados na avaliação de indicadores de serviços ecossistémicos fornecidos pelo solo

Para avaliar a prestação de serviços do (agro)ecossistema foram estudados indicadores físicos químicos e biológicos do solo. O uso da terra, ou seja, a utilização de diferentes práticas agrícolas, afeta as características do solo, condicionando o fornecimento de serviços do ecossistema fundamentais para a fertilidade do solo.

Farber et al. (2006) descreveu um conjunto de indicadores, com requisitos ecológicos relevantes na fertilidade, estrutura e função do solo, em que estão subjacentes os serviços prestados pelo ecossistema. Neste trabalho foram avaliados indicadores

químicos, físicos e biológicos do solo tais como o pH, teor de matéria orgânica, biomassa (abundância) e atividade alimentar dos organismos do solo.

A seleção dos indicadores utilizados neste estudo teve em consideração a sua sensibilidade (capacidade de indicarem alterações nos serviços do ecossistema), a sua execução simples, o seu baixo custo financeiro e fácil aplicabilidade.

1.5.1. Método Funcional - avaliação do funcionamento do solo: Método Bait Lamina

Para avaliar a atividade biológica do solo utilizou-se o método *bait-lamina* desenvolvido por Von Törne (Von Torne, 1990) que permite quantificar a atividade alimentar dos microrganismos e invertebrados existentes no solo em diferentes profundidades e em condições naturais (Kratz, 1998; Larink & Sommer, 2002).

Este método pode ser utilizado como ferramenta de avaliação dos processos de reciclagem da matéria orgânica presente na camada de húmus e na camada superior do solo, sendo a taxa de decomposição dependente da espessura destas camadas (Kratz, 1998) e das perturbações induzidas na decomposição por possível contaminação (Filzek et al., 2004; Gongalsky et al., 2004; Kratz, 1998; Kula & Römbke, 1998; Reinecke et al., 2002).

Na prática este método consiste na inserção vertical de lâminas / tiras de cloreto de polivinil (PVC) na camada superior do solo. Essas lâminas, com 16 cm de comprimento, são compostas por 16 buracos (espaçados entre si por 0.5 cm) (Anexo - Figura 1. a, b) preenchidos com uma mistura homogênea de celulose, aveia e carvão ativado, na proporção de 70:27:3, respetivamente.

Após o preenchimento com a mistura os *bait-lamina* são inseridos verticalmente no solo (Anexo - Figura 1. c) ficando deste modo a mistura disponível para as comunidades de organismos que vivem no solo (Kratz, 1998).

Os *bait-lamina* ficam introduzidos no solo durante um determinado período de tempo que depende do tipo de solo, do conteúdo em água do solo, e da atividade alimentar dos organismos que habitam o solo do local a avaliar, sendo recomendado um período de exposição entre 7 e 20 dias para climas temperados (Protecta, 1999; ISO/WD 18311, 2012). A taxa de consumo da mistura depende da densidade e atividade da comunidade

de organismos do solo (Van Gestel et al., 2003), assim o consumo da mistura está diretamente associado à atividade dos invertebrados do solo (Protecta, 1999; ISO/WD 18311, 2012).

É possível quantificar a atividade alimentar dos organismos que vivem no solo, após exposição dos *bait lamina* no solo, contando o número de orifícios vazios em cada tira (Kratz, 1998) (Anexo - Figura 3.1. C).

O Método *bait-lamina* é uma metodologia de execução simples, de baixo custo financeiro, de fácil aplicabilidade, não perturba o solo e permite a avaliação da atividade biológica no solo em períodos de curta exposição. Tem sido utilizado em ensaios laboratoriais e de campo para documentar os efeitos de químicos na atividade alimentar de organismos de solo (Casabé et al., 2007; Geissen & Brummer, 1999; Kratz, 1998; Larink & Sommer, 2002); pesquisar a heterogeneidade espacial da atividade biótica em solos de zonas temperadas (Irmler, 1998); avaliar o efeito da contaminação por metais, na atividade alimentar da fauna edáfica em solos nas imediações de áreas industriais (Filzek et al., 2004) e estudar a influência da temperatura e da humidade na atividade alimentar dos organismos do solo (Gongalsky et al., 2008).

A principal desvantagem deste método é semelhante à encontrada em outras metodologias quando aplicados no campo. As condições climáticas, como precipitação e ventos podem influenciar os resultados obtidos (ISO/WD 1831, 2012).

Pretendeu-se com este método avaliar o efeito dos fertilizantes orgânicos aplicados no solo na atividade alimentar da comunidade biótica que contribui para os processos de decomposição (Kratz, 1998; Kula & Römbke, 1998).

1.5.2. Método Estrutural - avaliação da comunidade de invertebrados do solo:

Método Extrator de Alto Gradiente de Macfadyen

Para analisar a abundância das comunidades de organismos (mesofauna edáfica – microartrópodes e ácaros) que habitam as camadas superiores do solo foi utilizado o Método Extrator de Alto Gradiente de Macfadyen. Este método que foi elaborado e descrito por Macfadyen (Macfadyen, 1961), permite extrair os organismos constituintes

da comunidade edáfica do solo presentes nas camadas superiores do solo (da superfície do solo até 20 cm de profundidade).

O extrator de Macfadyen (Anexo - Figura 2) consiste numa câmara, contendo 96 aberturas, que permite a regulação automática da temperatura. Esta câmara está dividida em duas secções: a parte superior possui uma resistência que aquece gradualmente a parte superior da câmara onde são colocadas as amostras de solo e a parte inferior tem um compartimento interior fechado, com um sistema de refrigeração e funis incorporados. No exterior, contígua à parede inferior da câmara estão as tampas dos frascos de recolha. Enroscadas às tampas estão frascos de recolha que contêm solução de ácido benzóico (Anexo -Figura 2. d).

O Macfadyen é designado de método extrator porque os organismos devido ao aumento gradual da temperatura são induzidos a migrarem para a zona com menor temperatura na qual são recolhidos nos frascos e conservados em ácido benzóico. O tempo de extração é calculado de acordo com a textura, densidade e humidade do solo. A temperatura inicial da extração é sempre de 25 °C, e a cada 12 ou 24 h há uma subida de 5 °C na temperatura, pelo que, no final, a temperatura dentro do Macfadyen atinge, frequentemente, os 50 °C.

O problema principal na aplicação deste método é que ocorra a desidratação do solo (devido ao aumento da temperatura na câmara de extração), fazendo com que algumas espécies percam a mobilidade e/ou se tornem criptobióticas, não tornando possível a sua extração. Desta forma, quanto maior for a razão entre a superfície da amostra em relação ao seu volume, mais eficiente será a extração. É de realçar que esta eficiência é diferente para cada espécie (Moldenke, 1994).

Neste trabalho, o uso do método Macfadyen pretende avaliar o efeito dos fertilizantes aplicados no solo na abundância de microartrópodes (mesofauna), colêmbolos e ácaros do solo.

1.5.3. Métodos Físico-Químicos: avaliar propriedades físicas e químicas do solo

1.5.3.1. Medição do pH do solo

O potencial de hidrogénio (pH) é um indicador de qualidade do solo. Influencia a solubilidade, a concentração em solução e a forma iónica dos nutrientes no solo e, conseqüentemente, a absorção e utilização destes pelas plantas (Mcbride, 1979). São vários os estudos que descrevem a influência do pH do solo na produção agrícola, por esta ser uma das propriedades químicas do solo mais importantes na determinação da produção agrícola.

Neste trabalho, o pH do solo foi determinado pelo método eletrométrico (ISO, 2005). As amostras de solo de cada tratamento foram recolhidas em ziguezague, em cinco zonas diferentes dentro da mesma parcela, sendo depois acondicionadas num saco de plástico e levadas para laboratório. Em laboratório, num copo, pesou-se 5 gramas de solo e adicionou-se 25 mililitros de água destilada. Colocou-se o copo a agitar durante 5 minutos num agitador magnético; de seguida deixou-se em repouso por um período de 2 a 24 horas. Após esse período mediu-se o valor do pH da solução aquosa sobrenadante usando um medidor de pH pré-calibrado WTW330/SET-2.

1.5.3.2. Cálculo do teor de matéria orgânica do solo

A matéria orgânica é formada por resíduos vegetais, restos de culturas e detritos orgânicos de origem animal que reagem entre si, provocando alterações químicas, físicas e biológicas na estrutura do solo.

O teor em matéria orgânica pode ser determinado utilizando o método de gravimetria por incineração em *muf*la.

Neste trabalho, as amostras de solo foram recolhidas no campo, em ziguezague, acondicionadas num saco de plástico e levadas para laboratório. Em laboratório, pesou-se um cadinho e em seguida colocou-se 25 gramas de solo e voltou-se a pesar o cadinho com o solo. Levou-se à estufa a 105°C durante 24 horas para remover a humidade do solo. De seguida pesou-se novamente, o cadinho com o solo, e colocou-se numa *muf*la a 500°C durante 4 horas. Deixou-se arrefecer e colocou-se novamente na estufa a 50 °C

durante 24 horas para impedir que o solo absorção de humidade pelo solo. Após este processo, o cadinho com o solo foi pesado, sendo subtraído o peso do cadinho. A diferença entre o peso do solo inicial e o peso do solo final, depois de realizar o procedimento descrito, corresponde à quantidade da matéria orgânica perdida.

1.6. Objetivos e Estrutura do trabalho

Este trabalho utiliza o conceito dos serviços dos ecossistemas para avaliar o efeito da aplicação de fertilizantes orgânicos no solo agrícola.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os serviços ecossistêmicos de um campo de morangos através dos efeitos da aplicação de fertilizantes orgânicos nos serviços de regulação, suporte e fornecimento de bens do ecossistema. Esta avaliação teve como parâmetros de avaliação a atividade alimentar dos organismos do solo, a abundância de microartrópodes (colêmbolos e ácaros) no solo, o crescimento vegetativo e a produtividade da cultura. Mais especificamente, analisou-se o desempenho de diferentes fertilizantes orgânicos na atividade e abundância de organismos edáficos, no desenvolvimento das plantas e na quantidade de frutos produzidos pela cultura.

Esta dissertação encontra-se dividida em duas secções: trabalho realizado no laboratório e trabalho de campo, realizado num campo de produção de morangos.

1.7. Cronograma de atividades

A tabela seguinte apresenta as atividades realizadas ao longo deste trabalho.

Tabela 1.1. Cronograma de atividades realizadas em Laboratório e no Campo no período de Setembro de 2012 a Agosto de 2013.

Ano	Meses	Atividades		
		Laboratório	Campo	
2012	Setembro	---	*Incorporação de Fertilizantes Orgânicos ao solo	Preparação do solo
	Outubro	Medição de pH e cálculo MO do solo; Preparação dos testes com Trigo e Nabo (comprimento e peso fresco das plantas); Teste <i>bait-lamina</i> ; Teste de Reprodução com o colêmbolo <i>Folsomia candida</i>	*Estruturação do solo em Camalhões e montagem do Sistema Fertirrega *Desinfecção do solo (Metame-Sódio)	
	Novembro Dezembro	Medição de pH e cálculo MO do solo Teste aparelho Macfadyen	1ª Período de Amostragem Colocação dos <i>Bait-Lamina</i> no solo; Recolha de solo para Macfadyen. *Plantação de mudas de morangueiro	Crescimento das mudas de morangueiro
2013	Janeiro Fevereiro	Contagem de orifícios vazios <i>bait lamina</i> Lupa: contagem de colêmbolos e ácaros extraídos do Macfadyen	**Ciclogénese explosiva (dia 19 Janeiro) *Aplicação, através do sistema de fertirrega, de dose extra de fertilizantes químicos.	Crescimento das mudas de morangueiro
	Março Abril	Medição de pH e cálculo MO do solo Contagem de orifícios vazios <i>bait lamina</i> Lupa: contagem de colêmbolos e ácaros extraídos do Macfadyen	2ª Período de Amostragem Colocação dos <i>Bait-Lamina</i> no solo; Recolha de solo para Macfadyen.	
	Maio Junho Julho Agosto	Medição de pH e cálculo MO do solo Contagem de orifícios vazios <i>bait lamina</i> Lupa contagem de colêmbolos e ácaros extraídos do Macfadyen	Início da Frutificação: Colheita de morangos (contagem e pesagem), nos locais de amostragem. 3ª Período de Amostragem Colocação dos <i>Bait-Lamina</i> no solo; Recolha de solo para Macfadyen.	

*Trabalho executado pelo Agricultor

** Condições Meteorológicas

1.8. Relevância da dissertação

Os solos agrícolas mantêm a fertilidade devido a estímulos exógenos, como a aplicação de fertilizantes orgânicos. Assim, é pertinente avaliar se a aplicação de fertilizantes ao solo para manter e / ou aumentar a produtividade das culturas afeta os serviços dos ecossistemas.

Os resultados deste trabalho permitiram obter informação sobre os efeitos da aplicação de fertilizantes orgânicos nos serviços ecossistêmicos do campo de produção de morangos. Na prática, esta informação poderá ser utilizada pelos agricultores para uma escolha adequada do tipo de fertilizante orgânico, que beneficie e aumente a produtividade da cultura sem comprometer a qualidade do solo.

1.9. Referências Bibliográficas

- Abbasi, M.K., Shah, Z., & Adams, W.A. (2003). Effect of the nitrification inhibitor nitrapyrin on the fate of nitrogen applied to a soil incubated under laboratory condition. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166:513–518.
- Ayala, S., & Rao, P. (2002). Perspectives of soil fertility management with a focus on fertilizer use for crop productivity. *Current Science* 82 (7):797-807.
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Cambardella, C. A. (2004). The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1945-1962.
- Bengtsson, J., Ahnström, J., & Weibull, A. C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42: 261–269.
- Blackshaw, R.E., Semach, G., & Janzen, H. (2002). Fertilizer application method affects nitrogen uptake in weeds and wheat. *Weed Science* 50 (5):634-641.
- Calouro, F. (2005). *Atividade agrícola e o ambiente*. Sociedade Portuguesa de Inovação. 1.ª Edição, Porto
- Carter, M. R. (2002). Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*, 94(1), 38-47.
- Casabé, N., Piola, L., Fuchs, J., Oneto, M. L., Pamparato, L., Basack, S., Kesten, E. (2007). Ecotoxicological assessment of the effects of glyphosate and chlorpyrifos in an Argentine soya field. *Journal of Soils and Sediments*, 7(4), 232-239.

- Chambers, B.J., Smith, K. A., & Pains, B. F. (2000). Strategies to encourage better use of nitrogen in animal manures. *Soil Use Mgmt.* 16:157–161.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Deharveng, L. (1996). Soil Collembola diversity, endemism, and reforestation: A case study in the Pyrenees (France). *Conservation Biology*, 10(1), 74-84. doi: 10.1046/j.1523-1739.1996.10010074.x
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment. Proc. symposium, Minneapolis, MN, 1992, 3-21.
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3-11.
- Farber, S., Costanza, R., Childers, D.L., Erickson, J., Gross, K., Grove, M., Hopkinson, C.S., Kahn, J., Pincetl, S., Troy, A., Warren, P. and Wilson, M. (2006), "Linking ecology and economics for ecosystem management", *BioScience*, 56(2): 121–133
- Filzek, P. D. B., Spurgeon, D. J., Broll, G., Svendsen, C., Hankard, P. K., Parekh, N., Weeks, J. M. (2004). Metal effects on soil invertebrate feeding: Measurements using the bait lamina method. *Ecotoxicology*, 13(8), 807-816.

- Fließbach, A., Oberholzer, H. R., Gunst, L., & Mäder, P. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118(1-4), 273-284.
- Food and Agriculture Organization FAO (1989). *Fertilizer and Food production, Fertilizer Program 1961–1986*, Rome, Italy.
- Geissen, V., & Brümmer, G. W. (1999). Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduous forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. *Biology and Fertility of Soils*, 29(4), 335-342.
- Gongalsky, K. B., Persson, T., & Pokarzhevskii, A. D. (2008). Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the bait-lamina test. *Applied Soil Ecology*, 39(1), 84-90.
- Gongalsky, K. B., Pokarzhevskii, A. D., Filimonova, Z. V., & Savin, F. A. (2004). Stratification and dynamics of bait-lamina perforation in three forest soils along a north-south gradient in Russia. *Applied Soil Ecology*, 25(2), 111-122.
- Hebbar, S.S., Ramachandrappa, B.K., Nanjappa, H.V., & Prabhakar, M. (2004). Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *European Journal of Agronomy* 21:117 – 127
- Irmeler, U. (1998). Spatial heterogeneity of biotic activity in the soil of a beech wood and consequences for the application of the bait-lamina-test. *Pedobiologia*, 42(2), 102-108.
- Isherwood, K. F. (2000). *Mineral Fertilizer Use and the Environment*, International Fertilizer Industry Association Revised edition. Paris.

ISO 10390 (2005) Soil quality - Method for determination of pH using a glass electrode in a 1:5 (volume fraction) suspension of soil in water (pH in H₂O), in 1 mol/l potassium chloride solution (pH in KCl) or in 0,01 mol/l calcium chloride solution (pH in CaCl₂).

ISO/WD 18311. (2012) Soil quality - Method for testing effects of soil contaminants on the feeding activity of soil dwelling organisms: *Bait-lamina* test.

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation: (A guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.

Kikuchi, R. (1999). Application of coal ash to environmental improvement Transformation into zeolite, potassium fertilizer, and FGD absorbent, *Resources. Conservation and Recycling* 27:333– 346.

Kratz, W. (1998). The bait-lamina test: General aspects, applications and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 5(2), 94-96.

Kremen, C. (2005). Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8(5), 468-479. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x

Kula, C. & Römbke, J. (1998). Evaluation of soil ecotoxicity tests with functional endpoints for the risk assessment of plant protection products: State-of-the-art. *Environmental Science and Pollution Research*, 5(1), 55-60.

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1–22.

Larink, O., & Sommer, R. (2002). Influence of coated seeds on soil organisms tested with bait lamina. *European Journal of Soil Biology*, 38(3-4), 287-290.

