

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CIÊNCIA DO SOLO

TESE DE DOUTORADO

**Produção e Eficiência Agronômica de Compostos
Obtidos com Palhada de Gramínea e Leguminosa
para o Cultivo de Hortaliças Orgânicas**

Marco Antonio de Almeida Leal

2006



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE COMPOSTOS
OBTIDOS COM PALHADA DE GRAMÍNEA E LEGUMINOSA
PARA O CULTIVO DE HORTALIÇAS ORGÂNICAS**

MARCO ANTONIO DE ALMEIDA LEAL

Sob a Orientação do Pesquisador
José Guilherme Marinho Guerra

e Co-orientação dos Pesquisadores
Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto

e
Dejair Lopes de Almeida

Tese submetida como requisito
parcial para a obtenção do grau de
Doutor em Ciências em
Agronomia, Área de Concentração
em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2006

635.891

L435p

T

Leal, Marco Antonio de Almeida, 1966-
Produção e eficiência agronômica de
compostos obtidos com a palhada de
gramínea e leguminosa para o cultivo de
hortaliças orgânicas / Marco Antonio de
Almeida Leal. - 2006.
133f. : il.

Orientador: José Guilherme Marinho
Guerra.

Tese (Doutorado) - Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro,
Instituto de Agronomia.

Inclui bibliografia.

1. Hortaliça - Cultivo - Teses. 2.
Hortaliça - Adubos e fertilizantes -
Teses. 3. Adubos compostos - Teses. 4.
Fertilizantes orgânicos - Teses. I.
Guerra, José Guilherme Marinho. II.
Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

MARCO ANTONIO DE ALMEIDA LEAL

Tese submetida ao Curso de Pós-graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Ciências** em Agronomia.

TESE APROVADA EM 16/02/2006

José Guilherme Marinho Guerra. Dr. Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

Ricardo Trippia dos Guimarães Peixoto. Ph.D. Embrapa Agrobiologia
(Co- Orientador)

Luciano Pasqualoto Canellas. Dr. UENF

Nelson Mazur. Dr. UFRRJ

Maria Luíza de Araújo. Dr. PESAGRO RIO

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPITULO I	
DESEMPENHO DE FEIJÃO DE PORCO (<i>Canavalia ensiformis</i>) E DE CROTALARIA (<i>Crotalaria juncea</i>) EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA E IDADE DE CORTE	
1- INTRODUÇÃO	5
2- REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1- Uso de Adubos Verdes	6
2.2- Vantagens e Desvantagens	6
2.3- Fixação Biológica de N	7
2.4- Formas de Utilização	8
2.5- Feijão de Porco e Crotalaria	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1- Desempenho de Feijão de Porco no Período de 2002-2003	10
3.2- Desempenho de Crotalaria no Período 2002-2003	11
3.3- Desempenho de Crotalaria no Período 2003-2004	11
3.4- Avaliações	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1- Desempenho de Feijão de Porco no Período de 2002-2003	12
4.2- Desempenho de Crotalaria no Período 2002-2003	18
4.3- Desempenho de Crotalaria no Período 2003-2004	25
4.4- Precisão dos Ensaios	28
5. CONCLUSÕES	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CAPITULO II	
AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM UTILIZANDO-SE COMPOSIÇÕES DISTINTAS DE PALHADAS DE LEGUMINOSA E GRAMÍNEA	
1. INTRODUÇÃO	37
2- REVISÃO DE LITERATURA	38
2.1- Definição de Compostagem	38
2.2- Objetivos da Compostagem	38
2.2.1- Estabilização do material	38
2.2.2- Redução ou eliminação de organismos indesejáveis	38
2.2.3- Redução ou eliminação de substâncias tóxicas	39
2.2.4- Disponibilidade ou concentração de nutrientes	39
2.2.5- Capacidade de condicionamento do solo	40
2.2.6- Eliminação de material poluidor	40
2.2.7- Agregação de valor a subprodutos de atividades agropecuárias e industriais	40
2.2.8- Outras utilizações	40
2.3- O Processo de Compostagem	41
2.4- Condições Recomendadas para a Compostagem	43
2.4.1- Relação C:N	43

2.4.2- Teores de celulose e de lignina	44
2.4.3- pH	44
2.4.4- Umidade	44
2.4.5- Tamanho dos fragmentos	44
2.4.6- Temperatura	45
2.4.7- Aeração e revolvimento	45
2.4.8- Dimensões das pilhas	45
2.4.9- Duração da compostagem	46
2.4.10- Utilização de aditivos	46
2.5- Tipos de Compostagem	47
2.5.1- Decomposições anaeróbia x aeróbia	47
2.5.2- Métodos de compostagem	48
2.5.3- Vermicompostagem	48
2.5.4- Compostagem em pequeno volume visando simular processos em larga escala	48
2.6- Caracterização dos Compostos	49
2.6.1- Características químicas	49
2.6.2- Características físicas	51
2.6.3- Características biológicas	52
2.7- Indicadores de Maturidade e Estabilidade	52
2.7.1- Importância da determinação da maturidade e da estabilidade ..	52
2.7.2- Definição de maturidade e estabilidade	52
2.7.3- Indicadores de maturidade e estabilidade	53
2.8- Especificações para Composto e Compostagem	54
2.8.1- Especificações brasileiras	54
2.8.2- Exemplos de especificações de outros países	55
3. MATERIAL E MÉTODOS	57
3.1- Primeiro Experimento de Compostagem	57
3.2- Segundo Experimento de Compostagem	58
3.3- Terceiro Experimento de Compostagem	58
3.4- Avaliações	59
3.4.1- Amostragem	59
3.4.2- Temperatura	60
3.4.3- Densidade em base seca	60
3.4.4- pH e condutividade elétrica	60
3.4.5- Matéria orgânica e C	60
3.4.6- Teores de Ca, Mg, K e P	60
3.4.7- Perda total de massa e perda de N	60
3.4.8- Análise matemática dos dados obtidos	60
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1- Primeiro Experimento de Compostagem	61
4.2- Segundo Experimento de Compostagem	63
4.3- Terceiro Experimento de Compostagem	70
4.4- Precisão dos Experimentos	77
5. CONCLUSÕES	79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

CAPITULO III

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE COMPOSTOS OBTIDOS DE MISTURA DE PALHADA DE LEGUMINOSA E GRAMÍNEA NA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

1. INTRODUÇÃO.....	88
2- REVISÃO DE LITERATURA	89
2.1- Utilização de Compostos como Substratos	89
2.2- Utilização de Compostos como Fertilizantes Orgânicos	90
2.2.1- Características químicas	90
2.2.2- Características físicas	91
2.2.3- Características biológicas	91
2.2.4- Benefícios ao ambiente	91
2.3- Desvantagens da Utilização de Compostos	92
2.3.1- Riscos para a saúde humana e animal	92
2.3.2- Riscos para as plantas	92
2.3.3- Riscos para o ambiente	93
3. MATERIAL E MÉTODOS	94
3.1-Avaliação do Compostos na Produção de Mudas	94
3.1.1- Compostos produzidos no experimento 2 do capítulo II	94
3.1.2- Compostos produzidos no experimento 3 do capítulo II	94
3.1.3- Experimentos de germinação de pepino	95
3.2- Avaliação dos Compostos na Produção de Hortaliças	95
3.2.1 – Alface – compostos do experimento 2 do capítulo II	95
3.2.2 – Alface – compostos do experimento 3 do capítulo II	96
3.2.3 – Beterraba – compostos do experimento 2 do capítulo II	97
3.2.4 – Beterraba – compostos do experimento 3 do capítulo II	97
3.2.5 – Tomate – compostos do experimento 2 do capítulo II	98
3.2.6 – Tomate – compostos do experimento 3 do capítulo II	98
3.3- Bioensaios Conduzidos em Vasos	99
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
4.1- Avaliação do Compostos na Produção de Mudas	100
4.1.1 – Mudas de alface – compostos do experimento 2	100
4.1.2 – Mudas de alface – compostos do experimento 3	101
4.1.3 – Mudas de beterraba – compostos do experimento 2	102
4.1.4 – Mudas de beterraba – compostos do experimento 3	103
4.1.5 – Mudas de tomate – compostos do experimento 2	103
4.1.6 – Mudas de tomate – compostos do experimento 3	103
4.1.7- Experimentos de germinação.....	105
4.2- Avaliação dos Compostos na Produção de Hortaliças	106
4.2.1 – Alface – compostos do experimento 2	106
4.2.2 – Alface – compostos do experimento 3	109
4.2.3 – Beterraba – compostos do experimento 2	109
4.2.4 – Beterraba – compostos do experimento 3.....	110
4.2.5 – Tomate – compostos do experimento 2	113
4.2.6 – Tomate – compostos do experimento 3	113
4.3- Bioensaios Conduzidos em Vasos	115
4.3.1 – Experimento de vasos - compostos do experimento 2	115
4.3.2 – Experimento de vasos - compostos do experimento 3	116
4.3.3- Discussão sobre a metodologia	117

5. CONCLUSÕES	118
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	119
CONCLUSÕES GERAIS	123
ANEXOS	
Anexo I - Quadros de análise de variância dos experimentos. do cap. I	124
Anexo II - Quadros de análise de variância dos experimentos. do cap. III..	127

RESUMO GERAL

LEAL, Marco Antonio de Almeida. **Produção e eficiência agronômica de compostos obtidos com palhada de gramínea e leguminosa para o cultivo de hortaliças orgânicas.** Seropédica: UFRRJ, 2006. 133f. (Tese, Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo).

É crescente a demanda por fertilizantes orgânicos no Brasil, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. A compostagem é uma técnica que pode ser utilizada para aumentar a disponibilidade e a qualidade dos fertilizantes orgânicos. Este trabalho teve como objetivo estudar a utilização da compostagem de palhada de leguminosas e capim Napier (*Pennisetum purpureum*) para obter substitutos para o esterco bovino e a cama de aviário, fertilizantes orgânicos tradicionalmente utilizados na produção de hortaliças. Nos experimentos apresentados no Capítulo I, buscou-se determinar a época de plantio e a idade de corte mais adequadas para a produção de massa e acumulação de N para Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) e Crotalaria (*Crotalaria juncea*), espécies escolhidas devido ao alto potencial de produção de massa, germinação uniforme, porte ereto e hábito de crescimento determinado, o que facilita o seu manejo de corte e não causa problemas quando cultivadas em sistemas de rotação com culturas comerciais. No Capítulo II estudou-se diferentes condições de compostagem e diversas proporções de matéria prima, tendo como base a mistura de Crotalaria e capim Napier. Os compostos obtidos foram testados no Capítulo III, sendo utilizados como substratos para a produção de mudas de hortaliças e como adubo orgânico de plantio para a produção de alface, beterraba e tomate em sistema orgânico. Avaliou-se também a velocidade de disponibilização de N destes compostos. Os resultados obtidos indicam a Crotalaria como a leguminosa mais promissora para obtenção de massa e acumulação de N. Observou-se que é possível a obtenção de compostos com elevados teores de N utilizando-se Crotalaria pura ou misturada com capim Napier, sem a necessidade de inoculantes ou outros aditivos. Compostos obtidos com estes materiais podem substituir o substrato comercial Plantmax HT na produção de mudas de hortaliças e também podem substituir o esterco bovino como adubo de cova na produção de hortaliças em sistemas de produção orgânicos.

Palavras chave: Compostagem, adubo verde, fertilizante orgânico, análise de custo.

GENERAL ABSTRACT

LEAL, Marco Antonio de Almeida. **Production and agronomic efficiency of compost obtained from grass and legumes for organic cultivation of vegetables.** Seropédica: UFRRJ, 2006. 133f. (Thesis, Doctor Science in Agronomy, Soil Science).

The demand for organic fertilizers in Brazil is increasing, mainly in the South and Southeastern regions. The composting is a technique that can be used to increase the availability and the quality of organic fertilizers. This research aimed to study the usage of the composting of legumes and Napier grass (*Pennisetum purpureum*) as substitutes for cattle and poultry manure, traditional organic fertilizers used in the vegetables production. Featuring in Chapter I, the objective of the study was to determine the time of planting, and the age of cutting, which were more adequate for production of mass and accumulation of N in the *Canavalia ensiformis* e *Crotalaria juncea*. These species were chosen due to their high potential for biomass production, uniform seedling, upright growth, and determined growing pattern, which turn easy the handling of harvesting, and have no problems when cultivated in rotation systems with commercial crops. In Chapter II different conditions of composting and diverse proportions of the raw materials were studied, having as reference the mixture of *Crotalaria juncea* and Napier grass. The resulting composts were tested and the results are discussed on Chapter III. The composts were used as substrate for the production of vegetables seedlings and bed fertilizer in an organic system production of lettuce, beetroot and tomato. The speed of N release from the composts was also evaluated. The results indicate the *Crotalaria* as the most promising legume specie. It was observed that it is possible to obtain composts with high N levels by using only *Crotalaria* or mixed with Napier grass, without the need of inoculation or other additives. The composts obtained with these materials may substitute the commercial substrate Plantmax HT in the production of vegetables seedlings, and the cattle manure as bed fertilizers in the production of organically grown vegetables.

Keywords: Composting, green manure, organic fertilizer, cost analysis.

INTRODUÇÃO GERAL

É crescente a demanda por fertilizantes orgânicos no Brasil, principalmente nas áreas produtoras de hortaliças próximas aos grandes centros populacionais das regiões Sul e Sudeste. Estes insumos são utilizados para repor a fertilidade perdida devido ao uso intensivo do solo. O esterco bovino e a cama de aviário são os fertilizantes orgânicos mais utilizados, mas seu custo vem se elevando muito nos últimos anos. Isto se deve ao aumento da demanda, sem que ocorra um proporcional aumento da oferta, pois a produção animal está se deslocando para a região central do país.

Uma alternativa para suprir a crescente demanda por fertilizantes orgânicos é a utilização de resíduos orgânicos provenientes da produção industrial ou agropecuária. Entretanto, estes materiais geralmente não podem ser empregados diretamente no solo em função de problemas relacionados à estabilidade e à possível contaminação com organismos indesejáveis ou substâncias tóxicas. Outra alternativa é a utilização de leguminosas como adubos verdes, pois a fixação biológica de N promovida pela simbiose destas plantas com bactérias é uma das principais fontes sustentáveis de N. Mas é difícil sincronizar a velocidade de liberação de nutrientes pelos adubos verdes com as demandas da cultura principal.

A compostagem pode ser utilizada para contornar estes problemas, melhorando a qualidade dos resíduos orgânicos e transformando os adubos verdes em fertilizantes orgânicos com teores elevados de N e facilitando o seu transporte, armazenamento e aplicação. No Brasil, a compostagem ainda é pouco estudada, sendo necessário o desenvolvimento de técnicas adaptadas às condições locais de clima, mercado, disponibilidade de matéria prima e características sócio-econômicas.

Para estudar a viabilidade técnica e econômica de se obter um fertilizante orgânico a partir da compostagem de palhada de plantas utilizadas como adubos verdes, visando à substituição do esterco bovino e da cama de aviário na produção de hortaliças, realizou-se este trabalho, com os seguintes objetivos principais:

- Determinar a época de plantio e a idade de corte de Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) e de *Crotalaria juncea*, que produzam a maior quantidade de biomassa com elevado teor de N, visando acumular a maior quantidade de N.
- Definir as condições de compostagem e a proporção de matéria prima que promovam maior eficiência no processo de compostagem e melhor qualidade do composto obtido.
- Avaliar a eficiência técnica dos compostos obtidos, para serem utilizados na produção de hortaliças.

Para se atingir os objetivos propostos, optou-se pela realização de experimentos agrupados em capítulos. No Capítulo I avaliou-se a época de plantio e a idade de corte que proporcionam a maior produtividade de massa e a maior acumulação de N na parte aérea de Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) e *Crotalaria juncea*, nas condições edafoclimáticas da Baixada Fluminense. No Capítulo II avaliou-se diferentes condições de compostagem e diversas proporções de matéria prima, tendo como base a mistura de *Crotalaria* e capim Napier, visando obter um composto rico em N, sem a necessidade de adição de esterco ou adubos químicos. Os compostos obtidos foram avaliados no Capítulo III, sendo utilizados como substratos para a produção de mudas de hortaliças e como adubos orgânicos de plantio para a produção de alface, beterraba e tomate. Avaliou-se também a velocidade de liberação de N destes compostos.

CAPITULO I

DESEMPENHO DE FEIJÃO DE PORCO (*Canavalia ensiformis*) E DE CROTALARIA (*Crotalaria juncea*) EM DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA E IDADES DE CORTE

RESUMO

Para que seja possível substituir o esterco bovino e a cama de aviário como fertilizantes orgânicos, por compostos orgânicos que utilizam como principal fonte de N unicamente palhada de leguminosas utilizadas como adubos verdes, é necessário que se possa produzir grande quantidade de massa, com grande incorporação de N oriundo do processo de fixação biológica, a um custo reduzido. Neste caso, é necessário identificar espécies cuja simbiose com bactérias possibilite elevados valores de fixação de N. Devem também possuir grande produtividade de massa, ser de fácil cultivo e ser facilmente integradas ao sistema de produção agropecuário. Este capítulo de tese teve como objetivo determinar a época de plantio e a idade de corte mais adequadas para a produção de massa e acumulação de N para Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) e Crotalaria (*Crotalaria juncea*) nas condições edafoclimáticas da Baixada Fluminense. Estas espécies foram escolhidas devido ao alto potencial de produção de massa, germinação uniforme, porte ereto e hábito de crescimento determinado, o que facilita o seu manejo de corte e não causa problemas quando cultivadas em sistemas de rotação com culturas comerciais. Para isto foram realizados experimentos testando quatro épocas de plantio e três idades de corte. A maior produtividade de matéria seca e acúmulo de N pelo Feijão de Porco ocorreram nos plantios realizados na primavera e no verão, e no corte aos quatro meses de idade. A maior produtividade de matéria seca e quantidade de N acumulado pela Crotalaria ocorreram nos plantios realizados na primavera e na idade de corte de três e quatro meses.

ABSTRACT

To become possible that organic composts that use legumes green manures as N source substitutes cattle manure and poultry manure as organic fertilizing, it is necessary that it produce a large amount of mass, with a great amount of N, with a reduced cost. Then, it is necessary to select species that promoting good N fixing, possess a large mass production, was easy to cultivate and that can be easily combined in the farmer production system. This chapter had the objective to determine the planting time and the age cut of Jack Beans (*Canavalia ensiformis*) and Crotalaria (*Crotalaria juncea*) that produces the biggest amount of biomass and high N tenor, aiming to get the biggest amount of N for plantation area. Therefore, four times of planting and three ages of cut for the Jack Beans and for the Crotalaria had been studied through experiments. Those species were chosen because of this greater mass production, uniform germination, erect posture and determined growth habit, what facilitates their cut and not cause problems when cultivated in systems of rotation with commercial cultures. The biggest production of dry mass and attainment of N for the jack beans had occurred in the spring and summer plantings, and in the cut at the four months old. The biggest production of dry mass and attainment of N for the Crotalaria occurred in the beginning of spring planting and in the age of cut of three months.

1. INTRODUÇÃO

É crescente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil a demanda por fertilizantes orgânicos, principalmente por esterco bovino e cama de aviário, utilizados como condicionadores de solo e como fornecedores de N. A utilização de leguminosas como adubos verdes está se tornando uma das principais alternativas para suprir esta demanda, pois a fixação biológica é a principal fonte para obtenção sustentável de N.

Uma das principais dificuldades para a utilização mais ampla dos adubos verdes, é sincronizar a disponibilização de nutrientes pelos adubos verdes com as demandas das culturas principais. Além disto, é difícil conciliar as quantidades disponibilizadas com as quantidades demandadas. A compostagem é uma alternativa para se contornar este problema, tornando possível a transformação de adubos verdes em fertilizantes orgânicos com elevados teores de N, com matéria orgânica mais estabilizada e que possam ser armazenados e aplicados com maior facilidade.

Para que seja possível substituir fertilizantes orgânicos, como o esterco bovino e a cama de aviário, por compostos orgânicos que utilizam como principal fonte de N unicamente palhada de leguminosas, é necessário que se possa produzir grande quantidade de massa, com grande incorporação de N oriundo do processo de fixação biológica, a um custo reduzido. Neste caso, é necessário identificar espécies cuja simbiose com bactérias possibilite elevados valores de fixação de N. Devem também possuir grande produtividade de massa, ser de fácil cultivo e ser facilmente integradas ao sistema de produção agropecuário.

Diversos estudos tem sido realizados visando comparar várias espécies de leguminosas, principalmente em relação a sua capacidade de produção de biomassa aérea e de fixação biológica de N. Entretanto, o desempenho da maioria das espécies utilizadas como adubos verdes varia muito em função de solo e clima e em relação à época de plantio e à idade de corte.

O presente estudo teve como objetivo determinar a época de plantio e a idade de corte mais adequadas para a produção de massa e acumulação de N para Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) e Crotalaria (*Crotalaria juncea*) nas condições edafoclimáticas da Baixada Fluminense. Estas espécies foram escolhidas entre as leguminosas mais conhecidas, por possuírem grande produtividade de biomassa, germinação uniforme, porte ereto e hábito de crescimento determinado, o que facilita o seu corte e não causa problemas quando cultivadas em sistema de rotação com culturas comerciais.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1- Uso de Adubos Verdes.

De acordo com Carvalho et al. (2004b), a adição regular de resíduos de adubos verdes aos vários solos e ambientes agroecológicos dos trópicos contribui para a conservação do solo e da água, promovendo, principalmente, a melhoria da estrutura que favorece a aeração e a infiltração de água no solo, permitindo uma maior penetração das raízes. Além disso, propicia melhor aproveitamento de adubos químicos e redução nos custos com adubação mineral, uma vez que promove aumento da atividade biológica do solo (Hernani et al., 1995).

As leguminosas podem exercer a função de manter a produtividade do solo em sistemas agrícolas de baixa utilização de insumos, através da promoção da fixação biológica de N, recuperação de nutrientes em camadas profundas do solo e adição de matéria orgânica (Wortmann et al., 2000). Segundo Gross et al. (1995), alguns problemas de contaminação ambiental podem estar associados à utilização de dejetos animais na produção agrícola, levando à necessidade de se adotar práticas conservacionistas, como a utilização de culturas de cobertura e adubos verdes.

Para otimizar o uso da adubação verde, é necessário identificar, a nível regional, as espécies mais adaptadas e adequá-las à melhor forma de manejo (Ceretta, et al. 1994). De acordo com Keatinge et al. (1998), compreender os efeitos fototermiais na fenologia de leguminosas é um passo necessário para aumentar a sustentabilidade da produção em regiões de baixo potencial agrícola. A fenologia de grande parte das leguminosas anuais é controlada pelo fotoperíodo e pela temperatura do ar.

2.2- Vantagens e Desvantagens.

A adubação verde e a cultura de cobertura beneficiam o solo através do aumento de: matéria orgânica, atividade biológica, estabilidade de agregados e infiltração (USDA, 1996). Outra vantagem dos adubos verdes é aumentar a reciclagem de nutrientes, que são acumulados durante o seu crescimento e liberados durante a sua decomposição. O seu extenso sistema radicular possui alta eficiência na descompactação e aeração do solo (Sullivan, 2003). Segundo Carvalho et al. (2004b), uma das estratégias para amenizar os efeitos da compactação é o cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso, que estabelecem canais que favorecem o desenvolvimento de raízes da cultura subsequente. Para Kluchinski (1996), os adubos verdes e culturas de cobertura também possuem a capacidade de reduzir a compactação do solo, melhorar a estrutura do solo via formação de agregados e suprimir ou controlar invasoras através da competição por luz, água e nutrientes.

Segundo Cavigelli & Thien (2003), os adubos verdes podem facilitar a nutrição com P dos cultivos subsequentes através de vários mecanismos: Adubos verdes podem converter o P pouco disponível em formas mais disponíveis; A decomposição dos adubos verdes pode liberar formas de P relativamente lábeis; Compostos orgânicos liberados durante a decomposição dos adubos verdes podem reduzir a imobilização de P bloqueando sítios de adsorção; A incorporação de adubos verdes promove o crescimento de raízes e micorrizas, aumentando a capacidade de adsorção de P.

As culturas de cobertura ajudam a recuperar nutrientes lixiviados para camadas mais profundas, através de sistemas radiculares que atingem estas camadas. As raízes

das leguminosas abrigam micorrizas, que auxiliam na absorção de P e favorecem a sua disponibilização para a cultura subsequente (USDA,1998).

A utilização de leguminosas para adubação verde é, sem dúvida, uma das estratégias de manejo integrado de plantas daninhas nas áreas cultivadas, como relatado em diversos trabalhos científicos, tais como Severino & Cristoffolete (2001). De acordo com Carvalho et al. (2004b), adubos verdes como mucuna-preta e *Crotalaria juncea* podem controlar plantas invasoras. Contudo, a resposta das culturas depende da interação de fatores como: a natureza do material (relação C:N, teor de lignina), as propriedades do solo e características da cultura principal e do clima. Para Caamal-Maldonado et al. (2001), o uso de leguminosas é uma ferramenta para controlar invasoras e melhorar as condições do solo.

Wang et al. (2003), observaram que a incorporação de palha de *Crotalaria juncea* aumentou o número de nematóides bacteriófagos, onívoros e predadores, principalmente em solos com baixos teores de MO, aumentando a tolerância das plantas à nematóides parasitas. No entanto, segundo Sullivan (2003), alguns adubos verdes e culturas de cobertura possuem a desvantagem de servir de hospedeiros de pragas e doenças.

2.3- Fixação Biológica de N

A importância da fixação biológica de N e tem sido reconhecida e explorada desde muitos séculos, quando a rotação de cultura com leguminosas era praticada para melhorar a fertilidade do solo (Siqueira & Franco, 1988).

Segundo Crews & Peoples (2004), a mudança de fontes biológicas de N para fontes industriais que ocorreu nos sistemas agrícolas de todo o mundo durante o século passado constituiu uma das mais marcantes e profundas transformações na agricultura, sendo o processo industrial para a síntese de fertilizantes nitrogenados (processo Harber-Bosh), considerado por alguns a mais importante invenção do século passado.

A principal diferença entre a fixação de N e os fertilizantes nitrogenados industriais, é a utilização da energia solar pela primeira, que é um recurso renovável. A obtenção de N através de leguminosas é potencialmente mais sustentável que a obtenção de N através de fontes industriais (Crews & Peoples, 2004).

Em muitos sistemas agrícolas o uso de leguminosas como adubo verde é tradicional e o aporte de N via fixação biológica geralmente promove aumentos significativos em cultivos subsequentes (Ramos et al., 2001). A extensão do benefício do adubo verde para a cultura subsequente depende da quantidade de N fixado que é incorporado ao sistema pela leguminosa, da proporção de N residual que é deixado para a cultura subsequente e de sua eficiência de utilização (Boddey et al., 1997).

Segundo Sullivan (2003), a adição de N através da simbiose com bactérias é uma característica chave das leguminosas utilizadas como adubos verdes. A quantidade de N adicionado será função do total de massa produzida e do teor de N no tecido. Para este autor, a proporção de N do adubo verde que ficará para a cultura subsequente geralmente está entre 40% e 60%.

De acordo com Resende et al. (2000), normalmente a contribuição da adubação verde com leguminosas para a nutrição nitrogenada de culturas econômicas é feita avaliando-se a contribuição da planta inteira (parte aérea e às vezes raízes) isto é, a disponibilidade de N para a cultura principal é quantificada em função do N total acumulado em toda a planta, sem haver preocupação com a contribuição advinda de suas diferentes partes (folhas, talos e raízes). Entretanto Cuttle et al. (2003), considera que a maioria das estimativas sobre a quantidade de N fixado não inclui as partes da

planta não colhida. Jorgensen & Ledgard (1997) sugerem um fator de correção de 1,65 para calcular a fixação total em trevo quando apenas as folhas são colhidas.

2.4- Formas de Utilização.

Existem várias formas de utilização de leguminosas como fonte de N para o solo (Calegari, 2000). A mais comum é a sua utilização sob a forma de pré-cultivo, em que o adubo verde precede a cultura principal, que se beneficia posteriormente com a mineralização do N. Porém, nas condições dos trópicos úmidos, esta prática tem limitações quanto ao fornecimento de N em virtude das altas temperaturas e excessiva umidade, que favorecem a mineralização acelerada dos resíduos. Se a cultura sucessora não tem a sua demanda sincronizada com a mineralização do N do adubo verde, podem ocorrer perdas significativas e a prática tornar-se ineficiente como alternativa de adubação (Calegari, 2000). A utilização de consórcio possibilita a pronta disponibilidade de N para a cultura principal no momento do corte da leguminosa. Neste caso, a cultura principal se beneficia do N fixado pela leguminosa, seja pela exsudação direta de compostos nitrogenados e pela decomposição dos nódulos e raízes, ou mais intensamente, pelo corte da parte aérea da leguminosa que irá se decompor e liberar nutrientes durante o desenvolvimento da cultura principal (Castro et al., 2004).

Segundo Sullivan (2003), a transferência de N também pode ocorrer através da exsudação e decomposição radicular, lixiviação de N das folhas, senescência de folhas e excreções de insetos e animais herbívoros.

A aplicação superficial de leguminosas com alta relação C:N pode melhorar a sincronia entre a liberação de N e a demanda da cultura, quando comparada a incorporação de leguminosas com baixa relação C:N (Wortmann et al, 2000).

2.5- Feijão de Porco e *Crotalaria*

Várias espécies têm sido recomendadas para adubação verde no Brasil (Kiehl, 1985, Hernani et al., 1995; Padovan et al., 2002; Carvalho et al., 2004b). As leguminosas Feijão de Porco e *Crotalaria juncea* possuem elevado potencial para serem utilizadas como adubos verdes em sistemas de produção de hortaliças no Estado do Rio de Janeiro, devido às suas características de crescimento e à sua grande adaptação às condições edafoclimáticas locais.

Segundo Aleman & Flores (1993), o Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) é uma leguminosa anual cuja provável origem é a Índia ou a América Central. Sua utilização como cultura de cobertura está adquirindo importância em uma grande variedade de sistemas agrícolas.

Durante séculos, o Feijão de Porco tem sido utilizado por camponeses na América Central, México, Brasil, Peru, Equador e no oeste da Índia. A grande capacidade de adaptação desta leguminosa às condições adversas, principalmente às relacionadas ao solo, tem sido relevante para a cobertura do solo e produção de proteína em regiões de baixo potencial agrícola (Zanella et al., 2004).

Para Rodrigues et al. (2004), o valor principal desta espécie consiste na sua notável rusticidade e adaptação aos solos de baixa fertilidade, com a propriedade imediata de enriquecê-los.

O Feijão de Porco cresce bem desde terras baixas até os 1700 metros de altitude e se adapta a muitas condições adversas em que a *Mucuna*, por exemplo, não prospera. A faixa de pH e de precipitação pluviométrica para crescimento ótimo está entre 5-6 e 900-1200 mm ano⁻¹, respectivamente. É uma planta resistente tanto à seca quanto às condições úmidas (Aleman & Flores, 1993).

Segundo Wortmann et al. (2000), o Feijão de Porco tem um sistema radicular mais profundo do que a maioria das outras leguminosas anuais.

Como desvantagem, cita-se que o Feijão de Porco é hospedeiro de mosca branca (*Bemisia tabaci*) transmissora do vírus do mosaico dourado e de outras viroses, e é atacado pela lagarta “palito de fósforo” (*Urbanus sp.*) (Eira et al., 1988).

A *Crotalaria* (*Crotalaria juncea*) é uma leguminosa de crescimento rápido, principalmente em condições de alta temperatura, sendo uma excelente cultura para adubação verde (Valenzuela & Smith, 2002). Originária da Índia e Paquistão, é preferida para aumentar a qualidade do solo devido a sua habilidade em adicionar rapidamente N e matéria orgânica (MO) ao solo. Esta leguminosa se desenvolve melhor em pH entre 5 e 7, tolerando pH alcalino acima de 8,4. É naturalmente adaptada ao calor e às áreas semi-áridas, sendo resistente à seca. Deve receber, no mínimo, 25 mm de água por semana para um crescimento ótimo, não tolerando encharcamento.

A *Crotalaria* é uma leguminosa tropical comumente utilizada como cultura de cobertura ou adubação verde, devido ao benefício que causa ao solo. Recentemente foi introduzida nos EUA como uma fonte de N e supressora de nematóides (Marshall et al., 2002).

Segundo Wang et al. (2003), a *Crotalaria* é uma leguminosa que tem despertado atenção devido ao seu desempenho como adubo verde, incluindo a habilidade em promover a fixação de N em simbiose com bactérias, produzir biomassa rapidamente, aumentar a MO do solo, seqüestrar carbono e suprimir nematóides parasitas de plantas. É considerada, portanto, uma cultura que pode ser empregada para a rotação em sistemas agrícolas que buscam a sustentabilidade.

A época de plantio da *Crotalaria* mais adequada para obtenção de máximo rendimento varia de acordo com as condições do ambiente (Cook et al., 1998). Como a maioria das cultivares florescem em função de variações no fotoperíodo, o plantio após o inverno pode maximizar seu crescimento. Pereira (2004) observou que a época de plantio e os arranjos populacionais da *Crotalaria* influenciam na produção de biomassa, produção de sementes, acumulação de N e fixação biológica.

Entre as doenças que atacam a *Crotalaria* destaca-se o fungo *Ceratocystes fimbriata*, que causa danos consideráveis à cultura. Em relação a pragas, a lagarta *Utethesia pulchella* pode tornar-se problema em algumas regiões, atacando os grãos no início do enchimento das vagens e mesmo grãos já formados (Eira et al., 1988).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da PESAGRO RIO, em Seropédica-RJ, situada na Baixada Fluminense, a 26 m de altitude e coordenadas 22° 45' S e 43° 40' W. O solo foi classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Foram montados um experimento com Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) e dois com Crotalaria (*Crotalaria juncea*), pois devido a um intenso veranico que prejudicou muito o plantio de metade de primavera do primeiro experimento (Figura 1.1), repetiu-se o experimento no ano seguinte.

O experimento com Feijão de Porco teve as épocas de plantio distribuídas ao longo do ano, pois esta espécie não apresenta grandes respostas ao fotoperíodo. Os experimentos com Crotalaria tiveram as épocas de plantio concentradas na primavera-verão, pois esta espécie apresenta florescimento precoce e produtividade de massa muito reduzida no período de outono-inverno.

As temperaturas médias e a precipitação pluviométrica registradas durante os experimentos estão apresentadas na Figura 1.1.

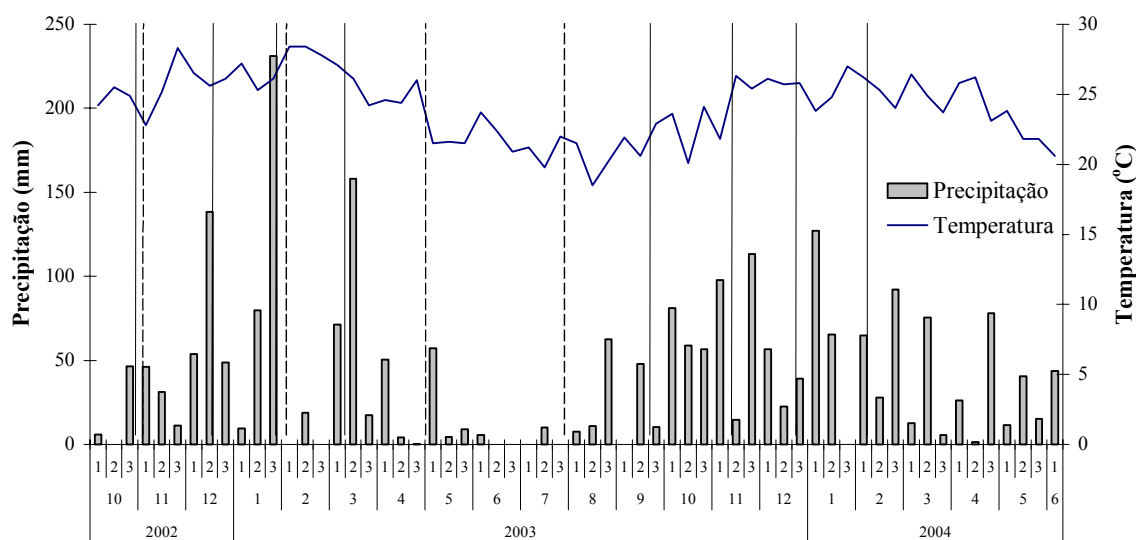


Figura 1.1: Temperatura média e precipitação registradas durante os experimentos. Intervalo de dez dias. As linhas tracejadas indicam as datas de plantio de Feijão de Porco e as linhas cheias indicam as datas de plantio de Crotalaria.

3.1- Desempenho de Feijão de Porco no Período de 2002-2003

Os resultados da análise química de amostras de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm de profundidade) revelaram os seguintes resultados: textura argilosa; pH em água 6,4; Al, Ca+Mg, Ca e Mg iguais a 0,0; 8,3; 6,2 e 2,1 cmolc dm⁻³, respectivamente; 84 e 297 mg dm⁻³ de P e K respectivamente.

O experimento foi conduzido entre outubro de 2002 e dezembro de 2003 em esquema fatorial 4 x 3 (4 épocas de plantio x 3 idades de corte) e delineamento Blocos Casualizados com 3 repetições. As épocas de plantio testadas foram: primavera (29/10/02), verão (03/02/03), outono (02/05/03) e inverno (29/07/03). As idades de

corde foram: 2, 3 e 4 meses após a sementeira. As avaliações foram feitas apenas na parte aérea. Não foi realizada inoculação.

Cada parcela foi constituída de duas linhas duplas de 6,00 m de comprimento, com 0,30 m entre linhas simples e 1,20 m entre linhas duplas, visando à capina mecânica, sendo colhido 1,00 metro linear. Foram plantadas 4 sementes por metro linear. Não foi realizada inoculação das sementes.

3.2 – Desempenho de Crotalaria no Período 2002-2003

Os resultados da análise química de amostras de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm de profundidade) revelaram os seguintes resultados: textura argilosa; pH em água 6,4; Al, Ca+Mg, Ca e Mg iguais a 0,0; 7,2; 5,8 e 1,4 cmolc dm⁻³, respectivamente; 112 e 370 mg dm⁻³ de P e K respectivamente.

O experimento foi conduzido entre outubro de 2002 e julho de 2003 em esquema fatorial 4 x 3 (4 épocas de plantio x 3 idades de corte) e delineamento Blocos Casualizados com 3 repetições. As épocas de plantio testadas foram: metade da primavera (29/10/02), final da primavera (16/12/02), metade do verão (27/01/03), final do verão (13/03/03). As idades de corte foram: 2, 3 e 4 meses após a sementeira. As avaliações foram feitas apenas na parte aérea. Não foi realizada inoculação das sementes.

Cada parcela foi constituída de duas linhas duplas de 6,00 m de comprimento, com 0,30 m entre linhas simples e 1,20 m entre linhas duplas, visando à capina mecânica, sendo colhido 1,00 metro linear. Foram plantadas aproximadamente 90 sementes por metro linear.

3.3 – Desempenho de Crotalaria no Período 2003-2004

Os resultados da análise química de amostras de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm de profundidade) revelaram os seguintes resultados: textura arenosa; pH em água 6,5; Al, Ca+Mg, Ca e Mg iguais a 0,0; 2,7; 1,8 e 0,9 cmolc dm⁻³, respectivamente; 165 e 83 mg dm⁻³ de P e K respectivamente.

O experimento foi conduzido entre setembro de 2003 e junho de 2004. As épocas de plantio testadas foram: início da primavera (23/09/03), metade da primavera (12/11/03), início do verão (22/12/03), metade do verão (06/02/04). As idades de corte foram: 2, 3 e 4 meses após a sementeira. As avaliações foram feitas apenas na parte aérea. Não foi realizada inoculação das sementes.

O esquema experimental e as dimensões das parcelas foram os mesmos do experimento com Crotalaria descrito anteriormente.

3.4- Avaliações

Após o corte do Feijão de Porco e da Crotalaria, as folhas foram separadas das hastes. As flores, cuja textura é mais tenra, foram colocadas junto com as folhas; e vagens, cuja textura é mais lenhosa, foram colocadas junto com as hastes. As amostras de 1,0 kg foram acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa (> 72 h, 65 °C) e moídas (< 85 mm) em moinho tipo Wiley. O N total foi determinado através do método Kjeldahl. No segundo experimento com Crotalaria não foram realizadas análises de N.

Avaliaram-se as seguintes características: altura da planta, produtividade de matéria fresca na parte aérea, teor de matéria seca da parte aérea, produtividade de matéria seca na parte aérea, relação entre a biomassa seca de folha e de parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulada na parte aérea, produtividade de matéria seca de folhas, quantidade de N acumulada nas folhas e relação entre a quantidade de N obtido nas folhas e na parte aérea.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Desempenho de Feijão de Porco no Período de 2002-2003

A análise de variância está no Anexo I (Tabela AI-1). As médias das características estudadas estão apresentadas nas Tabelas 1.1 a 1.10.

Os maiores valores de altura das plantas de Feijão de Porco foram observados nos cultivos de primavera e de verão (Tabela 1.1). Observa-se, também, que a idade de corte não influenciou esta característica. Isto, provavelmente, é devido ao fato de que esta leguminosa é de baixo porte, atingindo em pouco tempo a altura máxima.

Tabela 1.1: Altura da parte aérea de Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Altura (metros)				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
2	0,79 Ba	0,79 Aa	0,83 Aa	0,50 Cb	0,73 A
3	0,90 Aa	0,83 Aab	0,57 Bc	0,75 Bb	0,76 A
4	0,77 Bb	0,83 Aab	0,58 Bc	0,92 Aa	0,77 A
Média	0,82 a	0,82 a	0,66 b	0,72 b	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os valores de produtividade de matéria fresca da parte aérea são apresentados na Tabela 1.2. Observa-se uma grande influência da idade de corte nesta característica.

Tabela 1.2: Produtividade de matéria fresca da parte aérea de Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Matéria fresca da parte aérea (kg ha^{-1})				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
2	9733	7511	1163	4133	5635 C
3	18000	14755	6667	9978	12350 B
4	23911	21377	7706	20377	18343 A
Média	17214 a	14548 ab	5179 c	11496 b	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os resultados de teor de matéria seca, apresentados na Tabela 1.3, mostram que esta característica não é influenciada pela época de plantio. O seu valor se eleva, no entanto, com a idade de corte. Os valores observados são inferiores ao valor de 35,5% de matéria seca obtido por Schenck (2003), em experimento realizado no Hawaii (EUA) com plantio no outono.

Os cultivos de outono e inverno apresentaram menor produtividade de matéria seca da parte aérea que os cultivos de primavera e verão, o que já era esperado devido às menores temperaturas observadas (Tabela 1.4 e Figura 1.1). Os valores aumentam com a idade de corte.

Tabela 1.3: Teor de matéria seca da parte aérea de Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Teor de matéria seca (%)				
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
2	22,93 Aa	21,70 Ba	21,59 Ba	21,10 Aa	21,83 B
3	23,26 Aa	22,14 Ba	21,34 Ba	24,55 Aa	22,82 B
4	22,99 Aab	25,91 Aa	25,33 Aab	21,56 Ab	23,95 A
Média	23,06 a	23,25 a	22,75 a	22,40 a	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

O valor de 5545 kg ha⁻¹ obtido no plantio de verão e corte aos 4 meses foi inferior aos 7090 kg ha⁻¹ obtido por Resende et al. (2000) em plantio realizado na mesma região, no mês de novembro e corte aos 5 meses. Ramos et al. (2001) em experimento realizado em Cuba com corte aos 60 dias, obtiveram 4400 kg ha⁻¹. Schenck (2003), obteve 8080 kg ha⁻¹ em experimento realizado no Hawaii (EUA) com plantio no outono. De acordo com Rodrigues et al. (2004), o Feijão de Porco produziu 13500 kg ha⁻¹ em Latossolo Amarelo textura média de Bragança-PA e em Latossolo Amarelo argiloso de Tomé-Açú-PA produziu 6000 kg ha⁻¹.

Tabela 1.4: Produtividade de matéria seca da parte aérea de Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Matéria seca da parte aérea (kg ha ⁻¹)				
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
2	2241	1613	253	871	1244 C
3	4190	3252	1382	2436	2815 B
4	5511	5545	1900	4404	4340 A
Média	3981 a	3470 a	1178 c	2570 b	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os valores da relação entre a biomassa seca de folha e de parte aérea (Tabela 1.5) do cultivo de verão aos 3 e 4 meses de crescimento foram muito inferiores aos demais valores obtidos, provavelmente devido ao intenso veranico que ocorreu no início da cultura (fevereiro de 2003), causando grande queda de folhas.

Tabela 1.5: Relação entre a biomassa seca de folha e de parte aérea de Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Biomassa seca folha / biomassa seca parte aérea				
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
2	0,554 Ab	0,554 Ab	0,781 Aa	0,710 Aab	0,650 A
3	0,422 Aab	0,290 Bb	0,490 Ba	0,561 Ba	0,441 B
4	0,441 Aa	0,111 Cb	0,384 Ba	0,356 Ca	0,323 C
Média	0,472 a	0,318 b	0,552 a	0,542 a	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os valores do cultivo de primavera estão de acordo com o observado por Resende et al. (2000), que detectaram uma relação folha/parte aérea de 0,42 em experimento com plantio no mês de novembro e corte aos 5 meses de idade e realizado em condições climáticas semelhantes.

O teor de N na parte aérea de Feijão de Porco não apresentou variações significativas em função da época de plantio e da idade de corte (Tabela 1.6). O valor observado no plantio de verão e corte aos 4 meses de idade é muito semelhante ao valor de 2,45% observado por Resende et al. (2000) em cultivo realizado em condições climáticas similares, com plantio no mês de novembro e corte aos 5 meses. Ramos et al. (2001), em experimento realizado em Cuba com corte aos 60 dias obtiveram 1,31% de N. Já Wortmann et al. (2000) em experimento realizado no Sudoeste Africano, no mês de fevereiro e corte aos 7 meses, obtiveram um teor de 3,29%.

Tabela 1.6: Teor de N na parte aérea de Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Teor de N (%)				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
2	2,67	2,59	2,79	2,49	2,63
3	2,06	2,56	2,89	2,50	2,50
4	2,78	2,58	2,37	2,61	2,58
Média	2,51	2,58	2,68	2,53	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

A quantidade de N acumulado na parte aérea é maior nos cultivos de primavera e verão (Tabela 1.7). Observa-se também o grande aumento nos valores desta característica com o aumento da idade de corte. O valor de 143,3 kg ha⁻¹ de N obtido no plantio de verão e corte aos 4 meses está de acordo com o valor de 173,7 kg ha⁻¹ observado por Resende et al. (2000) em cultivo realizado em Seropédica-RJ, com plantio no mês de novembro e corte aos 5 meses. Ramos et al. (2001), em experimento realizado em Cuba com corte aos 60 dias obtiveram 57,9 kg ha⁻¹ de N. Já Wortmann et al. (2000) em experimento realizado no Sudoeste Africano, no mês de fevereiro e corte aos 7 meses, obtiveram 133,0 kg ha⁻¹ através da fixação de N.

Tabela 1.7: Quantidade de N acumulado na parte aérea de Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Quantidade de N na parte aérea (kg ha ⁻¹)				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
2	59,5	42,6	6,8	21,7	32,6 C
3	86,7	83,4	39,3	61,1	67,6 B
4	153,8	143,3	44,2	117,7	114,8 A
Média	100,0 a	89,8 ab	30,1 c	66,8 b	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os valores obtidos para produtividade de matéria seca de folhas (Tabela 1.8) estão de acordo com a variação da temperatura e do fotoperíodo normalmente observados ao longo do ano no local do experimento. Resende et al. (2000), em cultivo

realizado em Seropédica-RJ, com plantio no mês de novembro e corte aos 5 meses obtiveram 2070 kg ha⁻¹.

Tabela 1.8: Produtividade de matéria seca de folhas do Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Matéria seca de folhas (kg ha ⁻¹)				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
2	1247	898	197	619	740 B
3	1752	954	661	1369	1184 AB
4	2478	611	691	1674	1364 A
Média	1826 a	821 bc	516 c	1220 b	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste de Tukey.

O reduzido valor de quantidade de N acumulado nas folhas no cultivo de verão (Tabela 1.9) provavelmente foi devido ao veranico que ocorreu no início da cultura. Resende et al. (2000) em cultivo realizado no mesmo local, com plantio no mês de novembro e corte aos 5 meses obteve 108,8 kg ha⁻¹.

Tabela 1.9: Quantidade de N acumulado nas folhas de Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Quantidade de N nas folhas (kg ha ⁻¹)				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
2	45,7	33,9	6,2	18,4	26,0 B
3	56,1	37,0	26,7	44,5	41,1 AB
4	102,9	21,8	24,9	67,0	54,1 A
Média	68,2 a	30,9 b	19,3 b	43,3 ab	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste de Tukey.

A maior parte do N na biomassa aérea encontra-se nas folhas, principalmente nas plantas mais jovens, como pode ser observado na Tabela 1.10.

Tabela 1.10: Relação entre a quantidade de N obtido de folhas e na parte aérea de Feijão de Porco semeado em diferentes estações do ano e cortado com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Quantidade de N nas folhas / quantidade de N na parte aérea				Média
	Primavera	Verão	Outono	Inverno	
2	0,767 Aa	0,793 Aa	0,910 Aa	0,851 Aa	0,830 A
3	0,648 Aab	0,437 Bb	0,696 Ba	0,731 Aba	0,628 B
4	0,652 Aa	0,154 Cb	0,572 Ba	0,525 Ba	0,476 C
Média	0,689 a	0,462 b	0,726 a	0,702 a	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste de Tukey.

As correlações entre as diversas características avaliadas estão na Tabela 1.11. Observa-se que a produtividade de massa está negativamente correlacionada com a relação folha/planta. Isto se explica pelo fato de haver grande senescência de folhas nas

plantas mais velhas, embora produzam mais massa, sendo que a biomassa fica concentrada principalmente nas hastes e nas vagens. Em consequência, há diminuição da relação folha/planta, como pode ser observado na Tabela 1.5.

Os resultados obtidos neste experimento indicam que a maior produtividade de matéria seca e a maior quantidade de N acumulada na parte aérea ocorrem nos plantios de primavera e de verão. Observou-se também, resultados razoáveis no cultivo de inverno e corte aos 4 meses. Estes resultados estão de acordo com o esperado, já que o Feijão de Porco se desenvolve mais nos períodos quentes do ano. Keatinge et al. (1998) estudando o comportamento de várias leguminosas, observaram que as espécies tropicais e subtropicais, incluindo o Feijão de Porco, reduzem o ciclo quando os dias encurtam, antecipando o início do florescimento, o que acarreta redução no desenvolvimento vegetativo. O cultivo no outono acarretou valores mais baixos de produtividade de matéria seca e de quantidade de N acumulada na parte aérea, quando comparado às demais épocas de plantio.

A maior produção de massa e acumulação de N foram observadas nos cortes aos 4 meses de idade. Estes resultados contrastam com os obtidos por Fávero et al. (2001), em condições edafoclimáticas diferentes e plantio realizado no mês de novembro, que observaram sinais de senescência do Feijão de Porco aos 90 dias após a semeadura.

Em relação aos teores de matéria seca e N, não foram detectadas grandes variações em relação à época de plantio e à idade de corte (Tabelas 1.3 e 1.6).

Tabela 1.11: Matriz de correlações entre as características avaliadas no experimento com Feijão de Porco.

	Altura das plantas	Matéria fresca	Teor de MS	Matéria seca	Relação folha/p. aérea	Teor de N na p. aérea	N por ha	MS folha por ha	N folha por ha	N folha por N p. aérea
Altura das plantas	<u>1</u>	<u>0,5298</u>	0,0334	<u>0,5117</u>	-0,3131	-0,0469	<u>0,4691</u>	0,3042	0,2954	-0,2849
Matéria fresca	<u>0,5298</u>	<u>1</u>	0,2053	<u>0,9874</u>	<u>-0,6761</u>	-0,0474	<u>0,9698</u>	<u>0,6935</u>	<u>0,7013</u>	<u>-0,6034</u>
Teor de MS	0,0334	0,2053	<u>1</u>	<u>0,3344</u>	-0,2732	-0,2523	0,2897	0,1526	0,0972	-0,2549
Matéria seca	<u>0,5117</u>	<u>0,9874</u>	<u>0,3344</u>	<u>1</u>	<u>-0,6839</u>	-0,0661	<u>0,9781</u>	<u>0,6732</u>	<u>0,6757</u>	<u>-0,6196</u>
Relação folha/planta	-0,3131	<u>-0,6761</u>	-0,2732	<u>-0,6839</u>	<u>1</u>	0,2331	<u>-0,6221</u>	-0,0478	-0,0628	<u>0,9645</u>
Teor de N na planta	-0,0469	-0,0474	-0,2523	-0,0661	0,2331	<u>1</u>	0,1043	0,0309	0,1651	0,1908
N por ha	<u>0,4691</u>	<u>0,9698</u>	0,2897	<u>0,9781</u>	<u>-0,6221</u>	0,1043	<u>1</u>	<u>0,6898</u>	<u>0,7201</u>	<u>-0,5676</u>
MS folha por ha	0,3042	<u>0,6935</u>	0,1526	<u>0,6732</u>	-0,0478	0,0309	<u>0,6898</u>	<u>1</u>	<u>0,9808</u>	0,0945
N folha por ha	0,2954	<u>0,7013</u>	0,0972	<u>0,6757</u>	-0,0628	0,1651	<u>0,7201</u>	<u>0,9808</u>	<u>1</u>	0,0809
N folha por N planta	-0,2849	<u>-0,6034</u>	-0,2549	<u>-0,6196</u>	<u>0,9645</u>	0,1908	<u>-0,5676</u>	0,0945	0,0809	<u>1</u>

Valores de correlação sublinhados são significativos ($p < 0,05$) pelo teste t.

4.2- Desempenho de *Crotalaria* no Período 2002-2003

A análise de variância está no Anexo I (Tabela AI-2). As médias das características estudadas estão apresentadas nas Tabelas 1.12 a 1.21.

Os valores de altura das plantas estão na Tabela 1.12. As maiores alturas foram obtidas no cultivo de metade de primavera e nos cortes realizados aos 3 e 4 meses de idade. Okito et al. (2004) observaram alturas entre 3,78 m e 2,95 m para a *Crotalaria juncea* cultivada em diversas datas de plantio. Segundo Valenzuela & Smith (2002), a *Crotalaria juncea* atinge de 1,20 m a 1,80 m em 60 dias, quando cultivada em condições favoráveis. De acordo com Mannetje (2005), a *Crotalaria juncea* atinge até 4,00 m de altura. Sunnhemp (2005) relata alturas entre 1,00 m e 2,90 m e Duke (2005) observou alturas entre 1,0 e 3,0 m.

Tabela 1.12: Altura da parte aérea de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Altura (metros)				Média
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	
2	1,80 Bab	1,53 Bbc	1,93 Ba	1,37 Ac	1,66 B
3	2,57 Aa	2,20 Ab	2,07 Ab	1,30 Ac	2,03 A
4	2,48 Aa	2,23 Aab	2,07 Ab	1,33 Ac	2,03 A
Média	2,28 a	1,99 b	2,02 b	1,33 c	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os valores observados para produtividade de matéria fresca da parte aérea são apresentados na Tabela 1.13. Estes resultados mostram que, ao contrário do observado no Feijão de Porco, os maiores valores para esta característica são obtidos com 3 meses de idade de corte.

Tabela 1.13: Produtividade de matéria fresca da parte aérea de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Matéria fresca da parte aérea (kg ha^{-1})				Média
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	
2	24444 Ba	10044 Bb	21688 Aa	7466 Ab	15912 B
3	53554 Aa	22177 Ab	23644 Ab	7555 Ac	26733 A
4	45554 Aa	27555 Ab	17422 Ab	5889 Ac	24105 A
Média	41184 a	19925 b	20918 b	6970 c	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os valores observados para teor de matéria seca (Tabela 1.14) mostram um aumento nos valores desta característica com o aumento da idade das plantas e nos cultivos realizados no verão. Os valores médios estão de acordo com Marshall et al. (2002), que obtiveram o valor médio de 25,67% de matéria seca em *Crotalaria juncea* no início de floração, aos 90 dias de idade.

Tabela 1.14: Teor de matéria seca da parte aérea de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Teor de matéria seca (%)				Média
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	
2	28,53 Ba	22,13 Cb	26,30 Ca	27,81 Ca	26,19 C
3	28,14 Bb	27,94 Bb	33,59 Ba	32,14 Ba	30,45 B
4	33,18 Ac	34,48 Abc	38,13 Aa	36,83 Aab	35,66 A
Média	29,95 b	28,18 b	32,68 a	32,26 a	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os valores observados para produtividade de matéria seca estão apresentados na Tabela 1.15. Não houve diferença significativa entre cortes com idades de 3 e 4 meses.

A produtividade de matéria seca obtida na metade da primavera está acima dos valores médios encontrados na literatura. Isto pode ser devido à ocorrência de clima muito favorável, quente e úmido, devido às boas condições de fertilidade do solo e devido à existência no solo de altas populações de Rizóbios específicos para a *Crotalaria*, introduzidos e multiplicados por plantios anteriores.

O reduzido valor obtido para o plantio de final de primavera, principalmente no corte aos 2 meses, provavelmente foi devido ao intenso veranico que ocorreu no mês de fevereiro de 2003 e causou a paralisação do crescimento das plantas.

Segundo Duke (2005), produtividades de 14000 kg ha^{-1} são possíveis através da realização de capinas e adubações. Pereira (2004) obteve produtividade máxima de 10660 kg ha^{-1} em cultivo de primavera-verão realizado em condições climáticas semelhantes. Castro et al. (2004) obtiveram 6500 kg ha^{-1} em plantio realizado em Seropédica-RJ no mês de março, com corte aos 3 meses. Ramos et al. (2001), em plantio realizado em Cuba, obteve 11100 kg ha^{-1} e em plantio realizado em Seropédica-RJ obtiveram 3700 kg ha^{-1} . Carvalho et al. (2004a), em plantio realizado em Selvíria-MS no mês de outubro e corte aos 2 meses, obtiveram 5300 e 3500 kg ha^{-1} em cultivos realizados nos anos de 1997/1998 e 1998/1999 respectivamente. Muraoka et al. (2001) em plantio realizado em Votuporanga-SP, com colheita realizada na floração, obtiveram 8830 kg ha^{-1} . Castro et al. (2004), em plantio realizado em Seropédica-RJ, no mês de novembro e corte aos 150 dias, obtiveram 12300 kg ha^{-1} .

Tabela 1.15: Produtividade de matéria seca da parte aérea de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Matéria seca da parte aérea (kg ha^{-1})				Média
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	
2	6940 Ba	2226 Cbc	5693 Aab	2078 Ac	4234 B
3	15062 Aa	6182 Bb	7934 Ab	2429 Ac	7902 A
4	15084 Aa	9542 Ab	6718 Ab	2198 Ac	838 A
Média	12362 a	5984 b	6781 b	2235 c	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os valores obtidos para relação entre a quantidade de biomassa seca de folha e de parte aérea, apresentados na tabela 1.16, mostram uma redução desta proporção em

função do aumento da idade de corte. Isto é devido a senescência das folhas com o aumento da idade das plantas. Estes valores diferem do valor observado por Marshall et al. (2002), que obtiveram uma relação folha/parte aérea de 0,5 em cultivo realizado na Flórida (EUA), com colheita aos 3 meses. O valor médio de 0,16 obtido para o corte aos 4 meses, está de acordo com Resende et al. (2000) que também em Seropédica-RJ obtiveram uma relação folha/parte aérea de 0,15 em plantio realizado no mês de agosto e corte aos 5 meses.

Tabela 1.16: Relação entre a quantidade de biomassa seca de folha e de parte aérea de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Biomassa seca folha / biomassa seca parte aérea				Média
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	
2	0,257	0,251	0,255	0,357	0,280 A
3	0,209	0,226	0,203	0,289	0,232 B
4	0,135	0,194	0,149	0,147	0,156 C
Média	0,200 b	0,224 ab	0,202 b	0,264 a	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os valores de teor de N na parte aérea, apresentados na Tabela 1.17, mostram uma redução deste valor com o aumento da idade de corte. Isto é causado principalmente pela perda de folhas, que é onde se concentra a maior parte do N.

Tabela 1.17: Teor de N na parte aérea de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Teor de N na parte aérea (%)				Média
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	
2	2,07 Ab	2,28 Ab	1,77 Ab	2,88 Aa	2,25 A
3	1,79 Ab	1,83 Ab	1,88 Aab	2,43 Aa	1,98 B
4	1,52 Bb	1,83 Aab	2,12 Aa	1,90 Bab	1,84 B
Média	1,79 b	1,98 b	1,92 b	2,40 a	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os maiores valores observados no cultivo de final de verão provavelmente são devidos ao menor desenvolvimento da *Crotalaria* neste período, resultando em plantas com menor proporção de hastes e folhas mais tenras. Segundo Valenzuela & Smith (2002), o teor de N na *Crotalaria juncea* está em torno de 2,9%, variando de 2,0% a 3,1%. Alcântara (2000), em cultivo de final de verão e corte aos 2,5 meses, obteve 2,0%. Castro et al. (2004), em cultivo realizado no mês de março e corte aos 3 meses, obtiveram 1,93% de N. Muraoka et al. (2001) obteve 1,69%, em *Crotalaria juncea* colhida na fase de floração. Marshall et al. (2002) obteve 2,5% com corte aos 3 meses. Segundo Sunnhemp (2005), a *Crotalaria juncea* possui um teor médio de N de 1,7%.

Os resultados de quantidade de N acumulada na parte aérea (Tabela 1.18) mostram que os maiores valores são obtidos no cultivo de metade de primavera e corte aos 3 meses de idade. A quantidade de N acumulada no cultivo de metade de primavera está acima dos valores médios encontrados na literatura. Isto provavelmente foi devido

às excelentes condições de clima, fertilidade do solo e altas populações de Rizóbios específicos para a Crotalaria, ocorridas durante esta fase do experimento.

Pereira (2004) obteve acumulação máxima de 260,9 kg ha⁻¹ de N, em cultivo de primavera-verão realizado em condições climáticas semelhantes. Em cultivos também realizados em Seropédica-RJ, Castro et al. (2004) obtiveram 126,0 kg ha⁻¹ de N, em plantio realizado em março e corte aos 3 meses; e Resende et al. (2000) obteve 198,9 kg ha⁻¹ em plantio realizado em novembro com corte aos 5 meses. Em experimento realizado em Lambari-MG, Alcântara (2000) obteve 136,0 kg ha⁻¹ com plantio no final de verão e corte aos 2,5 meses. Muraoka et al. (2001), em plantio realizado em Votuporanga-SP, com corte na fase de floração, obtiveram 198,6 kg ha⁻¹.

Tabela 1.18: Quantidade de N acumulada na parte aérea de Crotalaria semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Quantidade de N na parte aérea (kg ha ⁻¹)				
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	Média
2	141,9 Ba	51,0 Bb	100,0 Aab	58,3 Ab	87,8 B
3	269,9 Aa	113,4 ABbc	147,7 Ab	57,6 Ac	147,2 A
4	228,6 Aa	170,1 Aab	136,1 Ab	43,1 Ac	144,5 A
Média	213,5 a	111,5 b	128,0 b	53,0 c	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste de Tukey.

A produtividade de matéria seca de folhas (Tabela 1.19) se reduz drasticamente no cultivo de final de verão, mostrando a influência da época de plantio na qualidade da palhada de Crotalaria. O valor de 1843 kg ha⁻¹ de para produtividade de matéria seca de folhas observado no cultivo de final de primavera e corte aos 4 meses, está de acordo com Resende et al. (2000), que obtiveram 1890 kg ha⁻¹ em Seropédica-RJ, com plantio no mês de novembro e corte aos 5 meses. Já Marshall et al. (2002) obtiveram 1357 kg ha⁻¹ de matéria seca de folhas, em plantio realizado na Flórida (EUA) com corte aos 3 meses.

Tabela 1.19: Produtividade de matéria seca de folhas de Crotalaria semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Matéria seca de folhas (kg ha ⁻¹)				
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	Média
2	1783 Ba	562 Bb	1440 Aba	731 Ab	1129 B
3	3140 Aa	1400 Ab	1608 Ab	659 Ac	1702 A
4	2049 Ba	1843 Bb	910 Bb	316 Ab	1280 B
Média	2324 a	1268 b	1319 b	569 c	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste de Tukey.

A quantidade de N acumulada nas folhas também é muito influenciada pela época de plantio, como mostra a Tabela 1.20. O valor de 72,1 kg ha⁻¹ de N obtido através de folhas observado para o cultivo de final de primavera e corte aos 4 meses, está de acordo com Resende et al. (2000), que obtiveram 83,8 kg ha⁻¹ em Seropédica-

RJ, com plantio no mês de novembro e corte aos 5 meses. Marshall et al. (2002), obtiveram 53,8 kg ha⁻¹ em plantio realizado na Flórida (EUA) com corte aos 3 meses.

Tabela 1.20: Quantidade de N acumulada nas folhas de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Quantidade de N nas folhas (kg ha ⁻¹)				Média
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	
2	79,8 Ba	27,8 Bb	68,5 Aa	37,4 Ab	53,4 B
3	122,8 Aa	64,2 Ab	60,8 Ab	23,9 Ac	67,9 A
4	92,9 Ba	72,1 Aa	32,8 Bb	12,0 Ab	52,5 B
Média	98,5 a	54,7 b	54,0 b	24,4 c	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste de Tukey.

Os resultados obtidos para a relação entre a quantidade de N acumulada nas folhas e na parte aérea de *Crotalaria*, apresentados na Tabela 1.21, mostram que o aumento na idade de corte contribui significativamente para a redução dos valores desta característica.

Tabela 1.21: Relação entre quantidade de N acumulado nas folhas e na parte aérea de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades. com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Quantidade de N nas folhas / quantidade de N na parte aérea				Média
	Metade Primavera	Final Primavera	Metade Verão	Final Verão	
2	0,566	0,540	0,685	0,637	0,607 A
3	0,457	0,566	0,413	0,434	0,468 B
4	0,404	0,468	0,245	0,292	0,352 C
Média	0,476	0,525	0,447	0,455	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste de Tukey.

As correlações entre as diversas características avaliadas estão apresentadas na Tabela 1.22. Os resultados mostram que a produtividade de massa está negativamente correlacionada com a relação folha/planta e com o teor de N. Isto se explica pelo fato de plantas mais velhas produzirem mais massa, mas como ocorre grande senescência de folhas, esta massa está concentrada principalmente nas hastes.

Os resultados obtidos neste experimento indicam que o cultivo de metade de primavera foi o que proporcionou maior produtividade de matéria fresca, produtividade de matéria seca e maior acumulação de N na parte aérea, seguido pelos cultivos de final de primavera e metade de verão (Tabelas 1.13, 1.15 e 1.18). Este resultado está de acordo com o esperado, já que a *Crotalaria* floresce mais rapidamente nas épocas do ano com dias mais curtos, reduzindo drasticamente o seu ciclo de crescimento. Resultados semelhantes foram observados por Keatinge, et al. (1998) para várias leguminosas, incluindo *Crotalaria juncea*. Cook et al. (1998), observaram que a maioria das cultivares de *Crotalaria juncea* florescem em dias curtos. Segundo Valenzuela & Smith (2002), a *Crotalaria juncea*, por ser uma espécie que floresce em dias curtos possui maior crescimento em cultivos conduzidos na primavera, verão e início do outono.

Como o ciclo vegetativo da *Crotalaria* é reduzido nos cultivos realizados em épocas mais próximas do inverno, as características relacionadas à biomassa das folhas foram negativamente afetadas no cultivo de final de verão. Os teores de matéria seca e de N não apresentam grandes variações em relação à época de plantio.

Os resultados mostram que ocorre crescimento na *Crotalaria* até a idade de 3 meses, como pode ser observado a partir dos valores de altura das plantas (Tabela 1.12) e produtividade de matéria fresca (Tabela 1.13). O teor de matéria seca aumenta com a idade da planta (Tabela 1,14) e com isto se obtém quase a mesma quantidade de biomassa aos 3 e 4 meses (Tabela 1.15). Contudo, como o teor de N diminui com o avanço da idade da planta (Tabela 1.17) a quantidade de N acumulada na parte aérea é semelhante, independentemente do corte ser realizado aos 3 ou aos 4 meses de idade (Tabela 1.18).

Nas épocas de plantio simultâneo, a *Crotalaria* apresentou valores de produtividade de matéria seca e acumulação de N na parte aérea muito maiores que o Feijão de Porco.

Tabela 1.22: Matriz de correlações entre as características avaliadas no experimento com *Crotalaria*.

	Altura das plantas	Matéria fresca	Teor de MS	Matéria seca	Relação folha/p. aérea	Teor de N na p. aérea	N por ha	MS folha por ha	N folha por ha	N folha por N p. aérea
Altura das plantas	<u>1</u>	<u>0,8729</u>	0,096	<u>0,8763</u>	<u>-0,4862</u>	<u>-0,6248</u>	<u>0,8474</u>	<u>0,8148</u>	<u>0,8024</u>	-0,0663
Matéria fresca	<u>0,8729</u>	<u>1</u>	-0,0076	<u>0,9783</u>	<u>-0,3815</u>	<u>-0,5978</u>	<u>0,9514</u>	<u>0,9389</u>	<u>0,9264</u>	-0,021
Teor de MS	0,096	-0,0076	<u>1</u>	0,1666	<u>-0,5479</u>	-0,2054	0,1502	-0,0653	-0,1684	<u>-0,6734</u>
Matéria seca	<u>0,8763</u>	<u>0,9783</u>	0,1666	<u>1</u>	<u>-0,474</u>	<u>-0,6231</u>	<u>0,9626</u>	<u>0,8987</u>	<u>0,8724</u>	-0,1312
Relação folha/planta	<u>-0,4862</u>	<u>-0,3815</u>	<u>-0,5479</u>	<u>-0,474</u>	<u>1</u>	<u>0,6201</u>	<u>-0,4244</u>	-0,1696	-0,1181	<u>0,7106</u>
Teor de N na planta	<u>-0,6248</u>	<u>-0,5978</u>	-0,2054	<u>-0,6231</u>	<u>0,6201</u>	<u>1</u>	<u>-0,4605</u>	<u>-0,5257</u>	<u>-0,5167</u>	-0,0075
N por ha	<u>0,8474</u>	<u>0,9514</u>	0,1502	<u>0,9626</u>	<u>-0,4244</u>	<u>-0,4605</u>	<u>1</u>	<u>0,8986</u>	<u>0,8637</u>	-0,2069
MS folha por ha	<u>0,8148</u>	<u>0,9389</u>	-0,0653	<u>0,8987</u>	-0,1696	<u>-0,5257</u>	<u>0,8986</u>	<u>1</u>	<u>0,9779</u>	0,1612
N folha por ha	<u>0,8024</u>	<u>0,9264</u>	-0,1684	<u>0,8724</u>	-0,1181	<u>-0,5167</u>	<u>0,8637</u>	<u>0,9779</u>	<u>1</u>	0,2738
N folha por N planta	-0,0663	-0,021	<u>-0,6734</u>	-0,1312	<u>0,7106</u>	-0,0075	-0,2069	0,1612	0,2738	<u>1</u>

Valores de correlação sublinhados são significativos ($p < 0,05$) pelo teste t.

4.3- Desempenho de Crotalaria no Período 2003-2004

A análise de variância está no Anexo I (Tabela AI-3). As médias das características estudadas estão apresentadas nas Tabelas 1.23 a 1.28.

Como durante este experimento ocorreram condições climáticas mais favoráveis do que durante o experimento anterior, como ausência de veranicos intensos no verão e temperaturas mais amenas no outono, os plantios de metade de primavera e metade de verão obtiveram valores médios de matéria seca superiores aos obtidos em épocas de plantio correspondentes no experimento do ano anterior. Os demais resultados obtidos estão de acordo com o observado no primeiro experimento.