- Larson, W. E., & Pierce, F. J. (1994). The dynamics of soil quality as a measure OF SUSof sustainable tainable management. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicsek & B. A. Stewart (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (pp. 37-51).
- Liang, Q., Chen, H., Gong, Y., Fan, M., Yang, H., Lal, R., & Kuzyakov, Y. (2012). Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the North China Plain. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 92:21–33
- Lins, V. S., Santos, H. R., Gonçalves, M. C. (2007). The effect of the glyphosate, 2,4-d, atrazine e nicosulfuron herbicides upon the edaplic collembolan (arthropoda: ellipura) in a tillage system. *Neo tropical Entomology, Londrina*, v. 36, n. 2, p. 261-267
- Macfayden, A. (1961). Improved funnel-type extractor for soil arthropods. *Journal of Animal Ecology*. 30: 171-184.
- MA Millennium Ecosystem Assessment (2007). *Millennium Ecosystem Assessment, A Toolkit for Understanding and Action: Protecting Nature'Services. Protecting Ourselves*. Washington DC: Island Press.
- Mcbride, M. B., Blasiak, J. J (1979). Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v.43, p.866-870
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, A. S. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2ª ed. Piracicaba: Potafós. 231-305.

- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277(5325), 504-509. doi: 10.1126/science.277.5325.504
- Moldenke, A. R. (1994.). Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. . Arthropods. In: Weaver, R.W.; Angle, S.; Bottolley, P.; Bezdicsek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A.; Wollum, A., eds., Part 2(Madison SSSA), 517-542.
- Morris, M., Kelly, V. A., Kopicki R. J., & Byerlee, D. (2007). Fertilizer Use in African Agriculture: Lessons Learned and Good Practice Guidelines. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Washington, DC
- Móznér, Z., Tabi, A., & Csutora, M. (2012). Modifying the yield factor based on more efficient use of fertilizer—The environmental impacts of intensive and extensive agricultural practices. *Ecological Indicators* 16: 58–66.
- Myers, N. (1996). Environmental services of biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(7), 2764-2769.
- Naeem, S., & Li, S. B. (1997). Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature*, 390(6659), 507-509. doi: 10.1038/37348
- Nakamoto T., Tsukamoto M. (2006). Abundance and activity of soil organisms in fields of maize grown with a white clover living mulch. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115: 34–42.
- Oliveira, J., Vasconcelos, C., Costa, M., Cunha, M., Leandro, E., Russo, M. (2009). Quality evaluation of organic composts commercialized in the region of Entre Douro e Minho. *Revista de ciências agrárias* 285-297.

- Pankhurst, C. E., & Lynch, J. M. (1995) 12 The role of soil microbiology in sustainable intensive agriculture. Vol. 11 (pp. 229-247).
- Pereira, H., Domingos T., Marta-Pedroso, C., Poença, V., Rodrigues, P., Ferreira, M., Nogal, A. (2009). Uma avaliação do serviços de ecossistemas em Portugal. *Ecosistemas.indd*, Capítulo 20.
- Protecta, T. (1999). The bait-lamina Test.
(<http://www.terra-protecta.de/englisch/ks-info-en.htm>)
- Rao, M. R., Niang, A., Kwesiga, F., Duguma, B., Franzel, S., Jama, B., & Buresh, R. J. (1998). Soil fertility replenishment in sub-Saharan Africa: new techniques and the spread of their use on farms. *Agroforest Today* 10 (2):3–8.
- Reinecke, A. J., Helling, B., Louw, K., Fourie, J., & Reinecke, S. A. (2002). The impact of different herbicides and cover crops on soil biological activity in vineyards in the Western Cape, South Africa. *Pedobiologia*, 46(5), 475-484.
- Robertson, G. P., & Swinton, S. M. (2005). Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: A grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1 SPEC. ISS.), 38-46.
- Santos, J. Q. (1996). *Fertilização – Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos*. Publicações Europa-America, Mem Martins, Portugal.
- Seastedt, T.R.(1984) The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology*, London, v.29, p.25-46
- Singh, J., Pillai, K. S. (1975). A study of soil microarthropod communities in same fields. *Revue d'ecologie et de biologie du soil*, Paris, v. 12, n.3, p. 579-590

- Smyth, A. J., & Dumanski, J. (1995). A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*, 75(4), 401-406.
- Söderström, B., Svensson, B., Vessby, K., & Glimskar, A. (2001). Plants, insects and birds in semi-natural pastures in relation to local habitat and landscape factors. *Biodiversity Conservation*, 10, 1839-1863.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*: 418.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., & Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292(5515), 281-284.
- Trazzi, P.A., Colombi, R., Peroni, L., & Godinho, T. O. (2012). Animal manure on substrate for forest seedling production: physical and chemical attributes. *Scientia Forestalis*, Piracicaba 40(96):455-462.
- Van Gestel, C. A. M., Kruidenier, M., & Berg, M. P. (2003). Erratum: Suitability of wheat straw decomposition, cotton strip degradation and bait-lamina feeding tests to determine soil invertebrate activity (*Biology and Fertility of Soils* (2003) 37 (115-123). *Biology and Fertility of Soils*, 37(6), 38
- Vanlauwe, B., Dendooven, L., Merckx, R., Vanlangenhove, G., Vlassak, K., & Sanginga, N. (1996). Residue quality and decomposition under controlled and field conditions. In: *Research Highlights and Annual Report 12*. International Institute of Tropical Agriculture (AATA), pp.1– 6.
- Von Torne, E. (1990). Assessing feeding activities of soil-living animals. II. Mini-bait-tests. *Schatzungen von Fressaktivitäten bodenlebender Tiere. II. Mini-Köder- Tests*, 34(4), 269-279.

Waltner-Toews, D. (1996) Ecosystem health: a framework for implementing sustainability in agriculture. *Bioscience*. 46(9), 686-689. doi: 10.2307/1312898

Wang, X., & Gong, Z. (1998). Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. *Geoderma*, 81(3-4), 339-355.

Yiridoe, E. K., Bonti-Ankomah, S., & Martin, R. C. (2005). Comparison of consumer perceptions and preference toward organic versus conventionally produced foods: A review and update of the literature. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20(4), 193-205. doi: 10.1079/raf2005113

Zhongxin, C., & Xinshi, Z. (2000). Value of ecosystem services in china. *Chinese Science Bulletin*, 45(10).

Sites consultado:

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

(<http://www.fao.org/news/story/en/item/35571/icode/>)

(http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf)

2. Avaliação dos efeitos da aplicação de fertilizantes orgânicos no crescimento de Trigo (*Triticum aestivum* L.) e Nabo (*Brassica rapa* L.), na atividade biológica do solo e na reprodução de *Folsomia candida*

2.0. Resumo

Neste trabalho foram avaliados, utilizando testes laboratoriais, o desempenho de fertilizantes orgânicos no crescimento vegetativo de duas espécies de plantas trigo (monocotiledónea) e nabo (dicotiledónea) a atividade alimentar dos organismos do solo e a reprodução da espécie de colêmbolo *Folsomia candida*. Sete amostras de solo foram recolhidas em diferentes parcelas de uma produção de morangos. Cinco das amostras de solo continham fertilizantes orgânicos: estrume de vaca e estrume de galinha (V+G), estrume de frango e substrato de cogumelo fresco (F+CF), substrato de cogumelo fresco (CF), substrato de cogumelo maturado (CM) e substrato de lamas de compostagem (LC). Em duas das amostras não foram aplicados fertilizantes: solo em pousio e solo do caminho (*off-crop*). Para além das amostras recolhidas de solo agrícola utilizou-se o solo de LUFA 2.2, como controlo. Na cultura do trigo e nabo os solos com LC e V+G foram aqueles onde as plantas apresentaram maior comprimento e peso fresco. Em relação aos outros tratamentos, os solos com V+G e F+CF foram os que registaram maior atividade alimentar dos organismos edáficos. No teste de reprodução com *Folsomia candida* o solo com F+CF foi o que apresentou maior abundância de juvenis e, apesar de não ser estatisticamente significativo, foi o que registou maior número de organismos adultos. O solo com CM foi o que apresentou menor número de juvenis e adultos.

Com o conjunto de testes ecotoxicológicos realizados e usando o conceito dos serviços dos ecossistemas, foi possível obter informação acerca dos efeitos da fertilização nos serviços de fornecimento de bens (crescimento vegetativo), nos serviços de regulação e nos serviços de suporte (reprodução dos colêmbolos e atividade alimentar dos organismos edáficos). As culturas realizadas em laboratório permitiram estabelecer uma relação, entre o serviço de fornecimento de bens - crescimento vegetativo das plantas e o serviço de regulação - atividade alimentar dos organismos do solo.

2.1. Introdução

As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, interagem, afetando e determinando a qualidade do solo. As propriedades físicas, como a textura, estrutura e porosidade, afetam o movimento do ar e da água, essenciais ao funcionamento do solo (Brady & Weil, 2002). O funcionamento do solo também é afetado por propriedades químicas, valor do pH e teor em matéria orgânica, que influenciam a disponibilidade de nutrientes. A disponibilidade de nutrientes - fertilidade do solo está também diretamente relacionada com as propriedades biológicas, ou seja, com a diversidade e abundância da fauna edáfica que desempenha um papel fundamental nos processos de decomposição (FAO, 2005).

O solo é o recurso mineral renovável essencial para a produção agrícola, uma vez que é o suporte físico onde a planta se desenvolve, do qual retira nutrientes e água. Numa produção agrícola a disponibilidade de nutrientes no solo, é o fator essencial para o desenvolvimento das plantas (Isherwood, 2000).

A matéria orgânica é uma fonte importante de nutrientes, para além de dar estrutura ao solo, reduz a lixiviação de nutrientes, melhora a aeração, aumenta a drenagem de água em solos argilosos e a absorção em solos arenosos, aumenta a atividade microbiana e serve de substrato e alimento à comunidade de organismos do solo. Influencia diretamente a capacidade produtiva do solo, o processo de erosão do solo, a diversidade e abundância de organismo vivos presentes no solo (Ministério do Ambiente, 1999; Gonçalves et al., 2001), contribuindo para melhorar as propriedades físicas e químicas do solo. O aumento da matéria orgânica do solo resulta, geralmente, no aumento da produtividade do solo.

É prática comum na agricultura a aplicação de fertilizantes para aumentar a produtividade das colheitas. Os fertilizantes são substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas que disponibilizam as quantidades de nutrientes ao solo adequadas para suprir as necessidades das plantas (Sheldrick et al., 2002). Têm como função repor ao solo os nutrientes extraídos pelas plantas ao longo do seu crescimento (Raun et al.,

2002). A finalidade da aplicação dos fertilizantes é manter a fertilidade do solo e ao mesmo tempo ampliar o rendimento das culturas (Tilman et al., 2002).

Os fertilizantes podem ser divididos em três grupos: fertilizantes minerais, fertilizantes orgânicos e fertilizantes organominerais, que resultam da combinação entre ambos (Kikuchi, 1999). Os fertilizantes minerais são formados por compostos minerais naturais extraídos nas rochas que são depois transformados na indústria química. Estes compostos são os mais aplicados na agricultura devido à sua elevada concentração em nutrientes, a sua rápida libertação de nutrientes no solo e menor custo por nutriente (Malavolta et al., 1997). Os fertilizantes orgânicos, por sua vez, são compostos orgânicos obtidos de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural (Blackshaw et al., 2002). Os produtos da decomposição de resíduos orgânicos vegetais e estrumes de animais são compostos por nutrientes, microrganismos e substâncias promotoras de crescimento das plantas, sendo por esse motivo frequentemente aplicados nos campos agrícolas (Masarirambi et al., 2012). Os fertilizantes orgânicos diferem dos fertilizantes químicos por terem libertação mais lenta de nutrientes, com uma ação variável e mais prolongada no solo.

Neste trabalho foram testados cinco fertilizantes orgânicos: mistura de estrume de vaca com estrume de galinha (V+G), mistura de estrume de frango com substrato de cogumelo fresco (F+CF), substrato de cogumelo fresco (CF), substrato de cogumelo maturado (CM) e substrato de lamas de compostagem (LC). Cada um foi incorporado, em diferentes locais da unidade de produção agrícola, em quantidades iguais e superiores a 50 toneladas por hectare para reposição de nutrientes no solo, após a colheita do ano anterior.

Para avaliar o desempenho dos fertilizantes orgânicos incorporados ao solo no crescimento vegetativo de plantas foram realizadas duas culturas, com duas espécies de plantas: *Triticum aestivum* L. (trigo, monocotiledónea) e *Brassica rapa* L. (nabo, dicotiledónea) com ciclos vegetativos e sistemas radiculares bem distintos. Estas plantas foram selecionadas tendo em conta as indicações atuais para efetuar estudos sobre os efeitos de tóxicos nas plantas superiores e os vários estudos já realizados sobre os efeitos de diferentes produtos químicos nestas duas espécies (Kalsch et al., 2006, Song et al.,

2007). O trigo é o segundo cereal mais cultivado no mundo, a seguir ao milho. Os países líderes na produção de trigo são a China e a Índia. O grão de trigo é utilizado na alimentação humana e dos animais e a estrutura vegetativa seca (feno) é utilizada como forragem para animais (FAO, 2012). Nos últimos anos a área cultivada e produção de trigo em Portugal tem vindo a diminuir. Em 2009, a área cultivada era aproximadamente 73 mil hectares, com uma produção de cerca de 124 mil toneladas. Em 2011, registou-se uma redução para cerca de 42 mil hectares de área cultivada e aproximadamente 51 mil toneladas de produção (INE, 2012). O nabo está presente na lista das principais hortícolas produzidas em Portugal; em 2011 foi registada uma área cultivável de 727 hectares, com uma produção de 14811 toneladas (INE, 2012).

Os invertebrados edáficos desempenham um papel importante na reciclagem de nutrientes. Através da sua atividade alimentar há fragmentação de partículas, decomposição de compostos orgânicos, o que favorece a colonização por parte de microorganismos. Deste modo, contribuem para o aumento das taxas de mineralização e regulação de nutrientes do solo (Filzek et al., 2004; Barrios, 2007; Hamel et al., 2007).

O método *bait-lamina* é um método que permite avaliar a atividade alimentar dos microrganismos e invertebrados existentes nas camadas superiores do solo (Kratz, 1998; Larink & Sommer, 2002). Em paralelo com a aplicação deste método realizou-se um teste de reprodução com *Folsomia candida*. A espécie *Folsomia candida* tem sido utilizada em vários estudos de avaliação de riscos ambientais e monitorização de poluentes no solo (Crouau et al., 2002).

O objetivo deste estudo foi determinar qual dos fertilizantes providencia um maior crescimento vegetativo, no estágio inicial de desenvolvimento das plantas, bem como avaliar a atividade alimentar dos organismos do solo (método *bait-lamina*) e a capacidade reprodutiva do colêmbolo *Folsomia candida* no solo com diferentes fertilizantes.

2.2. Metodologia

2.2.1. Caracterização do Solo

O solo utilizado nos diferentes ensaios foi recolhido num campo agrícola de produção de morangos, um mês após os fertilizantes orgânicos terem sido incorporados no solo, e antes de se realizar a plantação dos morangueiros. O campo agrícola está localizado a 3 quilómetros da praia de Mira. O solo do campo agrícola tem origem em dunas secundárias, com textura arenosa – solo com teor de areia superior a 70% e de argila inferior a 15%; com elevada permeabilidade, leve, baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica.

Os fertilizantes orgânicos foram aplicados à superfície do solo e a sua incorporação foi feita a uma profundidade de 20 cm com o auxílio de um trator. Cinco tipos de fertilizantes orgânicos foram incorporados no solo, em quatro diferentes parcelas (Figura 2.1).

As amostras de solo foram recolhidas nos primeiros 15 cm. As amostras, contendo aproximadamente 6 kg de solo cada uma, foram colocada em sacos individuais e transportadas para o laboratório, onde foram imediatamente utilizadas nos ensaios.

Os solos recolhidos no campo foram classificados em função da sua origem (Tabela 2.1): solos com aplicação de fertilizantes orgânicos, de origem animal (T1), solo com matéria orgânica animal e vegetal (T2 e T5), solos com matéria orgânica vegetal (T3.1 e T3.2); e solos sem aplicação de fertilizante no ano do estudo - solo em pousio (T4) e solo do caminho (6).

Para além das amostras de solo agrícola utilizou-se o solo LUFA 2.2 (Speyer, Alemanha) (Løkke & Gestel, 1998), como controlo da experiência. Este solo, possui uma textura arenosa-limoso, consistência média, um pH de 5.8(CaCl₂) e 4.8% de teor de matéria orgânica.

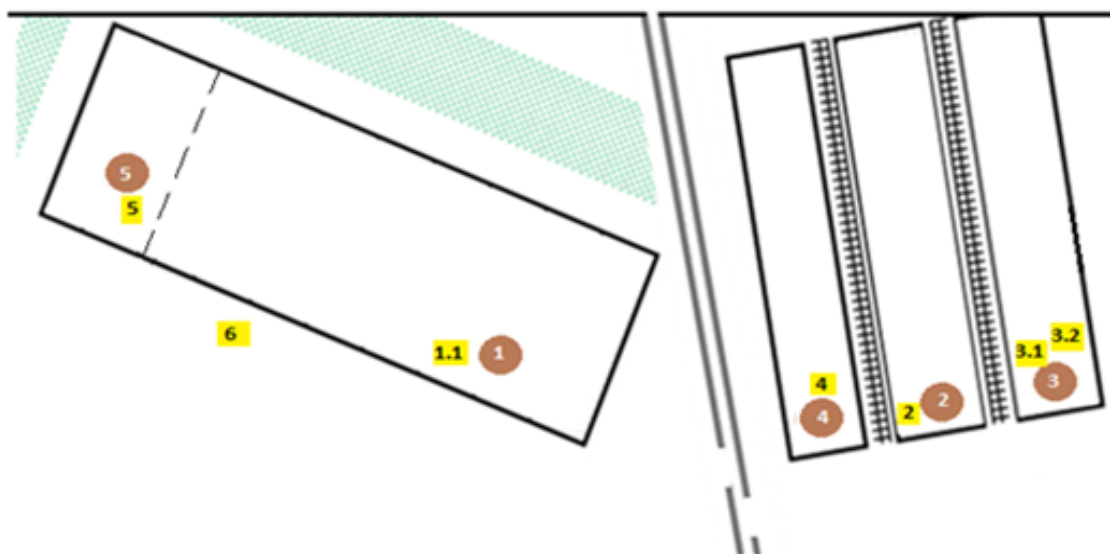


Figura 2.1. Esquema de parcelas e locais de amostragem onde foi recolhido o solo para a realização dos testes em laboratório.