Tabela 1.23: Altura da parte aérea de Crotalaria semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Altura (metros)				Média
	Início Primavera	Metade Primavera	Início Verão	Metade Verão	
2	1,77 Ca	1,77 Ca	1,83 Ca	1,75 Aa	1,78 C
3	2,03 Ba	2,07 Ba	2,10 Ba	1,93 Aa	2,03 B
4	2,40 Aa	2,42 Aa	2,48 Aa	1,95 Ab	2,31 A
Média	2,07 a	2,08 a	2,14 a	1,88 b	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 1.24: Produtividade matéria fresca da parte aérea de Crotalaria semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Matéria fresca da parte aérea (kg ha^{-1})				Média
	Início Primavera	Metade Primavera	Início Verão	Metade Verão	
2	27177	22288	21022	14866	21338 B
3	38976	27310	28177	18711	28294 A
4	47821	31710	27244	21466	32060 A
Média	37992 a	27103 b	25481 bc	18348 c	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 1.25: Teor de matéria seca da parte aérea de Crotalaria semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Teor de matéria seca (%)				Média
	Início Primavera	Metade Primavera	Início Verão	Metade Verão	
2	24,00 Bbc	22,33 Cc	25,00 Cb	29,67 Ca	25,25 C
3	27,33 Ab	28,00 Bb	27,67 Bb	33,33 Ba	29,08 B
4	27,67 Ac	32,00 Ab	36,33 Aa	36,33 Aa	33,08 A
Média	26,33 c	27,44 c	29,67 b	33,11 a	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 1.26: Produtividade de matéria seca de folhas de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Matéria seca de folhas (kg ha ⁻¹)				
	Início Primavera	Metade Primavera	Início Verão	Metade Verão	Média
2	6467	4954	5200	4432	5263 C
3	10621	7674	7890	6270	8114 B
4	13396	10019	9893	7826	10284 A
Média	10161 a	7549 b	7661 b	6176 b	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 1.27: Relação entre a quantidade de biomassa seca de folha e de parte aérea de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Biomassa seca folha / biomassa seca parte aérea				
	Início Primavera	Metade Primavera	Início Verão	Metade Verão	Média
2	0,327	0,293	0,310	0,357	0,322 A
3	0,253	0,187	0,257	0,307	0,251 B
4	0,180	0,180	0,167	0,233	0,190 C
Média	0,253 b	0,220 c	0,244 bc	0,299 a	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 1.28: Produtividade de matéria seca de folhas de *Crotalaria* semeada em diferentes épocas do ano e cortada com diferentes idades.

Idade de corte (meses)	Matéria seca de folhas (kg ha ⁻¹)				
	Início Primavera	Metade Primavera	Início Verão	Metade Verão	Média
2	2112	1451	1621	1601	1696
3	2681	1412	2046	1923	2016
4	2397	1820	1649	1842	1927
Média	2396 a	1561 b	1772 ab	1789 ab	

Médias dentro da mesma coluna seguidas por diferentes letras maiúscula e médias dentro da mesma linha, seguidas por diferentes letras minúsculas, são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

As correlações entre as diversas características avaliadas estão na Tabela 1.29. Os demais resultados estão de acordo com o observado no primeiro experimento.

Tabela 1.29: Matriz de correlações entre as características avaliadas no segundo experimento com *Crotalaria*.

	Altura das plantas	Matéria fresca	Teor de MS	Matéria seca	Relação folha/p. aérea	Massa de folha por ha
Altura das plantas	<u>1</u>	<u>0,6334</u>	<u>0,4907</u>	<u>0,8147</u>	<u>-0,824</u>	0,2922
Matéria fresca	<u>0,6334</u>	<u>1</u>	-0,0947	<u>0,9264</u>	<u>-0,5276</u>	<u>0,7264</u>
Teor de MS	<u>0,4907</u>	-0,0947	<u>1</u>	0,2807	<u>-0,4186</u>	0,0167
Matéria seca	<u>0,8147</u>	<u>0,9264</u>	0,2807	<u>1</u>	<u>-0,6775</u>	<u>0,6921</u>
Relação folha/planta	<u>-0,824</u>	<u>-0,5276</u>	<u>-0,4186</u>	<u>-0,6775</u>	<u>1</u>	0,0187
MS folha por ha	0,2922	<u>0,7264</u>	0,0167	<u>0,6921</u>	0,0187	<u>1</u>

Valores de correlação sublinhados são significativos ($p < 0,05$) pelo teste t.

4.4- Precisão dos Ensaios

Para avaliar a precisão dos experimentos realizados, comparou-se empiricamente os coeficientes de variação (CV) das diversas características estudadas nos três experimentos (Tabela 1.30).

Tabela 1.30: Valores médios de Coeficiente de Variação observados para as diversas características estudadas nos três experimentos com leguminosas.

	Feijão de Porco	Crotalaria Exp. 1	Crotalaria Exp. 2
Altura das plantas	6,82	6,61	4,87
Produtividade de matéria fresca	21,68	21,34	21,94
Produtividade de matéria seca	21,74	23,09	22,66
Teor de matéria seca	7,39	4,38	3,04
Relação folha / parte aérea	16,36	18,14	8,41
Teor de N na parte aérea	11,8	12,87	--
N folha / N parte aérea	16,09	20,52	--
Acumulação de N	28,7	24,48	--
Produtividade de biomassa folha	43,76	21,37	25,36
Acumulação de N na folha	50,55	22,2	--

Os CVs foram semelhantes nos três experimentos para a maioria das características estudadas. Apenas a produtividade de biomassa de folhas apresentou valores de CV muito superiores no experimento com Feijão de Porco, mostrando que esta espécie apresenta maior heterogeneidade para esta característica.

Os valores de CV para produtividade de biomassa foram elevados em todos os experimentos, mostrando a necessidade de se aperfeiçoar a metodologia experimental. Isto pode ser realizado aumentando-se o tamanho das amostras ou aumentando-se o número de repetições.

Marshall et al. (2002), obtiveram para *Crotalaria juncea* CVs de 12,5%, 15,0%, 13,4% e 14,6% para produtividade de matéria fresca, produtividade de matéria seca, teor de matéria seca e acumulação de N, respectivamente. Castro et al. (2004), obtiveram valores de CV de 27,5% e 35,9% para produtividade de matéria seca e acumulação de N, respectivamente. Ramos et al. (2001), em um estudo com cinco espécies de adubos verdes, incluindo a *Crotalaria juncea* e o Feijão de Porco, obtiveram CVs de 9,5% e 10,0% para produtividade de matéria seca e acumulação de N, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

- Os valores de produtividade de matéria seca na parte aérea e de acumulação de N na parte aérea apresentadas pela *Crotalaria juncea* são superiores aos valores apresentados pelo Feijão de Porco, nas condições edafoclimáticas da Baixada Fluminense.
- A maior produtividade de matéria seca na parte aérea e maior acumulação de N na parte aérea do Feijão de Porco ocorrem nos plantios de primavera e de verão, e quando as plantas são cortadas aos quatro meses de idade.
- A maior de produtividade de matéria seca na parte aérea e maior acumulação de N na parte aérea pela *Crotalaria juncea* ocorrem em plantios realizados no início e na metade de primavera e quando as plantas são cortadas aos três ou aos quatro meses de idade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000.
- ALEMAN, R.; FLORES, M. **Algunos datos sobre *Canavalia ensiformis***. Honduras: Centro Internacional de Información Sobre Cultivos de Cobertura (CIDICCO), 1993. 4 p. (CIDICCO. Informe Técnico, 10).
- BODDEY, R. M.; SÁ, J. C. de M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 5/6, p. 787-799, 1997.
- CAAMAL-MALDONADO, J. A.; JIMENEZ-OSORNIO, J. J.; TORRES-BARRAGAN, A.; ANAYA A. L. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 27-36, 2001.
- CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produtividade. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 141-153.
- CARVALHO, M. A. C.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n.11, p.1141-1148, 2004a.
- CARVALHO, M. A. C. de; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; EUSTÁQUIO DE SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004b.
- CASTRO, C. M. de; ALVES, B. J. R.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. de L. D. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 8, p. 779-785, 2004.
- CAVIGELLI, M. A.; THIEN, S. J. Phosphorus bioavailability following incorporation of green manure crop. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 1186-1194, 2003.
- CERETTA, C. A.; AITA, C.; BRAIDA, J. A.; PAVINATO, A.; SALET, R. L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 215- 220, 1994.
- COOK, C. G.; SCOTT Jr., A. W.; CHOW, P. Planting date and cultivar effects on growth and stalk yield of sunn hemp. **Industrial Crops and Products**, n. 8, p 89–95, 1998.

- CREWSA, T. E.; PEOPLES, M. B. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 102, p. 279–297, 2004.
- CUTTLE, S; SHEPHERD, M.; GOODLASS, G. **A review of leguminous fertility-building crops, with particular reference to nitrogen fixation and utilization**. In: DEFRA Project OF0316 ‘The development of improved guidance on the use of fertility-building crops in organic farming’, 2003. 167 p.
- DUKE, J. A. *Crotalaria juncea L.* Purdue University. Disponível em: <www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/crotalaria_juncea.html> . Acesso em: 14 set. 2005.
- EIRA, P. A. da; DUQUE, F. F.; De-POLLI, H.; SOUTO, S. M.; ALMEIDA, D. L. de; SANTOS, G. A.; DEMÉTRIO, R.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L. R. Adubos e corretivos. In: De-POLLI, H. (Coord.). **Manual de adubação orgânica para o estado do Rio de Janeiro**. Itaguaí: Editora Universidade Rural, 1988. p. 38-63.
- FAVERO, C.; JUCKSCH I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. da. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 11, p. 1355-1362, 2001.
- GROSS, M. J.; BEAUCHAMP, E. G.; MILLER, M. H. Can a farming systems approach help minimize nitrogen losses to the environment? **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 20, p. 285-297, 1995.
- HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1995. 93 p.
- JØRGENSEN, F. V.; LEDGARD, S. F. Contribution from stolons and roots to estimates of the total amount of N₂ fixed by white clover (*Trifolium repens L.*). **Annals of Botany**, Oxford, v. 80, p. 641-648, 1997.
- KEATINGE, J. D. H.; AIMING, Q. I.; WHEELER, T. R.; ELLIS, R. H.; SUMMERFIELD, R. J. Effects of temperature and photoperiod on phenology as a guide to the selection of annual legume cover and green manure crops for hillside farming systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 57, p.139–152, 1998.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492 p.
- KLUCHINSKI, D. **Cover crops and green manure crops: Benefits, selection, and use**. New Jersey: Rutgers Cooperative Extension, 1996. 3 p.
- MANNETJE, L't. *Crotalaria juncea L.* FAO. Disponível em: <www.fao.org/ag/agp/doc/GBASE/PF000475.HTM>. Acesso em: 14 set. 2005.
- MARSHALL, A. J.; GALLAHER, R. N.; WANG, K. H.; MCSORLEY, R. Partitioning of dry matter and minerals in sunn hemp. In: SANTEN, E. van (Ed.). **Making conservation tillage conventional: Building a future on 25 years of research**. Alabama: Alabama Agriculture Experimental Station, 2002. p. 310-313.
- MURAOKA, T.; AMBROSANO, E. J.; ZAPATA, F.; BORTOLETTO, N.; MARTINS, A. L. M.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E.; SCIVITTARO, W. B. Eficiência de abonos verdes (*crotalaria* y *mucuna*) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. **Terra**, Barcelona, v. 20, p. 17-23, 2001.
- OKITO, A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Isotopic fractionation during N₂ fixation by four tropical legumes. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 1179–1190, 2004.

PADOVAN, M. P.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D.; NDIAYE, A. Avaliação de cultivares de soja, sob manejo orgânico, para fins de adubação verde e produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 12, p. 1705-1710, 2002.

PEREIRA, A. J. **Produção de biomassa e de sementes de *Crotalaria juncea* a partir de diferentes arranjos populacionais e épocas do ano**. 2004. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

RAMOS, M. G.; VILLATORO, M. A. A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ¹⁵N-isotope techniques. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 91, p.105–115, 2001.

RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; QUESADA, D. M.; COELHO, C. H. M.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; GUERRA, J. G. M.; URQUIAGA, S. **Incorporação de leguminosas para fins de adubação verde em pré-plantio de cana-de-açúcar**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 18 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 124).

RODRIGUES, J. E. L. F.; ALVES, R. N. B.; LOPES, D. M. N.; TEIXEIRA, R. N. G.; ROSA, E. S. **A Importância do feijão de porco (*Canavalia ensiformis* DC.) como cultura intercalar em rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no Município de Ponta-de-Pedras/Marajó-PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 96).

SCHENCK, S. **Soil incorporation of cover crop biomass: effect on soil microorganisms and nitrogen levels**. Hawaii: Hawaii Agriculture Research Center, 2003. 10 p. (Diversified Crops Report, 23).

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com adubos verdes. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n.3, p. 201-204, 2001.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília, DF: MEC–Ministério da Educação, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 235 p.

SULLIVAN, P. **Overview of cover crops and green manures**. Fayetteville, Arkansas: ATTRA / National Center for Appropriate Technology, 2003. 16 p.

SUNNHEMP. **UC SAREP online cover crop database**. Disponível em: <www.sarep.ucdavis.edu/cgi-bin/ccrop.exe/show_crop_40#top>. Acesso em: 14 set. 2005.

USDA-United States Departments of Agriculture. **Cover and green manure crop benefits to soil quality**. Washington, 1996. 3 p. (Technical Note, 1).

USDA. **Managing cover crops profitably**. 2. ed. Beltsville, MD: National Agricultural Library, 1998. 214 p. (Handbook Series Book, 3).

WANG, K. H.; MCSORLEY, R.; GALLAHER, R. N. Effect of *Crotalaria juncea* amendment on nematode communities in soil with different agricultural histories. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 35, n. 3, p. 294–301, 2003.

WORTMANN, C. S.; MCINTYRE, B. D.; KAIZZI, C. K. Annual soil improving legumes: agronomic effectiveness, nutrient uptake, nitrogen extraction and water use. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 75-83, 2000.

VALENZUELA, H.; SMITH, J. **'Tropic sun' sunnhemp**. Hawaii: Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2002. 3 p. (Sustainable Agriculture Green Manure Crops, Aug. 2002, SA-GM-11).

ZANELLA, F.; WATANABE, T. M.; LIMA, A. L. S.; SCHIAVINATO, M. A. Photosynthetic performance in Jack Bean (*Canavalia ensiformis*) under drought and after rehydration. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 16, n. 3, p.181-184, 2004.

CAPITULO II

AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM UTILIZANDO-SE COMPOSIÇÕES DISTINTAS DE PALHADA DE LEGUMINOSA E GRAMÍNEA

RESUMO

A compostagem de resíduos agropecuários, industriais e urbanos é uma técnica largamente empregada em países desenvolvidos. No Brasil, a compostagem ainda é pouco utilizada, devido à carência de tecnologias adequadas, entre outros fatores. O crescente interesse pela compostagem em algumas regiões do país tem aumentado a demanda por técnicas adaptadas às condições locais de clima, mercado, disponibilidade de matéria prima e condições sócio-econômicas. Neste capítulo, realizou-se trabalhos com o objetivo de testar a viabilidade de obtenção de compostos ricos em N, utilizando-se gramíneas como principal fonte de carbono e leguminosas como principal fonte de N, sem a necessidade de adição de esterco ou adubos minerais. Para isto, foram conduzidos três experimentos, em que se testaram diferentes condições de compostagem e diversas proporções de matérias primas, tendo como base a mistura de *Crotalaria* (*Crotalaria juncea*) e capim Napier (*Pennisetum purpureum*). Avaliou-se as seguintes características: umidade, densidade, pH, condutividade elétrica, teores de N, C, Ca, Mg, P e K, relação C:N, perda de massa e perda de N durante a compostagem. Também foram realizadas avaliações e discussões das metodologias de compostagem, amostragem e análise utilizadas, além de uma revisão bibliográfica detalhada sobre compostagem. De acordo com os resultados, é possível a obtenção de compostos com elevados teores de N, utilizando-se *Crotalaria* pura ou misturada com capim Napier, sem a necessidade da adição de inoculantes ou outros aditivos. Observou-se também que a compostagem de *Crotalaria* pura ou misturada com capim Napier pode causar grandes perdas de massa e de N, principalmente no início do processo.

ABSTRACT

The composting of agricultural, industrial and urban residues is one technique largely utilized in more developed countries. In Brazil, the composting is still one practice of reduced importance, with the use of techniques generally little adapted to local conditions. The increasing interest for the composting in some regions of the country has increased the demand for suitable techniques of composting to conditions of raw materials availability, climate, market and partner-economic conditions. In this chapter we achieved several works with the objective to test the viability of getting composts rich in N, using legume green manures as source of this nutrient, without the necessity of organic manures or mineral fertilizers additions. Therefore, different conditions of composting and several ratios of raw materials had been studied in three experiments, having as base the mixture of *Crotalaria* (*Crotalaria juncea*) and Napier grass (*Pennisetum purpureum*). The following characteristics were evaluated: humidity, density, pH, electric conductivity, tenors of N, C, Ca, Mg, P and K, C:N ratio, loss of mass and loss of N during the composting. It was also discussed the composting, sampling and analysis methodologies, besides carrying through a detailed bibliographical review on composting. The results showed that is possible to obtain a compost with high tenor of N using *Crotalaria* pure or mixed with Napier grass, without inoculation or other additives. It was also observed that the composting of *Crotalaria* pure or mixed with Napier grass can lead to the high losses of mass and N, mainly at the beginning of the process.

1. INTRODUÇÃO

A prática da compostagem tem aumentado muito nos últimos anos em várias partes do mundo. Em países mais desenvolvidos, a compostagem é utilizada principalmente para reduzir os problemas ambientais causados por restos de produção agropecuária, resíduos industriais, lixo urbano e lodo de esgoto. Em países menos desenvolvidos, a compostagem é utilizada principalmente para a obtenção de fertilizantes orgânicos, utilizados como condicionadores de solo e como fonte de N e outros nutrientes.

Para dar o suporte científico a crescente utilização da compostagem, o volume de pesquisas nesta área também cresceu expressivamente nos últimos anos. Em países como os EUA, há muito tempo a compostagem deixou de ser uma prática empírica, para se tornar uma ciência, contando com algumas publicações periódicas especializadas no assunto.

No Brasil, a compostagem ainda é uma prática de reduzida importância, talvez devido a pouca preocupação ambiental que persiste na sociedade brasileira e às imensas reservas de recursos naturais do país. As técnicas utilizadas, geralmente, reproduzem técnicas desenvolvidas em outros países, e a maior parte da compostagem realizada por produtores rurais é feita de forma empírica. Neste caso, a eficiência da compostagem é avaliada, de maneira geral, pelo aquecimento do composto, sem muita preocupação com a qualidade do produto obtido ou com as perdas de massa e nutrientes durante o processo.

É crescente o interesse pela compostagem no país, principalmente nas Regiões Sul e Sudeste. A adoção de padrões internacionais de qualidade ambiental está incentivando a compostagem de resíduos industriais e de lixo urbano. O elevado custo e a pouca disponibilidade de fertilizantes orgânicos tradicionalmente utilizados na agropecuária está viabilizando a utilização de compostos para esta finalidade. E está ocorrendo o aumento da produção agrícola em sistema orgânico, cuja legislação obriga que esterco oriundos de sistemas de produção convencional sejam previamente compostados.

Desse modo, é crescente a demanda por técnicas de compostagem adaptadas às condições de clima, mercado, disponibilidade de matéria prima e características sócio-econômicas encontradas nas várias regiões do país. É preciso desenvolver a compreensão sobre o processo para que seja possível definir a contribuição das características da matéria prima e de diferentes variáveis, na qualidade do produto final, quantificando-se perdas e identificando limitações.

Neste capítulo, realizaram-se diversos trabalhos com o objetivo de testar a viabilidade da obtenção de compostos ricos em N, utilizando-se adubos verdes como principal fonte deste nutriente, sem a necessidade de adição de esterco ou adubos minerais.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1- Definição de Compostagem

Compostagem pode ser definida como a decomposição biológica de substratos orgânicos, sob condições que permitem alcançar temperaturas termofílicas como o resultado da produção biológica de calor, para obter um produto final estável, livre de patógenos e de sementes e que pode ser utilizado em benefício do solo (Hang 1993, citado por WRAP, 2004). Segundo Sharma et al. (1997), compostagem geralmente é definida como a decomposição biológica oxidativa, sob condições controladas, de substâncias orgânicas presentes em materiais de diversas naturezas. Schaub & Leonard (1996), definem compostagem como um processo bioquímico aeróbio natural em que microorganismos transformam materiais orgânicos em produtos mais estáveis que beneficiam o solo.

2.2- Objetivos da Compostagem

A utilização de diferentes matérias primas e de diferentes processos de compostagem permite a obtenção de uma grande variedade de produtos. Para se determinar a eficiência do processo de compostagem e a qualidade do produto obtido, é necessário que seja definido claramente o objetivo da compostagem. Na literatura são descritos os seguintes objetivos:

2.2.1- Estabilização do material

Para que materiais orgânicos, como esterco, resíduos industriais e restos vegetais possam ser estocados e transportados sem riscos de elevação de temperatura ou emissão de odores desagradáveis, é necessário que estes estejam em um grau de estabilidade adequado. Além disto, os materiais utilizados como fertilizantes orgânicos ou como substratos não podem provocar imobilização de nutrientes, apresentar processos de decomposição que causem a redução de oxigênio na zona radicular ou liberar compostos fitotóxicos. Segundo Johnson & Crawford, 1993 (citado por Jahnel et al., 2000), um composto imaturo gera odor desagradável, inibe a germinação de sementes e interfere negativamente no desenvolvimento das plantas.

O processo de compostagem pode ser utilizado para aumentar a estabilidade de diversos materiais. O grau de estabilidade alcançado está relacionado com a matéria prima utilizada, a velocidade de decomposição e a duração da compostagem. Maiores detalhes sobre definição e indicadores de estabilidade são apresentados na seção 2.7.

2.2.2- Redução ou eliminação de organismos indesejáveis

Restos de produção animal e vegetal, resíduos industriais e materiais expostos ao ambiente podem conter organismos que podem colocar em risco a saúde humana, a produção vegetal e animal e o meio ambiente. A compostagem é uma técnica muito utilizada para solucionar este problema. Os organismos perigosos podem ser separados em dois grupos:

1- Organismos patogênicos ao homem e aos animais: Segundo Jones & Martin (2003), a maior parte dos vírus, bactérias, protozoários e parasitas patogênicos são inativados por uma compostagem eficiente. Vanotti et al. (2005) e Salmonela (1998), também relatam a eliminação de patógenos através da compostagem. A Tabela 2.1 dá

um exemplo das condições necessárias para se obter um composto livre de organismos patogênicos.

Tabela 2.1: Temperatura e intervalo de tempo necessário para destruir os tipos mais comuns de microorganismos e parasitas ocasionalmente presentes em resíduos orgânicos.

<i>Salmonella tyfosa</i>	O crescimento é paralisado acima de 45 °C. Morte com 20-30 minutos à 55-60 °C.
<i>Salmonella sp.</i>	Morte com 60 e 20 minutos à 55 e 60 °C, respectivamente.
<i>Shigella sp.</i>	Morte com 60 minutos à 65 °C.
<i>Esterichia coli</i>	Uma grande proporção morre com 60 e 15-20 minutos à 55 e 60 °C, respectivamente.
<i>Entamoeba histolytic</i>	Morte com alguns minutos à 45 °C e com alguns segundos à 55 °C.
<i>Taenia saginata</i>	Morte com alguns minutos à 55 °C.
<i>Trichinella spiralis</i>	Morte rápida à 45 °C e instantânea à 60 °C.
<i>Brucella abortus e brucella suis</i>	Morte em 3 minutos à 62-63 °C e com uma hora à 55 °C.
<i>Micrococcus piogenes</i>	Morte em 10 minutos à 50 °C.
<i>Streptococcus piogenes</i>	Morte em 10 minutos à 54 °C.
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. hominis	Morte em 15 a 20 minutos à 66 °C.
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	Morte em 45 minutos à 55 °C.
<i>Néctar americanus</i>	Morte em 50 minutos à 45 °C.
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Morte em 50-60 minutos a uma temperatura > 50 °C.

Fonte: R.G. Barazzeta, 1987, citado por Sharma et al., 1997

2- Nematóides e microorganismos fitopatogênicos: Noble & Roberts (2003), em uma revisão sobre o efeito da compostagem em 60 fitopatógenos, relatam que a temperatura de 51 °C por 21 dias durante a compostagem foi suficiente para a erradicação de todas as bactérias, a maioria dos fungos e um grande número de vírus.

2.2.3- Redução ou eliminação de substâncias tóxicas

Segundo Semple et al. (2001), as pilhas de compostagem e os compostos são grandes fontes de microorganismos degradadores, incluindo bactérias, actinomicetos e fungos que podem transformar poluentes em substâncias inócuas, como água e CO₂. Estes microorganismos também podem transformar poluentes em substâncias menos tóxicas ou imobilizá-los na MO, reduzindo o seu potencial poluidor. Ihnat & Fernandes (1996), relatam a imobilização de alguns metais pesados durante a compostagem de cama de aviário. Para Kapanen & Itavaara (2001), a degradação de poluentes orgânicos durante a compostagem ainda é pouco estudada.

2.2.4- Disponibilidade ou concentração de nutrientes

Durante a compostagem, grande parte da MO é degradada até a forma de CO₂, liberando grande parte dos nutrientes que estavam imobilizados nas substâncias orgânicas. Além disto, como geralmente as perdas dos nutrientes por volatilização e lixiviação são menores que a perda de carbono por CO₂, também ocorre uma concentração de nutrientes.

Para a produção de compostos com elevada eficiência no fornecimento de nutrientes, geralmente não é necessário que o processo de compostagem se estenda além da fase de estabilização. Após esta fase ocorre pouca concentração e disponibilização de nutrientes, aumenta-se o custo da compostagem e o composto fica sujeito a perdas de massa e nutrientes.

2.2.5- Melhoria na capacidade de condicionamento do solo

Outra finalidade da utilização de compostos como fertilizantes orgânicos é o condicionamento do solo, visando melhorar suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Entretanto, diferentes propriedades podem exigir compostos com características diferentes. Segundo Sharma et al. (1997), compostos podem ser utilizados ainda imaturos, para que sua decomposição e estabilização ocorram no solo, com efeitos benéficos para a atividade microbiana e disponibilidade geral de nutrientes. Por outro lado, compostos maduros podem ser considerados fertilizantes orgânicos para propósitos gerais.

A literatura geralmente associa compostos com altos índices de maturidade e estabilidade com elevada capacidade para condicionamento físico e químico do solo. Estes índices geralmente estão associados a maiores períodos de compostagem e a matérias primas ricas em lignina.

2.2.6- Eliminação de material poluidor

A compostagem é muito utilizada para que seja dada uma destinação a produtos que podem poluir o ambiente, como restos de produção animal e vegetal, resíduos industriais, lixo urbano e lodo de esgoto.

Segundo Sharma et al. (1997), resíduos orgânicos oriundos de concentrações humanas e atividades econômicas podem criar sérios problemas ambientais e de saúde pública, como odores desagradáveis, meio de crescimento de organismos patogênicos, ocupação de vastas áreas etc. Mas se utilizados corretamente, podem ser convertidos em materiais benéficos como fertilizantes e combustíveis.

Fang et al. (1998) e Gaiind & Gaur (2003) estudaram a adição de cinza durante a compostagem de vários materiais, visando encontrar uma maneira de se desfazer deste resíduo. Diversos autores relatam a utilização da compostagem para solucionar problemas de poluição, com lixo urbano e lodo de esgoto (Sharma et al., 1997; Slater & Frederickson, 2001; Yuan-song et al., 2000 e Jahnle et al., 2000), resíduos animais (Sediyama et al., 2000; Imbeah, 1998; Wang et al., 2004; Hanajima et al., 2001; Lo et al., 1993) e resíduos vegetais (Tejada et al., 2001; Singh & Amberger, 1998; Frederickson et al., 1997 e Boopathy et al., 2001).

2.2.7- Agregação de valor a subprodutos de atividades agropecuárias e industriais

Diversos subprodutos de atividade agropecuária e industriais, geralmente de baixo valor comercial, podem ser transformados em produtos de maior valor através da compostagem. Segundo Schaub & Leonard (1996), a compostagem de subprodutos pode ser uma fonte de receita para a indústria de alimentos. Negro et al. (1999) relatam que nos EUA, a compostagem pode transformar resíduo de sorgo açucareiro, que geralmente é utilizado como fonte de energia, em fertilizante orgânico. Van Heerden et al. (2002), estudaram a compostagem de resíduos de cítrus visando reduzir custos de secagem. Para Domeizel et al. (2004), a compostagem é uma maneira de se valorizar resíduos.

2.2.8- Outras utilizações

A compostagem pode ser utilizada para outras finalidades de menor importância, como o fornecimento de CO₂ e aquecimento de casas de vegetação (também conhecidas como estufas), como descreve Dive (2001). Também pode ser utilizada para a obtenção de biogás visando à produção de eletricidade, como descrevem Smet et al. (1999). Alguns autores (Frederickson et al., 1997; Vincelau-Akpa & Loquet, 1997; Landgraf et

al., 1999 e Misra & Roy, 2003) consideram a produção de minhocas através da vermicompostagem como uma forma de compostagem.

2.3- O Processo de Compostagem

Quando ocorrem as condições necessárias para o processo de compostagem, a atividade microbiana provoca o aumento da temperatura no interior do composto. Segundo Weppen (2001), durante a compostagem, ocorre produção de calor relacionada com a atividade microbiana. Também ocorrem perdas de calor relacionadas com a irradiação, condução, evaporação de água e transferência de massa para a fase gasosa. Para Magalhães et al. (1993), a perda de calor em pilhas de composto ocorre principalmente através da evaporação da água.

Como resultado, ocorre uma seqüência de populações microbianas, cada uma com uma faixa ideal de temperatura e capacidade de decompor materiais diferentes. De acordo com Sánchez-Monedero et al. (1999), bactérias são mais adaptadas para utilizarem materiais de fácil decomposição (açúcares solúveis, amido e proteínas) enquanto os fungos são mais adaptados para utilizarem materiais de difícil decomposição (celulose e lignina).

Inicialmente, bactérias mesofílicas, com temperaturas ótimas de crescimento na faixa de 20-50 °C são as responsáveis pela decomposição. Como resultado desta atividade microbiana, a temperatura do composto se eleva para além da faixa mesofílica, e ocorre o domínio de bactérias termofílicas, com temperaturas ótimas de crescimento entre 40-60 °C (Figura 2.1). Esta temperatura se mantém durante a fase inicial de alta decomposição e é importante para que a população de bactérias patogênicas, sementes de plantas invasoras e outros organismos indesejáveis se reduza a níveis aceitáveis. Para que isto ocorra, a temperatura do composto deve se manter acima de 55 °C por 3 a 15 dias, dependendo do método de compostagem (Sharma et al, 1997).

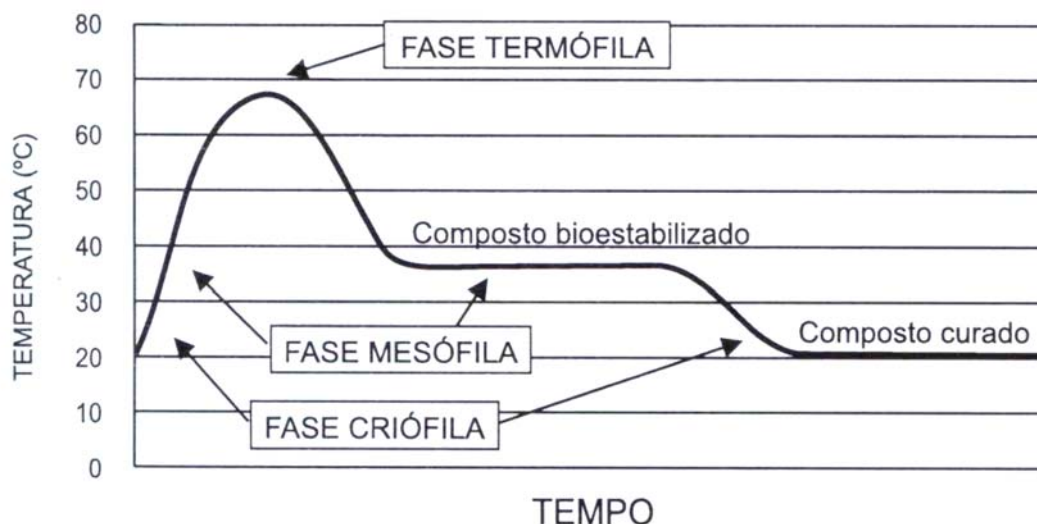


Figura 2.1: Curva padrão da variação da temperatura durante o processo de compostagem (Kiehl, 2001).

Em seguida, a temperatura cai e organismos mesofílicos continuam com a decomposição do material em uma taxa mais lenta. Durante o processo de compostagem, ao se esgotarem os elementos de fácil decomposição, fungos termofílicos e mesofílicos substituem as bactérias como população dominante.

Quando a atividade microbiana se reduz drasticamente, inicia-se a fase de cura, onde ocorre a humificação do composto. Segundo Bernal et al. (1998a), esta fase pode durar de poucos meses a dois anos, dependendo do material de origem. Devido à utilização do C como fonte de energia pelos microorganismos, levando à sua perda como CO₂, a massa final do composto geralmente corresponde a menos que 40% da sua massa inicial.

Segundo Tuomela et al. (2000), a duração de cada fase da compostagem está relacionada com a natureza da MO que está sendo decomposta e com fatores que interferem na eficiência do processo, tais como aeração, controle de umidade etc.

A Figura 2.2 mostra as variações típicas dos parâmetros químicos de um material orgânico durante o processo de compostagem.

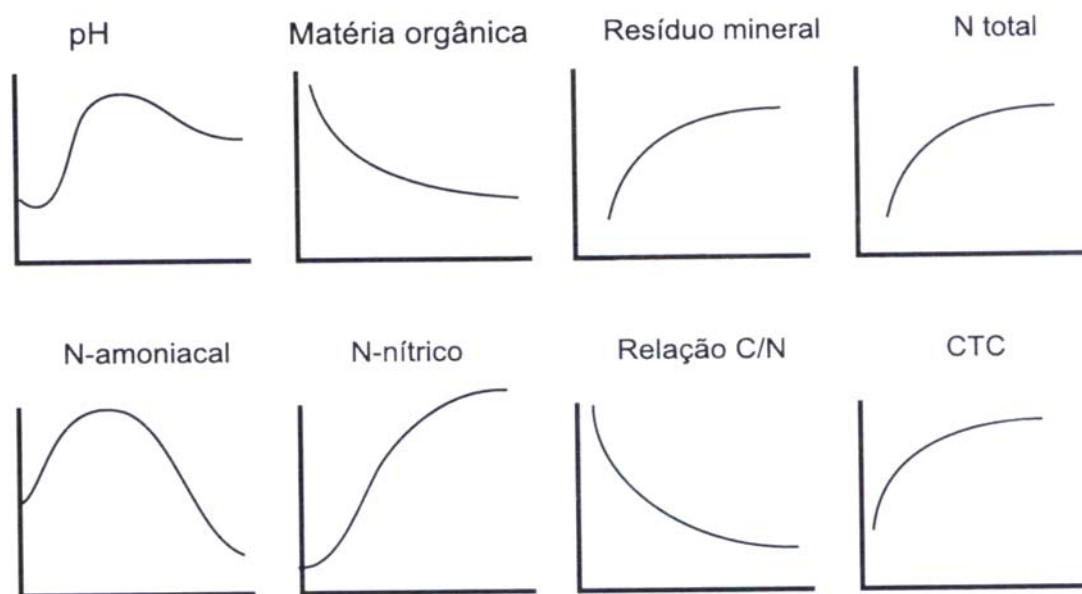


Figura 2.2: Variações típicas de alguns parâmetros durante a compostagem (Kiehl, 2001).

O início do processo de compostagem geralmente é fracamente ácido, devido à decomposição de fontes de carbono de fácil degradação, resultando na produção de ácidos orgânicos. Em seguida, a degradação de proteínas resulta na liberação de amônia e provoca a elevação do pH. Quando a amônia é transformada em nitrato, o pH volta a cair (Tuomela et al., 2000). Van Heerden et al. (2002), observaram que o pH em compostos de resíduos de cítrus estava em 6,3 no início da compostagem, aumentando até 9,0 aos 45 dias e diminuindo até 7,2 aos 80 dias.

O teor de MO decresce e o de resíduo mineral aumenta ao longo da compostagem, porque a perda de C por CO₂ geralmente é superior a perda de substâncias inorgânicas. Na literatura, este comportamento é relatado por diversos autores (Vinceslau-akpa & Loquet, 1997; Sánchez-Monedero et al., 2001; Jahnel et al., 2000, Tiquia et al., 1998).

Segundo Bernal et al. (1998a), a concentração de N geralmente aumenta durante a compostagem quando a perda de massa através de CO₂ é maior que a perda de N-amônio. Jahnel et al. (2000) e Tiquia et al. (1998) também observaram este comportamento. Quando o teor de N inicial é muito elevado e as perdas de N durante o processo de compostagem são muito grandes, pode ocorrer redução nos teores de N.

Tiquia & Tam (2002), observaram uma significativa redução nos teores de N ao longo de 168 dias de compostagem de cama de aviário, causadas por perdas de 58% do N inicial.

O teor de amônia se eleva devido à degradação das proteínas. Em seguida, a amônia é transformada em nitrato por bactérias nitrificadoras. Segundo Bernal et al. (1998a), grande parte desta transformação ocorre após a fase termofílica, pois temperaturas maiores que 40 °C inibem a atividade dos nitrificadores. Nesta fase, o teor de nitrato se eleva e o de amônia decresce até próximo de zero, como relatado por diversos autores (Tiquia et al., 1997b; Sánchez-Monedero et al., 2001; Tiquia et al., 1997c). Segundo Sánchez-Monedero et al. (2001), a evolução de diferentes formas de N durante a compostagem depende do material fornecedor de N e da taxa de decomposição da MO.

A relação C:N cai ao longo da compostagem, geralmente estabilizando-se próximos a 10/1, que é o valor da relação C:N da biomassa microbiana.

O aumento da CTC ocorre ao longo da compostagem, sendo devido ao processo de humificação do composto. Este comportamento é muito comum e foi observado por diversos autores (Tiquia et al., 1997b; Bernal et al., 1998a; Tiquia et al., 1998 e WRAP, 2004). E alguns autores, como Rodella & Alcarde (1994), recomendam a utilização da relação CTC/C-orgânico como indicador de maturidade ou estabilidade.

Segundo WRAP (2004), os compostos geralmente contêm consideráveis quantidades de P. Entretanto, este elemento geralmente está presente em formas pouco disponíveis para as plantas, como complexos orgânicos, sendo sua disponibilidade influenciada pelo pH. O teor de K no composto varia em função de sua concentração na matéria prima.

A perda de massa ao longo da compostagem devido à emissão de CO₂ varia de acordo com a matéria prima utilizada e com as condições durante o processo. As maiores perdas acontecem no início da compostagem. Tiquia et al. (1997a), observaram as maiores taxas de mineralização de C durante o primeiro dia de compostagem. Vuorinen & Saharinen (1997), observaram perdas de 11-27% do conteúdo inicial de C nos sete primeiros dias e de 62-66% em 3 meses de compostagem. Smet et al. (1999), observaram perdas de 60% da massa em 12 semanas de compostagem de lixo urbano.

A perda de N durante a compostagem ocorre principalmente por volatilização. Esta perda está relacionada com os teores de N na matéria prima e com as condições de compostagem, sendo favorecida por condições anaeróbias ou excesso de aeração (Tiquia & Tam, 2002), temperaturas elevadas (Smet et al., 1999) e pH (Nagasaki et al., 1993). Segundo Jeong & Kim (2001), o N-nitrato também é perdido na forma gasosa, através de reação de denitrificação durante o estágio de maturação.

Smet et al. (1999), também observaram, durante a compostagem aeróbia, a emissão de compostos, como propanol, etanol, acetona, limoneno e etil-acetato.

2.4- Condições Recomendadas para a Compostagem

A compostagem eficiente deve produzir compostos com as características desejadas e ser realizada com custo e tempo de produção reduzidos. Para isto, devem-se satisfazer certos requisitos, principalmente os relacionados às condições que influenciam a atividade microbiana. A literatura descreve os seguintes fatores como os mais importantes:

2.4.1- Relação C:N

A disponibilidade de N durante a compostagem é um fator limitante para a síntese de proteína, crescimento microbiano e conversão biometabólica (Rodrigues et

al., 1995). Segundo Schaub & Leonard (1996), antes da compostagem, o material deve ter a relação C:N entre 25:1 e 35:1. Se esta relação for muito baixa, o excesso de N será perdido como amônia. Se o conteúdo de C for elevado, a compostagem será lenta e a maior parte do C será perdida como CO₂.

2.4.2- Teores de celulose e de lignina

Os teores de celulose e de lignina têm grande influência na velocidade de compostagem e nas características físicas e químicas do produto obtido. A celulose se decompõe mais rapidamente e a lignina, devido à sua estrutura molecular mais complexa, tem a decomposição mais lenta e resulta em compostos mais humificados.

Sánchez-Monedero et al. (1999), obtiveram valores de 70 a 80% e 30 a 50% para degradação de celulose/hemicelulose e lignina, respectivamente, após 20 semanas de compostagem. Madejón et al. (2001), estudando a compostagem de resíduos da produção de açúcar de beterraba, observaram que a utilização de material mais rico em lignina resultou em degradação mais lenta da MO.

2.4.3- pH

Segundo Nagasaki et al. (1993), o pH é um importante fator ambiental durante a compostagem. Estes autores observaram que o pH ótimo para a atividade de microorganismos degradadores de proteína está na faixa entre 7 e 8, enquanto a degradação de celulose ocorre mais rapidamente quando o pH no início da compostagem varia de 6 a 9. De acordo com Tejada et al. (2001), pH alcalino associado com elevadas temperaturas durante a compostagem, indica maior disponibilidade de N e maior atividade microbiana, enquanto que pH inferior a 6, resulta em menores temperaturas.

O pH pode ser controlado através da utilização de aditivos ou da escolha de matérias primas com diferentes reações de pH.

2.4.4- Umidade

Segundo Kiehl (2001), a umidade é muito importante na sobrevivência dos microorganismos, na manutenção da temperatura e na aeração do composto. Esta deve se manter entre 40 e 60%. Se a umidade for muito elevada, ocorre redução da disponibilidade de oxigênio, resultando em decomposição anaeróbia do composto, o que leva a produção de maus odores e perda de nutrientes, além da formação de substâncias indesejadas.

Tiquia et al. (1997b) estudando a compostagem de esterco suíno e serragem, observaram que o controle da umidade pode reduzir o tempo de decomposição. Mondini et al. (2002), observaram que a secagem e o reumidecimento do composto afeta o conteúdo de biomassa microbiana. Tiquia et al. (1998) estudando a compostagem de resíduos de suínos, observaram que a manutenção da umidade em 70% aumentou o tempo necessário para a estabilização. Este autor recomenda a manutenção da umidade entre 50 e 60%.

2.4.5- Tamanho dos fragmentos

Compostos formados por materiais com grande tamanho de fragmentos permitem maior aeração, mas requerem maior tempo de decomposição. Materiais muito fragmentados possuem maior área superficial, o que facilita a decomposição microbiana, mas provocam a compactação e diminuem a aeração do composto. A

mistura de materiais de diferentes tamanhos de fragmentos é uma forma de se aumentar a eficiência da compostagem.

Segundo Schaub & Leonard (1996), materiais com fragmentos de grande tamanho devem ser picados ou quebrados antes da compostagem. Já materiais muito fragmentados devem ser misturados a materiais mais grosseiros, como cavacos de madeira, visando obter a porosidade adequada à aeração.

2.4.6- Temperatura

Quando se deseja a eliminação de organismos indesejáveis através da compostagem, esta deve atingir temperaturas elevadas e mantê-las por maiores períodos. Caso contrário, alguns autores recomendam a manutenção da temperatura em valores mais reduzidos. Sharma et al. (1997) e Laseridi & Stentiford (1998) recomendam 55 °C.

A manutenção da temperatura dentro da faixa ótima é importante para a eficiência da compostagem. Tiquia et al. (1997c), observaram que a compostagem com temperaturas fora do padrão resulta em produto final imaturo e de baixa qualidade. Segundo Hassen et al. (2001), a auto-esterilização induzida por elevadas temperaturas (60-65 °C) durante a compostagem causa significativa mudança na comunidade bacteriana. De acordo com Misra & Roy (2003), se a temperatura atinge valores acima de 71 °C, os microorganismos são destruídos, o composto esfriará e todo o processo terá que recomeçar.

2.4.7- Aeração e revolvimento

Para que a compostagem seja realizada de forma eficiente, é necessário que haja boa aeração em todas as camadas do composto. Com isto, evita-se a decomposição anaeróbia e impede-se a elevação da temperatura acima do valor ideal. Na compostagem em pilhas, a aeração ocorre naturalmente através da convecção do ar aquecido em seu interior. Mas a aeração pode ser aumentada através do revolvimento dos compostos ou da ventilação forçada das pilhas. Segundo Misra & Roy (2003), a ventilação forçada promove o melhor controle do processo de compostagem e possibilita a montagem de pilhas mais largas.

O revolvimento do composto, além de melhorar a aeração, pode ativar o processo de compostagem nas fases iniciais e também promover a uniformização do material, o que é muito importante para a eliminação de organismos indesejáveis. Illmer & Schinner (1997), obtiveram melhores condições de compostagem, como ausência de moscas e de cheiro ruim, através de um revolvimento mais eficiente. Segundo Tiquia et al. (1997a), a frequência ótima de revolvimento varia muito para diferentes materiais e seu efeito nas várias características do composto é pouco compreendido.

2.4.8- Dimensões das pilhas

Quando a compostagem é realizada em pilhas, suas dimensões, principalmente a sua largura, influencia de maneira marcante a eficiência do processo, pois afeta a temperatura, a aeração e a uniformização dos compostos.

Pilhas muito largas possuem pouca aeração, podendo provocar temperaturas muito elevadas e decomposição anaeróbia. Pilhas muito estreitas provocam elevadas perdas de calor. Segundo Misra & Roy (2003), para gerar e manter o calor necessário a uma compostagem eficiente, é preciso um volume mínimo de composto. Magalhães et al. (1993), observaram que compostagem realizada em maiores volumes proporciona temperaturas elevadas nas pilhas. Além disto, pilhas estreitas tem maior proporção de

camada periférica, que geralmente apresenta características diferentes da camada interna, levando a maior desuniformidade do composto obtido.

Com relação à altura das pilhas, esta também afeta o desempenho da compostagem, mas é determinada principalmente pela estabilidade da pilha, evitando-se riscos de desmoronamentos. O comprimento da pilha tem pouco efeito no desempenho da compostagem.

2.4.9- Duração da compostagem

A duração da compostagem será determinada pelas características da matéria prima, pela velocidade de decomposição e pelas especificações desejadas no produto final. A literatura apresenta períodos que variam de alguns dias até a alguns meses (Weppen, 2001; Mondini et al., 1996; Baddi et al., 2004 e Vincelau-Akpa & Loquet, 1997). Quanto maior o período de compostagem, maior será o grau de estabilização e maturação do composto (ver seção 2.7), mas também maiores serão o custo da compostagem e as perdas de massa e nutrientes.

A compostagem pode ser acelerada através de revolvimentos mais freqüentes, utilização de aditivos e maior controle da umidade, temperatura e aeração. Entretanto, isto promove maiores custos. Geralmente se tenta reduzir a duração da compostagem em situações onde há limitação de espaço físico, como em pátios de compostagem ou reatores para produção em larga escala.

2.4.10- Utilização de aditivos

Visando aumentar a eficiência da compostagem, diversos produtos podem ser adicionados antes ou durante o processo. Estes aditivos podem atuar de diversas formas, mas seus principais efeitos são:

- Enriquecimento com N mineral visando ativar a compostagem e aumentar o teor deste elemento no produto final. Segundo Misra & Roy (2003), o método de compostagem da Universidade de Dakota do Norte recomenda a adição de 120g de fertilizante nitrogenado por m³ de composto.

- Adição de formas pouco solúveis de P visando a sua solubilização pelos ácidos orgânicos liberados durante a compostagem. Este efeito é muito conhecido e foi estudado por diversos autores (Sediyama et al., 2000; Smet et al., 1999; Gaind & Gaur, 2003).

- Redução do pH. Roig et al. (2004) observaram que a adição de S elementar pode reduzir o pH em composto de resíduos da produção de azeite de oliva. Witter & Kirchmann (1989b, citados por Jeong & Kim, 2001), usaram sais de Ca e Mg para precipitar a amônia do composto, reduzindo o pH.

- Redução da perda de N por volatilização de amônia. Diversos trabalhos são descritos na literatura visando reduzir a perda de amônia por volatilização. Através da sua absorção, utilizando-se carvão, zeolita ou basalto (Bernal et al., 1993; Witter & Kirchman, 1989a, citados por Jeong & Kim, 2001). E através da sua precipitação, utilizando-se sais de Ca, Mg ou P (Sediyama et al., 2000; Jeong & Kim, 2001).

- Adição de materiais de maior granulometria, como palha, serragem, turfa etc. Isto facilita a aeração em compostos de materiais pastosos ou de reduzida granulometria. Segundo Lo et al. (1993), estes aditivos promovem o suporte estrutural e mantêm macroporos na massa de composto. Estes aditivos também podem afetar o tempo necessário para a maturação do composto, como relatam Wang et al. (2004), ou absorver o excesso de amônia, como relata Imbeah (1998).

- A adição de materiais ricos em carboidratos de fácil metabolização é utilizada para ativar o processo de compostagem. Boopathy et al. (2001) observaram que a adição

de melão acelerou a compostagem de resíduos de cana de açúcar. Singh & Amberger (1998) também utilizou melão para aumentar a atividade microbiana durante a compostagem de palha de trigo. Segundo Hanajima et al. (2001), resíduo de tofu (queijo de soja) contém matéria orgânica de fácil degradação, podendo ser utilizado para aumentar a fase termofílica da compostagem.

- Seguidores e simpatizantes da Agricultura Biodinâmica acreditam que a adição de preparados biodinâmicos pode aumentar a eficiência do processo e o enriquecimento do composto. Ávila (2002) recomenda a adição de seis diferentes preparados. Dive (1999) recomenda a adição dos preparados 502-506 no interior do composto e o preparado 507 pulverizado sobre o composto.

- A inoculação de microorganismos visando aumentar a eficiência da compostagem é um assunto polêmico. Existem defensores do uso generalizado de inoculantes, representados principalmente por empresas interessadas em vender este insumo. Outros defendem o uso de inoculantes somente em condições específicas, como a compostagem em larga escala de um resíduo industrial específico. E existem os defensores da idéia de que mais importante que a inoculação, é criar condições favoráveis para o desenvolvimento de microorganismos nativos.

Misra & Roy (2003) relataram o uso de EM (Microorganismos Eficientes) em um processo de compostagem industrial em Mianmar. Este autor também relata a adição de inóculos de fungo decompositor de celulose na compostagem de palha de arroz. Yuan-Song et al. (2000) relatam a utilização de inoculantes na compostagem de lodo de esgoto e resíduo suíno na China. Lopez et al. (2002) observaram que a adição de fungos degradadores de lignocelulose facilitou a compostagem de resíduos ricos nesta substância, mas a inoculação deve ser realizada após a fase termofílica, para evitar que temperaturas elevadas destruam estes fungos.

Boopathy et al. (2001), estudando a decomposição de resíduos de cana de açúcar, demonstraram que bactérias e fungos presentes no solo de cultivo promovem a decomposição eficiente destes resíduos. Segundo Sharma et al. (1997), pesquisas realizadas por diversos autores indicam claramente que a inoculação não é necessária nem vantajosa, especialmente quando microorganismos eficientes já estão presentes na massa do composto.

2.5- Tipos de Compostagem

2.5.1- Decomposições anaeróbia x aeróbia

Diversos autores definem a compostagem como uma decomposição aeróbia. Entretanto, em algumas situações pode ocorrer uma decomposição anaeróbia ou fermentação. Isto ocorre involuntariamente, quando materiais com muita umidade ou com granulometria muito fina são utilizados, quando são montadas pilhas com volume muito grande ou quando não são realizados revolvimentos suficientes. Também pode ocorrer de maneira voluntária. Smet et al. (1999) testaram a eficiência de métodos de compostagem que utilizam uma fase anaeróbia, com 3 semanas de duração, e uma fase aeróbia, com 2 semanas de duração.

Segundo Misra & Roy (2003), a decomposição anaeróbia está associada com efeitos indesejáveis, como baixas temperaturas, decomposição lenta e emissão de odores desagradáveis. Para Mata-Alvarez et al. (2000), efluentes de digestão anaeróbia geralmente tem muita umidade, contém grande quantidade de ácidos voláteis, que provocam efeitos fitotóxicos, e não são higienizados, devido não alcançar temperaturas termofílicas.

A decomposição anaeróbia pode ser útil em algumas situações. Kirchmann & Bernal (1997), observaram que a perda de C é menor durante um tratamento anaeróbio quando comparado ao tratamento aeróbio. Segundo Mata-Alvarez et al. (2000), a decomposição anaeróbia pode ser utilizada para a obtenção de biogás, produzindo neste processo, resíduos com matéria orgânica de baixa velocidade de decomposição, adequados para o condicionamento do solo.

2.5.2- Métodos de compostagem

Atualmente, existem métodos de compostagem com diversos graus de complexidade. Em geral, sistemas de alta tecnologia requerem elevados investimentos, mas resultam em melhor controle do processo e altas taxas de decomposição, necessitando de menores espaços físicos. De acordo com Schaub & Leonard (1996), os principais métodos de compostagem são:

Pilhas estáticas

O material é colocado em pilhas estáticas onde a aeração ocorre devido ao fluxo convectivo do ar. É um processo de baixo custo, mas muito lento e que resulta em compostos de baixa qualidade, devido à desuniformidade da decomposição.

Pilhas aeradas

O material é colocado em pilhas onde a aeração pode ocorrer de duas formas: através do bombeamento de ar no interior das pilhas ou através do revolvimento periódico das pilhas. Este método permite controlar a temperatura do composto e evitar a decomposição anaeróbia, e no caso de serem realizados revolvimentos periódicos, também promove melhor uniformização do material.

Reatores

A compostagem é feita em ambientes que promovem condições ótimas para a rápida decomposição do material. Os reatores possuem meios para revolver, irrigar e aerar o material. Isto possibilita o controle da aeração, umidade, temperatura e impede a emissão de odores desagradáveis. Sua desvantagem é o alto custo de implantação e de manutenção.

2.5.3- Vermicompostagem

A utilização de minhocas para a compostagem de substância orgânicas é descrita por diversos autores. Segundo Misra & Roy (2003), minhocas podem consumir diariamente quantidades de MO equivalentes ao seu peso, promovendo o revolvimento do material. Seus dejetos (coprólitos) são ricos em nitrato, P disponível, K, Ca e Mg. A passagem da MO pelo intestino das minhocas promove o crescimento de bactérias e actinomicetos. Frederickson et al. (1997) observaram que a vermicompostagem de material parcialmente compostado por 2 semanas pode acelerar a sua estabilização. Vincelau-Akpa & Loquet (1997) estudando a compostagem e a vermicompostagem de resíduos de lignina e celulose, observaram que a vermicompostagem produz materiais mais humificados.

2.5.4- Compostagem em pequeno volume visando simular processos em larga escala

As pesquisas com compostagem geralmente são realizadas utilizando-se uma ou mais pilhas de composto como parcela experimental. Isto consome grandes quantidades de matéria prima, torna necessário o emprego de muita mão de obra e ocupa grandes

espaços físicos, muitas vezes cobertos. Para reduzir estes custos, muitos autores utilizam-se da compostagem em pequenos volumes, sob condições controladas, visando simular as condições encontradas em grandes pilhas de composto.

Diversos autores têm utilizado deste artifício. Jahnel et al. (2000) utilizaram com sucesso cestos telados de 1,0m de diâmetro por 1,5m de altura para avaliar a maturidade de compostos de lixo urbano. Lo et al. (1993) utilizaram reatores de PVC com volume de 55 litros para estudar a compostagem de turfa e esterco suíno. Jeong & Kim (2001) utilizaram cilindros de acrílico de 20 litros, isolados termicamente com fibra de vidro, para estudar a perda de N durante a compostagem. Magalhães et al. (1993) descrevem com detalhes um sistema de controle de fluxo de calor que permite simulações em pequenos vasos. Smars et al. (2001) apresentam um avançado reator que simula os efeitos da temperatura e do nível de oxigênio sobre a ciclagem de C e N durante a compostagem. Vandergheynst et al. (1997) testaram um reator para simulação de compostagem que permite a avaliação temporal e espacial da temperatura, umidade e níveis de oxigênio.

2.6- Caracterização dos Compostos

Diversas características podem ser avaliadas nos compostos, durante ou após o processo de compostagem. Algumas são de fácil determinação, podendo ser aplicadas ao nível de produtor. Outras são apenas para uso em pesquisas científicas mais complexas. A seguir, são listadas as principais características utilizadas em trabalhos sobre compostagem.

2.6.1- Características químicas.

- Teor de umidade.
- pH.
- Condutividade elétrica: está associada ao grau de salinidade do composto.
- Salinidade.
- Cloreto solúvel: apesar do cloro ser um elemento essencial, sua concentração no solo ou em substratos pode se tornar excessiva, pois o cloreto é um íon que geralmente está em solução e desta forma é facilmente absorvido pelas plantas (Hogg et al., 2002). Esta é uma característica muito usada nas especificações de países temperados.

- Teor de cinza.
- Teor de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e teor de micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Co): Os teores destes elementos geralmente aumentam durante o processo de compostagem, quando a perda de matéria orgânica através de CO₂ e água é maior que a perda destes elementos através de lixiviação e/ou volatilização. Sánchez-Monedero et al. (2001), consideram a concentração de N um dos fatores mais importantes para o estudo do valor agrônômico dos compostos.

- Teor de metais pesados: Cd, Ni, Pb, Hg, Cr. Também estão incluídos nesta categoria o Cu e o Zn, que apesar de serem considerados micronutrientes, podem causar problemas de toxidez quando em excesso. Segundo Sharma et al. (1997), a inserção de metais pesados na cadeia bioquímica é condicionada pelo pH, potencial redox, substâncias orgânicas, CTC, capacidade de absorção de água etc. Em alguns países, como Portugal (Hogg et al., 2002) os teores máximos permitidos são função do pH do solo.

- Carbono orgânico (Corg).
- Porcentagem de carbono solúvel (Cw): a compostagem é uma transformação bioquímica da matéria orgânica realizada por microorganismos cujo metabolismo

ocorre em solução aquosa. Deste modo, o estudo de variações ocorridas na matéria orgânica solúvel pode ser muito útil na avaliação da maturidade do composto (Bernal et al., 1998a).

- Ácido fúlvico (AF), Ácido húmico (AH) e Relação AH/AF: a fração AH geralmente aumenta durante a compostagem, devido à evolução do processo de humificação. Entretanto, a relação AH/AF aumenta devido principalmente a um pronunciado decréscimo da fração AF.
- Índice de humificação (IH): $(AH/Corg) \times 100$.
- Índice de maturação (Cw/N-orgânico): Esta relação possui alta correlação com muitas características químicas que indicam estabilidade (Bernal et al., 1998a).
- Índice CCQC de maturidade: considera três características do composto: relação C:N, atividade microbiana medida através de respirometria e fitotoxicidade, avaliada através de bioensaios e análises químicas (Thompson et al., 2003).
- Teor de lignina e de celulose: são parâmetros importantes para se determinar a velocidade de liberação de nutrientes e a presença de compostos tóxicos, pois a primeira tem uma velocidade de decomposição muito menor do que a segunda.
- Capacidade de troca catiônica (CTC): este parâmetro está associado à qualidade da matéria prima utilizada e ao grau de maturação do composto. Compostos em avançados estágios de maturação possuem CTC mais elevada.
- Relação CTC/Corg: esta relação é utilizada para se comparar a CTC associada à MO, em compostos com teores de C muito diferentes.
- Relação C:N: tem grande influência na capacidade de mineralização ou imobilização de N no solo.
- N-amônio, N-nitrato e relação NH_4^+/NO_3^- : geralmente ocorre grande diminuição do N-amônio e aumento do N-nitrato logo após a fase termofílica, devido à nitrificação. Isto raramente ocorre na fase termofílica devido aos microorganismos nitrificadores serem inibidos por temperaturas maiores que 40 °C (Bernal et al., 1998a).
- Índice de respiração: compostos insuficientemente maduros têm elevada demanda por O₂ e alta produção de CO₂ como consequência da abundância de substâncias facilmente degradáveis no material cru. Por esta razão, o consumo de O₂ ou a produção de CO₂ são indicativos do grau de maturidade dos compostos (Laseridi & Stentiford, 1998). Liberação de CO₂ menor que 1 mg g⁻¹ de matéria seca dia⁻¹ é o valor recomendado por Thompson et al. (2003).
- Teor de colóides: Esta característica é importante pois é a fase coloidal que confere grande parte das propriedades químicas e físicas aos compostos.
- Estabilidade biológica do carbono: Geralmente a mineralização do carbono segue cinéticas de duas fases, uma fase rápida e outra fase lenta, cujas proporções em relação ao carbono total podem ser quantificadas (Bernal et al., 1998a).
- Parâmetros bioquímicos:
 - Atividade da dehidrogenase (Tiquia et al., 2002).
 - Uréase: esta enzima está intimamente relacionada com o ciclo do N e envolvida na hidrólise de proteínas (Ayuso et al., 1996).
 - Conteúdo de ATP (Tiquia et al., 2002).
 - Protease BAA: também toma parte na hidrólise de proteínas, atuando nos substratos polipeptídicos de cadeia curta (Ayuso et al., 1996).
 - Fosfatase: é uma enzima de grande valor agrônômico porque hidrolisa compostos de fósforo orgânico (Ayuso et al., 1996).

- β -Glucosidase: está relacionada com o ciclo de carbono, e sua atividade diminuiu quando a celulose e a hemicelulose são degradadas (Ayuso et al., 1996).
- Compostos orgânicos sintéticos: herbicidas, dioxinas, pesticidas organoclorados, pesticidas organofosforados, difenil, compostos orgânicos semivoláteis e compostos orgânicos voláteis (Thompson et al., 2003).
- Kits para avaliação de maturidade: alguns autores de trabalhos recentes (Wang et al., 2004 e Thompson et al., 2003) utilizam o kit comercial Solvita®, que usa palhetas indicadoras sensíveis à CO₂ e NH₃, permitindo a determinação da estabilidade de compostos em condições de campo.

2.6.2- Características físicas

As características físicas dão uma idéia geral da pureza e do estágio de decomposição do composto, mas dão pouca informação a respeito do grau de maturação (Bernal et al., 1998a).

- Densidade: aumenta durante o processo de compostagem, devido à humificação da matéria orgânica.
- Cor: Geralmente o composto fica mais escuro com a sua maturação, devido à humificação da matéria orgânica.
- Odor: Sua quantificação pode ser realizada de duas maneiras: através de análises químicas que quantificam as substâncias responsáveis pelos odores e através de análises sensoriais realizadas por seres humanos ou nariz eletrônico (Baby et al., 2004).
- Granulometria: pode ser expressa em tamanho máximo das partículas e/ou distribuição das partículas em diversas peneiras.
- Presença de impurezas, pode ser expressa através de vários indicadores: tamanho e percentagem de vidro e plástico, percentagem de material ferroso e pedras, percentagem de material rígido, e percentagem de material flexível.
- Propriedades hidrológicas: o parâmetro mais utilizado é a capacidade de retenção de água. Mas a capacidade de reumidificação também tem grande influência na eficiência do composto para algumas utilizações. Na Austrália este parâmetro é incluído nas especificações de compostos (Hogg et al., 2002).
- Auto-aquecimento: este parâmetro está associado ao grau de maturação e indica a capacidade do composto em gerar calor. Pode ser muito importante no caso de armazenamento de grandes quantidades de composto. Alguns países, como a Austrália incluem este parâmetro nas suas especificações (Hogg et al., 2002).
- Técnicas espectroscópicas: Existem diversas técnicas, como a espectroscopia em diversos comprimentos de onda, a ressonância magnética nuclear (RMN) e a ressonância paramagnética eletrônica (EPR) (Cereta et al., 1999). Através da técnica de espectroscopia de absorção na região do visível, obtém-se a razão E₄/E₆ (razão entre as absorvâncias em 465 e 665 nm). Esse parâmetro tem sido utilizado como índice do grau de condensação aromática das substâncias húmicas. Stevenson (1982), relata que a razão E₄/E₆ diminui com o aumento do peso molecular e com a quantidade de estruturas aromáticas. Valores mais altos da razão E₄/E₆ podem indicar também a presença de maior quantidade de estruturas alifáticas na cadeia. A absorção na região do infravermelho é um método de caracterização das substâncias húmicas que permite valiosas informações sobre a natureza e posição dos grupamentos funcionais nos ácidos húmicos das mais diversas origens, bem como tem servido para avaliar os efeitos dos extratores químicos utilizados e o grau de pureza alcançado através dos processos de purificação. Outras aplicações desta técnica espectroscópica estão relacionadas com a investigação de possíveis trocas nas estruturas químicas das substâncias húmicas e na

indicação de interações com herbicidas e/ou metais nos ambientes aquáticos e terrestres (Landgraf et al., 1999).

- Outras: A permeabilidade gasosa, a difusão de oxigênio e a condutividade térmica também podem ser utilizadas para a caracterização dos compostos, como foi descrito por Van Ginkel et al. (2001).

2.6.3- Características biológicas

- Índice de germinação: este método é um indicativo da presença de fitotoxinas, como fenóis e ácidos orgânicos. Estes compostos fitotóxicos são produzidos durante os primeiros dias de compostagem, como produtos intermediários do metabolismo microbiano, estando ausentes no composto maduro, pois são degradados durante o processo. A metodologia do TMECC (Thompson et al., 2003) utiliza o pepino como planta indicadora.

- Presença de sementes viáveis.

- Presença de organismos patogênicos às plantas e aos seres humanos, como microorganismos e parasitas: Está diretamente relacionado com o grau de contaminação da matéria prima, com a eficiência dos revolvimentos e com a eficiência em se manter elevadas as temperaturas durante o processo de compostagem.

2.7- Indicadores de Maturidade e Estabilidade

2.7.1- Importância da determinação da maturidade e da estabilidade

A padronização é cada vez mais necessária para possibilitar a troca de bens, serviços e conhecimentos entre as diversas partes do mundo. Com os compostos orgânicos não é diferente. De um lado, há a necessidade de regulamentos para proteger a saúde humana e o meio ambiente. De outro lado, o mercado de fertilizantes orgânicos e substratos necessita de produtos padronizados para diminuir os custos e garantir a confiança do consumidor (Hogg et al., 2002).

O principal requisito para que compostos sejam utilizados de forma segura no solo, é o seu grau de estabilidade ou de maturação, que implica em matéria orgânica estável e ausência de componentes fitotóxicos, sementes de invasoras e organismos patogênicos às plantas e aos seres humanos (Bernal et al., 1998a).

A estabilidade é reconhecida como uma importante característica dos compostos. Em situações específicas, a utilização de compostos pouco estabilizados pode ser problemática. A continuação do processo de decomposição quando estes compostos são adicionados ao solo pode ter impactos negativos no crescimento das plantas devido à redução do oxigênio na zona radicular ou à presença de compostos fitotóxicos. Conseqüentemente, foram desenvolvidos testes para determinar a maturidade de compostos. Entretanto, não existe uma unanimidade com relação ao teste mais eficiente (Hogg et al., 2002).

2.7.2- Definição de maturidade e estabilidade

A maturidade está associada com o potencial de crescimento da planta ou fitotoxicidade, enquanto que a estabilidade geralmente está relacionada com a atividade microbiana do composto. Entretanto, as duas estão muito correlacionadas, pois substâncias fitotóxicas são produzidas por microorganismos em compostos pouco estabilizados (Bernal et al., 1998a).

A estabilidade é verificada quando a temperatura do composto se iguala à temperatura do ambiente e nenhum reaquecimento é produzido. A maturidade é

confirmada quando a taxa de decomposição do material orgânico atinge níveis mínimos (Baby et al., 2004).

Segundo Domeizel, et al. (2004), o monitoramento da humificação da matéria orgânica durante a compostagem é utilizado para determinar o grau de maturidade do composto. Entretanto, o conceito de maturidade ainda não está adequadamente definido.

A estabilidade em compostos é atingida quando a matéria orgânica de fácil biodegradação é totalmente degradada. Este é um aspecto muito importante da qualidade da compostagem, e provavelmente o mais controverso em termos de avaliação (Lasaridi & Stentiford, 1998).

De acordo com Wang et al. (2004), a estabilidade de um composto pode ser avaliada por respirometria ou por geração de calor. A maturidade, que implica na ausência de limitações para o crescimento das plantas, é avaliada de forma mais eficiente através de bioensaios de crescimento vegetal.

2.7.3- Indicadores de maturidade e estabilidade

A estabilidade é uma característica importante para se avaliar a qualidade de um composto, mas é de difícil mensuração (Lasaridi & Stentiford, 1998). A maioria dos critérios utilizados na avaliação do processo de compostagem são baseados em parâmetros físicos e químicos do material orgânico, e seus comportamentos refletem a atividade metabólica dos microorganismos envolvidos no processo de compostagem. Estes parâmetros incluem a redução da temperatura, o grau de auto-aquecimento, o consumo de oxigênio, efeitos fitotóxicos, CTC, conteúdo de MO e nutrientes e relação C:N (Tiquia & Tam, 2002).

De acordo com Domeizel et al. (2004), alguns autores têm proposto índices de maturidade baseados no monitoramento das substâncias húmicas, tais como ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. Entre os índices de maturidade propostos, os mais representativos são aqueles que medem a evolução dos ácidos húmicos comparada com a evolução dos ácidos fúlvicos. A razão ácido húmico/ácido fúlvico é considerada o melhor indicador de maturidade e humificação. Para Baddi et al. (2004), os níveis de ácidos fúlvicos podem constituir uma ferramenta adicional para avaliar a maturidade e o valor agrônômico dos compostos.

Segundo Bernal et al. (1998a), a literatura sobre compostagem apresenta os seguintes indicadores de maturidade e estabilidade:

- A maturidade dos compostos pode ser definida em termos de nitrificação. Quando a concentração de NH_4^+ diminui e o NO_3^- aparece, o composto é considerado pronto para ser usado. Um alto nível de NH_4^+ indica materiais pouco estabilizados, sendo determinado o valor de 0,04% como a concentração máxima para compostos de lixo urbano serem considerados maduros. A relação C:N menor que 12 e a relação $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ menor que 0,16, também são aceitas como indicativos de maturidade.

- O processo de humificação produz grupos funcionais e aumenta a oxidação da matéria orgânica, levando a aumentos da CTC. Valores maiores que $60 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ são indicativos da maturidade dos compostos de lixo urbano. A relação CTC/C-orgânico também é utilizada, sendo os valores de 1,7 e 1,9 mmol g^{-1} os limites inferiores descritos para a maturidade de composto de lixo urbano e de lodo de esgoto, respectivamente.

- As frações carbono solúvel (Cw) e ácidos fúlvicos geralmente diminuem durante a compostagem devido aos seus elevados conteúdos de substâncias facilmente degradáveis (açúcares, aminoácidos, peptídeos, etc.). O valor de $\text{Cw} < 1,7\%$ é usado como um indicador de maturação. O índice de maturidade (Cw/N-orgânico) também é um indicativo, sendo aceitos valores maiores que 0,55.

- A relação ácidos húmicos/ácidos fúlvicos aumenta durante o processo de compostagem, sendo valores maiores que 1,9 propostos como indicadores de maturidade para compostos de lixo urbano e de lodo de esgoto.
- Índices de germinação maiores que 50% indicam que o composto está livre de substâncias fitotóxicas.

2.8- Especificações para Composto e Compostagem

2.8.1- Especificações brasileiras

Atualmente a especificação sobre compostos em vigência no Brasil, é a estabelecida pela Instrução Normativa N° 23, de 31 de agosto de 2005, segundo o SISLEGIS – Sistema de Legislação Agrícola Federal.

O Artigo 1° desta norma define da seguinte maneira o fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais, sendo:

- a) fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- b) fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- c) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas;
- d) lodo de esgoto: fertilizante orgânico composto, proveniente do sistema de tratamento de esgotos sanitários, que resulte em produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos limites estabelecidos para contaminantes;
- e) vermicomposto: fertilizante orgânico composto, resultante da digestão da matéria orgânica proveniente de estercos, restos vegetais e outros resíduos orgânicos pelas minhocas;
- f) composto de lixo: fertilizante orgânico composto, obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura e atendendo aos limites estabelecidos para contaminantes;
- g) fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.

O Artigo 2° determina que os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais serão classificados de acordo com as matérias primas utilizadas na sua produção em:

I - Classe “A”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo o sódio (Na^+), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos;

II - Classe “B”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde o sódio (Na^+), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo;

III - Classe “C”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

IV - Classe “D”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

O Artigo 7º determina que os fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos para aplicação no solo, terão as especificações, garantias e características, no mínimo, de acordo com as constantes da Tabela 2.2; e, além das garantias mínimas estabelecidas, poderão ser declarados outros macronutrientes primários, macronutrientes secundários e micronutrientes, observado o disposto no art. 6º, destas Definições e Normas.

Tabela 2.2: Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos. Os valores são expressos em base seca, umidade determinada a 65 °C.

Garantia	Misto/composto				Vermicomposto Classes A, B, C, D
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	
Umidade (Max)	50	50	50	50	50
N total (min)	1				
C orgânico (min)	15				10
CTC	Conforme o declarado				
pH (min)	6,0		6,5	6,0	6,0
Rel. C:N (max)	18				12
Rel. CTC/ph (max)	20		30		20
Soma NPK	Conforme o declarado				

Fonte: Instrução Normativa Nº 23, de 31 de agosto de 2005.