Legenda:

- Parcelas
- Local de Amostragem
- Estrada
- Pinhal
- Caminho
- Vegetação

- 1.1. solo com estrume de vaca e estrume de galinha
- 2. solo com estrume de frango e substrato de cogumelo fresco
- 3.1. solo com substrato de cogumelo fresco
- 3.2. solo com substrato de cogumelo maturado
- 5. solo com lamas de compostagem
- 4. solo em pousio (sem aplicação de fertilizantes no último ano)
- 6. solo caminho (sem aplicação de fertilizante)

Tabela 2.1. Parcelas de solo amostrado no campo, usada para realização dos testes em laboratório

Amostras de Solo / Parcela	Fertilizantes Orgânicos	
	Origem	Quantidade (Toneladas/hectare)
T1 / 1 (V+G)	Animal	Estrume de Vaca (100T/ha)
		Estrume de Galinha (30T/ha)
T2 / 2 (F+CF)	Misto	Estrume de Frango (15T/ha)
		Substrato de Cogumelo Fresco (120T/ha)
T3.1 / 3 (CF)	Vegetal	Substrato de Cogumelo Fresco (120T/ha)
T3.2 / 3 (CM)	Vegetal	Substrato de Cogumelo Maturado (50T/ha)
T5 / 5 (LC)	Misto	Substrato de Lamas de Compostagem (100T/ha)
4 / 4	Solo em Pousio – sem aplicação de Fertilizantes no último ano	
6	Solo do Caminho (<i>off-crop</i>)	

2.2.2. Procedimento experimental

O procedimento experimental compreendeu a realização de três ensaios: teste de emergência e crescimento vegetativo; Teste de *bait-lamina* e teste de reprodução com colêmbolos (*Folsomia candida*).

2.2.3. Organismos utilizados nos testes

Foram utilizadas duas espécies de plantas: trigo (*Triticum aestivum* L.) e nabo (*Brassica rapa* L.), cujas sementes foram obtidas de um fornecedor local. A escolha destas espécies teve em consideração o seu tempo médio de germinação e o facto de pertencerem a diferentes classes de plantas. Possuem sistemas radiculares bem distintos, sendo que o trigo possui uma raiz fasciculada (típica de uma monocotiledónea) enquanto o nabo possui uma raiz pivotante (típica de uma dicotiledónea).

Os invertebrados do solo utilizados foram colêmbolos da espécie *Folsomia candida* Willem 1902, obtidos a partir de culturas de laboratório, onde se encontram em caixas plásticas revestidas por uma mistura de gesso e de carvão ativado numa razão de 9:1 (ISO, 1998), sendo alimentados, uma vez por semana, com levedura granulada seca, e mantidos no escuro, sob um regime de temperatura constante (20 ± 2 °C).

2.2.4. Localização e condições dos Testes

Os testes foram realizados no laboratório, numa sala com temperatura controlada (20 ± 2 °C), humidade relativa entre 40% e 60% com fotoperíodo cíclico a simular as condições ambientais naturais: 16h com luz artificial, com lâmpadas com intensidade de luz de cerca de 7000 lux, para simular o período do dia e 8h sem luz.

2.2.5. Determinação de pH e matéria orgânica do solo

Ao início e no final de cada teste determinou-se o pH do solo pelo método eletrométrico (ISO, 2005).

Em todas as amostras foi calculado o teor em matéria orgânica utilizando o método de gravimetria por incineração em *mufra*.

2.2.6. Teste de emergência e crescimento vegetativo

Os testes com trigo (*Triticum aestivum*) e nabo (*Brassica rapa*) para avaliar o potencial de germinação das sementes e o crescimento vegetativo foram realizados de acordo com o protocolo ISO 11269-2 (1995), com algumas modificações.

Para a realização destes testes foram utilizados vasos de plástico circulares com diâmetro de 11 cm (abertura superior) e 9 cm (base interior) e altura de 10 cm. Os vasos foram perfurados no centro da base, sendo inserida uma corda de fibra de vidro com aproximadamente 5 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro. Cada vaso estava assente num recipiente de plástico cheio com água, com largura de 9 cm de diâmetro e altura de 3 cm. Desta forma foi possível manter o solo dos vasos permanentemente hidratado por capilaridade através da corda de fibra que estava em contacto com o recipiente com água.

Em cada vaso foram inseridos 700 g de solo, e de seguida foram colocadas 10 sementes a uma profundidade de cerca de 5 mm. Foram utilizadas quatro réplicas por cada tratamento, num total de 32 vasos.

Após 50% das sementes germinarem nos vasos controlo (solo LUFA 2.2), a exposição decorreu por mais 14 dias. A germinação das sementes foi registada diariamente. No final do teste, as plantas foram cortadas à superfície do solo, e foram determinados o peso fresco e o comprimento de cada planta.

2.2.7. Teste *bait-lamina*

Para avaliar a atividade alimentar dos organismos de solo usou-se o método *bait-lamina*. Este método consiste em inserir no solo *bait-lamina*, que consiste numa tira de plástico com 16 orifícios espaçados 0.5 mm, preenchidos como uma mistura de celulose, aveia e carvão ativado (70:27:3). Foram utilizados, vasos de plástico iguais aos utilizados no teste com plantas, contendo aproximadamente 700 gramas de solo, nos quais foram colocados três *bait-lamina*. Para cada amostra de solo realizaram-se quatro réplicas num total de 12 *bait-lamina* por tratamento.

Após 14 dias de exposição o número de orifícios vazios (a luz passava através dos orifícios) foi contabilizado.

2.2.8. Teste de reprodução com *Folsomia candida*

O teste de reprodução foi realizado de acordo com o protocolo da ISO 11268 (ISO, 1998). Este teste consiste em introduzir 10 organismos *Folsomia candida*, com idade compreendida entre os 10 a 12 dias, num frasco de vidro, contendo 30 gramas de solo. Foram realizadas cinco réplicas por cada tratamento. O ensaio decorreu por um período de 28 dias, após o qual se registou o número de adultos que sobreviveram ao ensaio bem como o número de juvenis produzidos. Para se realizar esta contagem o conteúdo dos frascos foi transferido para um recipiente ao qual se adicionou água, ficando os organismos a flutuar. De seguida cada amostra foi fotografada, sendo o número de adultos e juvenis contados usando o Programa SigmaScan Pro5.

2.2.9. Análise estatística

Em cada ensaio os dados obtidos nos diferentes tratamentos foram comparados usando uma análise de variância de uma via (ANOVA). De seguida, realizou-se um teste *post-hoc* de Dunnett, com um nível de significância de 5 %, para comparar as médias dos tratamentos com o respetivo controlo.

A comparação estatística entre os diferentes tratamentos onde ocorreu a aplicação de fertilizantes foi feita com o teste de Tukey, com um nível de significância de 5 %.

Para a análise estatística utilizou-se o pacote de *software* SIGMAPLOT 11.0.

2.3. Resultados

2.3.1. Valores de pH e percentagem de matéria orgânica do solo

Os valores de pH e teor em matéria orgânica dos solos encontram-se na tabela seguinte (Tabela 2.2).

Tabela 2.2. Valores de pH (H₂O) e percentagem de matéria orgânica nas amostras de solo usadas nos testes em laboratório.

Amostras de solo		pH (H ₂ O)					% Matéria Orgânica
		Início	Fim				
			Plantas		<i>Bait-Lamina</i>	Colêmbolos	
			Trigo	Nabo			
Fertilizantes	Est.Vaca e Est.Galinha (V+G)	7.1	9.6	9.1	8.3	8.5	0.7
	Est.Frango e Subst.Cog.Fresco (F+CF)	7.7	8.3	8.9	7.9	8.1	1.7
	Subst. Cog.Fresco (CF)	7.8	8.6	8.8	8.1	8.3	2.1
	Subst. Cog.Maturado (CM)	7.8	8.6	8.8	8.2	8.4	1.2
	Subst. Lamas de Compostagem (LC)	7.3	8.9	8.8	8.5	8.7	1.0
	Solo em Pousio	7.3	8.6	8.6	7.7	7.9	0.5
	Solo do Caminho	5.9	6.1	7.2	6.1	6.3	0.7
	LUFA 2.2	5.8	6.2	6.7	---	6.5	4.8

Os solos onde houve aplicação de fertilizantes apresentaram valores de pH muito similares, que variaram entre 7.1 e 7.8. Dos solos sem aplicação de fertilizantes, o solo em pousio foi o que registou um valor de pH mais elevado, semelhante aos valores registados

nos solos com aplicação de fertilizantes. No final dos testes observou-se, em todas as amostras de solo, um ligeiro aumento de 0.5 a 1.0 no valor de pH, em relação ao valor registado inicialmente.

Relativamente ao teor de matéria orgânica do solo os tratamentos que apresentaram maior percentagem de matéria orgânica foram o tratamento com fertilizante de substrato de cogumelo fresco (2.1 %) e o tratamento com estrume de frango e substrato de cogumelo fresco (1.7 %). O tratamento com estrume de vaca e estrume de galinha foi o que apresentou menor percentagem de matéria orgânica (0.7 %), seguido pelos tratamentos com substrato de cogumelo maturado (1.2 %) e o tratamento com lamas de compostagem (1.0 %). O solo do caminho apresentou baixos teores de matéria orgânica (0.7 %), seguido pelo solo de pousio (0.5 %), sendo este o que teve menor teor em matéria orgânica, bem como o menor valor de pH em relação a a todas as amostras de solo agrícola recolhidas. O solo do controlo (solo LUFA 2.2) foi o que apresentou maior teor de matéria orgânica (4.8 %).

2.3.2. Teste de emergência e crescimento vegetativo

Verificou-se para todos os tratamentos que as sementes de trigo apresentaram uma taxa de germinação de 87 a 100%, enquanto que nos vasos com nabo foi registada uma taxa de germinação de 63 a 90%.

2.3.2.1. Crescimento vegetativo do Trigo (*Triticum aestivum*)

A análise de variância (ANOVA, uma via) mostrou diferenças significativas no peso fresco e no comprimento das plantas de trigo.

O teste de *Dunnnett* mostrou diferenças significativas entre o peso fresco do controlo (LUFA 2.2) e os seguintes tratamentos: V+G, F+CF, LC, e também com o solo em pousio. Todos os tratamentos apresentaram maior peso fresco que o controlo. O tratamento com LC foi o que apresentou maior peso fresco, seguido pelo tratamento com V+G, e por fim, o tratamento com F+CF (Figura 2.2).

No que respeita ao comprimento das plantas, o teste de *Dunnnett*, mostrou diferenças significativas entre o controlo (LUFA 2.2) e os seguintes tratamentos: LC, CF e CM. Enquanto no tratamento com LC as plantas apresentaram um maior comprimento relativamente ao controlo, os tratamentos com substrato de cogumelo, apresentaram menor comprimento em relação ao controlo (Figura 2.2).

O teste de *Tukey*, permitiu comparar o peso fresco e o comprimento das plantas entre os cinco tratamentos onde houve aplicação de fertilizantes. Verificou-se, no peso fresco, que apenas não houve diferenças estatísticas entre o tratamento V+G e o tratamento com LC (V+G=LC), entre o tratamento com CF e o tratamento com CM (CF=CM). No comprimento das plantas, não foram observadas diferenças significativas entre o tratamento com V+G e o tratamento LC (V+G=LC), entre o tratamento com F+CF e o tratamento com CM, entre o tratamento com F+CF e o tratamento com CF, e entre o tratamento com CF e o tratamento com CM (F+CF=CM=CF) (Figura 2.2).

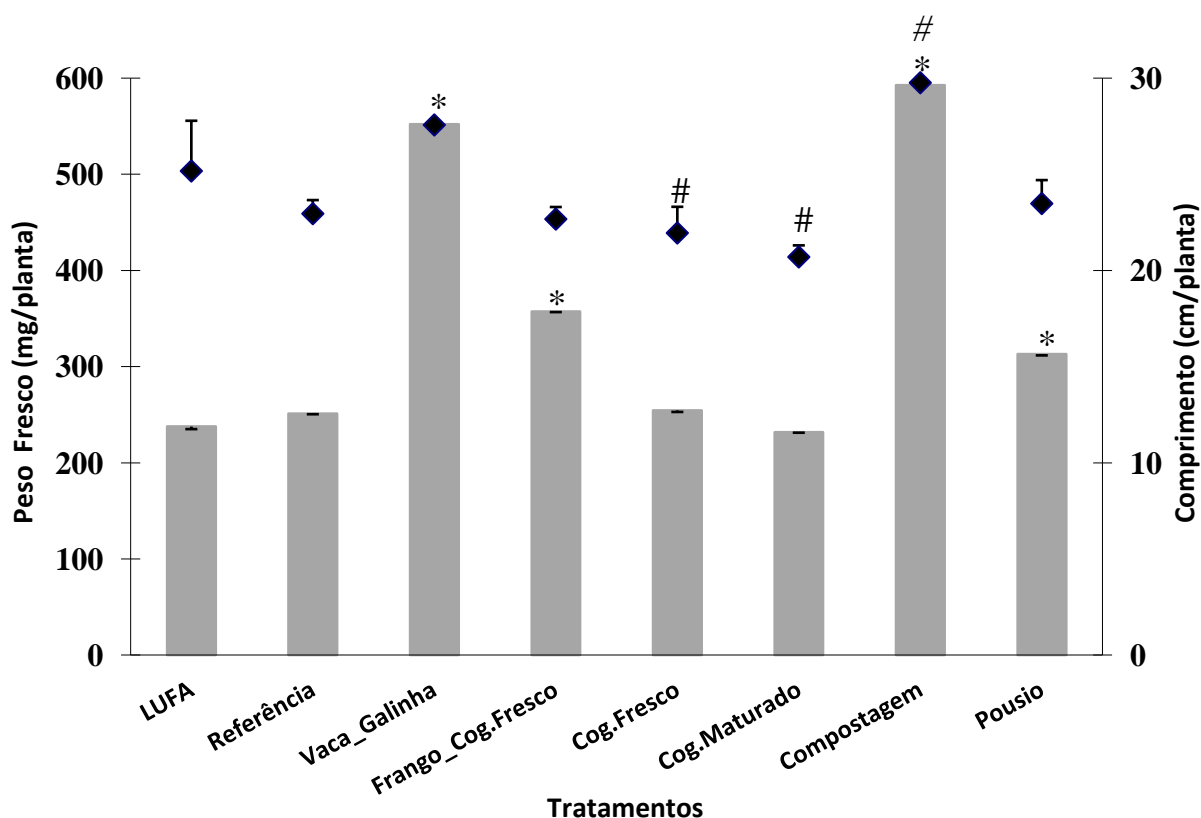


Figura 2.2. Peso fresco (colunas, eixo Y do lado esquerdo) e comprimento (losangos, eixo Y do lado direito), de *Triticum aestivum* após 21 dias de exposição no solo (média com desvio padrão).

* indica diferenças estatísticas significativas (Teste de *Dunnnett*; $p < 0.05$) no Peso Fresco (mg/planta) relativamente ao controlo (LUFA 2.2)

indica diferenças estatísticas significativas (Teste de *Dunnnett*; $p < 0,05$) no comprimento (cm/planta) relativamente ao controlo (LUFA 2.2).

2.3.2.2. Crescimento vegetativo do nabo (*Brassica rapa*)

A análise de variância (ANOVA, uma via) mostrou diferenças significativas no peso fresco e no comprimento das plantas de nabo entre os diferentes tratamentos.

O teste de *Dunnnett* relativamente ao peso fresco das plantas mostrou diferenças significativas entre o controlo (LUFA 2.2) e quatro tratamentos: V+G, CF, CM, e LC. A média do peso fresco do tratamento com LC e do tratamento com V+G foram semelhantes entre si e superiores à média obtida no controlo. A média do peso fresco do tratamento com CF e do tratamento com CM foram semelhantes entre si, sendo, no entanto, inferiores ao peso fresco do controlo (Figura 2.3).

No que respeita ao comprimento das plantas, o teste de *Dunnnett* mostrou diferenças significativas entre o controlo e três tratamentos: CF, CM e LC. Da mesma forma que aconteceu com o comprimento do trigo, o tratamento com LC apresentou maior comprimento relativamente ao controlo enquanto os tratamentos com substrato de cogumelo apresentaram valores inferiores ao controlo (Figura 2.3).

O teste *Tukey* permitiu a comparação entre os cinco tratamentos onde houve aplicação de fertilizantes. Em relação ao peso fresco registaram-se diferenças significativas do tratamento com substrato LC e do tratamento com V+G (tendo estes apresentado um maior peso fresco), em relação aos seguintes tratamentos: F+CF, CF e CM.

No que se refere ao comprimento médio das plantas de nabo não foram registadas diferenças significativas entre o tratamento com LC e o tratamento com V+G (LC=V+G). Entre o tratamento com V+G e o tratamento com F+CF (V+G=CF) e entre o tratamento com CF e o tratamento com CM (CF=CM).

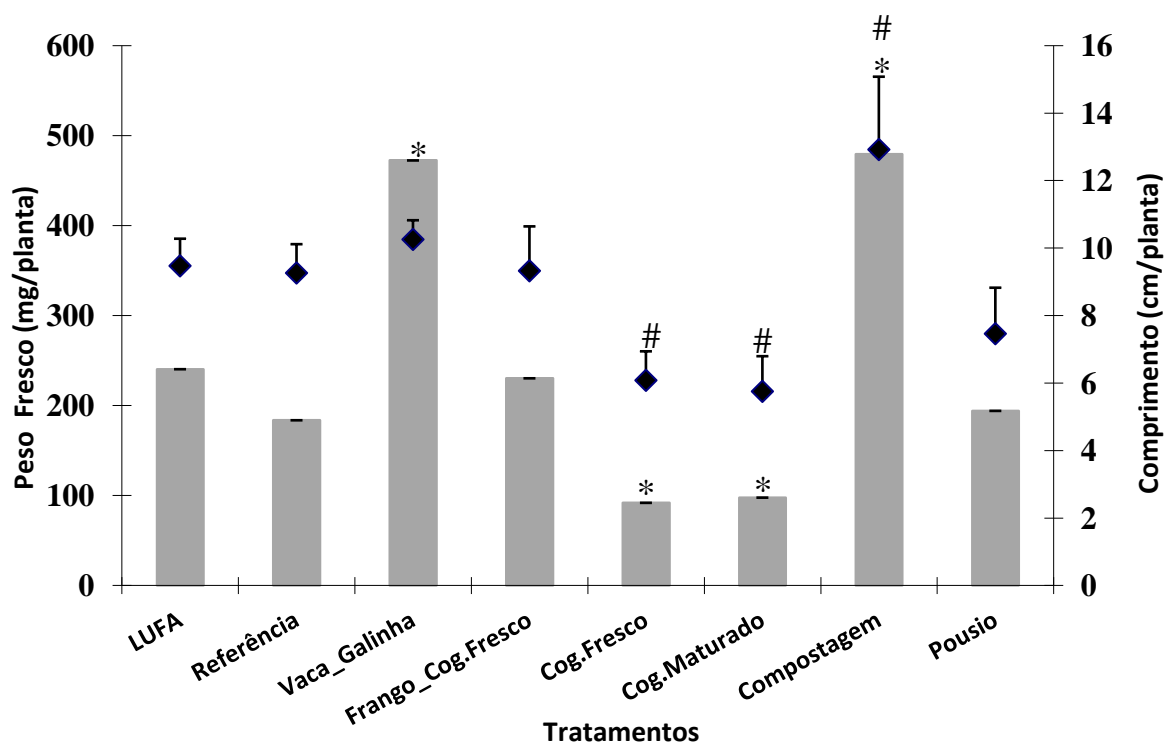


Figura 2.3. Peso fresco (colunas, eixo Y do lado esquerdo), e comprimento (losangos, eixo Y do lado direito), de *Brassica rapa* após 21 dias de exposição no solo (média com desvio padrão).