2.8.2- Exemplos de especificações de outros países

Existe atualmente em todo o mundo uma grande diversidade de especificações de compostos orgânicos. Para o melhor entendimento desta diversidade, podemos classificar as especificações nas seguintes formas:

Quanto à origem:

- As que seguem a legislação do país, como no caso da Espanha. Em alguns países como a Itália, EUA (Hogg et al., 2002) existem legislações para cada unidade da federação.
- As que são elaboradas por entidades de certificadoras, como ocorre na Austrália (Standards Australia Committee CS/37).
- As que são determinadas por entidades de classe, como no caso da Alemanha (Bundesgütegemeinschaft Kompost, BGK: Associação Alemã para Garantia de Qualidade do Composto) e Suécia (Associação Nacional Sueca para Manejo de Resíduos).

Quanto ao grau de detalhamento:

- As que regulam apenas as características mais importantes, como é o caso da legislação portuguesa, que se preocupa apenas com a concentração de metais pesados.
- As que regulam um grande número de característica, como no caso das especificações australianas (Hogg et al., 2002), elaborada pelo Standards Australia Committee CS/37.

- As específicas para o grau de maturação do composto, como no caso da Alemanha, que estabelece padrões para as seguintes categorias:
 - Composto fresco: material higienizado, fracionado, ainda em intensivo estágio de decomposição, usado para fertilização e condicionamento do solo.
 - Composto maduro: material higienizado, fracionado e biologicamente estável, usado para fertilização e condicionamento do solo.
 - Composto para mulch: material higienizado, fracionado, com uma baixa proporção de partículas finas, usado para cobertura do solo.
 - Composto para substrato: material maduro, com reduzido conteúdo de nutrientes e sais solúveis, próprio para cultivo em substrato.
- As específicas para a atividade em que o composto será utilizado, como no caso do Reino Unido, que estabelece diferentes padrões para os compostos destinados aos seguintes usos:
 - Melhoria do solo para culturas gerais, como hortaliças e cereais.
 - Melhoria do solo para culturas mais exigentes.
 - Canteiros de jardim.
 - Reconstrução de horizonte superficial.
 - Plantio de árvores e arbustos.
 - Estabelecimento e renovação de gramado.
 - Cobertura superficial de gramado.
 - Mulch.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de compostagem foram conduzidos na Estação Experimental da PESAGRO RIO, em Seropédica-RJ, situada na Baixada Fluminense, a 26 m de altitude e coordenadas 22° 45' S e 43° 40' W.

3.1- Primeiro Experimento de Compostagem

Este experimento foi iniciado em março de 2003. Foram montadas 13 pilhas, com dimensões de 2,0 x 1,5 x 1,2 m (3,6 m³). O volume de cada pilha foi definido em função da disponibilidade de matéria prima. A largura (1,5 m) e a altura (1,2 m) foram definidas visando facilitar sua montagem, revolvimento e ventilação. As pilhas foram montadas a céu aberto, sob lona plástica, em quatro camadas.

As matérias primas utilizadas foram: parte aérea de *Crotalaria juncea* com quatro meses de idade, sem fragmentação e cortada uma semana antes da montagem das pilhas; esterco bovino curtido; capim Napier (*Pennisetum purpureum*) cortado e fragmentado em picadeira duas semanas antes da montagem das pilhas; e bagaço de cana oriundo de usina de produção de álcool e açúcar, com moagem realizada dois meses antes da montagem das pilhas. A proporção de cada matéria prima foi calculada com base no teor de matéria seca.

O experimento foi instalado com os seguintes tratamentos:

- 100C: 100% de *Crotalaria*.
- 50E50C: 50% de esterco bovino e 50% de *Crotalaria*.
- 100E: 100% de esterco bovino.
- 30N70C: 30% de Napier e 70% de *Crotalaria*.
- 30N35C35E: 30% de Napier e 35% de *Crotalaria* e 35% de esterco bovino.
- 30N70E: 30% de Napier e 70% de esterco bovino.
- 60N40C: 60% de Napier e 40% de *Crotalaria*.
- 60N20C20E: 60% de Napier e 20% de *Crotalaria* e 20% de esterco bovino.
- 60N40E: 60% de Napier e 40% de esterco bovino.
- 100N: 100% de Napier.
- 30B70C: 30% de bagaço de cana e 70% de *Crotalaria*.
- 30B35C35E: 30% de bagaço de cana e 35% de *Crotalaria* e 35% de esterco bovino.
- 30B70E: 30% de bagaço de cana e 70% de esterco.

O calculo da quantidade de matéria seca de cada material utilizado na montagem da pilhas foi realizado através do volume e da densidade seca do material. A irrigação das pilhas foi realizada sempre que amostragens semanais revelavam umidades abaixo de 50%.

A avaliação da temperatura foi realizada semanalmente, conforme descrito no item 3.4.2. O revolvimento das pilhas e a coleta das amostras para análises foram realizados semanalmente do início até o segundo mês e quinzenalmente do terceiro ao sexto mês. Determinou-se o teor de umidade, pH e condutividade elétrica.

3.2- Segundo Experimento de Compostagem

O experimento iniciou-se no final de março de 2004. As pilhas foram montadas com dimensões de 2,0 x 2,0 x 1,2 m (4,8 m³), a céu aberto, sob lona plástica, em quatro camadas.

As matérias primas utilizadas foram: parte aérea de *Crotalaria juncea* com três meses de idade, cortada e fragmentada em picadeira uma semana antes da montagem das pilhas; capim Napier (*Pennisetum purpureum*) cortado e fragmentado em picadeira duas semanas antes da montagem das pilhas; esterco bovino curtido; e biofertilizante líquido Agrobio, produzido a base de esterco, melão, torta de mamona e micronutrientes. A proporção de cada matéria prima foi calculada com base no teor de matéria seca.

O experimento foi instalado com os seguintes tratamentos:

- 100C- 100% de *Crotalaria*.
- 66C33N- 66% de *Crotalaria* + 33% de Napier.
- 33C66N- 33% de *Crotalaria* + 66% de Napier.
- 100N- 100% de Napier.
- 33C66N+E- 33% de *Crotalaria* + 66% de Napier, inoculado com mais 5% da massa com esterco bovino.
- 33C66N+A- 33% de *Crotalaria* + 66% de Napier, inoculado com 100 litros de Agrobio diluído a 5%.
- 100N+A- 100% de Napier, inoculado com 100 litros de Agrobio diluído a 5%.

O cálculo da quantidade de matéria seca de cada material utilizado na montagem das pilhas foi realizado através do volume e da densidade seca do material. A irrigação das pilhas foi realizada sempre que amostragens semanais revelavam umidades abaixo de 50%.

Tabela 2.3: Teores de umidade, C, nutrientes e relação C:N das matérias primas utilizadas no segundo experimento de compostagem.

	Umidade	C	N	C:N	Ca	Mg	K	P
	----- % -----						g kg ⁻¹	-----
Crotalaria	70,45	53,27	2,69	19,80	2,35	1,03	0,74	3,33
Napier	67,74	52,53	0,80	65,66	2,72	1,05	0,83	3,50
Esterco	33,28	28,33	1,53	18,52	2,02	0,87	0,89	4,00

A avaliação da temperatura foi realizada semanalmente. O revolvimento das pilhas e a coleta das amostras para análises foram realizados semanalmente no primeiro mês, quinzenalmente no segundo e terceiro mês, e mensalmente do quarto ao sexto mês.

Em cada amostragem foram avaliados: teor de umidade, densidade em base seca, pH, condutividade elétrica e teor de N. Aos 0 e 90 dias foram avaliados os teores de Ca, Mg, K e P. Aos 90 e 180 dias foram determinados perda de massa e perda de N. O teor de C foi avaliado aos 7 dias e aos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 meses.

3.3- Terceiro Experimento de Compostagem

Iniciou-se em janeiro de 2005. As pilhas apresentaram volumes diferentes para cada tratamento (3,6 m³ para 100C, 3,2 m³ para 66C33N e 3,0 m³ para 33C66N), visto que se procurou uniformizar a massa das mesmas. Para atenuar as perdas de nutrientes por lixiviação, as pilhas foram montadas no interior de uma casa de vegetação modelo PESAGRO RIO (Leal et al., 1999), sob lona plástica.

As matérias primas utilizadas foram: parte aérea de *Crotalaria juncea* com três meses de idade, cortada e fragmentada em picadeira uma semana antes da montagem das pilhas; capim Napier (*Pennisetum purpureum*) cortado e fragmentado em picadeira duas semanas antes da montagem das pilhas.

O experimento foi instalado com os seguintes tratamentos:

- 100C- 100% de *Crotalaria*.
- 66C33N- 66% de *Crotalaria* + 33% de Napier.
- 33C66N- 33% de *Crotalaria* + 66% de Napier.

Além das pilhas, o processo de compostagem foi realizado em balaios de plástico, com capacidade volumétrica de 80 litros, revestidos de lona isolante térmica. O objetivo foi testar a viabilidade da condução em balaios simular a compostagem em grandes pilhas. Caso se mostrasse viável, poderia facilitar a realização de pesquisas com compostagem, como foi apresentado na seção 2.5.4.

Deste modo, acrescentou-se três tratamentos:

- B100C- composição do 100C, compostagem realizada no balaio.
- B66C33N- composição do 66C33N, compostagem realizada no balaio.
- B33C66N- composição do 33C66N, compostagem realizada no balaio.

A avaliação da temperatura foi realizada semanalmente. O revolvimento das pilhas e a coleta das amostras para análises foram realizados aos 15, 30, 60 e 90 dias.

Tabela 2.4: Teores de umidade, C, nutrientes e relação C:N das matérias primas utilizadas no terceiro experimento de compostagem.

	Umidade	C	N	C:N	Ca	Mg	K	P
	----- % -----						g kg ⁻¹	-----
Crotalaria	75,83	53,64	2,59	20,71	15,23	4,93	2,05	5,17
Napier	62,58	52,29	1,25	41,83	8,55	3,00	3,33	6,00

Em cada amostragem foram avaliados: teor de umidade, densidade em base seca, pH, condutividade elétrica, teor de N, teor de C, perda de massa e perda de N. Aos 0 e 90 dias foram avaliados os teores de Ca, Mg, K e P. Devido à pouca quantidade de material disponível, não foi possível avaliar a densidade dos tratamentos B100C, B66C33N e B33C66N.

3.4- Avaliações

3.4.1- Amostragem

As avaliações de teor de umidade, temperatura, densidade seca, pH, condutividade elétrica, teores de N, MO, Ca, Mg, K e P foram realizadas com três repetições. Para cada repetição, foram realizadas observações ou amostragens na metade da altura da pilha, a 0,3 m da superfície e em posições equidistantes das outras amostragens.

Cada amostragem foi realizada retirando-se duas alíquotas. Uma alíquota, de aproximadamente 50 g (peso úmido) foi colocada em saco plástico, para análise de pH e condutividade elétrica (CE), sendo armazenada em geladeira. Outra, de 2000 mL, foi colocada em saco de papel e seca em estufa (> 72 h, 65 °C). Desta, uma parte foi armazenada intacta em saco plástico hermeticamente fechado e outra parte foi moída (< 85 mm) em moinho tipo Wiley e armazenada em frasco de plástico hermeticamente fechado.

3.4.2- Temperatura

A avaliação de temperatura foi realizada em três repetições por pilha. Utilizou-se termômetro de bulbo de mercúrio, inserido na profundidade de 0,3 m pela parte superior de cada pilha.

3.4.3- Densidade em base seca

A densidade foi calculada através da amostragem de um volume fixo de composto. Foram utilizados recipientes plásticos de 2000 mL, com 0,1 m de altura, 0,2 m de comprimento e 0,1 m de largura. Após a coleta da amostra, o material foi pesado, seco em estufa (> 72 h, 65 °C) e pesado novamente.

3.4.4- pH e condutividade elétrica

A análise de pH foi realizada segundo o método descrito por Tedesco (1995), em solução de água destilada. A condutividade elétrica foi medida com um condutivímetro Analyser® modelo 650, no mesmo extrato aquoso obtido para a medição do pH (5:1, v/v).

3.4.5- Matéria orgânica e C

A matéria orgânica foi determinada após adaptação do método padrão descrito por Thompson et al. (2003). Pesou-se em balança analítica 1,000 g de amostra previamente seca em estufa, que em seguida foi colocada em forno mufla até atingir a temperatura de 550 °C. Usaram-se beakers de 40 ml como recipientes. Após 4 horas de combustão o forno mufla foi desligado. Ao atingir temperatura abaixo de 200 °C as amostras foram colocadas em dessecadores para esfriar e pesadas após atingir temperatura ambiente. O teor de C foi calculado dividindo-se o valor de matéria orgânica pelo fator 1,72.

3.4.6- Teores de N, Ca, Mg, K e P

Estas análises foram realizadas no laboratório da Embrapa Agrobiologia, utilizando o procedimento operacional para análise de tecido foliar descrita por Silva, 1999.

3.4.7- Perda total de massa e perda de N

A perda total foi calculada através da medição da massa da pilha de composto após um determinado tempo, comparada com a massa da mesma pilha no início da compostagem, após correção do teor de umidade. A perda de N foi calculada considerando os valores de massa do composto e o teor do nutriente nas diferentes épocas de amostragens.

No segundo experimento de compostagem, esta avaliação foi realizada estimando-se a massa total de cada pilha através da medição do seu volume e de sua densidade seca. No terceiro experimento de compostagem, esta avaliação foi realizada pesando-se as pilhas. Para isto, foi desenvolvido um sistema de pesagem que utiliza um cavalete de 2,00 m de altura, uma roldana e uma balança de mola.

3.4.8- Análise matemática dos dados obtidos

Para avaliar os dados obtidos, optou-se por uma análise descritiva, sem testes de inferência para determinar diferenças estatísticas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Primeiro Experimento de Compostagem

Os resultados relativos às características avaliadas encontram-se apresentados na Tabela 2.5 e nas Figuras 2.3 a 2.5.

Observa-se uma grande diferença nos teores médios de umidade entre os vários tratamentos estudados (Tabela 2.5).

Tabela 2.5: Valores médios de umidade (em %) para os diferentes compostos estudados no primeiro experimento de compostagem.

Tratamento	100C	50E50C	100E	30N70C	30N35C35E	30N70E	60N40C
% umidade	45,86	45,25	26,23	50,44	56,35	50,08	57,47

Tratamento	60N20C20E	60N40E	100N	30B70C	30B35C35E	30B70E	Média
% umidade	61,43	56,63	67,60	55,55	49,44	41,73	51,08

Os resultados obtidos para temperatura são apresentados na Figura 2.3. Considerando que a parte aérea da *Crotalaria* não foi adequadamente picada, em função da grande quantidade de fibras presentes nas hastas, as pilhas que receberam este material apresentaram grandes espaços porosos. Assim, a alta circulação de ar decorrente deste fato acarretou baixa umidade (Tabela 2.5) e menor elevação de temperatura por não permitir acúmulo de calor. Além disso, ressalta-se que não foi possível homogeneizar o material por ocasião da montagem e do revolvimento das pilhas, dificultando a uniformização da coleta de amostras. De acordo com diversos autores (Lo et al., 1993; Magalhães et al., 1993 e Van Ginkel et al., 2001) a taxa de aeração tem grande influência sobre a elevação e a manutenção de temperaturas elevadas durante a compostagem. Magalhães et al. (1993), observaram que a moagem da matéria prima reduziu o coeficiente de variação das análises realizadas.

Nas pilhas que receberam materiais que foram adequadamente picados e, portanto, apresentavam espaços porosos menores e, conseqüentemente, menor circulação de ar, observou-se maior elevação de temperatura no início do processo de compostagem (Figura 2.3). Resultados semelhantes foram reportados por Sommer & Dahl (1999), que observaram elevação de temperatura de 10 °C (50 à 60 °C) após a compactação de pilhas confeccionados com composto de cama de bovinos.

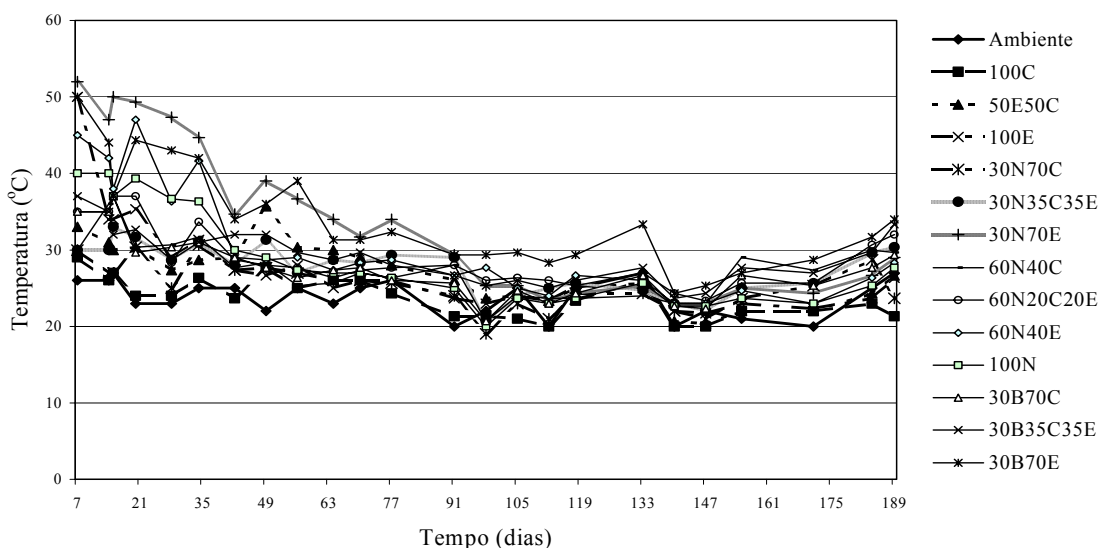


Figura 2.3: Temperaturas observadas ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no primeiro experimento de compostagem.

A variação do pH durante o processo de compostagem é mostrada na Figura 2.4. Os compostos confeccionados com a mistura de capim Napier e Crotalaria foram os que apresentaram valores mais elevados de pH. A elevação do pH provavelmente foi devido ao alto teor de N da Crotalaria, resultando em elevados teores de amônia no início da compostagem. Ao final do processo todos os compostos apresentavam pH alcalino.

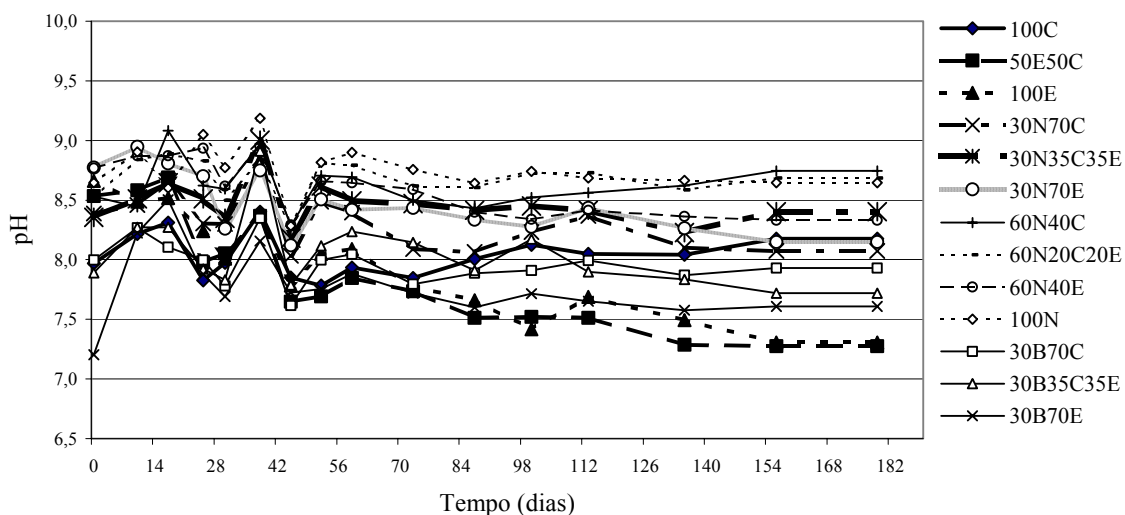


Figura 2.4: Valores de pH observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no primeiro experimento de compostagem.

Os valores observados para CE são apresentados na Figura 2.5. Os resultados apresentam grandes variações no início da compostagem, provavelmente devido a grande influência do teor de umidade na determinação desta característica.

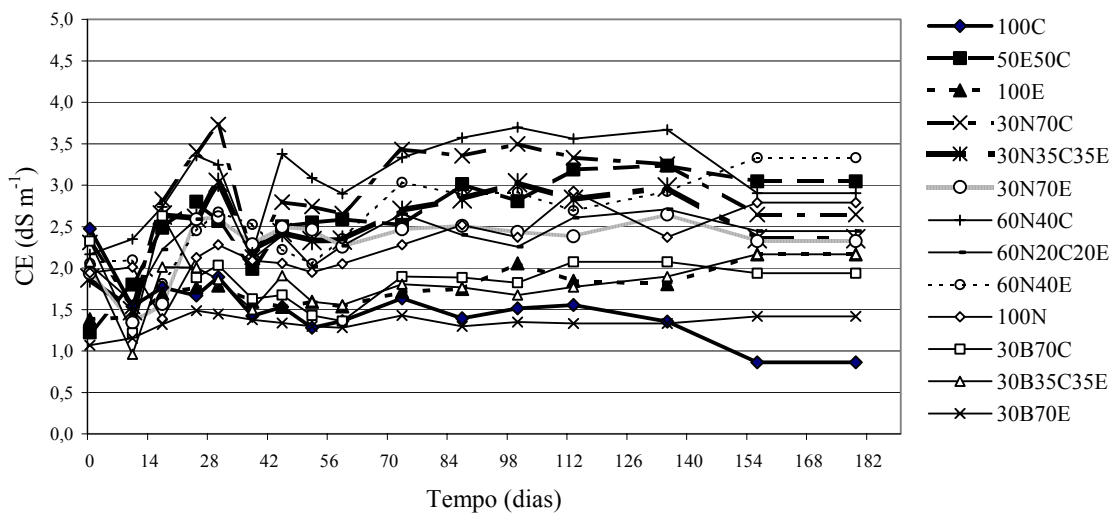


Figura 2.5: Valores de condutividade elétrica (em dS m^{-1}) observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no primeiro experimento de compostagem.

Os resultados obtidos neste experimento nos permitem elaborar as seguintes considerações:

- Houve uma influência muito grande das características físicas, principalmente a capacidade de circulação de ar, na temperatura dos compostos, mascarando possíveis efeitos de fatores químicos e biológicos.
- Para que ocorra grande elevação de temperatura e manutenção da umidade nas pilhas de composto, é necessário que materiais com partículas muito grandes sejam picados ou misturados a outros materiais, visando reduzir o excesso de aeração nas pilhas.
- Os resultados observados indicam que, após aproximadamente 90 dias de compostagem, a velocidade de decomposição sofre uma grande redução.

4.2- Segundo Experimento de Compostagem

Os resultados relativos às características avaliadas encontram-se apresentados nas Figuras 2.6 a 2.12 e nas Tabelas 2.6 a 2.10.

Neste experimento não se detectou grandes diferenças nos teores médios de umidade (Tabela 2.6) entre os vários tratamentos estudados, diferentemente do observado no primeiro experimento. Este resultado se deve a uma melhora na metodologia de compostagem, mas devido o experimento ser realizado a céu aberto, os teores médios de umidade ficaram acima da faixa recomendada pela literatura (40 à 60%).

Tabela 2.6: Teores médios de umidade (em %) para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

Tratamento	100C	66C33N	33C66N	100N	33C66N+E	33C66N+A	100N+A	Média
% umidade	71,49	70,43	71,36	72,87	69,26	73,04	74,90	71,91

Na Figura 2.6, observa-se que os tratamentos 100N e 100N+A apresentaram temperaturas mais baixas que os demais tratamentos, o que aparentemente está associado à baixa atividade microbiana e, conseqüentemente, a uma menor velocidade de decomposição, o que é devido a algum fator limitante, provavelmente à alta relação C:N.

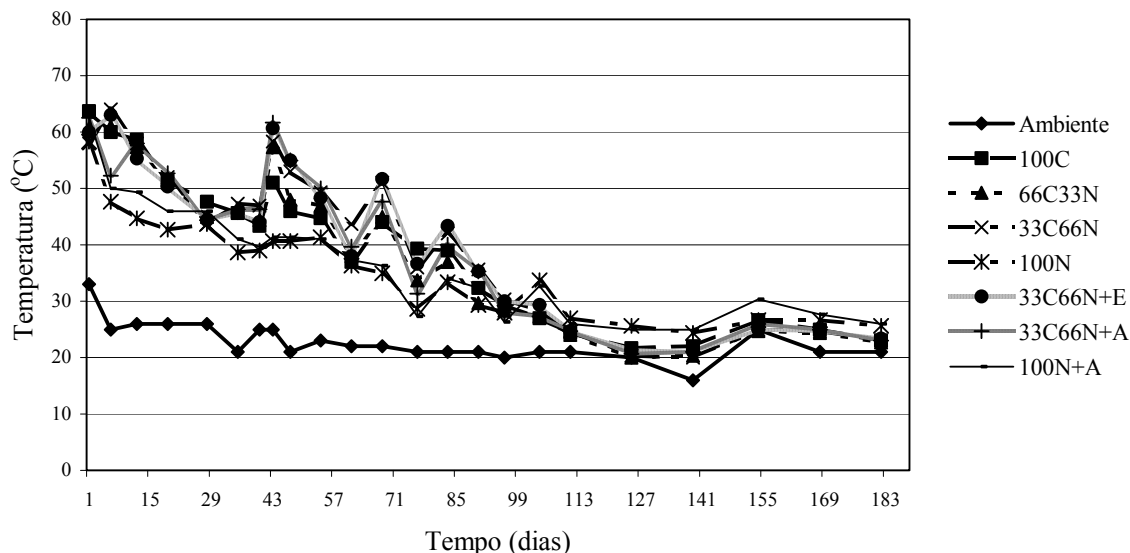


Figura 2.6: Temperaturas observadas ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

As curvas de temperatura para todos os tratamentos estão de acordo com o esperado, com valores elevados no início do processo de compostagem e redução progressiva até se aproximar da temperatura ambiente, aos 100 dias após o início do processo. Tiquia & Tam (2002), estudando a compostagem de cama de aviário, observaram que os compostos atingiram a temperatura ambiente aos 128 dias, período em que estes autores consideram que o composto alcançou a estabilidade.

Nota-se que nos períodos imediatamente após os revolvimentos há ocorrência de pico de temperatura (Figura 2.6). Observa-se que as elevações de temperatura são maiores na fase inicial, reduzindo-se ao longo do processo de compostagem. Comportamento semelhante também foi observado por autores como Negro et al. (1999), Magalhães et al. (1993), Van Heerden et al. (2002) e Jeong & Kim (2001).

O valor médio do pH foi 8,48 no início da compostagem, se elevando até 9,19 aos 22 dias e reduzindo-se progressivamente até 7,32 aos 186 dias (Figura 2.7). Estes resultados estão de acordo com outros descritos na literatura (Van Heerden et al., 2002 e Negro et al., 1999), que mostram, no início da compostagem, uma elevação do pH devido à transformação em amônia do N contido nas proteínas. Com o tempo a amônia se transforma em nitrato, acarretando a redução do pH. Isto pode ser observado pelas diferenças observadas entre as respostas dos tratamentos 100C, 66C33N e 33C66N, que possuem diferentes teores de N.

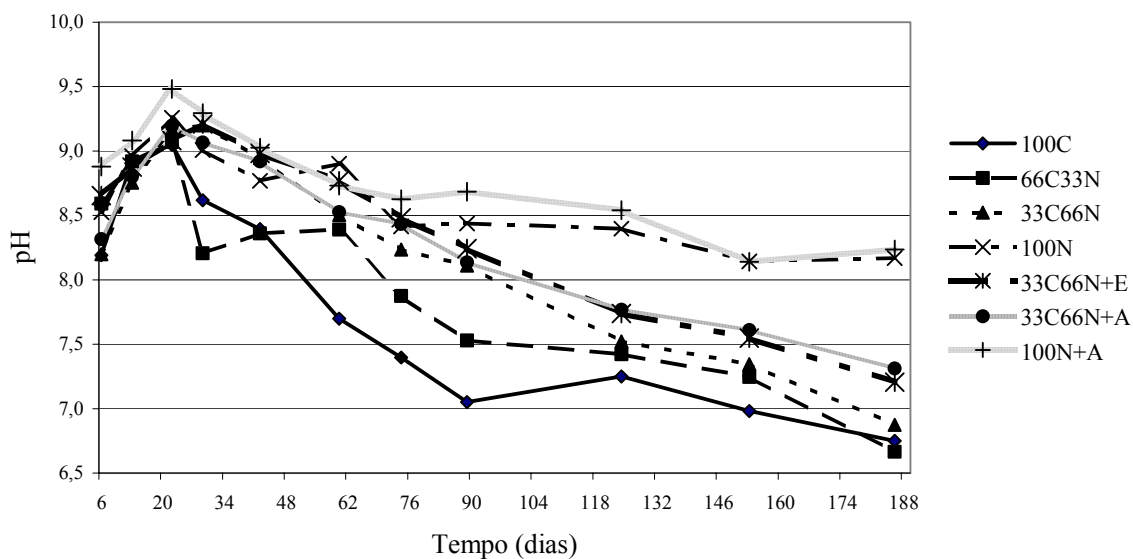


Figura 2.7: Valores de pH observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

Os tratamentos 100N e 100N+A apresentaram pouca redução do pH ao longo do tempo, provavelmente devido à baixa velocidade de decomposição apresentada por estes tratamentos. Nota-se que a partir de 90 dias, a variação nos valores de pH são pequenas.

Os resultados de CE encontram-se na Figura 2.8. Observa-se que a precisão desta medida foi baixa, haja vista que os resultados foram influenciados pelo teor de umidade das amostras. Contudo, nota-se que os tratamentos 100N e 100N+A apresentaram os menores valores de CE.

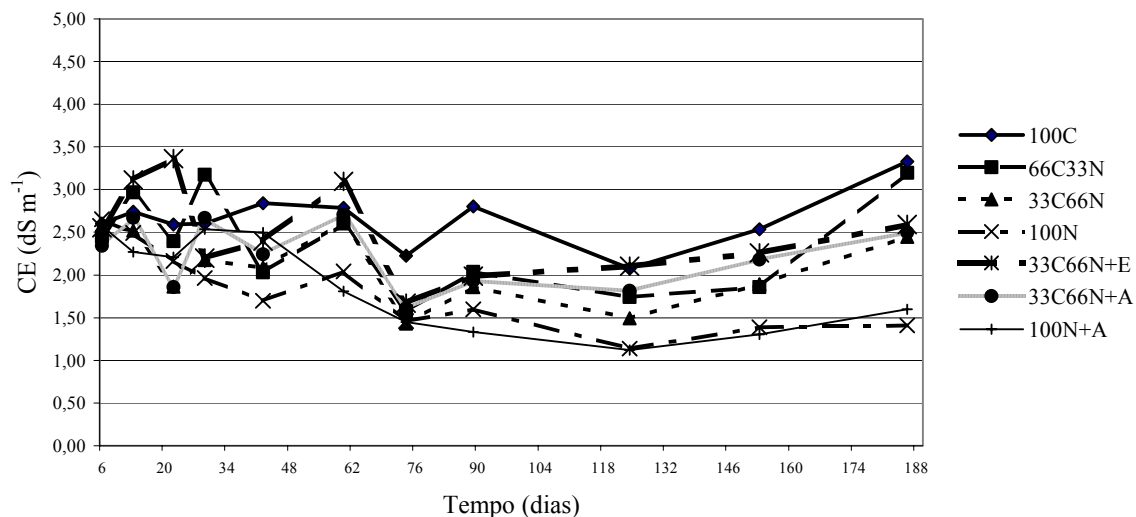


Figura 2.8: Valores de condutividade elétrica (em dS m^{-1}) observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

A Figura 2.9 mostra a variação da densidade ao longo do processo de compostagem. O aumento observado está intimamente associado ao aumento do grau de humificação. Tiquia & Tam (2002) também observaram aumentos da densidade ao

longo do processo de compostagem, sendo este efeito mais marcante nos primeiros 130 dias.

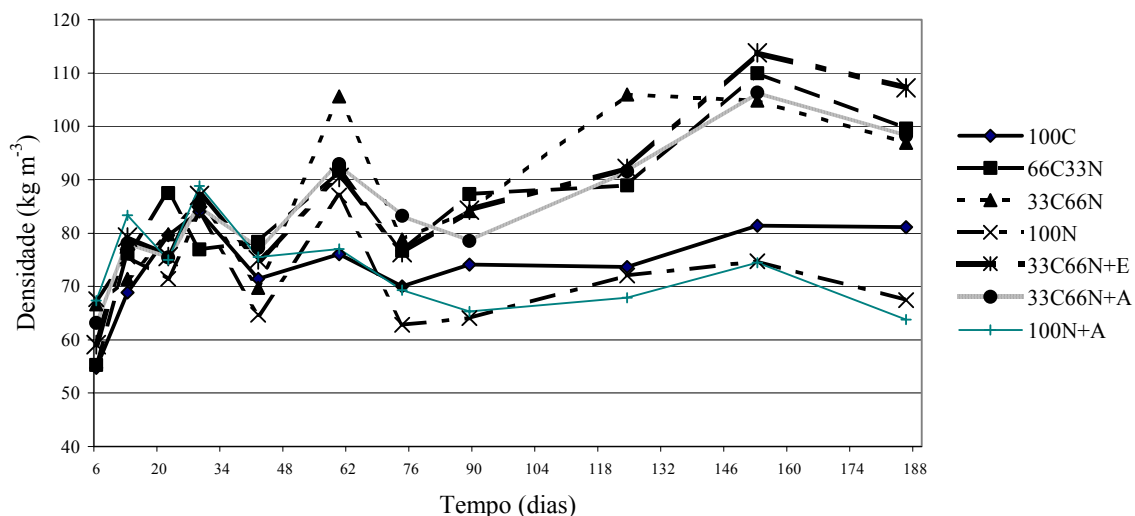


Figura 2.9: Valores de densidade (em kg m^{-3} de matéria seca) observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

Os tratamentos 66C33N, 33C66N, 33C66N+E e 33C66N+A, os quais aparentemente apresentaram maior grau de decomposição, são os que apresentam maiores densidades.

Observou-se aumento dos teores de N total em todos os tratamentos ao longo do processo de compostagem (Figura 2.10). Este é um comportamento típico e foi relatado por vários autores (Bernal et al., 1998a; Jahnel et al., 2000 e Tiquia et al., 1998). Após 90 dias não foram observadas variações expressivas nos teores de N dos diferentes tratamentos.

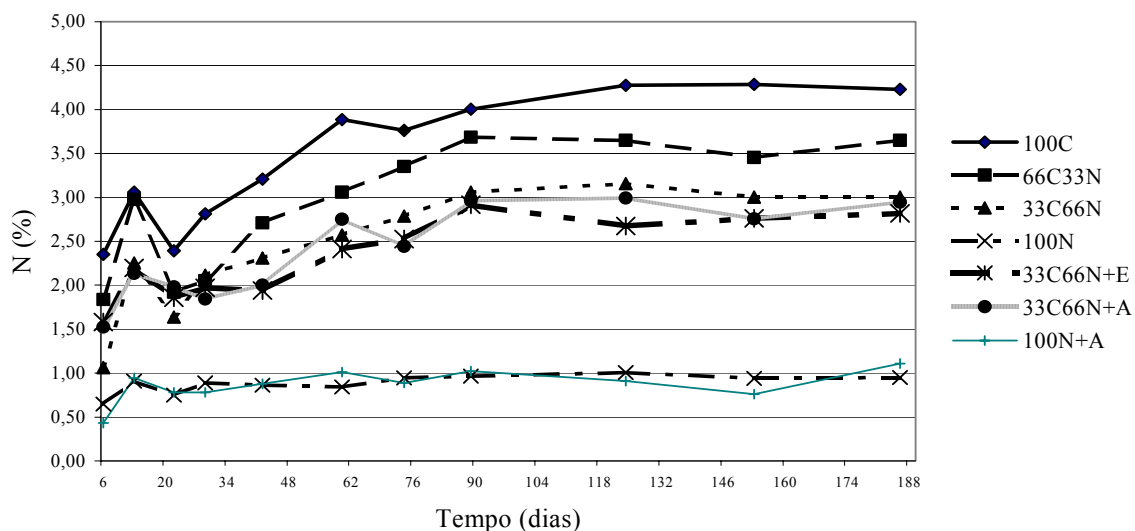


Figura 2.10: Teores de N total observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

Os tratamentos 100C e 66C33N, com maiores proporções de *Crotalaria*, apresentaram os maiores teores de N e os tratamentos 100N e 100N+A, contendo apenas capim Napier, apresentaram os menores teores. Sánchez-Monedero et al. (2001) observaram que o aumento nos teores de N foi maior nos compostos que apresentaram maiores taxas de decomposição.

Os tratamentos 100C e 66C33N atingiram valores de N próximos a 4,0% e os tratamentos 33C66N, 33C66N+E e 33C66N+A, valores próximos à 3,0%. É interessante destacar que estes valores são superiores aos encontrados na maioria dos fertilizantes orgânicos.

O teor de C decresce até aproximadamente 90 dias de compostagem, época em que se estabiliza (Figura 2.11). Vincenslau-Akpa & Loquet (1997), Sánchez-Monedero et al. (2001), Jahnel et al. (2000), Tiquia & Tam (2002) e Tiquia et al. (1998) também relatam reduções nos teores de C ao longo do processo de compostagem.

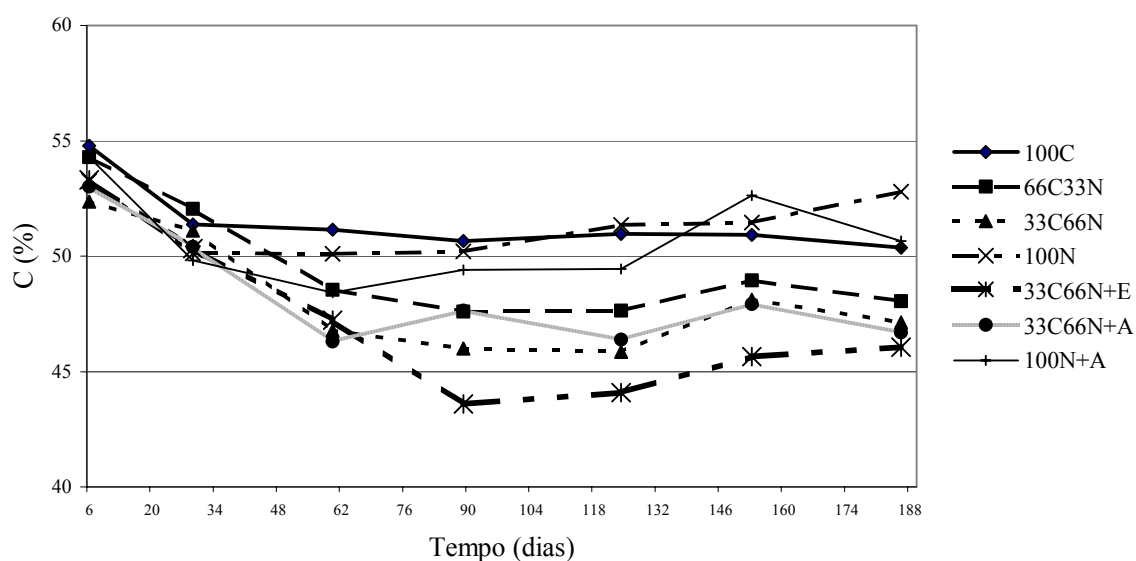


Figura 2.11: Teores de C observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

Os tratamentos 100C, 100N e 100N+A apresentaram valores de C maiores que os demais, indicando menor taxa de decomposição. No tratamento 100C, isto ocorreu provavelmente devido ao elevado teor de fibras nos talos de *Crotalaria*. Além de sua utilização como adubo verde, esta espécie é muito cultivada visando a extração de sua fibra, que é de elevada resistência. Esta característica pode ter contribuído para a menor decomposição observada neste tratamento. Nos tratamentos 100N e 100N+A isto ocorreu provavelmente devido ao reduzido teor de N total apresentado por estes tratamentos.

Os pequenos aumentos nos teores de C são provavelmente devido a variações causadas por erros analíticos. Estas variações também foram observadas por Tejada et al. (2001).

Os resultados obtidos para a característica relação C:N estão na Figura 2.12. Observa-se a redução dos valores ao longo do processo de compostagem, como era esperado. As relações C:N dos compostos que utilizaram apenas o Napier como matéria prima se estabilizaram em valores próximos a 50. As relações C:N dos demais compostos se estabilizaram em valores entre 10 e 20, o que está de acordo com os valores descritos pela literatura.

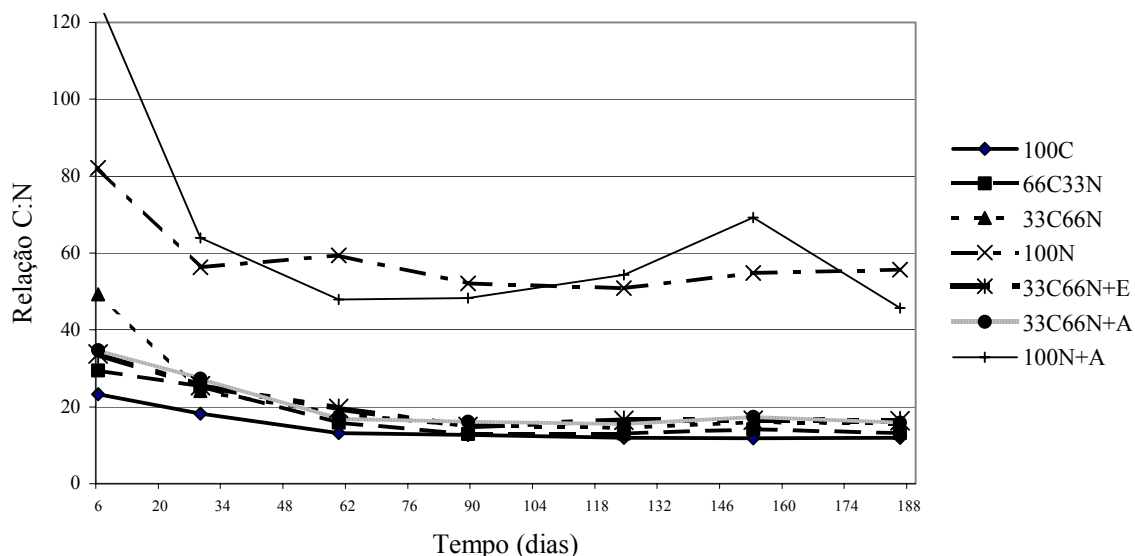


Figura 2.12: Valores da relação C:N observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

Os teores de Ca, Mg K e P inicial e aos 3 meses após o início da compostagem encontram-se na Tabela 2.7. Os resultados obtidos para estas análises apresentaram baixa precisão, com elevados valores de coeficiente de variação (Tabela 2.12), o que dificulta análises mais aprofundadas. Porém, os teores de Ca, Mg e K aumentaram após 3 meses de compostagem. Isto era esperado, pois a perda de massa na decomposição geralmente é maior que a perda destes elementos por meio de lixiviação.

Tabela 2.7: Teor (g kg^{-1}) inicial e aos 3 meses para Ca, Mg, K e P observados nos diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

	Ca		Mg		K		P	
	Inicial	3 meses	Inicial	3 meses	Inicial	3 meses	Inicial	3 meses
----- g kg^{-1} -----								
100C	3,02	9,87	1,53	5,93	0,81	9,50	4,67	4,52
66C33N	1,57	7,73	0,53	4,05	0,49	8,50	1,83	3,62
33C66N	1,92	7,50	0,70	3,97	0,64	10,33	3,83	3,56
100N	2,37	4,22	1,08	2,25	0,98	9,50	5,67	2,31
33C66N+E	2,13	3,67	0,97	1,63	0,84	2,55	3,17	3,34
33C66N+A	1,78	8,12	0,80	5,22	0,81	12,50	3,00	6,11
100N+A	1,53	4,15	0,40	1,48	0,47	6,17	3,67	1,71

Os resultados de perda de massa são apresentados na Tabela 2.8. Observa-se que os valores aos 6 meses são um pouco superiores aos observados aos 3 meses após o início do processo, indicando que após 90 dias a velocidade de decomposição sofre grande redução. Nota-se que as perdas de massa alcançam 71% em 90 dias. Bernal et al. (1998b) estudando o processo de obtenção de compostos oriundos de diferentes misturas, observaram perdas de até 70% do C após 30 dias e perdas de até 90% após 70 dias. Jeong & Kim (2001), observaram perda de 40% do C após 20 dias do início da compostagem.

Tabela 2.8: Massa inicial e perda de massa (em % da massa inicial) aos 3 e 6 meses para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

	Massa Inicial Kg	Perda de massa (em % da massa inicial)	
		3 meses	6 meses
100C	190,48	64,80	69,68
66C33N	206,66	71,22	78,18
33C66N	226,85	66,23	73,94
100N	252,72	46,61	55,15
33C66N+E	236,23	61,52	72,46
33C66N+A	226,85	67,07	74,28
100N+A	252,72	59,20	58,31

Os tratamentos 100N e 100N+A, que receberam apenas capim Napier apresentaram as menores perdas de massa, indicando baixa velocidade de decomposição. Os tratamentos 66C33N, 33C66N, 33C66N+E e 33C66N+A, que receberam a mistura de Crotalaria com capim Napier foram os que apresentaram as maiores perdas de massa, indicando uma maior velocidade de decomposição. O tratamento 100C, com somente Crotalaria, apresentou um valor intermediário de perda de massa.

Na Tabela 2.9, observa-se que os valores de perda de N aos 6 meses são superiores aos valores observados aos 3 meses, mostrando que após 90 dias, apesar da reduzida velocidade de decomposição, nota-se ainda perdas razoáveis de N dos compostos. As perdas de N alcançam 50% em 90 dias e 60 % em 180 dias. Tiquia & Tam (2002) estudando a compostagem de cama de aviário com diversos materiais por 4 meses, observaram perdas próximas de 58% do N presente inicialmente.

Tabela 2.9: Quantidade de N inicial e perdas de N (em % do N inicial) aos 3 e 6 meses para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

	N Inicial Kg	Perda de N (em % do N inicial)	
		3 meses	6 meses
100C	5,12	45,51	52,28
66C33N	4,32	49,07	61,92
33C66N	3,31	29,31	46,34
100N	2,02	35,64	46,80
33C66N+E	3,45	23,19	46,88
33C66N+A	3,31	33,23	48,07
100N+A	2,02	48,02	42,16

Os tratamentos 33C66N, 33C66N+E e 33C66N+A apresentaram perdas de N inferiores ao tratamento 100C, indicando uma possível redução na perda de N devido à utilização de misturas de materiais mais pobres neste elemento. Sánchez-Monedero et al. (2001), estudando a compostagem de diferentes misturas durante 20 semanas, também observaram menores perdas de N em misturas com maiores teores de materiais ricos em lignina e celulose.

As correlações entre algumas características avaliadas estão apresentadas na Tabela 2.10. Valores elevados de coeficiente de correlação foram observados entre teor de umidade e condutividade elétrica e entre teor de N e pH. A elevada correlação entre teor de umidade e condutividade elétrica mostra a influência da primeira característica nos valores da segunda. A elevada correlação negativa entre teor de N e pH indica a predominância do N-nitrato durante o período de compostagem, pois a predominância do N-amônio resultaria em uma correlação positiva. Tiquia et al. (1997b) e Sánchez-Monedero et al. (2001) também obtiveram elevadas correlações negativas entre pH e N-nitrato.

Tabela 2.10: Matriz de correlações entre as características avaliadas no segundo experimento de compostagem.

	Teor de Umidade	pH	Cond. Elétrica	Densidade	Teor de N	Teor de C
Teor de Umid.	<u>1,00</u>	<u>-0,46</u>	<u>-0,63</u>	0,08	<u>0,16</u>	<u>-0,83</u>
pH	<u>-0,46</u>	<u>1,00</u>	<u>-0,01</u>	<u>-0,35</u>	<u>-0,66</u>	<u>0,89</u>
Cond. Elétrica	<u>-0,63</u>	<u>-0,01</u>	<u>1,00</u>	0,09	<u>0,27</u>	<u>-0,75</u>
Densidade	0,08	<u>-0,35</u>	0,09	<u>1,00</u>	<u>0,39</u>	<u>0,45</u>
Teor de N	<u>0,16</u>	<u>-0,66</u>	<u>0,27</u>	<u>0,39</u>	<u>1,00</u>	<u>-0,95</u>
Teor de C	<u>-0,83</u>	<u>0,89</u>	<u>-0,75</u>	<u>0,45</u>	<u>-0,95</u>	<u>1,00</u>

Valores de correlação sublinhados são significativos ($p < 0,05$) pelo teste t.

Os resultados obtidos neste experimento nos permitem elaborar as seguintes considerações:

- A velocidade de decomposição é elevada no início da compostagem, decrescendo progressivamente até aproximadamente 90 dias, quando se torna muito reduzida, permitindo afirmar que o composto está estabilizado.
- Os revolvimentos provocam grandes elevações de temperatura em compostos pouco estabilizados. Em compostos muito estabilizados este efeito não é observado.
- A mistura de *Crotalaria* com capim Napier ativa o processo de compostagem, pois os tratamentos que receberam esta mistura apresentaram resultados indicando maior velocidade de decomposição que os tratamentos com estes materiais isolados.
- O tratamento 100% *Crotalaria* apresenta elevados valores iniciais de decomposição. Entretanto, este tratamento se estabiliza mais rapidamente que os demais. Provavelmente isto ocorre devido ao elevado teor de fibras deste material.
- O processo de compostagem pode aumentar o teor de N para valores acima dos observados na maioria dos fertilizantes orgânicos.
- Quando o objetivo da compostagem é obter uma fonte de N, não é recomendável que o processo dure mais de 90 dias, pois além deste período, a decomposição torna-se lenta e ainda ocorrem perdas significativas de N.
- Durante a compostagem podem ocorrer grandes perdas de massa e de N.
- Os tratamentos inoculados apresentaram resultados muito semelhantes aos mesmos tratamentos não inoculados, indicando não haver efeito de inoculações. Tiquia et al. (1997b), observaram que a inoculação de bactérias em compostos de cama de suínos não tem efeito significativo se houver manutenção da umidade próxima a 60%.

4.3- Terceiro Experimento de Compostagem

Os resultados relativos às características avaliadas encontram-se apresentados nas Figuras 2.13 a 2.19 e nas Tabelas 2.11 a 2.14.

A realização do processo de compostagem em balaio acarretou teores médios de umidade superiores aos observados nos tratamentos cujo processo foi conduzido em pilhas (Tabela 2.11). Deve-se destacar que neste experimento, a avaliação do teor de umidade ficou prejudicada devido ao menor tamanho das pilhas e dos pequenos volumes dos compostos conduzidos em balaio, resultando em maior proporção da camada periférica do composto, que geralmente possui um teor de umidade diferente da camada interna.

Tabela 2.11: Valores médios de umidade (em %) para os diferentes compostos estudados no terceiro experimento de compostagem.

Tratamento	100C	66C33N	33C66N	B100C	B66C33N	B33C66N	Média
% umidade	61,96	55,68	52,43	67,41	66,61	64,30	61,40

De acordo com os resultados apresentados na Figura 2.13, as temperaturas observadas no início da compostagem para os tratamentos conduzidos em balaio (B100C, B66C33N e B33C66N) foram inferiores às temperaturas observadas para os tratamentos conduzidos em pilhas (100C, 66C33N e 33C66N). Isto mostra que o isolamento térmico não foi suficiente para manter a temperatura no interior dos balaiois próxima àquela observada no interior das pilhas. Em concordância, Magalhães et al. (1993), observaram que compostagens conduzidas em maiores volumes proporcionam temperaturas mais elevadas nas pilhas.

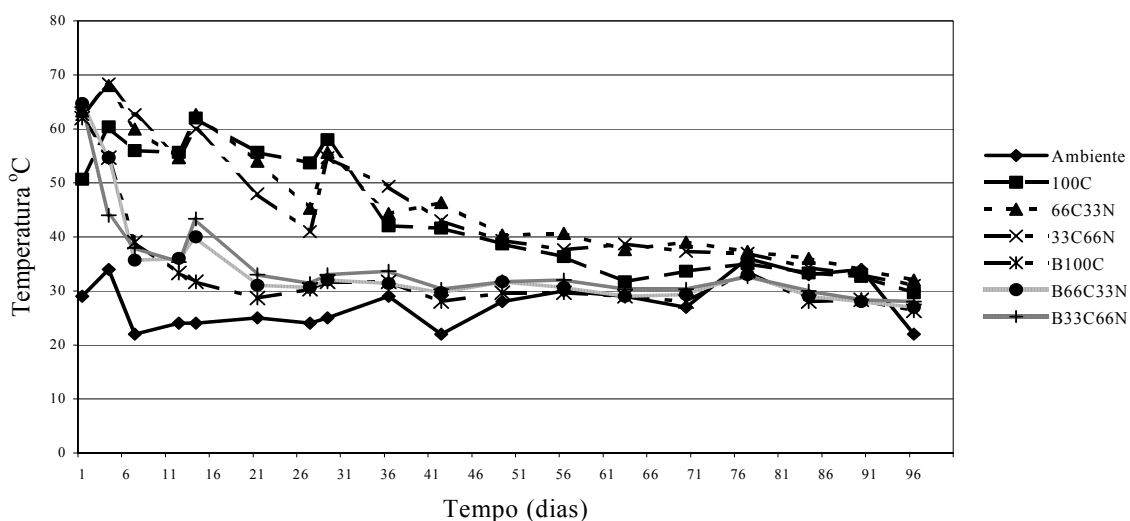
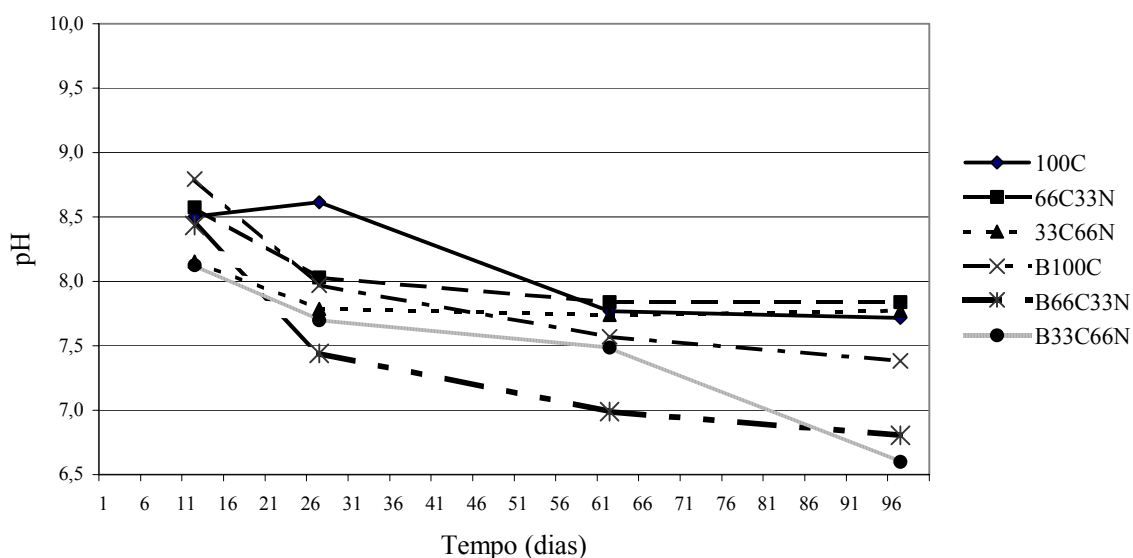


Figura 2.13: Temperaturas observadas ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no terceiro experimento de compostagem.

A partir de 60 dias, as temperaturas de todos os tratamentos ficaram próximas à temperatura ambiente. Esta redução antecipada da temperatura, quando comparada aos experimentos anteriores (Figuras 2.3 e 2.6), pode ter sido, como discutido anteriormente, uma consequência da menor quantidade de material utilizado tanto nos balaiois como nas pilhas.

Com relação ao pH (Figura 2.14), exceto para o tratamento 100C, não se observou aumento nos valores, como era esperado. Isto pode ter ocorrido antes dos 14 dias, época da primeira avaliação. Sánchez-Monedero et al. (2001), estudando 4 diferentes misturas durante 20 semanas, observaram queda nos valores de pH logo no início da compostagem. Tiquia & Tam (1998) e Tiquia et al. (2002) também observaram resultados semelhantes.

Figura 2.14: Valores de pH observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no terceiro experimento de compostagem.



Para a maioria dos tratamentos o pH diminuiu até aproximadamente 60 dias, quando se estabilizou.

Os resultados obtidos para CE são apresentados na Figura 2.15. Os valores médios de CE observados neste experimento ($4,22 \text{ dS m}^{-1}$) foram muito superiores aos observados nos experimentos anteriores ($2,21$ e $2,22 \text{ dS m}^{-1}$). Isto ocorreu, possivelmente, devido à ausência de lixiviação de sais, pois o regime de irrigação foi controlado e o experimento foi realizado em local coberto.

Nota-se tendências de aumento da CE ao longo do processo de compostagem. Sánchez-Monedero et al. (2001) também detectaram valores e comportamento muito semelhantes ao estudarem o processo de compostagem com diferentes misturas. Segundo Negro et al. (1999), o aumento da CE ao longo da compostagem provavelmente é devido ao aumento da concentração de sais causado pela perda de massa por meio de evolução de CO_2 .

Destaca-se que o comportamento da CE nos tratamentos montados em balaios foi muito próximo dos tratamentos montados em pilhas.

Os tratamentos 100C e B100C foram os que apresentaram maiores valores de CE no final da compostagem. Este resultado, provavelmente, se deve aos maiores teores iniciais de nutrientes (Tabela 2.12) e às grandes perdas de massa através de CO_2 ocorridas nestes tratamentos (Tabela 2.13). Sánchez-Monedero et al. (2001), também observaram maiores aumentos da CE em compostos que apresentaram maiores perdas de massa.

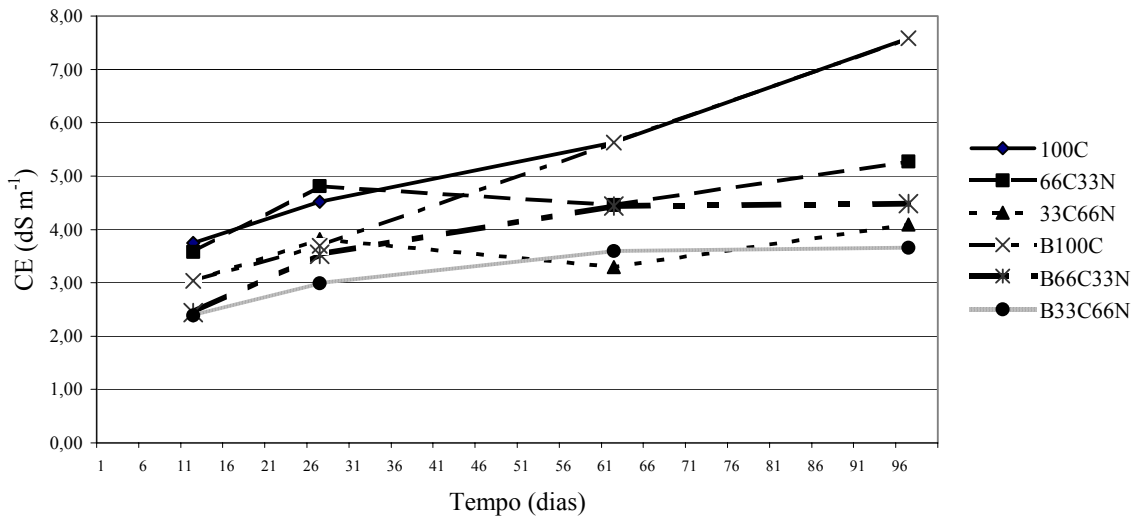


Figura 2.15: Valores de condutividade elétrica (em dS m^{-1}) observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no terceiro experimento de compostagem.

Com relação à densidade (Figura 2.16), houve aumentos progressivos nos valores, conforme era esperado.

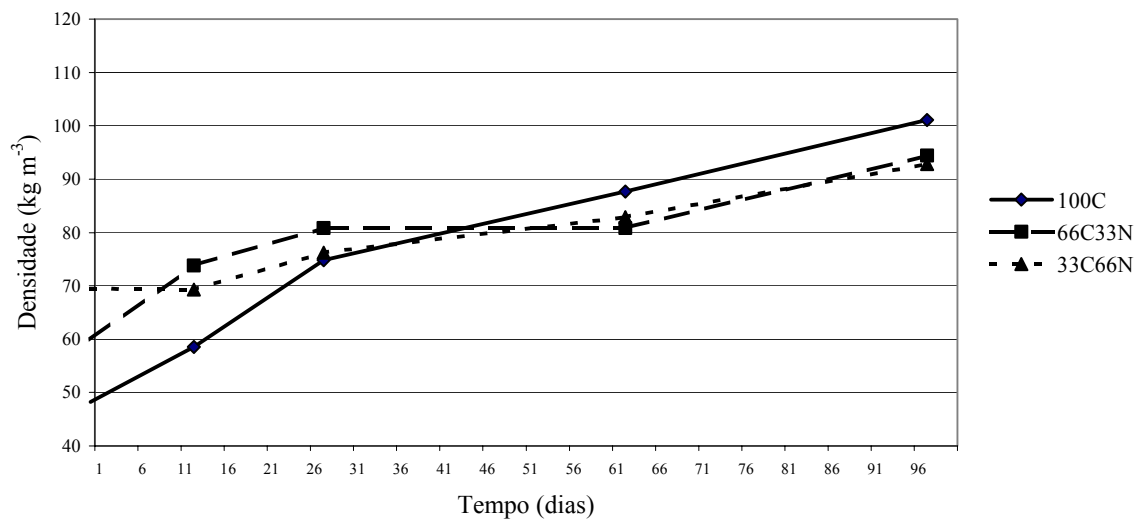


Figura 2.16: Valores de densidade (em kg m^{-3} de matéria seca) observados ao longo do tempo para os três primeiros tratamentos estudados no terceiro experimento de compostagem.

Observa-se na Figura 2.17, que os teores de N total aumentaram até aproximadamente 30 dias e a partir desta época há tendência de estabilização.

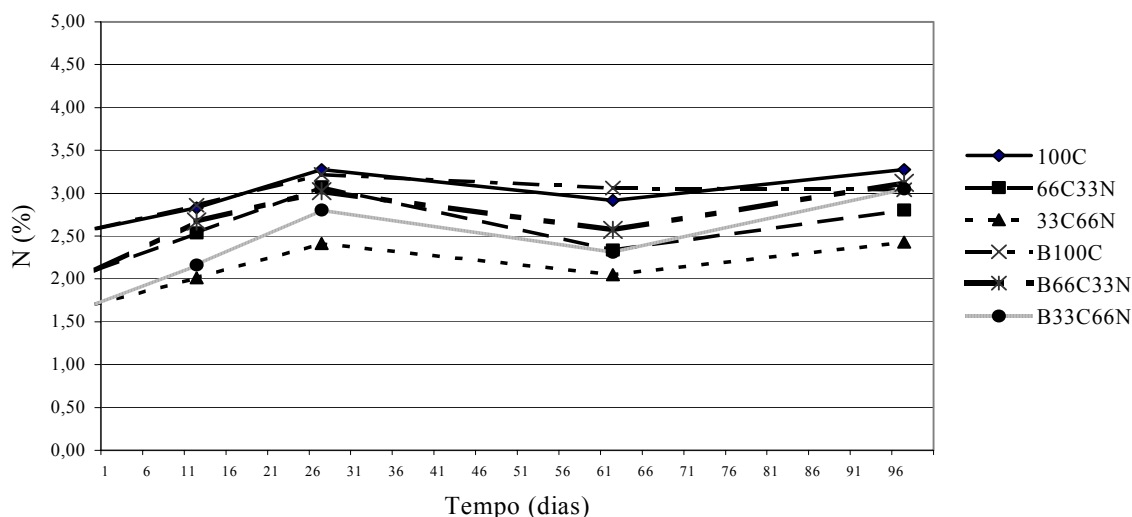


Figura 2.17: Teores de N total observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no terceiro experimento de compostagem.

Apesar de não ter havido perdas de N por lixiviação, os teores de N após 90 dias de compostagem foram inferiores aos observados no segundo experimento. A explicação deste resultado pode ser baseada nas seguintes hipóteses:

- A contribuição da perda de N por lixiviação nos compostos montados a céu aberto é menor do que se supõe. Sommer & Dahl (1999), observaram valores irrisórios de perdas de N por lixiviação durante 197 dias de compostagem de cama de bovino a céu aberto.
- A compostagem realizada em pequenos volumes pode favorecer a perda de N por volatilização, por promover maior aeração. Tiquia & Tam (2002) observaram que a perda de N em compostos de cama de aviário sob ventilação forçada foi maior que nos tratamentos sem revolvimento.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 2.18, os teores médios de C diminuíram durante a compostagem. Resultado semelhante foi obtido no segundo experimento. Não foram observadas diferenças marcantes entre os teores de C.

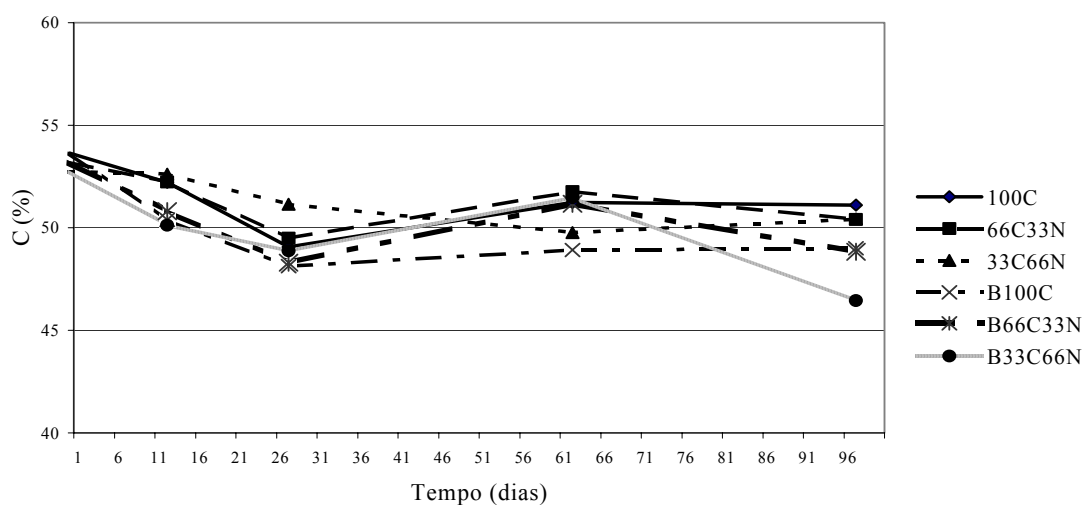


Figura 2.18: Teores de C observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no terceiro experimento de compostagem.

Os resultados observados para a característica relação C:N estão na Figura 2.19. Observa-se reduções ao longo do tempo, com valores entre 10 e 20 ao final da compostagem.

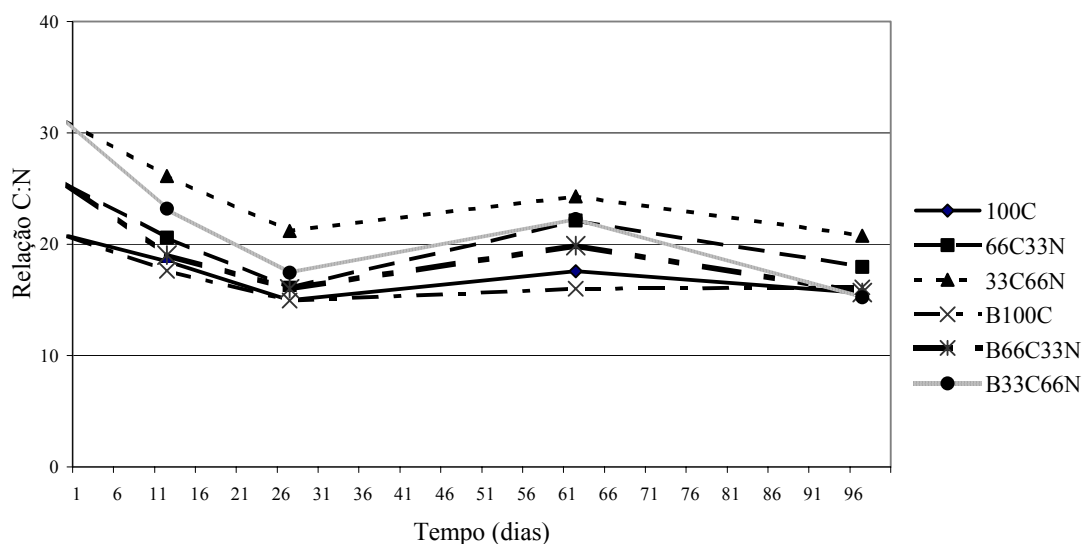


Figura 2.19: Valores da relação C:N observados ao longo do tempo para os diferentes compostos estudados no segundo experimento de compostagem.

Observa-se na Tabela 2.12, que os teores de Ca, Mg, K e P aumentaram após 3 meses de compostagem. Os valores obtidos neste experimento foram muito diferentes dos observados no segundo experimento, mostrando-se mais precisos, com menores coeficientes de variação. Estes valores estão mais próximos aos obtidos por WRAP (2004) ao avaliar 44 diferentes compostos produzidos no Reino Unido Estes resultados são similares aos encontrados por Sedyama et al. (2000) e Ayuso et al. (1996).

Tabela 2.12: Teor (g kg^{-1}) inicial e aos 3 meses para Ca, Mg, K e P observados nos tratamentos 100C, 66C33N e 33C66N do terceiro de compostagem.

	Ca		Mg		K		P	
	Inicial	3 meses	Inicial	3 meses	Inicial	3 meses	Inicial	3 meses
	----- g/kg -----							
100C	15,23	19,48	4,93	6,77	5,17	9,17	2,05	4,17
66C33N	12,79	16,55	4,23	6,03	5,47	8,50	2,52	3,49
33C66N	10,81	20,20	3,65	7,25	5,72	7,50	2,90	4,10

A perda de massa observada nos tratamentos conduzidos em pilhas foram superiores à perda observada nos tratamentos conduzidos em balaios (Tabela 2.13).

A perda de massa observada nos tratamentos 100C e 66C33N foram semelhantes às observadas no segundo experimento, atingindo valores próximos a 70% em 90 dias. Nos tratamentos 33C66N, B100C, B66C33N e B33C66N, o valor de perda de massa aos 90 dias foi menor que aos 60 dias, o que demonstra erro metodológico. Este erro pode ter sido causado pela baixa precisão (0,5 kg) do instrumento de pesagem, bem como pela variabilidade que ocorre na determinação da umidade do material,

principalmente nos compostos montados em balaios. Este tipo de erro também foi observado por Sánchez-Monedero et al. (2001).

Tabela 2.13: Massa inicial e perda de massa (em % da massa inicial) aos 15, 30, 60 e 90 dias para os diferentes compostos estudados no terceiro experimento de compostagem.

	Massa Inicial kg	Perda de massa (em % da massa inicial)			
		15 dias	30 dias	60 dias	90 dias
100C	173,85	41,07	46,04	55,30	66,73
66C33N	181,02	38,66	43,58	60,64	65,59
33C66N	194,45	28,96	33,56	51,33	46,08
B100C	4,04	49,13	56,93	78,71	59,72
B66C33N	4,62	19,12	31,21	56,51	49,33
B33C66N	5,24	10,28	39,58	44,59	42,46

De acordo com a Tabela 2.14, a perda de N observada nos tratamentos 100C e 66C33N foi superior à perda observada por estes tratamentos no segundo experimento, chegando próximo à 60% em 90 dias. Esperavam-se menores valores de perda de N, pois o terceiro experimento foi realizado sob estufa e com controle das regas, não ocorrendo perdas por lixiviação. Este resultado pode ser explicado pelas hipóteses levantadas em relação ao teor de N.

Tabela 2.14: N inicial e perda de N (em % do N inicial) aos 15, 30, 60 e 90 dias para os diferentes compostos estudados no terceiro experimento de compostagem.

	Massa Inicial kg	Perda de massa (em % da massa inicial)			
		15 dias	30 dias	60 dias	90 dias
100C	4,50	35,65	31,71	49,66	57,90
66C33N	3,80	25,81	17,33	56,18	54,02
33C66N	3,31	15,94	5,82	41,46	23,17
B100C	0,10	43,84	46,41	74,83	52,69
B66C33N	0,10	-2,85	0,98	46,66	24,64
B33C66N	0,09	-13,91	0,47	24,76	-3,05

A matriz de correlações é apresentada na Tabela 2.15. A correlação significativa entre CE e teor de umidade está de acordo com o observado no segundo experimento.

A correlação negativa observada entre pH e densidade pode ser explicada pela queda nos valores do primeiro e aumento nos valores do segundo ao longo da compostagem.

As elevadas correlações entre CE e teor de N, entre CE e densidade e entre densidade e teor de N são devido ao aumento nos valores destas características ao longo da compostagem.

Tabela 2.15: Matriz de correlações entre as características avaliadas no terceiro experimento de compostagem.