* Indica diferenças significativas (Teste de Dunnett; $p < 0.05$) no Peso Fresco (mg/planta) relativamente ao controlo (LUFA 2.2)

Indica diferenças significativas (Teste de Dunnett; $p < 0,05$) no comprimento (cm/planta) relativamente ao controlo (LUFA 2.2).

2.3.2. Teste com *bait lamina* – atividade alimentar dos organismos do solo

A análise de variância de uma via (ANOVA) mostrou diferenças significativas na atividade dos organismos do solo entre os tratamentos.

O teste de *Dunnett* mostrou diferenças estatísticas significativas entre o solo do caminho (referência) e dois tratamentos: V+G e F+CF. Ambos os tratamentos apresentaram uma maior percentagem de orifícios vazios em relação ao solo do caminho (Figura 2.4).

O teste de *Tukey* foi realizado para comparar os cinco tratamentos com aplicação de fertilizantes. Observaram-se diferenças significativas no número de orifícios vazios entre o tratamento com V+G (maior número de orifícios vazios) em relação aos tratamentos com CF e CM. Também se registaram diferenças significativas entre o tratamento com F+CF e os mesmos tratamentos: CF e CM. Por último, verificaram-se diferenças significativas entre o tratamento com LC e o tratamento com CF.

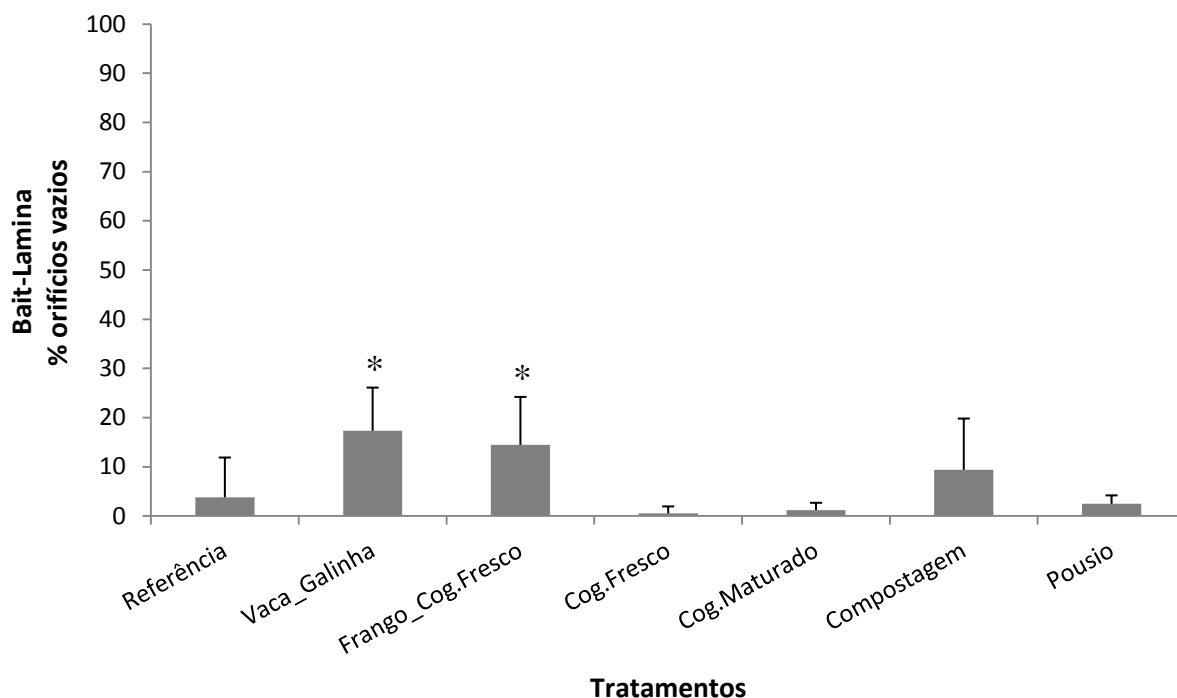


Figura 2.4. Percentagem (média \pm desvio padrão) de orifícios vazios dos *bait-lamina*, ao fim de 14 dias de exposição.

* Indica diferenças estatísticas significativas (Teste de Dunnett; $p < 0.05$) d relativamente ao controlo (solo do caminho).

2.3.4. Teste de reprodução com *Folsomia candida*

A análise de variância (ANOVA, de uma via) mostrou diferenças significativas no número de juvenis e no número de adultos entre os diferentes tratamentos.

O teste de *Dunnett* relativo à reprodução de *Folsomia candida* apresentou um número significativamente maior de organismos juvenis no tratamento com F+CF e no solo do pousio em relação ao controlo (LUFA 2.2). O tratamento com CM mostrou um número significativamente menor de organismos juvenis em comparação com o controlo (Figura 2.5). Apenas foram registadas diferenças significativas na taxa de mortalidade no tratamento com CM, onde o número de adultos que não sobreviveram ao período de exposição foi superior ao controlo (solo LUFA 2.2). O tratamento com F+CF foi o tratamento que apresentou o maior número de juvenis e a menor taxa de mortalidade, apesar de não ter registado diferenças estatísticas significativas em relação ao controlo. Com o teste *Tukey* comparou-se o número de adultos e o número de juvenis entre os

cinco tratamentos onde houve aplicação de fertilizantes. Observaram-se diferenças significativas no tratamento com F+CF, que apresentou maior número de juvenis em relação aos restantes tratamentos. O tratamento com CM apresentou diferenças significativas, com menor número de juvenis, em relação aos seguintes tratamentos: V+G, CF e LC. Quanto ao número de adultos o tratamento com CM registou diferenças significativas, com menor taxa de sobrevivência, menor número de organismos, em relação a todos os tratamentos.

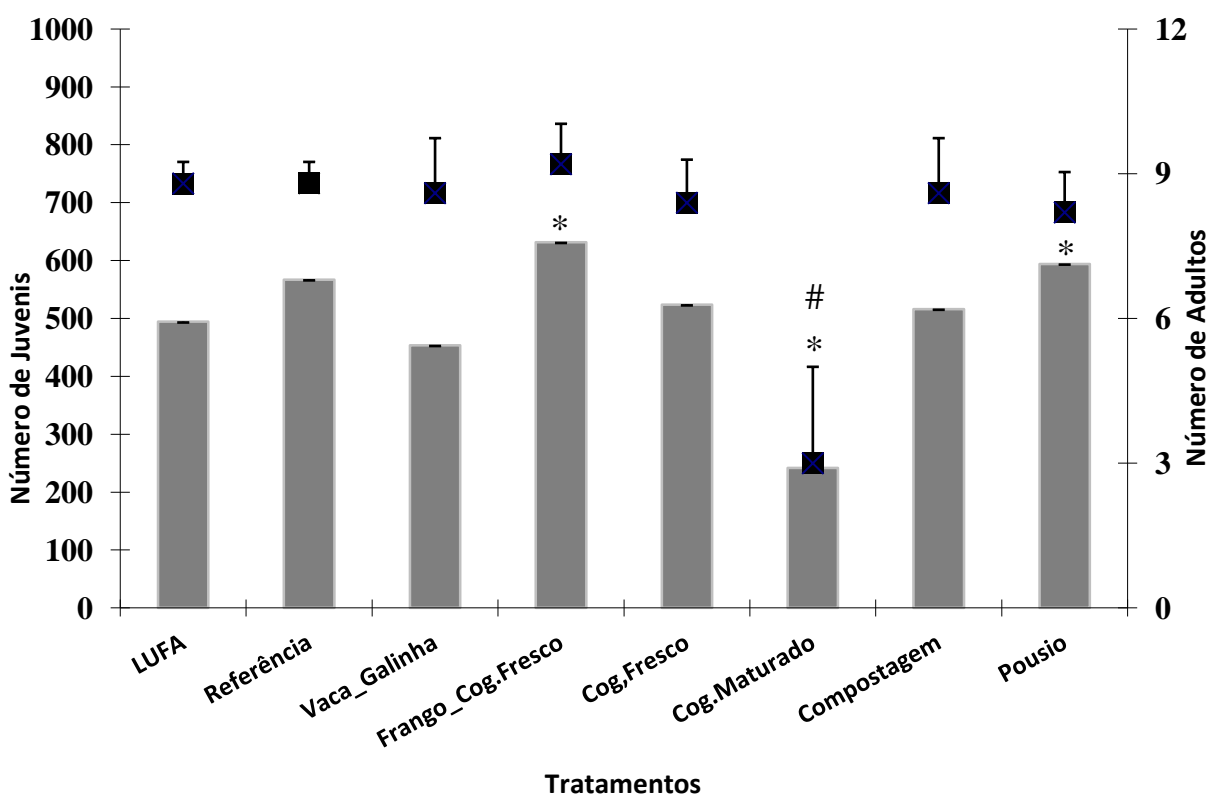


Figura 2.5. Número de juvenis (colunas, eixo Y lado esquerdo) e número de adultos (quadrados, eixo Y lado direito) de *Folsomia candida* após 28 dias de exposição (média ± desvio padrão).

* Indica diferenças estatísticas significativas (Teste de Dunnett; $p < 0.05$) no número de juvenis em relação ao controlo (solo LUFA).

Indica diferenças estatísticas significativas (Teste de Dunnett; $p < 0.05$) no número de adultos em relação ao controlo (solo LUFA).

2.4. Discussão

Características físicas e químicas do solo: valores de pH e teor em matéria orgânica

O solo do caminho e o solo LUFA 2.2 registaram os valores mais baixo (ácidos) de pH em relação ao solo onde foram aplicados os fertilizantes. Estudos apontam que a aplicação de quantidades elevadas de matéria orgânica (superior a 60 toneladas por hectare de fertilizantes orgânicos) provoca uma subida do pH do solo (Santos, 1996; Oliveira et al., 2009). No presente estudo verificou-se um aumento do pH em todas as amostras de solo com tratamento, onde foram aplicados fertilizantes orgânicos, quando comparadas com as amostras do solo do caminho. O mesmo foi observado nas amostras do solo de pousio.

O excesso de matéria orgânica incorporada no solo origina solos com pH alcalino, que têm uma maior propensão para a formação de amoníaco (Santos, 1996; Oliveira et al., 2009), uma forma de nitrogénio fitotóxica. Os solos nestas condições apresentam uma menor biodisponibilidade de fósforo e micronutrientes (Marschner, 1986; Masarirambi et al., 2012). Estes solos podem também apresentar modificações na sua estrutura, como a formação de uma crosta superficial (Ahmad et al., 2007; Rodrigues et al., 2011) que reduz a infiltração da água e a circulação do ar. Estes fatores interferem no desenvolvimento da cultura e estão diretamente relacionados com a redução no rendimento dos campos agrícolas (Marschner, 1986; Santos, 1996; Oliveira et al., 2009; Masarirambi et al., 2012).

Neste estudo, em ambas as culturas, o solo com V+G e o solo com LC apresentaram menor percentagem de matéria orgânica, no entanto, foi nestes solos que as plantas apresentaram um maior comprimento e peso fresco. Pelo contrário, os solos com substrato de cogumelo com percentagens de matéria orgânica mais elevadas apresentaram plantas com menor comprimento e peso fresco.

Em todas as amostras de solo os valores de pH do solo aumentaram relativamente aos registados inicialmente. Na origem deste aumento estará muito provavelmente a aplicação de fertilizantes orgânicos, que tem sido uma prática comum desde o início da produção do campo de estudo, há cerca de 10 anos. As adubações sucessivas com compostos orgânicos, caracterizados por apresentarem uma libertação mais lenta, gradual

e contínua de nutrientes do que os fertilizantes químicos (sintéticos), estimulam favoravelmente o crescimento radicular (Jasse et al., 2010), contribuindo não só para suprimir as necessidades nutricionais das plantas como também para garantir a fertilidade do solo durante vários anos (Muller et al., 2011). Neste contexto, o solo em pousio apesar de não ter tido aplicação direta de fertilizantes este ano, apresenta resíduos de fertilizantes aplicados anteriormente.

Parâmetros funcionais: atividade alimentar dos invertebrados do solo

A alteração na qualidade do solo, com a incorporação de fertilizantes no solo, afeta indiretamente os processos do solo, e assim, a comunidade de invertebrados edáficos (Bardgett & Wardle 2003). Alguns estudos referem que a quantidade da matéria orgânica (M.O.) disponível no solo pode influenciar a atividade alimentar dos organismos edáficos (Reinecke et al., 2002; Gongalsky et al., 2004), ao tornar os *bait-lamina* menos atrativos (Gongalsky et al., 2004). Existe, portanto, uma relação inversa entre o conteúdo de matéria orgânica do solo e a atividade alimentar registada nos *bait-lamina* (Geissen et al., 1999). Neste estudo verificou-se que o solo com maior teor em matéria orgânica, o solo com CF (2.1 %), foi o que registou menor atividade alimentar. O menor consumo dos *bait lamina* pelos organismos do solo pode ser justificado por este possuir maior disponibilidade de alimento. O solo com menor teor de matéria orgânica, solo com V+G (0.7 %), foi o que registou maior atividade alimentar, o que corrobora a bibliografia citada. No entanto, registou-se uma elevada atividade alimentar no solo com F+CF (1.7 %). Este facto pode estar relacionado com o estrume de frango possuir uma menor carga de nutrientes (aves jovens absorvem mais nutrientes) do que o estrume de galinhas, e o substrato de cogumelo fresco possuir mais material vegetal que demora mais a ser decomposto, o que diminui e retarda a libertação dos nutrientes no solo. Assim, o teor de matéria orgânica no solo, por si só não é suficiente para esclarecer a atividade alimentar dos organismos edáficos, uma vez que a M.O. nem sempre está disponível como fonte de alimento primordial para os organismos do solo, optando, nestes casos, os organismos por se alimentarem da mistura dos *bait lamina*s.

Parâmetros estruturais: Reprodução de Colêmbolos (*Folsomia candida*)

O solo com F+CF, com teor médio-alto de matéria orgânica, apresentou uma maior abundância de juvenis em relação aos outros tratamentos. A constituição deste fertilizante poderá ser indicativa de quais as quantidades necessárias de nutrientes para o desenvolvimento de *Folsomia candida*.

No solo com CM registou-se uma taxa de sobrevivência de adultos significativamente inferior e um menor número de juvenis em relação aos outros tratamentos o que comprova que a constituição do solo pode comprometer a reprodução e/ou desenvolvimento da espécie de colêmbolo *Folsomia candida*.

2.5. Conclusão

Em ambas as culturas, o solo com LC e o solo com V+G apresentaram um maior crescimento vegetativo (maior comprimento e peso fresco) bem como uma maior atividade alimentar dos organismos do solo em relação aos tratamentos com substrato de cogumelo. O solo com CM apresentou um menor crescimento vegetativo e baixa atividade alimentar. Neste contexto, o crescimento vegetativo aparenta estar relacionado com a atividade alimentar dos organismos do solo.

No teste de reprodução com *Folsomia candida* o solo com CM foi o que apresentou menor abundância de organismos (juvenis e adultos), desfavorável para a reprodução e/ou desenvolvimento de *Folsomia candida*.

A bateria de testes ecotoxicológicos utilizada e os indicadores selecionados permitiram concluir que a aplicação de determinados fertilizantes orgânicos influencia a prestação dos serviços de regulação, suporte e fornecimento de bens.

2.6. Referências Bibliografia

- Ahmad, N., Hassan, F. U. L., Qadir, G. (2007). Effect of Subsurface Soil Compaction and Improvement Measures on Soil Properties. *International journal of agriculture & biology* 9 (3): 509–513.
- Barrios E., 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64, 269-285.
- Blackshaw, R. E., Semach, G., Janzen, H. (2002). Fertilizer application method affects nitrogen uptake in weeds and wheat. *Weed Science*. 50(5):634-641.
- Brady, N. & R. Weil. (2002). *The Nature and Properties of Soils*, 13th Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 960 p.
- Crouau, Y., Gisclard, C., Perotti, P. (2002). The use of *Folsomia candida* (Collembola, Isotomidae) in bioassays of waste. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v.19, p.65-70.
- Filzek, P. D. B., Spurgeon, D.J., Broll, G., Svendsen, C., Hankard, P. K., Parekh N., Stubberud, H. E., Weeks, J. M. (2004). Metal Effects on soil invertebrate feeding: measurements using the bait-lamina method. *Ecotoxicology* 13, 807-816.
- Food and Agriculture Organization – FAO, *Soils Bulletin* 80, Alexandra Bot (2005). *The importance of soil organic matter*. Key to drought-resistant soil and sustained food production. Food and Agriculture Organization FAO (2012). Agricultural production, primary crops. (<http://www.faostat.fao.org>).

- Gongalsky, K. B., Pokarzhevskii, A. D., Filimonova, Z. V., & Savin, F. A. (2004). Stratification and dynamics of bait-lamina perforation in three forest soils along a north-south gradient in Russia. *Applied Soil Ecology*, 25(2), 111-122.
- Gonçalves, M. J. S., Baptista, M. (2001). Proposta de Norma Portuguesa Regulamentação sobre a Qualidade do composto para utilização na Agricultura. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva/ INIA, Lisboa.
- Geissen, V., & Brümmer, G. W. (1999). Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduous forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. *Biology and Fertility of Soils*, 29(4), 335-342.
- Hamel C., Schellenberg, P. M., Hanson, K., Wang H. (2007). Evaluation of the *bait-lamina* test to assess soil microfauna feeding activity in mixed grassland. *Applied Soil Biology* 36, 199-204
- Instituto Nacional de Estatística, INE (2012). Estatísticas Agrícolas 2011. Instituto Nacional de Estatística ISSN 0079-4139 ISBN 978-989-25-0155-0 Lisboa
- Isherwood, K. F. (2000). Mineral Fertilizer Use and the Environment, International Fertilizer Industry Association Revised edition. Paris.
- ISO 11267 (1998). Soil quality—inhibition of reproduction of *Collembola (Folsomia candida)* by soil pollutants. Inter. Stand. Org. Ed. Genève. 16 p.
- ISO 10390 (2005) Soil quality - Method for determination of pH using a glass electrode in a 1:5 (volume fraction) suspension of soil in water (pH in H₂O), in 1 mol/l potassium chloride solution (pH in KCl) or in 0,01 mol/l calcium chloride solution (pH in CaCl₂).

- Jasse, M. E. C., Souza, R. B., Resende, F. V., Grossi, A. C., Silva, P. S., Silva, G. P. P., Perin, J.E. (2010). Efeito residual da adubação com compostos orgânicos enriquecidos em nutrientes e com diferentes graus de decomposição no cultivo da alface em sistema orgânico. *Horticultura Brasileira* 28: 2942-2947.
- Kalsch, W., Junker, T., Römbke, J. (2006) A chronic plant test for the assessment of contaminated soils. Part 1: method development. *J Soils Sediments* 6:37–45
- Kikuchi, R. (1999). Application of coal ash to environmental improvement Transformation into zeolite, potassium fertilizer, and FGD absorbent, *Resources. Conservation and Recycling* 27:333– 346
- Kratz, W. (1998). The bait-lamina test: General aspects, applications and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 5(2), 94-96
- Larink, O., & Sommer, R. (2002). Influence of coated seeds on soil organisms tested with bait lamina. *European Journal of Soil Biology*, 38(3-4), 287-290.
- Løkke, H., van Gestel, C.A.M., 1998. *Handbook of Soil Invertebrate Toxicity Tests*. Wiley & Sons, Chichester.
- Malavolta, E., Vitti, G. C., Oliveira, A. S. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: Potafós. 231-305
- Marschner, H. (1986). *Mineral nutrition in higher plants*. Academic Press – Hacourt Brace Jovanovich Publishers, Londres.

Masarirambi MT, Dlamini PP, Wahome K, Oseni TO (2012). Effects of Chicken Manure on Growth, Yield and Quality of Lettuce (*Lactuca sativa L.*) 'Taina' Under a Lath House in a Semi-Arid Sub-Tropical Environment. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 12 (3): 399-406.

Ministério do Ambiente (1999). Relatório do Estado do Ambiente, Solos. 213-232p (<http://www.iambiente.pt/rea99/docs/27solos.pdf#search=%22necessidade%20de%20matéria%20organica%20nos%20solos%20portugueses%22>).

Muller, C., Laughlin, R. J., Christie, P., Watson, C. J. (2011). Effects of repeated fertilizer and cattle slurry applications over 38 years on N dynamics in a temperate grassland soil. *Soil Biology & Biochemistry* 43:1362-1371.

Oliveira, J., Vasconcelos, C., Costa, M., Cunha, M., Leandro, E., Russo, M. (2009). Quality evaluation of organic composts commercialized in the region of Entre Douro e Minho. *Revista de ciências agrárias* 285-297.

Raun, W. R., Solie, J.B., Johnson, G. V., Stone, M. L., Mullen, R. W., Freeman, K. W., Thomason, W. E., Lukina, E. V. (2002). Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereal Grain Production with Optical Sensing and Variable Rate Application *Agronomy Journal*. 94:815–820.

Rodrigues, P. N. F., Rolim, M. M., Neto, E. B., Costa, R. N. T., Pedrosa, E., M., R., Oliveira, V. S. (2011). Efeito do composto orgânico e compactação do solo no milho e nutrientes do solo. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental* 15 (8):788– 793.

Reinecke, A. J., Helling, B., Louw, K., Fourie, J., & Reinecke, S. A. (2002). The impact of different herbicides and cover crops on soil biological activity in vineyards in the Western Cape, South Africa. *Pedobiologia*, 46(5), 475-484.

- Sheldrick, W. F., Syers, J. K., Lingard, J. (2002). A conceptual model for conducting nutrient audits at national, regional, and global scales. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 62:61–72.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677.
- Santos, J. Q. (1996). Fertilização – Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos. Publicações Europa-America, Mem Martins, Portugal.
- Song, N. H., Yin, X. L., Chen, G. F., Yang, H. (2007) Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. *Chemosphere* 68:1779–1787

3. Avaliação dos efeitos da aplicação de diferentes fertilizantes na atividade dos organismos do solo, abundância de microartrópodes edáficos e na produtividade de um campo de produção de morangos

3.0. Resumo

Num campo agrícola de produção de morangos foram incorporados quatro fertilizantes orgânicos: estrume de vaca e estrume de galinha (V+G), estrume de frango e substrato de cogumelo fresco (F+CF), substrato de cogumelo fresco (CF), substrato de cogumelo maturado (CM). O solo dos camalhões foi desinfetado com Metame-Sódio à exceção de um camalhão do tratamento com V+G.

Os serviços de ecossistemas foram usados para avaliar o efeito dos fertilizantes orgânicos em três períodos de amostragem: Novembro de 2012, antes do plantio das mudas de morangueiro, Março de 2013, durante o crescimento das mudas e Julho de 2013, na colheita do morango. Em cada período de amostragem foi registada a atividade alimentar dos organismos edáficos (serviços de regulação), a abundância de microartrópodes, colêmbolos e ácaros, do solo (serviços de regulação) e a produtividade da cultura, número e peso de morangos colhidos (serviços de fornecimento de bens). Foram recolhidas amostras do solo de pinhal (usado como referência) e do solo em pousio. O solo com CF, em Março e Julho, foi o que registou menor atividade alimentar de todos os tratamentos (apesar de as diferenças não serem significativas); em Julho apresentou uma maior abundância de microartrópodes, um maior número de morangos colhidos (10 morangos por planta). O solo com F+CF apresentou em Julho uma maior atividade alimentar, mas teve menor abundância de microartrópodes e um menor número de morangos (6 morangos por planta), apesar destes apresentarem um maior peso por unidade (38,7 g), em relação aos outros tratamentos.

No tratamento com V+G o efeito do desinfetante Metame-Sódio foi avaliado, ao longo dos três períodos de amostragem. Em Novembro, na zona não desinfetada, a atividade alimentar dos organismos do solo foi superior (32%) e a abundância de microartrópodes foi mais do dobro (109%) em relação à zona desinfetada. A produtividade da cultura foi menor no solo não desinfetado.

3.1. Introdução

O aumento da população mundial levou à procura crescente de alimentos, havendo a necessidade de melhorar e aumentar as áreas de produção. No entanto, e apesar da intensificação da agricultura, ainda não foi possível suprir a demanda de alimentos no mundo (Kimani & Lekasi, 2004; FAO, 2011).

A intensificação da agricultura diminui a fertilidade do solo, alterando o ciclo de reposição natural de nutrientes, o que leva a uma diminuição nos níveis de nutrientes, e a um decréscimo da produtividade das explorações agrícolas (Stoorvogel et al., 1993). A aplicação de fertilizantes no solo, nas explorações agrícolas com baixa produtividade, é um dos métodos mais utilizados para repor os nutrientes do solo e aumentar o teor em matéria orgânica do solo, o que resulta frequentemente num aumento da produtividade.

A fertilidade do solo tornou-se um assunto de grande importância para a pesquisa e desenvolvimento da agricultura (Bationo et al., 2006). A fertilidade não depende unicamente da disponibilidade de nutrientes, mas é o resultado da combinação de fatores físicos, químicos e biológicos que em conjunto são capazes de criar as condições adequadas para a absorção de nutrientes no sistema solo-planta que determinam a capacidade produtiva do solo. A matéria orgânica interfere com todos esses fatores, sendo considerada fundamental para a manutenção da qualidade do solo. Do ponto de vista físico atua como elemento estabilizador da estrutura do solo, ao mesmo tempo que cria resistência à erosão, reduz a plasticidade e a coesão, aumenta a capacidade de retenção de água e a aeração, permitindo maior penetração e distribuição das raízes no solo. Quimicamente é a principal fonte de macro e micronutrientes essenciais às plantas, além de atuar indiretamente na disponibilidade dos mesmos. O teor em matéria orgânica leva ao aumento do pH do solo, o que favorece a capacidade de retenção dos nutrientes. Do ponto de vista biológico aumenta a atividade do solo, por ser uma fonte de nutrientes para a comunidade de organismos edáficos (Ministério do Ambiente, 1999; Gonçalves et al., 2001).

Os serviços dos ecossistemas estão divididos em quatro categorias (MA, 2007): serviço de fornecimento de bens, serviços de regulação, serviços culturais e serviços de

suporte e resultam das interações entre componentes bióticos (organismos vivos) e abióticos (químicos e físicos) dos ecossistemas, que satisfazem direta ou indiretamente as necessidades humanas (De Groot et al., 2002).

A expansão e intensificação da agricultura com o objetivo de aumentar a produção de alimentos, acarretou alterações dos ecossistemas naturais o que conduziu a uma mudança na capacidade dos ecossistemas fornecerem os seus serviços (Kremen, 2005; Naeem & Li, 1997). No entanto, uma adequada gestão agrícola, aumentará a produtividade, bem como a um aumento de recursos para algumas espécies (Söderström et al., 2001). A aplicação de fertilizantes orgânicos no solo pode ter um efeito benéfico para a fauna do solo, uma vez que a incorporação de nutrientes no solo representa uma fonte alimentar adicional para estes organismos (Bengtsson et al., 2005; Nakamoto, 2006).

O morango (*Fragaria ananassa* Duch) é um dos frutos mais consumidos em todo mundo, sendo produzido em várias regiões do mundo, com maior predominância nas regiões temperadas do Hemisfério Norte (Palha, 2007). A Europa produz cerca de 40% do volume mundial de morango, destacando-se como principais produtores a Espanha e a Polónia. Em Portugal o morango é produzido praticamente durante todo o ano, e a cultura ocupa uma área de cerca de 550 hectares, o que dá origem a uma produção anual superior a 12 000 toneladas. As regiões com maior produção são o Algarve, o Ribatejo e o Alentejo. O período de maior produção é a Primavera, de Abril a Junho (OMAIIAA, 2006, Palha, 2007).

Este trabalho foi realizado com objetivo de avaliar os serviços dos ecossistemas de um campo de produção de morangos. Teve como intenção determinar o efeito dos fertilizantes orgânicos, utilizando como indicadores: a produtividade da cultura (serviços de fornecimento de bens), a abundância de microartrópodes (serviços de regulação), a atividade alimentar dos organismos edáficos (serviços de suporte), o teor de matéria orgânica e pH do solo (serviços de suporte), em três períodos de amostragem: antes da plantação das mudas (Novembro 2012), durante o crescimento das plantas (Março, 2013) e na frutificação (Julho, 2013).

3.2. Metodologia

3.2.1. Descrição e localização geográfica da área de estudo

A unidade agrícola de produção de morangos está localizada no cordão dunar litoral de Mira (Centro de Portugal), composto por dunas secundárias desarborizadas, com forma fixa e bem estabilizada, formando uma planície de substrato arenoso de textura fina. O meio envolvente possui um povoamento vegetal de resinosas, onde aparecem arbustos de porte variado e alterado pela exposição aos ventos marítimos, como o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) e o samouco (*Myrica faya*), invasoras pertencentes ao género *Acacia* e herbáceas que no seu conjunto comumente se designa zona de mato ou pinhal (Figura 3.1. Campo II - Parcela 7).

A área de estudo possui cerca de 40 hectares, divididos em dois campos parcelados, onde se localiza a produção de morangos. Possui uma pequena lagoa artificial abastecida por linhas secundárias do lençol freático superficial de água doce à qual está ligado o sistema de fertirrega (Figura 3.1).



Figura 3.1. Fotografia, vista panorâmica da área em estudo:

Local de estudo: Campo de Produção I e Campo de Produção II

Parcelas / Local de Amostragem: 1, 2, 3, 4 e 7

○ Lagoa artificial para abastecer o sistema de (fertir)rega

3.2.2. Desenho Experimental: Tratamentos e Plantas

Na área de estudo, as parcelas 1, 2, 3, foi aplicado desinfetante Metame-Sódio. Nestas parcelas foram aplicados quatro tipos diferentes de fertilizantes orgânicos (1.2, 3.1, 3.2); o solo da parcela 1.1 representa o único camalhão onde não foi aplicado desinfetante, o solo da parcela 4 representa o solo em pousio, sem aplicação de fertilizantes no último ano, e a zona de amostragem 7 representa o solo do pinhal. Nas parcelas do campo agrícola foram cultivadas quatro variedades de morangos: San Andreas (225 000 plantas), Camarosa (145 000 plantas), Antilla (40 000 plantas) e Sabrina (40 000 plantas) (Figura 3.2).

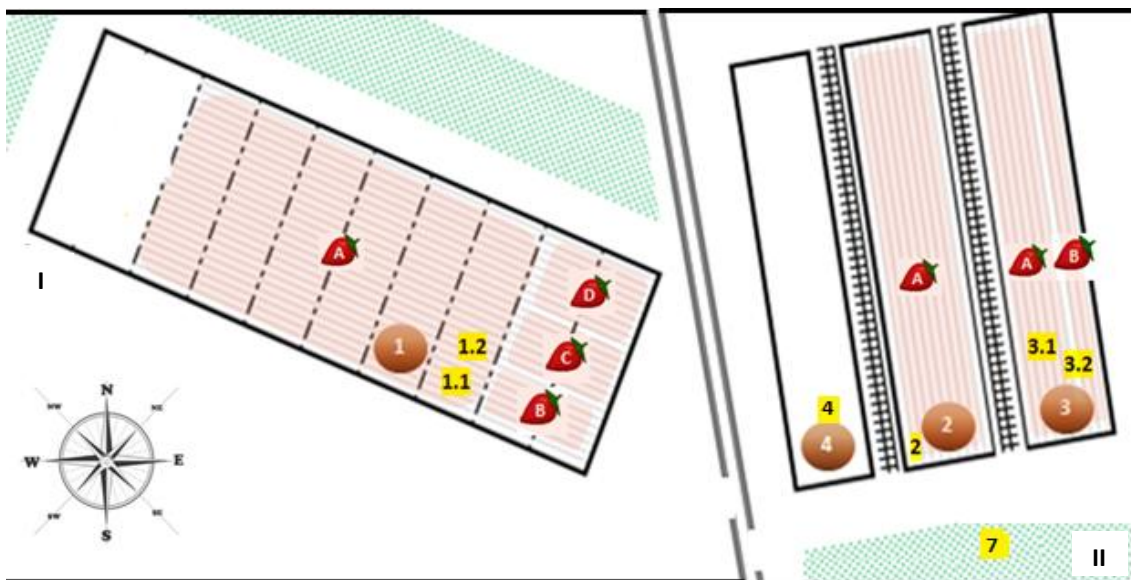


Figura 3.2. Esquema do local de estudo: Campo de Produção I e Campo de Produção II.

Legenda:

Parcelas 1; 2; 3; 4	Camalhão	Variedades de Morangos (área)
Local de Amostragem	Pinhal	A. San Andreas (18.5 ha)
	Estrada	B. Camarosa (12 ha)
	Vegetação	C. Sabrina (3.25 ha)
	Caminho	D. Antilla (3.25 ha)

1.1. solo com estrume de vaca e estrume de galinha (Não Desinfetado)

1.2. solo com estrume de vaca e estrume de galinha (Desinfetado)

2. solo com estrume de frango e substrato de cogumelo fresco

3.1. solo com substrato de cogumelo fresco

3.2. solo com substrato de cogumelo maturado

4. solo em pousio (sem aplicação de fertilizante no último ano)

7. solo pinhal

A variedade de morangos escolhida para este estudo foi a San Andreas, por ser a variedade com maior área de produção, a mais recente e a que irá substituir, nos próximos anos, a área atualmente cultivada com as variedades Camarosa, Sabrina e Antilla.

Os fertilizantes orgânicos foram incorporados no solo com um trator. Um mês após a aplicação dos fertilizantes, o solo foi novamente movimentado, também com o auxílio de um trator, e disposto em camalhões (Figura 3.3 – A). Os camalhões são porções salientes de solo com uma altura de 40 cm, largura de 70 cm e extensão variável, cobertas por um plástico negro (Figura 3.3 - B).



Figura 3.3. A) Fotografia da colocação dos camalhões com a ajuda de um trator, Novembro 2012.
B) Fotografia dos camalhões, antes da plantação, Novembro de 2012.

Ao mesmo tempo que o solo foi coberto com o plástico foi instalado a tubagem do sistema de fertirrega, entre o plástico e o solo, por onde foi aplicado o desinfetante Metame-Sódio, numa quantidade de 800 litros por hectare, para esterilização geral do solo. O Metame-Sódio com atividade fungicida, inseticida, nematocida e herbicida foi aplicado em todos os camalhões com a exceção de um camalhão de solo com V+G (tratamento 1.1).

Para cada local de amostragem delimitaram-se quatro zonas de amostragem (réplicas). Deste modo as zonas de amostragem estão localizadas em quatro camalhões, tendo cada camalhão uma zona de amostragem (Figura 3.4 – B). Apenas no tratamento 1.1, camalhão onde não foi aplicado Metame-Sódio (solo não desinfetado), no mesmo camalhão estão localizadas as quatro zonas de amostragem (Figura 3.4 - A).

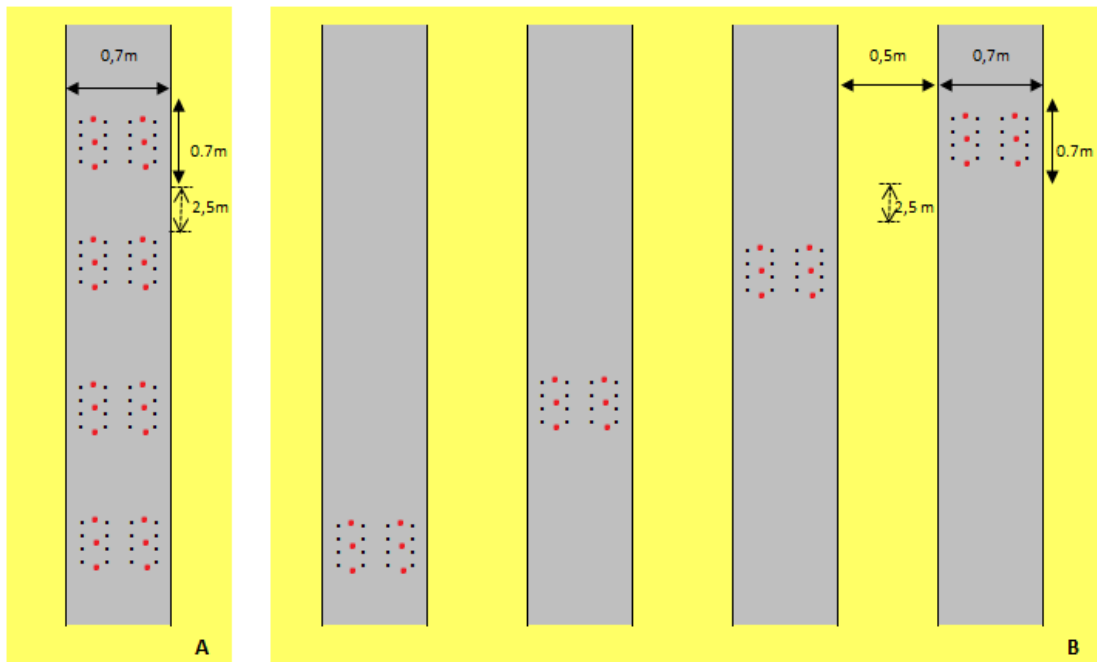


Figura 3.4. Esquema da zona de amostragem para cada tratamento.