	Teor de umidade	pH	Cond. Elétrica	Densidade	Teor de N	Teor de C
Teor de umid.	<u>1,00</u>	0,21	<u>-0,48</u>	<u>-0,45</u>	0,08	-0,07
pH	0,21	<u>1,00</u>	<u>-0,28</u>	<u>-0,67</u>	-0,17	<u>0,43</u>
Cond. Elétrica	<u>-0,48</u>	<u>-0,28</u>	<u>1,00</u>	<u>0,73</u>	<u>0,44</u>	-0,05
Densidade	<u>-0,45</u>	<u>-0,67</u>	<u>0,73</u>	<u>1,00</u>	<u>0,41</u>	<u>-0,29</u>
Teor de N	0,08	-0,17	<u>0,44</u>	<u>0,41</u>	<u>1,00</u>	<u>-0,53</u>
Teor de C	-0,07	<u>0,43</u>	-0,05	<u>-0,29</u>	<u>-0,53</u>	<u>1,00</u>

Valores de correlação sublinhados são significativos ($p < 0,05$) pelo teste t.

Os resultados obtidos neste experimento nos permitem elaborar as seguintes considerações:

- A utilização de balaies com volume de 80 litros e isolamento térmico não simula as condições encontradas em pilhas de composto com volume maior que 3,0 m³.
- As maiores perdas de massa e de N ocorrem nos primeiros 30 dias de compostagem.

4.4- Precisão dos Experimentos

Conforme se observa na Tabela 2.16, os valores de CV do terceiro experimento são inferiores aos observados nos experimentos anteriores. Este resultado mostra o aumento da precisão nas avaliações realizadas.

Tabela 2.16: Valores médios de Coeficiente de Variação observados para as diversas características estudadas nos três experimentos de compostagem.

	1 ° Experimento	2 ° Experimento	3 ° Experimento
Temperatura	2,90	2,18	1,96
Teor de umidade	8,14	5,45	6,40
Densidade (MS)	---	5,27	3,12
pH	1,14	1,26	0,48
Condutividade Elétrica	9,37	10,67	4,79
C total	---	1,62	1,10
Teor de N	---	9,96	8,12
Teor de Ca	---	25,82	16,47
Teor de Mg	---	36,69	14,73
Teor de K	---	38,13	15,01
Teor de P	---	33,29	9,31

Os resultados obtidos para CE não podem ser interpretados com precisão, pois a metodologia utilizada para a determinação desta característica não se mostrou eficiente. Como não leva em conta a umidade da amostra, os valores de CE obtidos variam conforme o teor de umidade do composto. Isto é comprovado pelos elevados valores de correlação entre CE e teor de umidade. Apenas no terceiro experimento de compostagem, onde houve maior controle da umidade, os valores obtidos apresentam resultados confiáveis.

O método padrão para determinação de CE é o extrato de pasta saturada. Mas como é muito demorado, torna-se inviável a sua utilização para muitas amostras. Na literatura são descritas outras metodologias consideradas práticas e precisas, como a utilizada pelo “The US Composting Concil” (Thompson et al., 2003), que leva em conta a umidade da amostra, mas não funciona quando os teores de umidade são muito elevados.

5. CONCLUSÕES

- Para que ocorram compostagens eficientes, materiais com grande tamanho de fragmentos e cujas pilhas apresentam grande circulação de ar, devem ser picados ou misturados a materiais que reduzam a aeração das pilhas.
- É possível a obtenção de compostos com elevados teores de N, utilizando-se *Crotalaria juncea* pura ou misturada com capim Napier (*Pennisetum purpureum*), sem a necessidade de inoculantes ou outros aditivos.
- A compostagem de *Crotalaria juncea* pura ou misturada com capim Napier (*Pennisetum purpureum*) pode apresentar grandes perdas de massa e de N, principalmente no início do processo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁVILA, J. C. A visão biodinâmica da compostagem. **Agroecologia**, Porto Alegre, v. 17, p. 22-23, 2002.
- AYUSO, M.; HÈRNADEZ, T.; GARCIA, C.; PASCUAL, J. A. Biochemical and chemical-structural characterization of different organic materials used as manure. **Bioresources Technology**, Essex, v. 57, p. 201-207, 1996.
- BABY, R. E.; CABEZA, M. D.; LABUD, V.; MARQUI, F. J.; WALSOE DE RECA, N. E. Evolution of thermophilic period in biosolids composting analyzed with an electronic nose. **Sensors and Actuators**, Lausanne, 2004. In Press.
- BADDI, G.; HAFIDI, M.; CEGARRA, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; GONZÁLVEZ, J.; GILARD, V.; REVEL, J. C. Characterization of fulvic acids by elemental and spectroscopic (FTIR and ¹³C-NMR) analyses during composting of olive mill wastes plus straw. **Bioresources Technology**, Essex, v. 93, p. 285-290, 2004.
- BERNAL, M. P.; PAREDES, C.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; CEGARRA, J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresources Technology**, Essex, v. 63, p. 191-99, 1998a.
- BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C.; ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different composting states during their incubation with soil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 69, p.175-189, 1998b.
- BOOPATHY, R.; BEARY, T.; TEMPLET, P. J. Microbial decomposition of port-harvest sugarcane residue. **Bioresources Technology**, Essex, v. 79, p. 29-33, 2001.
- CERETTA, C. A.; BAYER, C.; DICK, D. P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L. A. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 245-264.
- DIVE, S. **Biodynamic farming & compost preparation**. Washington: Appropriate Technology Transfer for Rural (ATTRA), 1999. 20 p.
- DIVE, S. **Compost heated greenhouses**. Washington: Appropriate Technology Transfer for Rural (ATTRA), 2001. 5 p.
- DOMEIZEL, M.; KALHIL, A.; PRUDENT, P. UV spectroscopy: a tool for monitoring humification and for proposing an index of the maturity of compost. **Bioresources Technology**, Essex, v. 94, p.177-184, 2004.
- FANG, M.; WONG, J. W. C.; LI, G. X.; WONG, M. H. Changes in biological parameters during co-composting of swage sludge and coal ash residues. **Bioresources Technology**, Essex, v. 64, p. 55-61, 1998.
- FREDERICKSON, J.; BUITT, K. R.; MORRIS, R. M.; DANIEL, C. Combining vermiculture with traditional green waste composting systems. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 3/4, p. 725-730, 1997.
- GAIND, S.; GAUR, A. C. Quality assessment of compost prepared from fly ash and crop residue. **Bioresources Technology**, Essex, v. 87, p. 125-127, 2003.

- HANAJIMA, D.; KURODA, K.; HAGA, K. Enhancement of the thermophilic stage in cattle waste composting by addition of tofu residue. **Bioresources Technology**, Essex, v. 78, p. 213-216, 2001.
- HASSEN, A.; BELGUITH, K.; CHERIF, A.; CHERIF, M.; BOUDABOUS, A. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. **Bioresources Technology**, Essex, v. 80, p. 217–225, 2001.
- HOGG, D.; BARTH, J.; FAVOINO, E.; CENTEMERO, M.; CAIMI, V.; AMLINGER, F.; DEVLIEGHER, W.; BRINTON, W.; ANTLER, S. **Comparison of Compost Standards Within the EU, North America and Australasia**. Oxon-UK: The Wastes and Resources Action Programme (WRAP), 2002. 108 p.
- IHNAT, M.; FERNANDES, L. Trace elemental characterization of composted poultry manure. **Bioresources Technology**, Essex, v. 57, p. 143–156, 1996.
- ILLMER, P.; SCHINNER, F. Compost turning – a central factor for a rapid and high-quality degradation in household composting. **Bioresources Technology**, Essex, v. 59, p.157–162, 1997.
- IMBEAH, M. Composting piggery waste: a review. **Bioresources Technology**, Essex, v. 63, p. 197-203, 1998.
- JAHNEL, M. C.; MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. N. Maturidade de composto de lixo urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 1-7, 2000.
- JEONG, Y. K.; KIM, J. S. A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting process. **Bioresources Technology**, Essex, v. 79, p. 129–133, 2001.
- JONES, P.; MARTIN, M. **A review of the literature on the occurrence and survival of pathogens of animals and humans in green compost**. Oxon-UK: The Wastes and Resources Action Programme (WRAP), 2003. 33 p.
- KAPANEN, A.; ITAVAARA, M. Review: ecotoxicity tests for compost applications. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, San Diego, v. 49, p. 1-16, 2001.
- KIEHL, J. C. Produção de composto e vermicomposto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 40-52, 2001.
- KIRCHMANN, H.; BERNAL, M. P. Organic waste treatment and C stabilization efficiency. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 11/12, p. 1747-1753, 1997.
- LANDGRAF, M. D.; ALVES, M. R.; SILVA, S. C.; REZENDE, M. O. O. Caracterização de ácidos húmicos de vermicomposto de esterco bovino compostado durante 3 e 6 meses. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 483-487, 1999.
- LASERIDI, K. E.; STENTIFORD, E. I. A simple respirometric technique assessing compost stability. **Water Research**, Oxford, v. 32, n.12, p. 3717-3723, 1998.
- LEAL, M. A. A.; CAETANO, L. C. S.; FERREIRA, J. M. **Estufas de baixo custo modelo PESAGRO-RIO**. Niterói: PESAGRO-RIO, 1999. 27 p. (PESAGRO-RIO. Informe Técnico, 29).
- LO, K. V.; LAU, A. K.; LIAO, P. H. Composting of separated solid swine wastes. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 54, p. 307-317, 1993.
- LOPEZ, M. J.; ELORRIETA, M. A.; VARGAS-GARCIA, M. C.; SUAREZ-ESTRELLA, F.; MORENO, J. The effect of aeration on the biotransformation of lignocellulosic wastes by white-rot fungi. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 81, p. 123–129, 2002.

- MADEJÓN, E.; DÍAZ, M. J.; LÓPEZ, R.; CABRERA, F. Co-composting of sugar beet vinasse: influence of the organic matter nature of the bulking agents used. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 76, p. 275–278, 2001.
- MAGALHÃES, A. M. T.; SHEA, P. J.; JAWSON, M. D.; WICKUND, E. A.; NELSON, D. W. Practical simulation of composting in the laboratory. **Waste Management & Research**, v. 2, p. 143-154, 1993.
- MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, J.; LLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 74, p. 3–16, 2000.
- MISRA, R. V.; ROY, R. N. **On farm composting methods**. Rome: FAO, 2003. 26 p.
- MONDINI, C.; CHIUMENTI, R.; BORSO, F.; LEITA, L.; De NOBILI, M. Changes during processing in the organic matter of composted and air-drained poultry manure. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 55, p. 243–24, 1996.
- MONDINI, C.; CONTIN, M.; LEITA, L.; DE NOBILI, M. Response of microbial biomass to air-drying and rewetting in soils and compost. **Geoderma**, Amsterdam, v. 105, p. 111–124, 2002.
- NAGASAKI, K.; YAGUCHI, H.; SSAKI, Y.; KUBOTA, H. Effects of pH control on composting of garbage. **Waste Management & Research**, v. 2, p.117-125, 1993.
- NEGRO, M. J.; SOLANO, M. L.; CIRIA, P.; CARRASCO, J. Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 67, p. 89–92, 1999.
- NOBLE, R.; ROBERTS, S. J. **A review of the literature on eradication of plant pathogens and nematodes during composting, disease suppression and detection of plant pathogens in compost**. Oxon-UK: The Wastes and Resources Action Programme (WRAP), 2003. 41 p.
- RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 556-562, 1994.
- RODRIGUES, A. M.; FERREIRA, L. J.; FERNANDO, A. L.; URBANO, P.; OLIVEIRA, J. S. Co-composting of sweet sorghum biomass with different nitrogen sources. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 54, p. 21–27, 1995.
- ROIG, A.; CAYULE, M. L.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A. The use of elemental sulphur as organic alternative to control pH during composting of olive mill wastes. **Chemosphere**, Oxford, v. 57, p. 1099-1105, 2004.
- SALMONELA elimination during composting of spent pig litter. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 63, p. 193–196, 1998.
- SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; BERNAL, M. P. Relationships between water-soluble carbohydrate and phenol fractions and the humification indices of different organic wastes during composting. **Bioresource Technology**, Essex, v. 70, p. 193–201, 1999.
- SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; PAREDES, C.; BERNAL, M. P. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 78, p. 301-308, 2001.
- SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; PAREDES, C.; BERNAL, M. P. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. **Bioresource Technology**, Essex, v. 78, p. 301–308, 2001.

- SCHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. **Trends in Food Science & Technology**, London, v. 7, p. 263-268, 1996.
- SEDIYAMA, M. A. N.; GARCIA, N. C. P.; VIDIGAL, S. M.; MATOS, A. T. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 185-189, 2000.
- SEMPLE, K. T.; REID, B. J.; FERMOR, T. R. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 112, p. 269-283, 2001.
- SHARMA, V. K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, G. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: a review. **Energy Conversion and Management**, Elmsford, v. 38, n. 5, p. 453-478, 1997.
- SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.
- SINGH, C. P.; AMBERGER, A. Organic acids and phosphorus solubilization in straw composted with rock phosphate. **Bioresource Technology**, Essex, v. 63, p. 13-16, 1998.
- SLATER, R. A.; FREDERICKSON, J. Composting municipal waste in the UK: some lessons from Europe. **Resources, Conservation and Recycling**, n.32, p.359-374, 2001.
- SMARS, S.; BECK-FRIIS, B.; JONSSON, H.; KIRCHMANN, H. An advanced experimental composting reactor for systematic simulation studies. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 78, n. 4, p. 415-422, 2001.
- SMET, E.; Van LANGENHOVE, H.; DeBO, I. The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of biowaste. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 33, p. 1295-1303, 1999.
- SOMMER, S. G.; DAHL, P. Nutrient and carbon balance during the composting of deep litter. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 74, p. 145-153, 1999.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 1982. 443 p.
- TEDESCO, M. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. 174 p.
- TEJADA, M.; DOBAO, M. M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J. L. Study of composting of cotton residues. **Bioresource Technology**, Essex, v. 79, p. 199-202, 2001.
- TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. **Bioresource Technology**, Essex, v. 37, p. 869-880, 2002.
- TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. Effects of turning frequency on composting of spent pig manure sawdust litter. **Bioresource Technology**, Essex, v. 62, p. 37-42, 1997a.
- TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. Composting of spent pig litter at different seasonal temperatures in subtropical climate. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 98, n. 1, p. 97-104, 1997c.
- TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 67, p. 79-89, 1998.

- TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HUDGKISS, I. J. Effects of bacterial inoculum and moisture adjustment on composting of pig manure. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 96, n. 2, p. 161-171, 1997b.
- TIQUIA, S. M.; WAN, J. H. C.; TAM, N. F. Y. Dynamics of yard trimmings composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine ammonification, and nitrification potential. **Process Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 1057–1065, 2002.
- THOMPSON, W.; LEEGE, P.; MILLNER, P.; WATSON, M. E. Test methods for examination of composts and composting. The US Composting Council, US Government Printing Office, 2003. Disponível em: <<http://tmecc.org/tmecc/index.html>>.
- TUOMELA, M.; VIKMAN, M.; HATAKKA, A.; ITAVAARA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 72, p. 169–183, 2000.
- VANDERGHEYNST, J. S.; GOSSETT, J. M.; WALKER, L. P. High-solids aerobic decomposition: pilot-scale reactor development and experimentation. **Process Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 5, p. 361-375, 1997.
- VAN GINKEL, J. T.; VAN HANEGHEM, I. A.; RAATS, P. A. C. Physical properties of composting material: gas permeability, oxygen diffusion coefficient and thermal conductivity. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 78, p. 1-13. 2001.
- VAN HEERDEN, I.; CRONJÉ, C.; SWART, S. H.; KOTZÉ, J. M. Microbial, chemical and physical aspects of citrus wastes composting. **Bioresource Technology**, Essex, v. 81, p. 71-76, 2002.
- VANOTTI, M. B.; MILLNER, P. D.; HUNT, P. G.; ELLISON, A. Q. Removal of pathogen and indicator microorganisms from liquid swine manure in mult step biological and chemical treatment. **Bioresource Technology**, Essex, v. 96, p. 209–214, 2005.
- VINCESLAU-AKPA, M.; LOQUET, M. Organic matter transformations in lignocellulosic waste products composted or vermicomposted (*Eisenia fetida* Andrei): chemical analysis and ¹³C CPMAS spectroscopy. **Soil Biological & Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 3/4, p. 751-758, 1997.
- VUORINEN, A. H.; SAHARINEN, M. H. Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 66, p. 19-29, 1997.
- WANG, P.; CHANGA, C. M.; WATSON, M. E.; DICK, W. A.; CHEN, Y.; HOITINK, H. A. J. Maturity indices for composted dairy and pig manures. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 767-779, 2004.
- WEPPEN, P. Process calorimetry on composting of municipal organic wastes. **Biomass and Bioenergy**, v. 21, p. 289–299, 2001.
- WRAP-WASTES AND RESOURCES ACTION PROGRAMME. **To support the development of standards for compost by investigating the benefits and efficacy of compost use in different applications**. Oxon-UK, 2004. 72 p.
- YUAN-SONG, W.; YAO-BO, F.; MIN-JIAN, W.; JU-SI, W. Composting and compost application in China. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 30, p. 277–300, 2000.

CAPITULO III

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE COMPOSTOS OBTIDOS DE MISTURA DE PALHADA DE LEGUMINOSA E GRAMÍNEA NA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

RESUMO

A compostagem é uma técnica que permite o aumento da disponibilidade e da qualidade dos fertilizantes orgânicos. Os compostos podem ser utilizados como substratos, condicionadores de solo e fornecedores de nutrientes, notadamente como fonte de N. Visando avaliar a eficiência de compostos obtidos no Capítulo II, foram realizados os seguintes experimentos: 1- Obtenção de mudas, cujo objetivo foi identificar efeitos fitotóxicos nos compostos e tentar obter substratos eficientes para a produção de alface, beterraba e tomate; 2- Produção sob condições de campo e cultivo protegido, cujo objetivo foi avaliar a eficiência dos compostos como adubos orgânicos de plantio no cultivo de alface, beterraba e tomate; 3- Bioensaio em vasos, cujo objetivo foi avaliar a velocidade de disponibilização de N dos compostos e de alguns fertilizantes orgânicos. Observou-se que os compostos cuja mistura continham *Crotalaria* (*Crotalaria juncea*) e capim Napier (*Pennisetum purpureum*) podem ser utilizados como substratos na produção de mudas de alface, beterraba e tomate. Os compostos que continham *Crotalaria* ou sua mistura com capim Napier mostraram-se eficientes como adubos orgânicos de plantio para as culturas de alface, beterraba e tomate. Destaca-se também, que os compostos com maiores teores de N possuem maior velocidade de disponibilização de N.

ABSTRACT

The composting is a technique that allows the increase of the availability and the quality of organic fertilizers. The composts can be used as substrate, as soil conditioning and as nutrients supplying, mainly as N source. To evaluate the efficiency of the composts obtained in Chapter II, three types of experiments were developed: 1- Seedlings experiments, whose objective was to identify toxic effect in composts, besides trying to get an efficient substrate for vegetable seedlings productions, having as standard a commercial substrate Plantmax HT; 2- Field experiments, that aimed to evaluate the composts efficiency as bed fertilization for vegetables production, having the cattle manure as standard; 3- Vases experiments, whose objective was to evaluate the N release speed of composts and some organic fertilizers. The results showed that the composts of the second experiment that had used the mixture of *Crotalaria juncea* and Napier grass (*Pennisetum purpureum*) can be used as substitute of the commercial substrate in the production of seedlings of lettuce, beetroot and tomato. The composts that contains *Crotalaria* can substitute the cattle manure as bed fertilization for the lettuce, beetroot and tomato cultures. It was also observed that the composts with high levels of N had a higher N release speed.

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica é o principal fator relacionado com a fertilidade e com a capacidade do solo em manter produções sustentáveis, devido a sua grande influência nas características químicas, físicas e biológicas do solo. A adição periódica de matéria orgânica, através da utilização de fertilizantes orgânicos ou resíduos orgânicos é uma prática de fundamental importância para a manutenção da fertilidade dos solos, principalmente em regiões tropicais, onde as taxas de decomposição da matéria orgânica são elevadas. Em muitos casos, entretanto, esta adição não ocorre de maneira adequada, devido ao elevado custo dos fertilizantes orgânicos ou devido a características inadequadas dos resíduos orgânicos. Estes problemas podem ser amenizados através da compostagem, que permite o aumento da disponibilidade e da qualidade de fertilizantes orgânicos.

Os compostos podem ser utilizados como substratos para a produção de mudas ou para o cultivo em recipientes, mas sua utilização mais comum é na forma de fertilizante orgânico. Neste caso, sua atuação principal será como condicionador de solo ou como fornecedor de nutrientes. Para que compostos orgânicos sejam empregados na produção agrícola de forma adequada, é necessário considerar as características da cultura, do ambiente e do manejo adotado, bem como, considerar as especificações e a eficiência do composto utilizado.

Os trabalhos realizados neste capítulo tiveram como objetivo principal avaliar o potencial de uso agrônomico dos compostos obtidos nos experimentos 2 e 3 do capítulo anterior. Com o objetivo de testar a viabilidade de sua utilização como substrato para a produção de mudas de hortaliças, foram realizados experimentos com alface, beterraba e tomate. Avaliou-se também a presença de efeito fitotóxico, através de experimentos com mudas de pepino. Com o objetivo de testar a viabilidade da utilização destes compostos em substituição ao esterco bovino como adubo orgânico de plantio em hortaliças, foram realizados experimentos de produção de alface, beterraba e tomate. Com o objetivo de avaliar a velocidade de liberação de N pelos compostos, foram realizados bioensaios em vasos, usando o milheto (*Pennisetum glaucum*) como planta indicadora.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1- Utilização de Compostos como Substratos

É crescente a demanda por substratos na agricultura, que são utilizados principalmente para a produção de plantas ornamentais, produção de hortaliças em recipientes e produção de mudas (Abreu et al., 2002). Grande parte dos substratos utiliza turfa como componente principal, mas são crescentes os esforços visando substituir este material, devido a questões de proteção ambiental (Baumgarten, 2002). Os compostos podem atender plenamente esta demanda, principalmente em sistemas orgânicos de produção, onde não se utilizam fertilizantes sintéticos de elevada solubilidade.

Devido ao limitado volume para o crescimento das raízes, os substratos devem ser capazes de providenciar o fornecimento constante de água, oxigênio e nutrientes para as plantas (Fermino, 2002). De acordo com Carlile (1997), a principal propriedade que se espera de um substrato é a capacidade providenciar um ambiente estável com o suprimento de água, oxigênio e ancoragem para as plantas.

Para uma grande variedade de culturas, os compostos podem fornecer os nutrientes necessários ao crescimento. Embora os compostos possam conter quantidades significativas de N, a maior parte se encontra na forma orgânica, não estando plenamente disponível para as plantas (WRAP, 2004). Quando a demanda total de N pela planta é baixa e distribuída por um longo período de tempo, a utilização de compostos como substratos pode fornecer todo o N necessário. Caso contrário, também devem ser utilizados fertilizantes com rápida disponibilização de N. O mesmo vale para os outros nutrientes. Compostos geralmente possuem CTC mais elevada do que a turfa e possuem efeito corretivo do pH.

Para serem utilizados como substrato, os compostos devem possuir boas propriedades físicas, tal como alta capacidade de reter a umidade e drenar o excesso de água (Corti & Crippa, 1998). Devem também, promover de forma adequada o fornecimento de oxigênio e a eliminação do CO₂ (WRAP, 2004). Outra característica física importante para um composto ser utilizado como substrato é possuir reduzido grau de encolhimento ou expansão.

O tamanho e o formato das partículas é uma característica importante para o uso eficiente de compostos como substratos, pois tem influência muito grande em propriedades como volume de poros e densidade. Segundo WRAP (2004), a utilização de trituradores e a separação das partículas maiores através de peneiras podem conferir aos compostos a dimensão de partículas necessária para a sua utilização como substrato. Os compostos geralmente apresentam valores de densidade (base seca) muito próximos aos observados para substratos comerciais elaborados à base de turfa (McEwen, 2001, citado por WRAP, 2004).

Os compostos apresentam boas propriedades biológicas para serem utilizados como substratos. Na literatura, existe a evidência de que os compostos podem estimular a proliferação de antagonistas a organismos fitopatogênicos, ajudando a controlar algumas doenças do sistema radicular (De Brito & Gagne, 1995; Mandelbaum & Hadar, 1997; Lievens, 2001).

2.2- Utilização de Compostos como Fertilizantes Orgânicos

Em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a MO tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às culturas, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilização da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração e ativação da atividade microbiana, constituindo-se assim, em componente fundamental da sua capacidade produtiva (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Segundo Palm et al. (2001), o aporte das tradicionais fontes de MO, como restos de culturas e dejetos animais estão diminuindo em vários sistemas agrícolas, devido a outros usos para estes subprodutos, como alimentação animal, produção de fibras ou produção de energia. Deste modo, para se evitar prováveis carências dos atuais fertilizantes utilizados na produção de hortaliças orgânicas, é necessário buscar alternativas para substituir estes esterco por insumos que possam ser produzidos próximos às áreas consumidoras.

A compostagem é uma técnica que permite o aumento da disponibilidade e da qualidade dos fertilizantes orgânicos. A principal utilização dos compostos é como fertilizante orgânico, podendo atuar principalmente como condicionador de solo ou como fornecedor de nutrientes, dependendo das características do composto utilizado e das condições de aplicação.

Condicionadores de solo devem possuir maior capacidade para melhorar a CTC do solo e as características físicas, como porosidade e retenção de água, o que exige maior grau de humificação dos compostos. Já os fornecedores de nutrientes devem possuir nutrientes em teores elevados e em formas mais disponíveis, o que geralmente é encontrado em compostos menos humificados.

Segundo Amlinger et al. (2002, citado por WRAP, 2004), o conteúdo e a disponibilidade de nutrientes em compostos podem variar consideravelmente e dependem muito da matéria prima utilizada, do processo de compostagem adotado e das condições de armazenamento.

2.2.1- Características químicas

Um importante efeito da adição de MO ao solo é o aumento do conteúdo de energia. Segundo Fontaine et al. (2003), o carbono do solo é a fonte primária de energia para a maioria dos processos realizados por microorganismos, como a respiração e a mineralização de nutrientes. A qualidade do carbono tem grande influência neste processo, sendo que materiais muito humificados geralmente possuem baixa liberação de energia.

A dinâmica da mineralização e imobilização do N é dependente da relação C/N e da degradabilidade das substâncias que contêm o C e o N (Hadas & Portnoy, 1997). Outros fatores que afetam a taxa de mineralização do N do composto é a umidade do solo, temperatura e atividade microbiana. Deste modo, compostos podem apresentar grandes conteúdos de N, mas que estão principalmente na forma orgânica, sendo de baixa disponibilidade para as plantas (WRAP, 2004). Segundo Hortenstine & Rothwell (1973), a proporção média de N contido nos compostos que se torna disponível para as plantas é de 15% no primeiro ano e de 2% a 8% nos anos subsequentes, mas esta eficiência aumenta quando adubações orgânicas são realizadas continuamente. De acordo com Fontaine et al. (2003), a adição de MO ao solo promove o aumento da taxa de decomposição da MO do solo, fenômeno conhecido como “efeito priming”.

A adubação orgânica pode aumentar a disponibilidade de P das seguintes maneiras: fornecimento direto de P através da mineralização, redução da adsorção do P

pelo solo e a complexação de cátions como o Ca e o Al, que limitam a solubilidade do P (Hue, 1990).

Os compostos também podem ser fontes de outros nutrientes, como K, Ca, Mg, S e micronutrientes (WRAP, 2004). A eficiência no fornecimento destes elementos também será função de seus teores no composto e da velocidade de liberação destes elementos pelo composto. A literatura apresenta uma ampla faixa de variação para os teores destes elementos nos compostos.

Como o valor da CTC é muito utilizado para se determinar o grau de maturidade e estabilidade, os compostos geralmente possuem valores muito elevados para esta característica. Conseqüentemente, a adição de compostos ao solo aumenta a CTC, conferindo maior eficiência na utilização de nutrientes e reduzindo a lixiviação potencial.

Compostos também podem atuar como corretivos de pH. Segundo WRAP (2004), os compostos tem um valor neutralizante médio de aproximadamente 5% em equivalente de CaO (base seca).

2.2.2- Características físicas

A melhoria das características físicas do solo através da adição de MO é um efeito muito conhecido e exaustivamente descrito pela literatura. A adição de composto ao solo quase sempre melhora as propriedades físicas deste solo, como estabilidade de agregados, densidade, porosidade e capacidade de retenção de umidade (Knoop & Cutle-Talbott, 1999).

Segundo Bayer & Mielniczuk (1999), a principal característica física do solo afetado pela MO é a agregação. A partir de seu efeito sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas as demais características físicas, como a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção de água, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo.

2.2.3- Características biológicas

A adição de composto aumenta a atividade biológica do solo, principalmente através do aumento da disponibilidade de nutrientes e de energia, favorecendo o desenvolvimento de organismos benéficos, como minhocas, bactérias fixadoras e micorrizas. Também favorece a redução da população de organismos fitopatogênicos. Segundo Hoitink & Boehm (1999, citados por Noble & Roberts, 2003), os mecanismos de controle de doenças através da adição de compostos são os seguintes: competição por nutrientes, produção de antibióticos, ação de predadores e ativação de mecanismos de resistência nas plantas. Outros mecanismos de controle incluem a produção de substâncias tóxicas ou estimulantes pelos compostos e mudanças nas propriedades físicas e químicas do solo, como pH e umidade.

2.2.4- Benefícios ao ambiente

O principal benefício ao ambiente da utilização de compostos como fertilizantes orgânicos é a redução da lixiviação de nutrientes, principalmente do N. Como a maior parte do N contido nos compostos está na forma orgânica, cuja mineralização é lenta, a lixiviação do N dos compostos é muito pequena, principalmente quando comparada a adubos orgânicos menos estáveis ou a fertilizantes nitrogenados minerais (Mays & Turman, 1973; De Haan, 1981; Mamo & Rosen, 1999).

2.3- Desvantagens da Utilização de Compostos

A utilização inadequada de compostos pode causar prejuízos à saúde humana e animal, à produção vegetal e ao ambiente. Para se evitar estes prejuízos, é necessário que os compostos tenham controle de qualidade, visando evitar a presença de elevados teores de substâncias contaminantes e organismos indesejáveis. Os compostos devem possuir maturidade e estabilidade compatíveis com a sua utilização. Além disto, é necessário que a utilização de compostos seja realizada de acordo com as recomendações técnicas adequadas, levando-se em conta as peculiaridades de cada situação.

2.3.1- Riscos para a saúde humana e animal

Compostos produzidos fora das especificações, principalmente os que utilizam lodo de esgoto e lixo urbano como matérias primas, podem conter diversos organismos patogênicos ao homem. Segundo Jones & Martin (2003), compostos de lodo de esgoto podem conter vírus, bactérias, protozoários e helmintos.

A presença de materiais rígidos, como cacos de vidro, farpas e lâminas nos compostos, também constitui um risco para a saúde humana. Estes materiais podem provocar acidentes não apenas durante o manuseio e a aplicação do composto, mas também após vários anos, pois muitos destes materiais permanecem no solo por longos períodos. Cientes deste risco, vários países incluem valores máximos de materiais rígidos nas suas especificações de composto, conforme descrevem Hogg et al. (2002).

2.3.2- Riscos para as plantas

Para as plantas, os principais riscos da utilização inadequada de compostos são: competição por nutrientes, redução do oxigênio no solo, presença de substâncias tóxicas e contaminação com organismos indesejáveis.

Compostos com baixa maturidade e estabilidade, e com reduzidos teores de nutrientes podem causar a imobilização de nutrientes presentes no solo, reduzindo sua disponibilidade para as plantas. De acordo com Castellanos & Pratt (1981), a imobilização de N do solo irá ocorrer se a relação C/N do composto for maior que 15 a 20. Compostos com baixa estabilidade também podem apresentar elevadas taxas de decomposição e consumo de oxigênio, podendo causar anaerobiose no solo.

A presença de elevados teores de substâncias tóxicas também constitui um sério risco. Segundo Knoop & Cutle-Talbott (1999), os compostos podem ser fitotóxicos por duas razões: imaturidade ou contaminação. Produtos fitotóxicos podem ser formados durante a compostagem, mas normalmente são degradados quando o composto atinge a maturidade. Por outro lado, os compostos podem estar contaminados desde a matéria prima, com substâncias como herbicidas, metais pesados ou sais. A resposta das plantas à presença de substâncias fitotóxicas será função das reações destas substâncias com o solo, como mineralização e imobilização, e função da capacidade de absorção destas substâncias pelas raízes.

Segundo WRAP (2004), elementos como o Cl e o Na, que naturalmente ocorrem em compostos, podem ter efeitos prejudiciais ao crescimento vegetal quando presentes em quantidades excessivas. A salinidade elevada, principalmente quando em consequência da alta concentração de um único elemento, também pode prejudicar o crescimento vegetal.

Compostos podem estar contaminados com insetos pragas, fitopatógenos e propágulos de plantas invasoras, que podem causar sérios danos à produção vegetal. A contaminação do composto com organismos indesejáveis geralmente tem origem na matéria prima, quando a compostagem é realizada fora das especificações. Mas também

pode ocorrer durante o armazenamento, principalmente quando realizado ao ar livre ou durante o transporte do composto. Segundo Noble & Roberts (2003), a preocupação com a presença de organismos indesejáveis limita a utilização mais abrangente dos compostos na agricultura.

2.3.3- Riscos para o ambiente

O uso inadequado de fertilizantes orgânicos, incluindo os compostos, pode causar a contaminação do solo, do lençol freático e de cursos de água. Segundo Silva & Magalhães (2001), as principais substâncias que podem causar contaminação são os metais pesados, nitrato, amônia e P.

Para se determinar o risco de contaminação, vários fatores devem ser levados em conta. É necessário calcular o saldo entre as entradas e as saídas dos contaminantes no sistema, como descrevem Moolenaar et al. (1997). O manejo do solo pode ter grande influência (Núñez et al., 1999), assim como o clima, principalmente a precipitação pluviométrica. Também é importante levar em conta as características do solo. Segundo Simão & Siqueira (2001), diversas características do solo influenciam na dinâmica dos metais pesados, destacando-se pH, potencial redox, textura, teor e qualidade da MO e composição mineral.

Compostos que não atingiram graus de estabilidade e maturidade adequados podem emitir odores desagradáveis durante o armazenamento e transporte. Segundo Knoop & Cutle-Talbott (1999), as principais substâncias responsáveis por estes odores são a amônia, o sulfeto de hidrogênio e ácidos orgânicos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da PESAGRO RIO, situada em Seropédica-RJ, situada na Baixada Fluminense, a 26 m de altitude e coordenadas 22° 45' S (latitude) e 43° 40' W (longitude).

3.1-Avaliação dos Compostos na Produção de Mudanças

Os tratamentos testados foram os compostos produzidos nos experimentos 2 e 3 do Capítulo II, utilizando-se como testemunha o substrato comercial Plantmax HT®, cujos resultados da análise foram os seguintes: pH em água, CE (dS m⁻¹) e teor de N (%) iguais a 6,52; 1,76 e 0,56 respectivamente e Ca, Mg, P e K iguais a 18,13; 17,63; 2,2 e 4,13 g kg⁻¹, respectivamente. Utilizaram-se três espécies indicadoras: alface (folhosa) cultivar “Regina”, beterraba (raiz) cultivar “Top Early Wonder” e tomate (hortaliça de fruto) cultivar “Santa Clara”. Os experimentos foram montados em delineamento Inteiramente Casualizados, com três repetições.

As mudas de tomate e de beterraba foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células e as mudas de alface em bandejas com 200 células, abrigadas em casa de vegetação. Cada tratamento utilizou a metade de uma bandeja. Para reduzir influências locais, as bandejas foram trocadas de lugar duas vezes por semana.

As avaliações foram realizadas em dez plântulas por parcela. As características avaliadas foram: altura da parte aérea, número de folhas, produção de matéria fresca, produção de matéria seca e teor de matéria seca da parte aérea.

3.1.1- Compostos produzidos no experimento 2 do capítulo II

Os compostos testados foram obtidos a partir dos seguintes materiais:

- 100C: 100% de Crotalaria (*Crotalaria juncea*).
- 66C33N: 66% de Crotalaria + 33% de Napier (*Pennisetum purpureum*).
- 33C66N: 33% de Crotalaria + 66% de Napier.
- 100N: 100% de Napier.
- 33C66N+E: 33% de Crotalaria + 66% de Napier, inoculado com mais 5% da massa com esterco bovino.
- 33C66N+A: 33% de Crotalaria + 66% de Napier, inoculado com 100 litros de Agrobio diluído a 5%.
- 100N+A: 100% de Napier, inoculado com 100 litros de Agrobio diluído a 5%.
- SC: Substrato comercial (Plantmax HT).