A. Tratamento 1.1

● Morangueiro variedade San Andreas

B. Tratamentos: 1.2; 2; 3.1; 3.2

● *Bait Lamina*

▭ Zona de Amostragem: Camalhão

No plástico dos camalhões foram feitas aberturas, em duas linhas paralelas, ao longo de cada camalhão. Nessas aberturas plantou-se as mudas de morangueiro, em cima do plástico, dispostas com um compasso de 35 cm. Cada zona de amostragem (réplica) era composta por 6 mudas (3x3) da variedade San Andreas (Figura 3.5). As plantas de morangueiro cresceram e desenvolveram frutos acima do plástico do camalhão, o que diminui os riscos de pragas e podridão durante o crescimento e frutificação da planta.



Figura 3.5. Fotografias da zona de amostragem dispostas no Camalhão.

Cada réplica é composta por uma área de $0,49 \text{ m}^2$ com seis mudas de morangueiro.

O morangueiro é uma planta herbácea, perene e rasteira, pertencente à família Rosaceae, do género *Fragaria*. Há mais de 20 espécies do género *Fragaria*, sendo a mais cultivada atualmente, e portanto com maior importância comercial, a *Fragaria ananassa* Duchesse, um híbrido resultante do cruzamento entre espécies silvestres, *F. chiloensis* e *F. virginiana*, ambas nativas do continente sul-Americano.

As variedades de mudas de morango existentes no mercado são o resultado de um melhoramento genético da planta *Fragaria ananassa*, que permite uma maior amplitude de adaptação e qualidade do morango para comercialização.

A cultura do morango é feita com mudas da planta e renovada anualmente devido principalmente a questões fitossanitárias e fisiológicas da planta.

3.2.3. Procedimento experimental

O procedimento experimental foi realizado em três períodos:

1ª) Após a incorporação de fertilizantes orgânicos ao solo, a estruturação do solo em camalhões e desinfecção do solo; antes do transplante das mudas de morangueiro (Novembro 2012);

2ª) Durante o desenvolvimento e crescimento do morangueiro (Março 2013);

3ª) Na Frutificação – início da colheita (Julho 2013)

3.2.4. Medição do pH e matéria orgânica do solo

O pH do solo foi medido através do método eletrométrico (ISO, 2005) e o teor em matéria orgânica do solo foi calculado utilizando o método de gravimetria por incineração em *muflo* em cada um dos períodos de amostragem do estudo, em Novembro de 2012, Março de 2013 e Julho de 2013.

3.2.5. Método *bait-lamina*

Em cada área de amostragem (réplica) foram colocados 16 *bait-lamina*, num total de 64 *bait-lamina* por zona de amostragem. Os *bait lamina* são tiras de cloreto de polivinil (PVC), com 16 cm de comprimento, compostas por 16 orifícios preenchidos com uma mistura homogênea de celulose, aveia e carvão ativado, na proporção de 70:27:3. Os *bait-lamina* foram inseridos verticalmente no solo ficando a mistura disponível para as comunidades de organismos que vivem no solo.

Foram amostradas quatro réplicas por zona de amostragem, com 2.5 m de distância entre réplicas. Em cada réplica aplicaram-se 16 *bait-lamina*, numa disposição retangular 4x4, no solos com fertilizantes foram colocadas em cima do camalhão (Figura 3.6 – A). No solo do pinhal e no solo do pousio, os *bait lamina* foram colocados diretamente sobre o solo (Figura 3.6 - B).

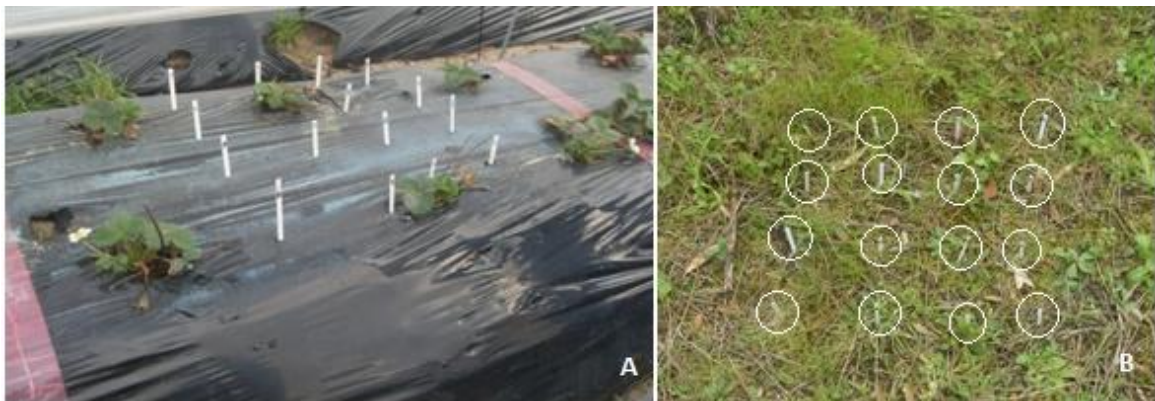


Figura 3.6. *Bait lamina* dispostos nas zonas de amostragem do estudo.

A. Solo com fertilizantes: *bait-lamina* aplicados no camalhão

B. Solo sem fertilizantes: *bait-lamina* aplicados diretamente no solo

Nos sete locais de amostragem, foi registada a atividade dos invertebrados do solo. Após 14 dias de exposição, os *bait-lamina* foram retirados do solo, fazendo-se a contagem do número de orifícios consumidos (vazios).

3.2.6. Método Macfadyen

3.2.6.1. Pré-teste para avaliar o potencial de extração

Previamente às recolhas no campo, foi realizado um pré-teste com solo do campo de morangos de forma a avaliar o potencial de recolha de microartrópodes com o aparelho Macfadyen. O solo foi recolhido de um local sem aplicação de fertilizante - solo do caminho. As amostras de solo foram recolhidas em cinco tubos de PVC, com 7 cm de diâmetro e 10 cm de altura. De seguida o solo foi transportado, para o laboratório e colocado numa estufa a 50 °C, durante 24 h, para defaunar o solo.

Para realizar o pré-teste foram introduzidos 20 colêmbolos da espécie *Folsomia candida* (10 juvenis e 10 adultos) em cada um dos tubos de PVC. Colocou-se cada tubo dentro do recipiente do Macfadyen. Programou-se o Macfadyen durante um período de 72 horas dividido em 5 ciclos de temperatura: 25 °C (12h); 30 °C (12h); 35 °C (12h); 40 °C (24h), até ser atingida a temperatura final de 50 °C (12h).

No final contou-se o número de colêmbolos extraídos no frasco de recolha, com ácido benzoico. Desta forma foi possível avaliar a capacidade de extração do aparelho com o solo do campo de morangos, ou seja, o número total de colêmbolos recuperados.

3.2.6.2. Amostragem de solo no campo

Em cada um dos sete locais de amostragem, foram recolhidas quatro amostras de solo (réplicas) com tubos de PVC. Colocadas no recipiente de Macfadyen, foram transportadas, num tabuleiro, para o laboratório, e foram introduzidas na câmara Macfadyen. No total, 28 amostras de solo recolhidas nos sete locais de amostragem foram introduzidas na câmara.

O aparelho foi programado para um período de 72 horas, dividido em cinco ciclos de temperatura: as amostras ficam sujeitas a uma temperatura inicial de 25 °C (12h); seguindo-se ciclos de de 30 °C (12h); 35 °C (12h); 40 °C (24h) até ser atingida a temperatura final de 50 °C (12h).

Passados três dias retiraram-se os frascos de recolha da zona inferior da câmara Macfadyen. Os invertebrados contidos nos frascos foram transferidos para um vidro de relógio com álcool a 70%. Efetuou-se a contagem dos organismos através de uma lupa, registando-se o número de microartrópoes em cada local de amostragem.

3.2.7. Produtividade da Cultura

Nos dois primeiros meses de frutificação (de 28 de Março a 28 de Junho) foi registado, em cada tratamento com fertilizante, o número e o peso dos frutos por planta. Cada local de amostragem (réplica) continha seis plantas de morangueiro. A pesagem dos morangos foi realizada individualmente, no período da manhã, imediatamente após a colheita, usando um balança digital (Figura 3.7).



Figura 3.7. Pesagem e contagem de morangos no campo, logo após a colheita.

No primeiro mês realizou-se a apanha dos frutos uma vez por semana. No decorrer do segundo mês de colheita passou a realizar-se a apanha dos frutos duas vezes por semana. No total, foram realizadas 12 colheitas de morango, ao longo de 8 semanas.

Acompanhou-se o desenvolvimento de 24 plantas de morangueiro por tratamento, num total de 120 plantas de morangueiro.

3.2.8. Análise estatística

Os dados obtidos nos diferentes tratamentos foram comparados usando uma análise de variância de uma via (ANOVA). A comparação da atividade alimentar dos invertebrados do solo (*bait lamina*) e da abundância da comunidade de invertebrados do solo (Macfadyen) nos diferentes tratamentos com o controle (solo do pinhal) foi feita através do teste de *Dunnett*, com um nível de significância de 5 %. Os tratamentos com aplicação de fertilizantes foram comparados entre si utilizando o Teste de *Tukey*, também com um nível de significância de 5 %. A análise comparativa da produtividade da cultura (quantidade e peso dos morangos) nos diferentes camalhões foi feita através do Teste de *Tukey*, com um nível de significância de 5 %.

Para analisar o efeito da desinfecção do solo no tratamento com estrume de vaca e estrume de galinha, utilizou-se o Teste t (Student test), com um nível de significância de 5 %.

Para as diferentes análises estatísticas usou-se o pacote de *software* SigmaPlot 11.0.

3.3. Resultados

3.3.1. Valores de pH e percentagem de matéria orgânica no solo

Os valores de pH das amostras de solo mantiveram-se estáveis durante o período de estudo (Tabela 3).

Relativamente ao teor de matéria orgânica no solo, em Novembro e Julho os tratamentos que apresentaram uma maior percentagem de matéria orgânica foram os tratamentos com CF (2.1 e 0.4%), com F+CF (1.7 e 0.4%). O tratamento com V+G foi o que apresentou menor percentagem de matéria orgânica (0.7 e 0.2%), seguido pelo tratamento com CM (1.2 e 0.3%). O pousio apresentou teores de matéria orgânica muito baixos (0.5 e 0.4%), pelo contrário, o solo do pinhal apresentou um alto teor de matéria orgânica (1.7 e 0.7%). Os valores de matéria orgânica decresceram ao longo da cultura.

Em Julho, o solo dos tratamentos e do pinhal apresentaram valores muito inferiores, menos de metade dos valores registados no início do estudo. No solo em pousio a variação no teor de matéria orgânica não foi significativa (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Valores de pH (H₂O) e percentagem de matéria orgânica em Novembro 2012 (início da cultura), em Março, período de crescimento do morangueiro e em Julho 2013, período de colheita dos morangos.

Tratamentos	pH (H ₂ O)			% Matéria Orgânica		
	Nov.	Mar.	Jul.	Nov.	Mar.	Jul.
Vaca_Galinha (VG)	7.3	7.5	7.4	1	0.9	0.3
Vaca_Galinha (VG_ND)	7.1	7.2	7.3	0.7	0.5	0.2
Frango_Cog. Fresco (F+CF)	7.7	7.7	7.5	1.7	1.4	0.4
Cog.Fresco (CF)	7.4	7.7	7.6	2.1	1.8	0.4
Cog.Maturado (CM)	7.9	7.7	7.6	1.2	1.0	0.3
Pousio	7.5	7.6	7.6	0.5	0.4	0.4
Pinhal	7.2	7.0	6.7	1.7	1.2	0.7

3.3.2. *Bait-Lamina* – atividade alimentar dos organismos do solo

A análise de variância mostrou diferenças significativas na atividade dos organismos do solo nos três períodos de amostragem

O teste de *Dunnett* efetuado com os dados obtidos na amostragem de Novembro mostrou diferenças estatísticas significativas em relação ao controlo (pinhal) para os tratamentos com F+CF, com CF e com CM. Todos estes tratamentos apresentaram médias inferiores relativamente ao controlo.

Em Março observaram-se diferenças significativas em todos os tratamentos relativamente ao controlo, sendo que todos os tratamentos apresentaram médias superiores ao controlo.

Em Julho, todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas em relação ao controlo, com exceção do tratamento com F+CF. Todos os tratamentos com diferenças significativas apresentaram médias inferiores no que concerne à percentagem de orifícios vazios (Figura 3.8).

O teste de *Tukey* permitiu comparar entre si os quatro tratamentos com fertilizantes. Apenas no período de Março não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com fertilizantes.

Em Novembro, o V+G, foi o tratamento que mostrou maior atividade alimentar, com uma percentagem média de consumo significativamente superior aos outros tratamentos.

Em Julho 2013, o fertilizante com F+CF, foi o tratamento que mostrou maior atividade, com uma percentagem média de consumo significativamente superior aos outros tratamentos.

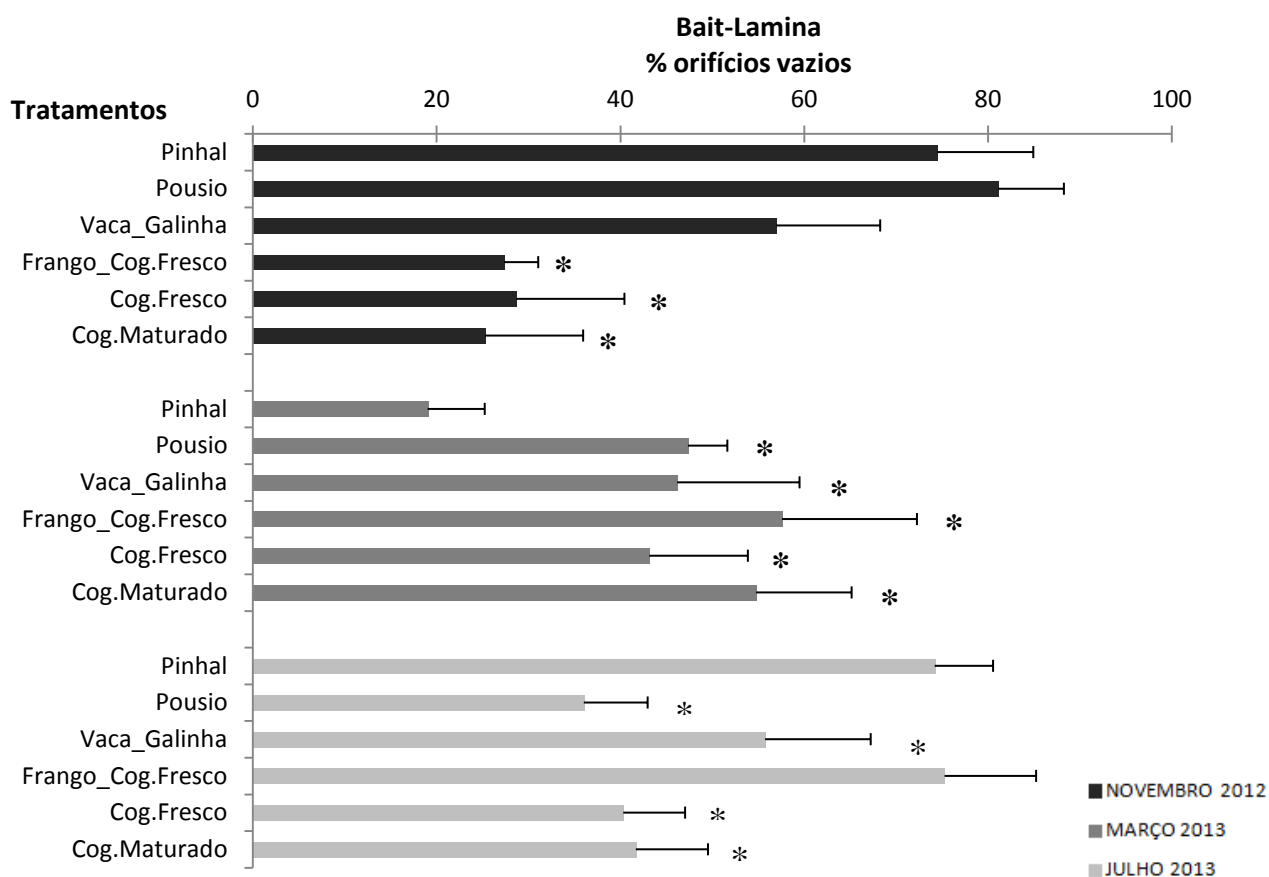


Figura 3.8. Percentagem de orifícios vazios dos *bait-lamina* (média com desvio padrão), ao fim de 14 dias de exposição, nos três períodos de amostragem (Novembro de 2012, Março de 2013 e Julho de 2013).

* Indica diferenças significativas (Teste de Dunnett; $p < 0.05$) relativamente ao controlo (Pinhal).

3.3.3. Macfadyen – abundância de microfauna edáfica

No pré-teste para avaliar o potencial de extração do Macfadyen registou-se uma percentagem média de 75% de organismos adultos e juvenis extraídos.

A análise de variância apenas mostrou no período de amostragem de Novembro de 2012 diferenças significativas na abundância de organismos presentes no solo.

O teste de *Dunnett* para os dados de Novembro mostrou diferenças estatísticas significativas entre todos os tratamentos relativamente ao controlo (Pinhal). O tratamento sem aplicação de fertilizante este ano (solo em pousio) e os tratamentos com fertilizantes apresentaram uma abundância de organismos do solo significativamente inferior à do controlo (Figura 3.9).

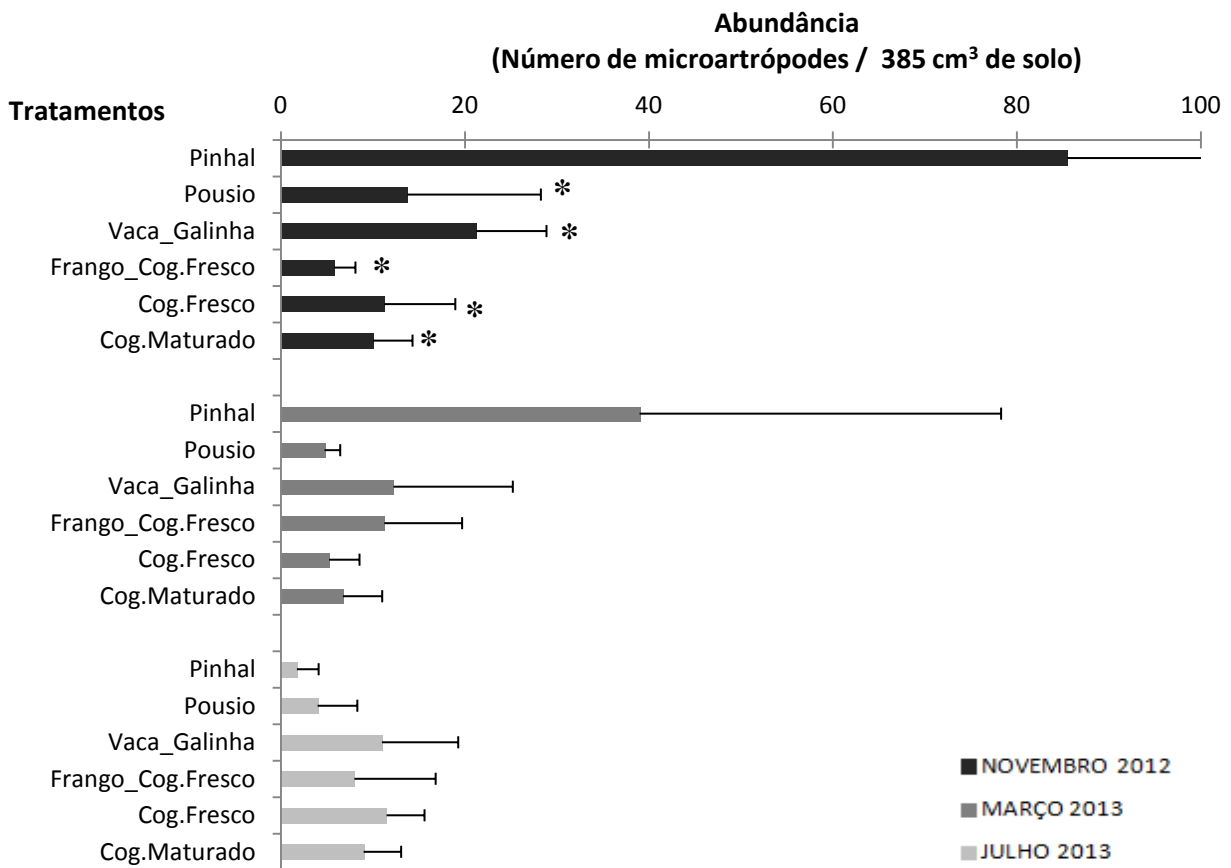


Figura 3.9. Abundância de microartrópodes (média com desvio padrão) extraídos no Macfadyen, em 385 cm³ de solo, por local de amostragem.

* Indica diferenças estatísticas significativas (Teste de Dunnett; $p < 0.05$) relativamente ao controlo (Pinhal), em cada período de amostragem (Novembro 2012, Março 2013, Julho 2013).

Em Novembro, de acordo com o teste de *Tukey*, apenas se observaram diferenças significativas entre o tratamento com V+G e o tratamento com F+CF, tendo o primeiro apresentado uma maior abundância de microartrópodes.

3.3.4. Produtividade da cultura

A análise de variância (ANOVA) mostrou diferenças significativas na quantidade (número) e peso (gramas) de morangos colhidos entre os diferentes tratamentos.

O teste de *Tukey*, em relação à quantidade de morangos, mostrou diferenças significativas apenas entre o tratamento com F+CF, onde se obteve o menor número de morangos colhidos por planta (6) e o tratamento com CF, onde foi obtido o maior número de morangos produzidos por planta (10). (Tabela 3.2 e Figura 3.10).

Quanto ao peso total dos morangos por planta, não se registaram diferenças significativas entre os tratamentos. Apesar do tratamento com F+CF apresentar um menor número de morangos colhidos (6 morangos por planta), o peso médio de cada morango produzido por planta foi estatisticamente superior (36.6 g) ao peso médio dos morangos produzidos por planta nos restantes tratamentos (Tabela 3.2 e Figura 3.10).

Tabela 3.2. Dados da colheita de morangos, no período de 2 meses, em 12 colheitas. Letras diferentes indicam diferenças significativas (Teste de Tukey; $p < 0.05$) entre os tratamentos.

Tratamentos	Por Tratamento (= 24 Plantas)		Por Planta		
	Nº Morangos	Peso (g) Morangos	Nº Morangos	Peso (g) Morangos	Peso (g) Morango
Vaca_Galinha	224 (ab)	5260	9 (ab)	219	24,3 (A)
Frango_Cog.Fresco	152 (a)	5575	6 (a)	232	38,7 (B)
Cog.Fresco	236 (b)	5930	10 (b)	247	24,7 (A)
Cog.Maturado	198 (ab)	4823	8 (ab)	201	25,1 (A)

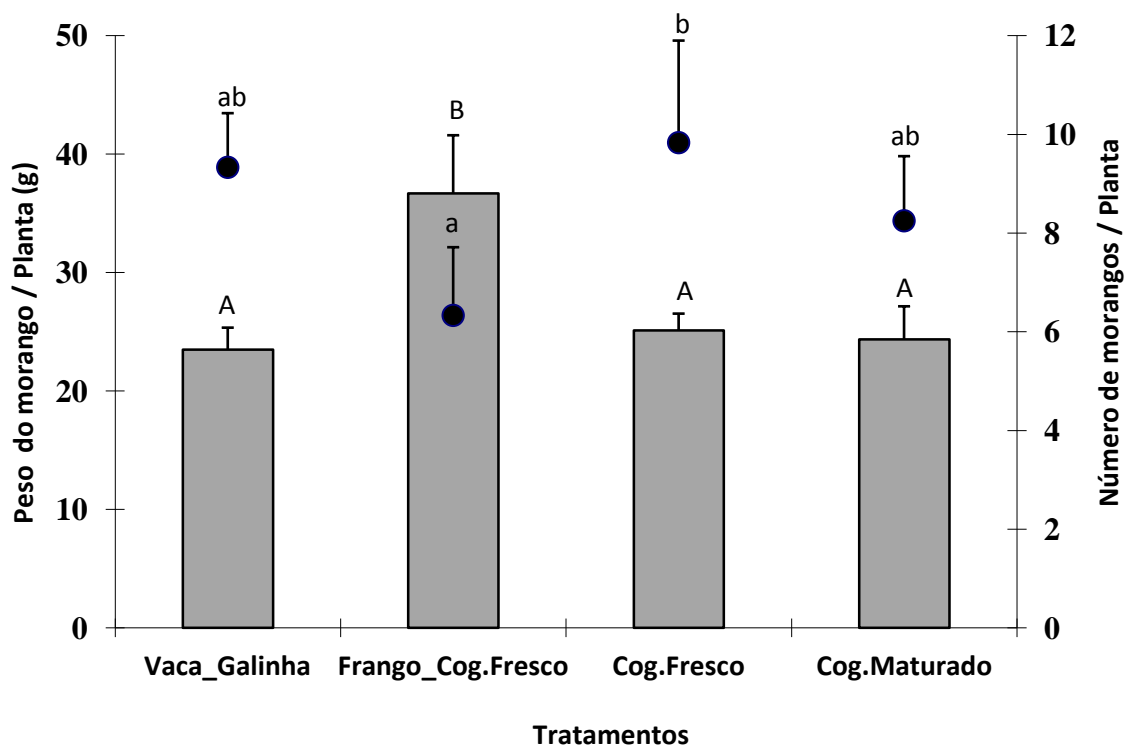


Figura 3.10. Peso médio dos morangos (colunas) e Número de morangos (pontos) produzidos / colhidos por planta (média com desvio padrão) em cada tratamento. Letras maiúsculas / minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos (Teste de Tukey, $p < 0.05$).

3.3.5 Avaliação dos efeitos da desinfecção do solo no desempenho do tratamento com estrume de vaca e estrume de galinha

O tratamento com V+G foi dividido em duas zonas, de acordo com aplicação ou não aplicação de desinfetante. Assim, num camalhão o solo não foi desinfetado, enquanto nos restantes camalhões foi aplicado ao solo, por fertirrega.

O teste t (student test) demonstrou diferenças significativas na atividade alimentar e abundância dos organismos do solo apenas para o período de Novembro entre os camalhões desinfetados e o camalhão não desinfetado. Registou-se uma maior percentagem de orifícios vazios - maior atividade alimentar (32%) e mais do dobro da abundância de microartrópodes (109%) na zona não desinfetada em relação à zona desinfetada.

Em Março não houve diferenças significativas quer no consumo dos *bait-lamina* quer na abundância de invertebrados. No que diz respeito à atividade alimentar (*bait-lamina*) apesar de não ser estatisticamente significativo pôde observar-se que a zona não desinfetada apresentou uma percentagem ligeiramente superior de orifícios vazios (+ 8%) em relação à zona desinfetada, ao contrário do que acontece com a abundância de microartrópodes que é inferior (- 12%) na zona não desinfetada em relação à zona desinfetada (Figura 4.4).

No período de Julho, tanto na atividade alimentar como na abundância de microartrópodes no solo não se verificaram diferenças estatísticas entre a zona não desinfetada e a zona desinfetada. Apesar de não haver diferenças significativas, devido à grande variabilidade dos dados registados, registou-se metade de atividade alimentar (- 46%) na zona não desinfetada em relação à zona desinfetada. Também a abundância de invertebrados no solo foi muito inferior na zona não desinfetada, a qual teve uma redução de 86% no número de microartrópodes presentes no solo em relação à zona desinfetada – (Figura 3.4).

Quanto à produtividade da cultura (número e peso dos morangos colhidos), verificaram-se diferenças significativas entre as plantas dos camalhões em que o solo foi desinfetado e as plantas do camalhão não desinfetado. O solo desinfetado produziu uma maior quantidade (número) e peso de morangos comparadas com as plantas do solo não desinfetado. Observou-se uma percentagem significativamente inferior na quantidade (35%) e no peso (40%) de morangos colhidos no camalhão não desinfetado em relação aos camalhões em que o solo foi desinfetado (Figura 3.11).

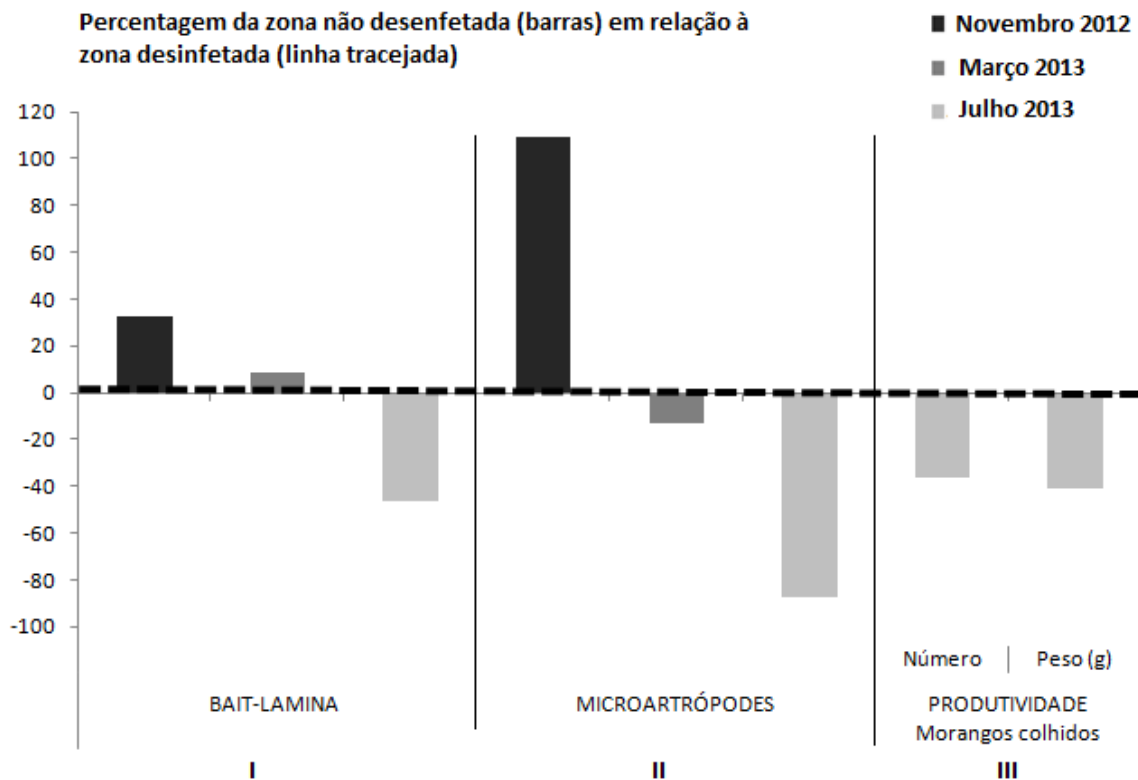


Figura 3.11. Percentagem de orifícios vazios (*bait-lamina*), abundância de microartrópodes e produtividade de morangos do camalhão com estrume de vaca e estrume de galinha não desinfetado em relação aos camalhões com estrume de vaca e estrume de galinha desinfetados, nos três tempos de amostragem: Novembro 2012, Março 2013 e Julho 2013.

- (I) Atividade alimentar ao fim de 14 dias de exposição dos *Bait-Lamina*;
- (II) Abundância de microartrópodes do solo, extraídos no Macfadyen;
- (III) Número e peso médio de morangos, colhidos por planta.

3.4. Discussão

Nas diferentes amostras de solo recolhidas do campo de morangos (solos com aplicação de fertilizantes, solo em pousio e solo do pinhal) registaram-se valores de pH semelhantes no início e no final do estudo logo não foram adequados para avaliar os efeitos da aplicação de diferentes fertilizantes ao longo dos períodos de amostragem.

O teor de matéria orgânica no solo, no final da amostragem (Julho 2013) foi muito inferior ao registado no início (Novembro 2012). Em Julho o solo com fertilizantes tinha entre ente 19% e 30% da matéria orgânica a menos que no início (Novembro), o solo em

pousio tinha 80% a menos de matéria orgânica inicial e o solo do pinhal possui 59% da matéria orgânica registada em Novembro. O decréscimo de matéria orgânica nas amostras de solo com fertilizantes (camalhões), onde decorreu a plantação de morangueiro, deve-se à relação solo-planta, uma vez que as plantas absorvem micro e macronutrientes do solo, para crescerem e frutificarem. A incorporação de compostos orgânicos (fertilizantes) serve para suprimir as necessidades nutricionais das plantas, promover o restabelecimento dos ciclos biológicos dos nutrientes, contribuindo para manter e/ou aumentar a fertilidade do solo (Jasse et al., 2010).

Em Novembro, o tratamento com V+G apresentou uma percentagem de atividade alimentar e abundância de microartrópodes mais elevadas em relação aos outros tratamentos. O baixo teor de matéria orgânica presente no solo com V+G (0.7%) pode ter estimulado o consumo dos *bait-lamina*, representando a mistura nos *bait-lamina* uma fonte direta de alimento para os organismos do solo (Reinecke et al., 2002; Gongalsky et al., 2004). A elevada presença de microartrópodes também poderá estar na origem do aumento da atividade alimentar. Por sua vez, a elevada abundância de microartrópodes pode estar relacionada com elevada quantidade de matéria orgânica incorporada no solo (135T/ha), uma vez que este é um material rico em microorganismos e favorável ao desenvolvimento de microartrópodes.

No solo do pinhal e no solo em pousio a taxa de consumo de *bait-lamina* e a abundância de microartrópodes decresce entre Novembro e Julho, à exceção do pinhal que em Julho apresentou um pico de atividade alimentar semelhante ao registado em Novembro. Estudos anteriores documentaram que a humidade do solo estimula a atividade alimentar dos organismos edáficos (Larink & Sommer, 2002). A abundância de microartrópodes, nomeadamente colêmbolos e ácaros, é maior em solos húmidos (Harte et al., 1996) e tende a diminuir em solos secos (Kardol et al., 2010). No mês de Julho registou-se baixa precipitação (0%-5%) e temperatura média do ar entre 20 °C e 22 °C (IPMA, Julho 2013), pelo que não era expectável que num solo seco houvesse a mesma atividade alimentar que a registada no mês de Novembro, quando o solo estava húmido em consequência da maior precipitação (25-50%) registada nesse mês (IPMA, Novembro 2013).

As condições climáticas parecem ter sido especialmente importantes para as variações observadas no solo do pinhal uma vez que no solo com fertilizantes (camalhões) e no solo em pousio houve uma forte ação humana que, de certa forma, parece ter uniformizado os valores dos indicadores. O solo do pinhal é representativo das condições de um ecossistema natural, nos quais os serviços ecossistémicos são independentes da ação antropogénica.

A atividade alimentar e abundância de microartrópodes no solo estão diretamente condicionadas e influenciadas por fatores ambientais, como a temperatura e a humidade do solo (Kula & Römboke, 1998; Larink & Sommer, 2002; Gongalsky et al., 2008). O aumento da temperatura e as mudanças na precipitação podem alterar diretamente a temperatura e humidade do solo, fatores que influenciam a abundância e desenvolvimento dos microartrópodes (Uvarov, 2003, Schröter et al, 2004; Hågvar & Klanderud, 2009; Kardol et al, 2010; Lindroth, 2010). No entanto, os estudos publicados fornecem informação contraditórias sobre as respostas dos microartrópodes do solo às mudanças climáticas, havendo fortes possibilidades das respostas serem específicas para determinadas espécies de plantas, comunidades de microartrópodes ou ecossistemas (Kardol et al., 2010).

O solo com F+CF foi o que registou maior peso, por unidade, dos morangos colhidos em relação a todos os tratamentos. Fertilizantes mistos parecem apresentar uma libertação mais lenta e constante de nutrientes, o que prolonga a sua ação no solo e muito provavelmente favorece o desenvolvimento e produtividade da cultura.

Observou-se uma maior atividade alimentar dos organismos no camalhão não desinfetado em Novembro de 2012 e em Março de 2013. O contrário aconteceu no mês de Julho em que se registou uma menor atividade dos organismos do solo na zona sem desinfetante comparada com a zona desinfetada. Este decréscimo pode estar relacionado com a diminuição do efeito do desinfetante ao longo do tempo aliado ao facto de Março ter sido um período de elevada taxa de precipitação, com 90% de água no solo em relação à capacidade de água utilizada pelas plantas (IPMA, Março de 2013).

Observou-se uma maior abundância de microartrópodes (colêmbolos e ácaros) no solo sem desinfetante apenas no período de amostragem de Novembro comparado com o

solo desinfetado, o que pode reforçar a ideia de perda de eficiência do fertilizante ao longo do tempo. Nos períodos de amostragem posteriores registou-se um decréscimo da atividade alimentar dos organismos do solo e na abundância de microartrópodes no solo não desinfetado em relação ao solo com desinfetante. Registou-se um maior número e peso de morangos na zona desinfetada em relação à zona não desinfetada. A elevada taxa de precipitação que ocorreu entre Janeiro e Março de 2013, registando Março valores entre 250% e 300% em relação à média 1971 a 2000 (IPMA, Março de 2013), pode levar a que os microartrópodes precisem de vários meses para recuperarem os seus índices de abundância, como foi já sugerido em estudos anteriores (Lindberg & Bengtsson, 2005). O estudo de Paul Kardol (2010) sugere que a abundância de colêmbolos no momento da amostragem, pode refletir a resposta integrada da comunidade vários meses antes da amostragem, de acordo com as condições ambientais de humidade e temperatura do solo e da ação humana a que o solo foi submetido. Assim, os resultados obtidos podem ser reflexo de perturbações ambientais e antropogénicas anteriores aos períodos de amostragem.

Os resultados deste estudo podem ter sido influenciados pelas consequências do temporal, vento e chuva fortes, (Depressão «Gong» - ciclogénese explosiva) registado no dia 19 de Janeiro de 2013. Este temporal danificou e fragilizou as plantas bem como os camalhões. Após o temporal, as plantas foram submetidas a dose extra de nutrientes sintetizados e pesticidas, através do sistema (fertir)rega, afetando o crescimento das plantas, com a consequente diminuição na produtividade em comparação com o ano anterior.

3.5. Conclusão

Nas amostras de solo com aplicação de fertilizantes houve uma tendência para a estabilização da atividade alimentar e abundância de microartrópodes em comparação com o que aconteceu no solo onde não houve aplicação de fertilizantes (solo em pousio e solo de pinhal). Nos solos do pinhal e pousio, a abundância de microartrópodes, colêmbolos e ácaros, teve um decréscimo acentuado com a diminuição da humidade no

solo ao longo do período experimental (informação visual e comprovada pelos dados do IPMA) à exceção do solo do pinhal em Julho.

A aplicação de fertilizantes orgânicos de origem animal tem uma rápida libertação de nutrientes no solo, o que estimula a atividade alimentar e abundância de organismos. Por sua vez, os fertilizantes mistos (origem animal e vegetal) têm uma libertação mais lenta, de efeito mais prolongado.

A fertilização altera os serviços prestados pelos ecossistemas. Dos solos com fertilizantes, em Julho, o solo com F+CF apresentou uma maior atividade alimentar, uma menor abundância de microartrópodes, um maior peso por unidade. Pôde observar-se, em Julho, uma relação entre a abundância de microartrópodes e o número de morangos colhidos, no solo com F+CF.

A aplicação de desinfetante, no solo V+G, aumentou a produtividade da cultura de morangos. O desinfetante altera os serviços de regulação dos ecossistemas, inicialmente diminui a atividade alimentar e a abundância de microartrópodes, mas com o passar do tempo a comunidade e atividade dos organismos edáficos aumentam em relação ao solo não desinfetado.

3.6. Referências Bibliográficas

- Bationo, A., Hartemink, A., Lungu, O., Naimi, M., Okoth, P., Smaling, E., Thiombiano, L. (2006). African soils: their productivity and profitability of fertilizer use. In: Proceedings of the African Fertilizer Summit. June 9–13, Abuja, Nigeria, pp. 29.
- Bengtsson, J., Ahnström, J., & Weibull, A. C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42: 261–269
- Cronquist, A. (1988). The evolution and classification of flowering plants. 2ª edición. New York Botanical Garden, Bronx, 555p.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Food and Agriculture Organization FAO (2011). European Food Sustainable Consumption and Production Round Table Building convergence & partnership. Roma.
- Gongalsky, K. B., Persson, T., & Pokarzhevskii, A. D. (2008). Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the *bait-lamina* test. *Applied Soil Ecology*, 39(1), 84-90.
- Gongalsky, K. B., Pokarzhevskii, A. D., Filimonova, Z. V., & Savin, F. A. (2004). Stratification and dynamics of bait-lamina perforation in three forest soils along a north-south gradient in Russia. *Applied Soil Ecology*, 25(2), 111-122.
- Gonçalves, M. J. S., Baptista, M. (2001). Proposta de Norma Portuguesa Regulamentação sobre a Qualidade do composto para utilização na Agricultura. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva/ INIA, Lisboa.

- Hågvar, S., Klanderud, K. (2009). Effect of simulated environmental change on alpine arthropods. *Global Change Biology* 15, 2972–2980.
- Harte, J., Rawa, A., Price, V. (1996). Effects of manipulated soil microclimate on meso-faunal biomass and diversity. *Soil Biol. Biochem.* 28, 313–322.
- IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Boletim Meteorológica para a Agricultura (2012). Boletim meteorológico para a agricultura. Nº23 Novembro. ISSN 2182-0597. Publicação Mensal
- IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Boletim Meteorológica para a Agricultura (2013). Boletim meteorológico para a agricultura. Nº27, Março. ISSN 2182-0597. Publicação Mensal.
- Jasse, M. E. C., Souza, R. B., Resende, F. V., Grossi, A. C., Silva, P. S., Silva, G. P. P., Perin, J. E. (2010). Efeito residual da adubação com compostos orgânicos enriquecidos em nutrientes e com diferentes graus de decomposição no cultivo da alface em sistema orgânico. *Horticultura Brasileira* 28: 2942-2947.
- Kardol, P., Cregger, M.A., Company, C.E., Classen, A.T. (2010). Soil ecosystem functioning under climate change: plant species and community effects. *Ecology* 91,767–781.
- Kimani, S. K., Lekasi, J. K. (2004). Managing manures throughout their production cycle enhances their usefulness as fertilizers: a review. In: Bationo, A. (Ed.) *Managing Nutrient Cycles to Sustain Soil Fertility in Sub-Saharan Africa*. Academy Science Publishers, Nairobi 187–197.

- Kremen, C. (2005). Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8(5), 468-479. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00751.
- Kula, C. & Römbke, J. (1998). Evaluation of soil ecotoxicity tests with functional endpoints for the risk assessment of plant protection products: State-of-the-art. *Environmental Science and Pollution Research*, 5(1), 55-60.
- Larink, O., & Sommer, R. (2002). Influence of coated seeds on soil organisms tested with bait lamina. *European Journal of Soil Biology*, 38(3-4), 287-290.
- Lindberg, N., Bengtsson, J. (2005). Population responses of oribatid mites and collembolans after drought. *Applied Soil Ecology* 28, 163–174
- Lindroth, R.L. (2010). Impacts of elevated atmospheric CO₂ and O₃ on forests: phytochemistry, trophic interactions, and ecosystem dynamics. *J. Chem. Ecol.* 36, 2–21.
- MA Millennium Ecosystem Assessment (2007). *Millennium Ecosystem Assessment, A Toolkit for Understanding and Action: Protecting Nature's Services. Protecting Ourselves.* Washington DC: Island Press.
- Ministério do Ambiente (1999). *Relatório do Estado do Ambiente, Solos.* 213-232p. (<http://www.iamambiente.pt/rea99/docs/27solos.pdf#search=%22necessidade%20de%20materia%20organica%20nos%20solos%20portugueses%22>).
- Naeem, S., & Li, S. B. (1997). Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature*, 390(6659), 507-509. doi: 10.1038/37348
- Nakamoto T., Tsukamoto M. (2006). Abundance and activity of soil organisms in fields of maize grown with a white clover living mulch. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115: 34–42.

- OMAIAA - Observatório dos Mercados agrícolas e das Importações Agro-Alimentares (2006). A produção e comercialização de morangos em Portugal. (http://www.observatorioagricola.pt/item.asp?id_item=104)
- Palha, M. G. (2007). Produção de outono com diferentes materiais de propagação vegetativa. *AGRO*, 556, Nº4
- Reinecke, A. J., Helling, B., Louw, K., Fourie, J., & Reinecke, S. A. (2002). The impact of different herbicides and cover crops on soil biological activity in vineyards in the Western Cape, South Africa. *Pedobiologia*, 46(5), 475-484.
- Schröter, D., Brussaard, L., De Deyn, G., Poveda, K., Brown, V.K., Berg, M.P., Wardle, D.A., Moore, J., Wall, D.H. (2004). Trophic interactions in a changing world: Modeling aboveground–belowground interactions. *Basic Appl. Ecol.* 5, 515–528.
- Söderström, B., Svensson, B., Vessby, K., & Glimskar, A. (2001). Plants, insects and birds in semi-natural pastures in relation to local habitat and landscape factors. *Biodiversity Conservation*, 10, 1839-1863.
- Stoorvogel, J. J., Smaling E. M. A., Janssen, B. H. (1993). Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. II Supra-national scale. *Fert. Res.* 35:227–235.
- Uvarov, A.V. (2003). Effects of diurnal temperature fluctuations on population responses of forest floor mites. *Pedobiology* 47, 331–339.

4. Conclusão geral

Tanto no estudo efetuado em campo como em laboratório verificou-se que no solo agrícola onde foi aplicado matéria orgânica (fertilizantes) houve um aumento dos valores de pH comparativamente com o solo agrícola sem aplicação recente de matéria orgânica (solo em pousio), o solo do caminho e o solo do pinhal. O aumento dos valores de pH está relacionado com a decomposição e mineralização da matéria orgânica. O processo de decomposição, ou seja, a rapidez da libertação de nutrientes no solo, as condições fisiológicas das plantas e a necessidade de nutrientes de cada espécie de planta pode explicar o diferente crescimento vegetativo e produtividade obtida em cada fertilizante orgânico.

Em ambos os estudos, o teor de matéria orgânica mais elevado entre os tratamentos foi registado nos solos onde foi incorporado substrato de cogumelo. O solo com estrume de animais apresentou menor percentagem de matéria orgânica. A matéria orgânica tem um papel crucial nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, sendo um importante indicador da fertilidade e produtividade do solo. A matéria orgânica é fulcral para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas, pois a sua ausência ou quantidade insuficiente leva à diminuição da produtividade.

Em laboratório, houve uma relação direta entre a atividade alimentar dos organismos do solo e o crescimento de ambas as espécies de plantas. Os tratamentos com CF e com CM registaram menor atividade alimentar e menor desenvolvimento vegetativo (peso fresco e comprimento das plantas). Os restantes tratamentos obtiveram um melhor desempenho (maior peso fresco e comprimento das plantas) embora não tenha sido proporcional o aumento da atividade alimentar e o crescimento das plantas. No teste de reprodução de *Folsomia candida* os tratamentos que apresentaram maior abundância de juvenis e adultos (LC, V+G, F+CF), com exceção do tratamento com CF, foram os mesmos que registaram mais desenvolvimento vegetativo. O solo com substrato de CM demonstrou ser o meio menos adequado para o desenvolvimento de *Folsomia candida*, tendo-se registado um menor número de organismos (juvenis e de adultos).

No geral, pode-se concluir que o tratamento com LC e o tratamento com V+G apresentaram melhor desempenho no estágio inicial de crescimento de ambas as espécies de plantas.

No campo de morangos, verificou-se uma relação inversa entre a quantidade e o peso de cada morango, ou seja quanto maior foi o número de morangos colhidos, menor foi o peso individual de cada morango. O tratamento de CF e o tratamento de V+G apresentaram maior número de morangos, tendo estes um menor peso por unidade. O tratamento com F+CF e o tratamento com CM apresentaram menor número de morangos, mas com maior peso por unidade.

Em Julho, à exceção do tratamento com V+G, quanto maior foi a atividade alimentar registada, menor foi a abundância de microartrópodes. No entanto, o aumento do peso por unidade de morangos, teve como contrapartida o menor número de morangos por planta.

A ausência de desinfetante, no tratamento com V+G, alterou a atividade alimentar dos organismos do solo e abundância de microartropodes, diminuindo a produção de morangos.

Os testes ecotoxicológicos permitiram concluir que os fertilizantes orgânicos e o desinfetante (Metame-Sódio) influenciam a prestação dos serviços de regulação, suporte e fornecimento de bens do ecossistema agrícola.

Os indicadores escolhidos para a realização deste estudo demonstraram ser sensíveis e adequados para avaliação dos serviços ecossistémicos, permitindo retirar algumas conclusões acerca dos efeitos causados pela aplicação dos fertilizantes orgânicos. No entanto, a influência dos fatores climáticos (e.g, ciclogénese explosiva) aliada ao período de amostragem no campo (durante um ciclo da cultura) realça a importância de repetir os mesmos indicadores através do acompanhamento de mais ciclos da cultura, de forma a poder estabelecer relações mais robustas entre os indicadores/parâmetros e os serviços ecossistémicos.

5. Anexo

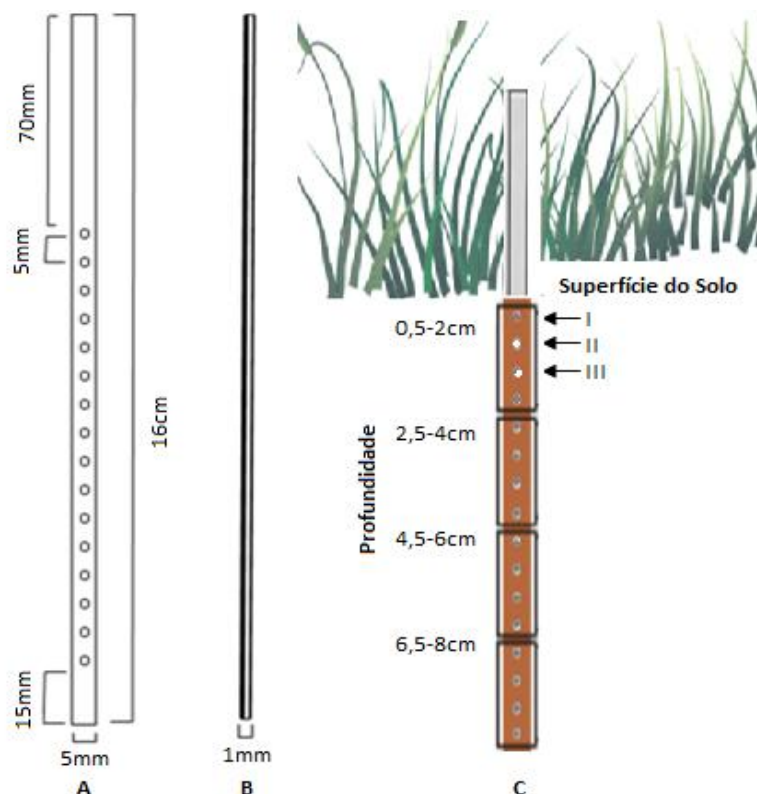


Figura 1.1. Esquema *Bait-Lamina* (dimensões).

A. Vista frontal B. Vista lateral C. *Bait-lamina* inserido no solo, orifícios preenchidos com a mistura de celulose, aveia e carvão ativado (70:27:3).

(I) Orifício cheio (II) Orifício vazio (III) Orifício parcialmente vazio

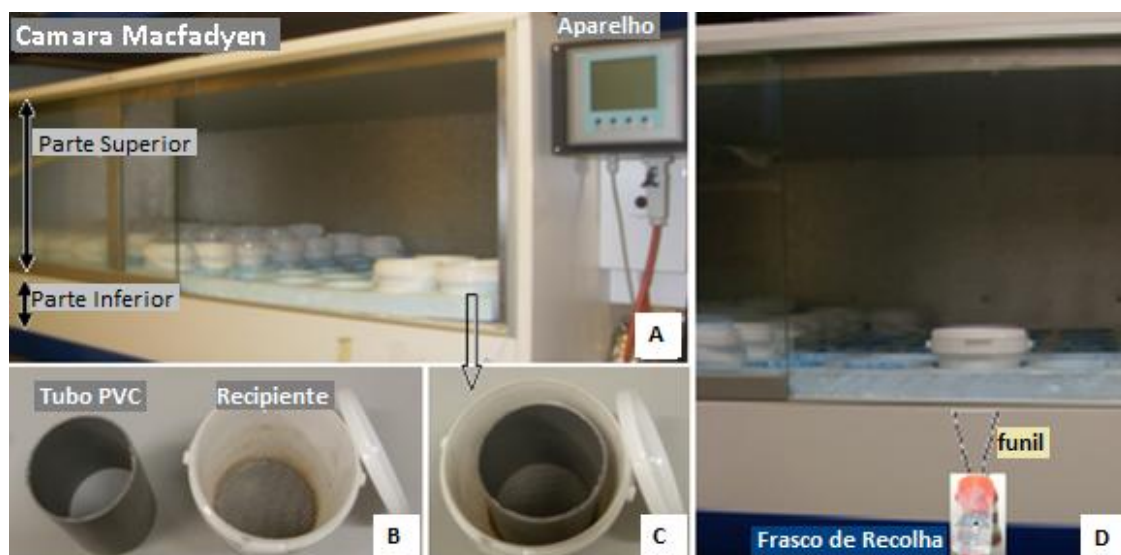


Figura 1.2. Fotografia do aparelho e utensílios Macfadyen do Laboratório do Departamento de Biologia da UA – Universidade de Aveiro.

- A. Câmara de Macfadyen (parte superior e parte inferior) e Aparelho programador de temperatura;
- B. Tubo de PVC (Poli Cloreto de Vinila) para recolha de amostras de solo no campo e recipiente, branco de plástico, com tampa e com filtros na base;
- C. Recipiente Macfadyen, com 2 filtros na base e no seu interior tubo PVC;
- D. Parte inferior (interna) da Câmara: funil para extração e frasco de recolha com ácido benzoico, líquido para conservação, dos invertebrados extraídos do solo.