A semeadura das hortaliças foi realizada em 24/06/2004 e as avaliações ocorreram 33 dias após a semeadura.

3.1.2- Compostos produzidos no experimento 3 do capítulo II

Os compostos testados foram obtidos a partir dos seguintes materiais e tempos de compostagem:

- 100C-30: 100% de Crotalaria – 30 dias de compostagem.
- 66C33N-30: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 30 dias de compostagem.
- 33C66N-30: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 30 dias de compostagem.

- 100C-60: 100% de Crotalaria – 60 dias de compostagem.
- 66C33N-60: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 60 dias de compostagem.
- 33C66N-60: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 60 dias de compostagem.
- 100C-90: 100% de Crotalaria – 90 dias de compostagem.
- 66C33N-90: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 90 dias de compostagem.
- 33C66N-90: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 90 dias de compostagem.
- SC: Substrato comercial (Plantmax HT).

A sementeira das hortaliças foi realizada em 09/09/2005 e as avaliações ocorreram 34 dias após a sementeira.

3.1.3- Experimentos de germinação

A metodologia utilizada foi baseada no método descrito por Thompson et al. (2003). Utilizou-se o pepino como planta indicadora por ser sensível às substâncias tóxicas e por possuir sementes com reservas suficientes para produzir rapidamente mudas de grande tamanho, independentemente da disponibilidade de nutrientes no substrato.

Utilizou-se uma semente de pepino cultivar Verde Comprido por célula, sendo a sementeira realizada em bandejas de poliestireno expandido com 128 células. Cada tratamento ocupou a metade de uma bandeja. Para reduzir influências locais, as bandejas foram trocadas de lugar duas vezes por semana. Avaliou-se, em dias alternados, a proporção percentual de germinação.

O experimento com os compostos do experimento 2 de compostagem foi iniciado no dia 03 de setembro de 2004, e o experimento com os compostos do experimento 3 de compostagem foi iniciado no dia 18 de novembro de 2005.

3.2- Avaliação do Compostos na Produção de Hortaliças

3.2.1 – Alface – compostos do experimento 2 do capítulo II

O experimento foi conduzido sob um telado com 30% de sombreamento, em canteiro de 1,20 m de largura. Cada parcela foi constituída por 21 plantas, distribuídas por 3 linhas e espaçadas de 0,25 m entre plantas. O delineamento utilizado foi o de Blocos Casualizados com 3 repetições. Utilizaram-se sementes da cultivar “Regina”. Os compostos testados foram obtidos a partir dos seguintes materiais:

- 100C: 100% de Crotalaria.
- 66C33N: 66% de Crotalaria + 33% de Napier.
- 33C66N: 33% de Crotalaria + 66% de Napier.
- 100N: 100% de Napier.
- 33C66N+E: 33% de Crotalaria + 66% de Napier, inoculado com mais 5% da massa com esterco bovino.
- 33C66N+A: 33% de Crotalaria + 66% de Napier, inoculado com 100 litros de Agrobio diluído a 5%.
- 100N+A: 100% de Napier, inoculado com 100 litros de Agrobio diluído a 5%.
- EB- Esterco bovino curtido.
- TA- Testemunha absoluta.

Os resultados da análise química de amostras de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm de profundidade) revelaram os seguintes resultados: textura expedita arenosa; pH em água 6,2; Al, Ca+Mg, Ca e Mg iguais a 0,0; 2,2; 1,4 e 0,8 cmolc dm⁻³, respectivamente; 370 e 36 mg dm⁻³ de P e K respectivamente; Carbono e N

iguais a 0,20% e 0,045%, respectivamente. Neste experimento, optou-se por fixar a quantidade de matéria seca dos fertilizantes orgânicos aplicados, sendo equivalente a 2.000 kg ha⁻¹ para cada tratamento, exceto a testemunha, em uma única aplicação, distribuída a lanço e incorporada antes do plantio das mudas. Não foi realizada adubação de cobertura.

O plantio foi realizado no dia 09/08/2004 e a colheita foi realizada aos 52 dias após o plantio. As características avaliadas foram: produção de matéria fresca da parte aérea, produção de matéria seca da parte aérea, teor de matéria seca da parte aérea, número de folhas por ocasião da colheita e diâmetros das plantas aos 24, 36 e 52 dias após o transplantio.

3.2.2 – Alfaca – compostos do experimento 3 do capítulo II

Foi conduzido sob um telado com 30% de sombreamento, em canteiro de 1,20 m de largura. Cada parcela foi constituída por 24 plantas, distribuídas por 4 linhas e espaçadas de 0,25 m entre plantas. O delineamento utilizado foi Blocos Casualizados com 4 repetições. Utilizaram-se sementes da cultivar “Regina”. Os compostos testados foram obtidos a partir dos seguintes materiais e tempos de compostagem:

- 100C-30: 100% de Crotalaria – 30 dias de compostagem.
- 66C33N-30: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 30 dias de compostagem.
- 33C66N-30: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 30 dias de compostagem.
- 100C-60: 100% de Crotalaria – 60 dias de compostagem.
- 66C33N-60: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 60 dias de compostagem.
- 33C66N-60: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 60 dias de compostagem.
- 100C-90: 100% de Crotalaria – 90 dias de compostagem.
- 66C33N-90: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 90 dias de compostagem.
- 33C66N-90: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 90 dias de compostagem.
- EB- Esterco bovino.
- TA- Testemunha absoluta.

Os resultados da análise química de amostras de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm de profundidade) revelaram os seguintes resultados: textura expedita arenosa; pH em água 5,2; Al, Ca+Mg, Ca e Mg iguais a 0,1; 1,2; 0,6 e 0,6 cmolc dm⁻³, respectivamente; 68 e 14 mg dm⁻³ de P e K respectivamente; Carbono e N iguais a 0,18% e 0,030%, respectivamente. Aplicou-se 2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico e 450 kg ha⁻¹ de cinza contendo aproximadamente 10% de K₂O. Neste experimento optou-se por fixar a quantidade de N adicionado, sendo utilizado o equivalente a 150 kg ha⁻¹ de N para cada tratamento, exceto na testemunha, em uma única aplicação distribuída a lanço e incorporada antes do plantio das mudas.

Para quantificar a recuperação pelo alfaca do N oriundo do composto, através da técnica de diluição isotópica de ¹⁵N, as parcelas dos tratamentos 100C-30, 33C66N-30, 100C-90, 33C66N-90, Esterco Bovino e Testemunha Absoluta foram marcadas com 50 kg/ha de N, utilizando-se uréia com 2% de ¹⁵N. Os demais tratamentos receberam a mesma quantidade de N não marcado. Não se empregou ¹⁵N em todos os tratamentos para se reduzir custos. Devido a problemas técnicos com o espectômetro de massa, não foi possível realizar as análises a tempo de incluir os resultados nesta tese.

O plantio foi realizado no dia 10/08/2005 e a colheita foi realizada aos 49 dias após o plantio. As características avaliadas foram: produção de matéria fresca da parte aérea, produção de matéria seca da parte aérea, teor de matéria seca da parte aérea, número de folhas na colheita e diâmetro das plantas aos 49 dias após o transplantio.

3.2.3 – Beterraba – compostos do experimento 2 do capítulo II

O experimento foi conduzido em canteiros de 1,20 m de largura. Cada parcela foi constituída por 32 plantas, distribuídas por 4 linhas transversais ao canteiro e espaçadas de 0,25 m entre si. Para as avaliações foram utilizadas 10 plantas das linhas centrais. O delineamento utilizado foi Blocos Casualizados com 3 repetições. Utilizaram-se sementes da cultivar “Top Early Wonder”. Utilizaram-se os mesmos tratamentos testados no experimento com alface (seção 2.3.1).

Os resultados da análise química de amostras de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm de profundidade) revelaram os seguintes resultados: textura expedita arenosa; pH em água 6,5; Al, Ca+Mg, Ca e Mg iguais a 0,0; 4,7; 3,5 e 1,2 cmolc dm^{-3} , respectivamente; 130 e 200 mg dm^{-3} de P e K respectivamente; Carbono e N iguais a 0,74% e 0,111%, respectivamente. Neste experimento, optou-se por fixar a quantidade de matéria seca dos fertilizantes orgânicos aplicados, sendo equivalente a 2.000 kg ha^{-1} para cada tratamento, exceto na testemunha absoluta, em uma única aplicação, distribuída a lanço e incorporada antes do plantio das mudas. Não foi realizada adubação de cobertura.

O plantio foi realizado no dia 09/08/2004 e a colheita foi realizada aos 73 dias após o plantio. As características avaliadas foram: produção de matéria fresca de parte aérea, produção de matéria fresca de raiz, teor de matéria seca da parte aérea, teor de matéria seca da raiz, diâmetro da raiz e número de folhas por ocasião da colheita.

3.2.4 – Beterraba – compostos do experimento 3 do capítulo II

O experimento foi conduzido em canteiros de 1,20 m de largura. Cada parcela foi constituída por 32 plantas, distribuídas por 4 linhas transversais ao canteiro e espaçadas de 0,25 m entre si. Utilizaram-se sementes da cultivar “Top Early Wonder”. O delineamento utilizado foi Blocos Casualizados com 3 repetições. Utilizou-se os mesmos tratamentos testados no experimento com alface (seção 2.3.2).

Os resultados da análise química de amostras de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm de profundidade) revelaram os seguintes resultados: textura expedita arenosa; pH em água 5,8; Al, Ca+Mg, Ca e Mg iguais a 0,0; 1,5; 0,8 e 0,7 cmolc dm^{-3} , respectivamente; 84 e 46 mg dm^{-3} de P e K respectivamente; Carbono e N iguais a 0,42% e 0,040%, respectivamente. Aplicou-se 2.000 kg ha^{-1} de calcário dolomítico e 450 kg ha^{-1} de cinza contendo aproximadamente 10% de K_2O . Neste experimento optou-se por fixar a quantidade de N adicionado, sendo utilizado o equivalente a 300 kg ha^{-1} de N para cada tratamento, exceto na testemunha absoluta, em uma única aplicação distribuída a lanço e incorporada antes do plantio das mudas.

Para quantificar a recuperação pela beterraba do N oriundo do composto, através da técnica de diluição isotópica de ^{15}N , as parcelas dos tratamentos 100C-30, 33C66N-30, 100C-90, 33C66N-90, Esterco Bovino e Testemunha Absoluta foram marcadas com 100 kg ha^{-1} de N, utilizando-se uréia com 1% de ^{15}N . Os demais tratamentos receberam a mesma quantidade de N não marcado. Não se empregou ^{15}N em todos os tratamentos para se reduzir custos. Devido a problemas técnicos com o espectômetro de massa, não foi possível realizar as análises a tempo de incluir os resultados nesta tese.

O plantio foi realizado no dia 11/06/2005 e a colheita foi realizada aos 101 dias após o plantio. As características avaliadas foram: produção de matéria fresca de parte aérea, produção de matéria fresca de raiz, teor de matéria seca da parte aérea, teor de matéria seca da raiz, diâmetro da raiz e número de folhas por ocasião da colheita.

3.2.5 – Tomate – compostos do experimento 2 do capítulo II

O experimento foi conduzido no interior de uma estufa modelo PESAGRO RIO (Leal et al., 1999), em canteiro de 1,00 m de largura. Cada parcela foi constituída por 8 plantas, distribuídas por 2 linhas e espaçadas de 0,40 m entre plantas. Utilizou-se sementes da cultivar “Santa Clara”. O delineamento utilizado foi Blocos Casualizados, com três repetições. Utilizou-se os mesmos tratamentos testados no experimento com alface (seção 2.3.1).

Os resultados da análise química de amostras de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm de profundidade) revelaram os seguintes resultados: textura expedita arenosa; pH em água 7,5; Al, Ca+Mg, Ca e Mg iguais a 0,0; 5,4; 4,4 e 1,0 cmolc dm^{-3} , respectivamente; 67 e 110 mg dm^{-3} de P e K respectivamente; Carbono e N iguais a 0,74% e 0,046%, respectivamente. Neste experimento optou-se por fixar a quantidade de matéria seca, sendo utilizados 5.000 kg ha^{-1} aplicados na cova para cada tratamento, exceto na testemunha absoluta. Não foi realizada adubação de cobertura.

O plantio foi realizado no dia 02/06/2004 e o experimento foi conduzido até o dia 13/12/2004. Foram realizadas 10 colheitas semanais. As características avaliadas foram: produção de frutos extras, produção de frutos comerciais, produção total de frutos e massa média dos frutos.

3.2.6 – Tomate – compostos do experimento 3 do capítulo II

O experimento foi conduzido no interior de uma estufa modelo PESAGRO RIO (Leal et al., 1999), em canteiro de 1,00 m de largura. Cada parcela foi constituída por 8 plantas, distribuídas por 2 linhas e espaçadas de 0,40 m entre plantas. Utilizaram-se sementes da cultivar “Santa Clara”. O delineamento utilizado foi Blocos Casualizados. Para diminuir o grande erro experimental observado no primeiro experimento, optou-se por realizar quatro repetições, reduzindo-se o número de tratamentos. Os compostos testados foram obtidos a partir dos seguintes materiais e tempos de compostagem:

- 100C-30: 100% de Crotalaria – 30 dias de compostagem.
- 66C33N-30: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 30 dias de compostagem.
- 33C66N-30: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 30 dias de compostagem.
- 100C-90: 100% de Crotalaria – 90 dias de compostagem.
- 66C33N-90: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 90 dias de compostagem.
- 33C66N-90: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 90 dias de compostagem.
- EB- Esterco bovino curtido.
- TA- Testemunha absoluta.

Visando reduzir o N disponível no solo e assim facilitar a obtenção de diferenças entre os tratamentos, foi realizado um pré-cultivo com feijão de vagem na área do experimento, sem qualquer adubação, utilizando-se duas plantas por cova.

Os resultados da análise química de amostras de solo retiradas da camada superficial (0-20 cm de profundidade) revelaram os seguintes resultados: textura expedita arenosa; pH em água 6,9; Al, Ca+Mg, Ca e Mg iguais a 0,0; 6,4; 4,8 e 1,6 cmolc dm^{-3} , respectivamente; 322 e 60 mg dm^{-3} de P e K respectivamente; Carbono e N iguais a 0,72% e 0,101%, respectivamente. Neste experimento optou-se por fixar a quantidade de N adicionado, sendo utilizados o equivalente a 400 kg ha^{-1} de N aplicados na cova para cada tratamento, exceto na testemunha absoluta. Não foi realizada adubação de cobertura.

O plantio foi realizado no dia 23/06/2005 e o experimento foi conduzido até o dia 24/10/2005. Foram realizadas 7 colheitas semanais. As características avaliadas foram: produção de frutos extras, produção de frutos comerciais, produção total de frutos e massa média dos frutos.

3.3- Bioensaios Conduzidos em Vasos

A metodologia utilizada foi adaptada do método descrito por Neubauer & Schneider (1923, citados por Malavolta, 1959). Os bioensaios foram realizados em casa de vegetação, utilizando-se vasos plásticos de 650 ml com coletores de água lixiviada. Os fertilizantes testados foram misturados com areia lavada, visando preencher totalmente os vasos. A quantidade de fertilizante utilizada foi definida em função do seu teor de N, pois se fixou a quantidade de N fornecida em cada vaso. Como planta indicadora, foi utilizado o Milheto Pérola (*Pennisetum glaucum*).

Depois de realizar alguns ensaios preliminares para ajuste metodológico, fixou-se a quantidade de N adicionada em 0,15 g vaso⁻¹, ou o equivalente a 500 kg ha⁻¹ (20 cm de profundidade). Utilizou-se 50 sementes por vaso. As plantas foram coletadas aos 21 dias após a semeadura. Este tempo foi definido por ser o maior período de desenvolvimento antes do início da senescência das folhas mais velhas.

Na coleta, as raízes foram minuciosamente lavadas em água corrente. Em seguida, raízes e parte aérea foram colocadas em sacos de papel, secas em estufa (> 72 h, 65 °C), pesadas e moídas (< 85 mm) em moinho tipo Wiley, visando a determinação do teor de N.

Como testemunhas utilizaram-se uréia e ausência de N fertilizante (testemunha absoluta). Foram realizados dois bioensaios. Inicialmente avaliou-se os sete compostos obtidos no experimento 2 do Capítulo II. Em seguida foram avaliados compostos obtidos a partir dos seguintes materiais e tempos de compostagem (compostos do experimento 3, Capítulo II):

- 100C-30: 100% de Crotalaria – 30 dias de compostagem.
- 66C33N-30: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 30 dias de compostagem.
- 33C66N-30: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 30 dias de compostagem.
- 100C-60: 100% de Crotalaria – 60 dias de compostagem.
- 66C33N-60: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 60 dias de compostagem.
- 33C66N-60: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 60 dias de compostagem.
- 100C-90: 100% de Crotalaria – 90 dias de compostagem.
- 66C33N-90: 66% de Crotalaria + 33% de Napier – 90 dias de compostagem.
- 33C66N-90: 33% de Crotalaria + 66% de Napier – 90 dias de compostagem.

Além dos compostos obtidos nos experimentos 2 e 3 de compostagem, avaliou-se outros fertilizantes orgânicos. Estes materiais foram: esterco bovino curtido, torta de mamona, vermicomposto, feno de *Crotalaria juncea* e cama de aviário.

O bioensaio com os compostos do experimento 2 foi iniciado no dia 07 de junho de 2005 e o bioensaio com os compostos do experimento 3 foi iniciado no dia 14 de setembro de 2005.

Avaliaram-se as seguintes características: o teor de N dos tratamentos, a relação C:N dos tratamentos, o teor de N na planta, a produção de matéria seca pelas plantas (raízes e parte aérea), o total de N recuperado e a proporção percentual de recuperação. A proporção percentual de recuperação foi calculada utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{Recuperação (\%)} = ((N_{\text{rec}} - (N_{\text{sem}} \times R_{\text{te}})) / N_{\text{ad}}) \times 100$$

onde:

N_{rec} = N recuperado nas plantas.

N_{sem} = N contido nas sementes.

R_{te} = fração do N adicionado na semente e recuperado na testemunha.

N_{ad} = N adicionado ao vaso.

Visando facilitar a avaliação dos resultados, realizaram-se análises estatísticas apenas para a característica considerada principal, que é a proporção percentual do N recuperado. Nestas análises foram incluídos apenas os compostos testados.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Avaliação do Compostos na Produção de Mudás

4.1.1 – Mudás de alface – compostos do experimento 2

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-1 no Anexo II. Os resultados mostram efeito altamente significativo para todas as características estudadas. As médias são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de mudas de alface – compostos do experimento 2.

	Altura da parte aérea	N ° de Folhas	Matéria fresca parte aérea	Matéria seca parte aérea	Teor de matéria seca
	----- cm -----		----- mg planta ⁻¹ -----		----- % -----
100C	2,4 C	6,7 B	186,7 B	15,3 B	8,2 B
66C33N	5,4 A	8,5 A	603,3 A	53,2 A	8,8 AB
33C66N	3,1 C	7,5 B	306,6 B	26,0 B	8,5 B
100N	0,8 D	3,0 C	16,7 C	1,9 C	12,2 A
33C66N+E	4,4 B	8,1 AB	550,0 A	45,9 A	8,3 B
33C66N+A	4,9 AB	8,3 A	633,3 A	52,1 A	8,2 B
100N+A	0,9 D	2,9 C	20,0 C	1,5 C	7,3 B
SC	2,8 C	7,1 B	230,0 B	22,7 B	9,9 AB
DMS	0,90	0,77	147,9	14,3	3,48

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

Para as características altura da parte aérea, número de folhas, produção de matéria fresca e produção de matéria seca, indicadoras do vigor das mudas, observa-se que os compostos que utilizaram apenas Napier como matéria prima foram os que apresentaram os piores resultados, com desempenho muito inferior aos demais tratamentos. Isto, provavelmente, é devido aos menores teores de nutrientes e também devido à baixa estabilidade e maturidade destes compostos, o que geralmente está associado à baixa capacidade de retenção de água, baixa CTC, pH muito elevado e presença de substâncias tóxicas.

O composto que utilizou apenas Crotalaria (100C) apresentou resultado inferior aos compostos que utilizaram a mistura de Crotalaria e Napier. Isto, provavelmente, é devido à elevada salinidade deste composto, revelada por seu elevado valor de CE (2,80 dS m⁻¹). O substrato comercial também apresentou resultado inferior aos compostos que utilizaram a mistura de Crotalaria e Napier.

Os compostos que utilizaram a mistura de Crotalaria e Napier apresentaram os melhores resultados. Isto, provavelmente, é devido à sua maior maturidade e devido apresentarem teores de nutrientes e outros sais em um nível ideal para o desenvolvimento das mudas de alface.

Os tratamentos 66C33N, 33C66N+E e 33C66N+A obtiveram valores de matéria seca de parte aérea muito próximos aos valores obtidos por Martins et al. (2001) para

mudas de alface produzidas em substrato de vermicomposto. Frazin et al. (2005), obtiveram valores de 122 e 59 mg planta⁻¹ para produção de matéria fresca e de matéria seca, respectivamente, de mudas de alface Regina aos 20 dias após a semeadura e crescidas em substrato Plantmax sob condições controladas.

O resultado obtido para a característica de teor de matéria seca mostra que apenas o tratamento que utilizou Napier puro apresentou um valor diferente dos demais.

4.1.2 –Mudas de alface – compostos do experimento 3

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-2 no Anexo II. Os resultados mostram que houve efeito altamente significativo para todas as características estudadas. As médias são apresentadas na Tabela 3.2.

Devido à reduzida altura das mudas neste experimento, decidiu-se por não avaliar esta característica.

Os resultados de produção de matéria fresca e de matéria seca pelas mudas mostram que os compostos apresentaram desempenho muito inferior ao substrato comercial. Para a característica teor de matéria seca, o substrato comercial também apresentou os maiores valores. Este desempenho também é drasticamente inferior ao obtido pelos compostos do experimento 2, como apresentado na seção 4.1.1. Este resultado pode ser explicado pelas seguintes hipóteses:

- Como o experimento 3 de compostagem foi realizado em local coberto, com redução na lixiviação de sais, os compostos obtidos apresentam elevados valores de CE, acima dos valores recomendados para a produção eficiente de mudas.
- Os tratamentos com 1 e 2 meses de compostagem, ainda não possuem estabilidade e maturidade suficiente para a produção eficiente de mudas.

Tabela 3.2: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de mudas de alface – compostos do experimento 3.

	N ° de Folhas	Matéria fresca parte aérea	Matéria seca parte aérea	Teor de matéria seca
		-----mg planta ⁻¹ -----		---- % ----
100C-30	4,1 BC	26,8 DE	1,3 C	4,6 BC
66C33N-30	4,1 BC	28,1 DE	0,8 C	2,5 C
33C66N-30	3,2 C	20,9 E	1,6 C	7,3 B
100C-60	5,1 AB	60,3 BCD	3,4 BC	5,6 BC
66C33N-60	4,0 BC	25,8 E	1,5 C	6,0 B
33C66N-60	4,5 AB	38,2 DE	2,3 C	5,9 B
100C-90	5,5 A	84,0 B	5,8 B	6,8 B
66C33N-90	4,6 AB	46,0 CDE	2,9 BC	6,3 B
33C66N-90	4,9 AB	72,2 BC	5,4 B	7,5 B
SC	4,9 AB	199,6 A	24,1 A	12,1 A
DMS	1,16	32,80	2,99	3,28

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste Tukey.

A alface e o tomate são considerados hortaliças moderadamente sensíveis à salinidade, com limites máximos para CE de 1,3 e 2,5 dS m⁻¹ respectivamente. Já beterraba é considerada tolerante, com limite máximo para CE de 4,0 dS m⁻¹ (Rosa, 1997). Segundo Cordeiro et al. (1999), diversos autores têm discutido e demonstrado

que a beterraba é uma das plantas mais tolerantes à salinidade. Menezes Jr. et al. (2000), observaram que a salinidade elevada em alguns substratos comerciais, inclusive no Plantmax, pode afetar drasticamente a germinação de sementes de tomate.

Nos compostos do experimento 3, o valor mínimo de CE observado foi de 3,3 dS m⁻¹ (33C66N-60) e o valor máximo foi de 7,6 dS m⁻¹ (100C-90). As mudas de alface, beterraba e tomate apresentavam os sintomas de estresse salino descrito por Larcher (2000), que são nanismo, adiamento do desenvolvimento da gema, redução da área das folhas e aparecimento de necrose nas gemas e margens das folhas.

4.1.3 –Mudas de beterraba – compostos do experimento 2

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-3 no Anexo II. Os resultados mostram que houve efeito altamente significativo para todas as características estudadas. As médias são apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de mudas de beterraba – compostos do experimento 2.

	Altura da parte aérea ----- cm -----	N ° de Folhas	Matéria fresca parte aérea ----- mg planta ⁻¹ -----	Matéria seca parte aérea -----	Teor de matéria seca ----- % -----
100C	4,4 D	3,7 B	210,0D	11,6 CD	5,5 D
66C33N	10,3 A	4,6 A	870,0 A	54,7 A	6,3 CD
33C66N	9,1 AB	4,1 B	643,3 B	37,0 B	5,7 D
100N	2,4 E	2,0 C	30,0 E	3,3 D	11,0 A
33C66N+E	6,8 C	4,00 B	373,3 C	21,3 C	5,7 D
33C66N+A	7,0 C	3,9 B	376,7 C	21,6 C	5,8 D
100N+A	2,5 E	2,0 C	30,0 E	2,8 D	9,4 B
SC	9,0 B	4,1 B	646,7 B	46,3 AB	7,1 C
DMS	1,29	0,44	161,4	10,9	1,25

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes (p<0,05) pelo teste Tukey.

Os resultados obtidos para beterraba foram muito semelhantes aos obtidos para alface. Os compostos que utilizaram apenas Napier também apresentaram os menores valores para as características altura da parte aérea, número de folha, produção de matéria fresca e produção de matéria seca; e os maiores valores para o teor de matéria seca.

Como a beterraba é considerada mais tolerante à salinidade, o baixo valor de massa para o tratamento 100C questiona a tese de excesso de salinidade para este tratamento, descrito na seção 4.1.1.

O tratamento que mais favoreceu o desenvolvimento das mudas de beterraba foi o que utilizou a mistura com 2/3 de Crotalaria e 1/3 de Napier (66C33N).

Lopes et al. (2004), obtiveram valores de 193,2 e 10,3 mg planta⁻¹ para produção de matéria fresca e de matéria seca de parte aérea de mudas de beterraba produzidas em substrato formado pela mistura de Plantmax e Argisol.

4.1.4 –Mudas de beterraba – compostos do experimento 3

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-4 no Anexo II. Os resultados mostram que houve efeito altamente significativo para todas as características estudadas. As médias são apresentadas na Tabela 3.4.

Os resultados obtidos para as características produção de matéria fresca e produção de matéria seca mostram que os tratamentos com 1 e 2 meses de compostagem apresentaram valores muito inferiores aos observados para o substrato comercial e os tratamentos com 3 meses de compostagem. Isto reforça a tese de falta de maturidade e estabilidade para os tratamentos com pouco tempo de compostagem, descrita na seção 3.1.2. Os valores obtidos pelo tratamento 33C66N-90, que utiliza a mistura de 1/3 de Crotalaria e 2/3 de Napier, foram muito próximos aos valores obtidos pelo substrato comercial, o que reforça a tese de excesso de salinidade nos tratamentos.

Tabela 3.4: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de mudas de beterraba – compostos do experimento 3.

	Altura da parte aérea ----- cm -----	N ° de Folhas	Matéria fresca parte aérea ----- mg planta ⁻¹ -----	Matéria seca parte aérea	Teor de matéria seca ----- % -----
100C-30	1,7 AB	2,0 C	66,7 B	8,5 CDE	12,8 A
66C33N-30	1,3 C	2,0 C	42,4 C	5,1 DE	12,1 A
33C66N-30	1,3 C	2,0 C	42,2 C	4,8 E	11,4 A
100C-60	1,1 C	2,0 C	56,1 C	6,2 CDE	11,0 AB
66C33N-60	1,2 C	2,1 B	66,5 BC	6,1 CDE	9,4 BC
33C66N-60	1,2 C	2,0 C	80,2 BC	7,4 CDE	9,2 BC
100C-90	1,5 C	2,2 BC	121,7 B	10,6 C	8,7 BC
66C33N-90	1,3 C	2,7 B	117,5 BC	9,5 CD	8,0 C
33C66N-90	1,6 BC	3,8 A	218,0 A	17,1 B	7,9 C
SC	2,2 A	2,2 BC	202,2 A	24,1 A	12,0 A
DMS	0,53	0,63	58,73	4,57	2,07

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

Os resultados obtidos para a característica teor de matéria seca diferem dos observados para alface, pois não mostram muita diferença entre o substrato comercial e os demais tratamentos.

Os valores obtidos neste experimento para o substrato comercial foram muito inferiores aos valores obtidos por este mesmo tratamento no experimento anterior, o que indica que as condições de crescimento foram menos favoráveis às mudas de beterraba. Com relação ao clima, o que pode ter afetado o desempenho das mudas no segundo experimento foi a baixa insolação média (4,1 horas dia⁻¹), que é muito inferior a observada durante o primeiro experimento (6,1 horas dia⁻¹), pois os valores de temperatura média foram muito próximos nos dois experimentos (20,6 e 22,1 °C durante o primeiro e segundo experimentos, respectivamente).

4.1.5 –Mudas de tomate – compostos do experimento 2

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-5 no Anexo II. Os resultados mostram que houve efeito altamente significativo para todas as características estudadas. As médias são apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de mudas de tomate – compostos do experimento 2.

	Altura da parte aérea ----- cm -----	N ° de Folhas	Matéria fresca parte aérea ----- mg planta ⁻¹ -----	Matéria seca parte aérea ----- mg planta ⁻¹ -----	Teor de matéria seca ----- % -----
100C	5,0 D	4,9 B	363,3 D	33,7 C	9,3 C
66C33N	10,2 A	5,7 A	1020,0 A	119,2 A	11,7 B
33C66N	7,3 C	5,0 B	553,3 C	62,3 B	11,2 B
100N	2,3 E	2,1 C	20,0 E	2,3 D	11,5 B
33C66N+E	7,0 C	5,0 B	540,0 C	62,5 B	11,6 B
33C66N+A	6,8 C	5,0 B	476,7 C	53,8 B	11,3 B
100N+A	2,8 E	2,0 C	30,0 E	2,9 D	9,6 C
SC	8,4 B	4,8 B	740,0 B	104,5 A	14,1 A
DMS	0,79	0,59	113,2	17,2	2,07

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

Os resultados das características altura das plantas, número de folhas, produção de matéria fresca e produção de matéria seca observados para tomate, foram muito semelhantes aos obtidos para alface (seção 4.1.1) e beterraba (seção 4.1.3). Com relação ao teor de matéria seca, o resultado obtido para tomate difere dos obtidos para alface e beterraba, com maior valor para o substrato comercial.

4.1.6 –Mudas de tomate – compostos do experimento 3

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-6 no Anexo II. Os resultados mostram que houve efeito altamente significativo para todas as características estudadas. As médias são apresentadas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de mudas de tomate – compostos do experimento 3.

	Altura da parte aérea ----- cm -----	N ° de Folhas	Matéria fresca parte aérea ----- mg planta ⁻¹ -----	Matéria seca parte aérea ----- mg planta ⁻¹ -----	Teor de matéria seca ----- % -----
100C-30	3,6 BC	3,2 BCD	63,9 C	7,8 C	12,2 ABC
66C33N-30	2,9 C	2,4 DE	45,0 C	5,3 C	11,8 ABC
33C66N-30	3,0 C	2,2 E	38,9 C	5,3 C	13,7 AB
100C-60	3,3 C	3,1 CD	87,5 C	8,5 C	9,7 CD
66C33N-60	3,7 BC	3,8 AB	122,7 BC	14,3 C	11,8 ABC
33C66N-60	3,5 BC	3,5 ABC	94,7 C	11,9 C	12,8 ABC
100C-90	3,1 C	2,8 CDE	133,0 BC	9,0 C	7,5 D
66C33N-90	3,6 BC	3,6 AB	132,6 BC	16,3 BC	12,2 ABC
33C66N-90	4,2 B	4,7 A	226,6 AB	25,6 B	11,4 BC
SC	5,2 A	4,0 A	283,9 A	42,8 A	15,1 A
DMS	0,81	0,81	106,50	11,25	3,65

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

Os resultados de todas as características estudadas neste experimento foram muito semelhantes aos obtidos no experimento de beterraba (seção 4.1.4). Os valores obtidos neste experimento para o substrato comercial foram muito inferiores aos valores obtidos por este mesmo tratamento no experimento anterior, o que indica que as condições de crescimento também foram menos favoráveis às mudas do tomateiro.

Leal et al. (2003), observaram que o composto orgânico foi superior ao Plantmax como substrato para o crescimento de mudas de tomate, com valores de produção de matéria seca de parte aérea de 134,0 e 85,6 mg planta⁻¹, respectivamente. Diniz et al. (2001), observaram que o Plantmax foi superior ao vermicomposto como substrato para crescimento de mudas de tomate, com valores de produção de matéria seca de parte aérea de 92 e 44 mg planta⁻¹, respectivamente. Já Souza et al. (2003), observaram que o vermicomposto + 5% de cama de aviário foi superior ao Plantmax, com valores de produção de matéria seca de parte aérea de 145,5 e 63,0 mg planta⁻¹, respectivamente.

4.1.7- Experimentos de germinação

Os resultados dos testes de germinação estão apresentados nas tabelas 3.7 e 3.8. Para os compostos do experimento 2 os resultados foram muito semelhantes para todos os tratamentos, incluído a testemunha, mostrando que não existe efeito tóxico. Observou-se que o substrato comercial promoveu uma germinação mais rápida e uniforme.

Tabela 3.7: Germinação ao longo do tempo, de pepino semeado nos diversos tratamentos utilizados como substratos – compostos do experimento 2.

	Germinação do pepino (em %) – Compostos do experimento 2							
	Dias após a sementeira							
	5	7	10	12	14	17	19	21
100C	0,0	6,3	60,9	78,1	90,6	95,3	95,3	95,3
66C33N	0,0	1,6	46,9	82,8	89,1	92,2	95,3	96,9
33C66N	0,0	0,0	1,6	40,6	76,6	90,6	98,4	98,4
100N	1,6	34,4	85,9	92,2	90,6	90,6	92,2	92,2
33C66N+E	1,6	12,5	70,3	93,8	95,3	93,8	96,9	93,8
33C66N+A	0,0	0,0	57,8	93,8	100,0	100,0	100,0	100,0
100N+A	0,0	28,1	89,1	95,3	96,9	96,9	96,9	96,9
SC	78,1	92,2	96,9	93,8	95,3	95,3	96,9	96,9

Nos compostos do experimento 3 observa-se um valor inferior de germinação para o tratamento 33C66N-90, mas como este é muito próximo ao valor observado para o substrato comercial, considera-se que não existe efeito tóxico nos compostos estudados. Apesar da salinidade afetar o desenvolvimento de plantas de pepino, como observaram Diniz Neto et al. (2003), as mudas não foram afetadas pelas elevadas salinidades apresentadas pelos compostos. Isto provavelmente é devido ao grande tamanho das sementes de pepino, que produzem mudas com vigor suficiente para não serem afetadas por esta elevada salinidade.

Tabela 3.8: Germinação ao longo do tempo, de pepino semeado nos diversos tratamentos utilizados como substratos – compostos do experimento 3.

Germinação do pepino (em %) – Compostos do experimento 3								
	Dias após a semeadura							
	5	7	10	12	14	17	19	21
100C-30	67,2	73,4	79,7	82,8	82,8	84,4	84,4	84,4
66C33N-30	59,4	70,3	76,6	78,1	78,1	78,1	79,7	79,7
33C66N-30	40,6	51,6	76,6	79,7	81,3	82,8	82,8	84,4
100C-60	28,1	45,3	68,8	71,9	78,1	84,4	84,4	84,4
66C33N-60	32,8	45,3	84,4	85,9	85,9	87,5	87,5	87,5
33C66N-60	48,4	60,9	79,7	87,5	89,1	92,2	92,2	92,2
100C-90	42,9	57,1	76,8	83,9	89,3	92,9	92,9	92,9
66C33N-90	57,8	67,2	76,6	76,6	76,6	79,7	82,8	81,3
33C66N-90	21,9	31,3	42,2	48,4	54,7	54,7	56,3	57,8
SC	54,7	56,3	59,4	59,4	59,4	59,4	59,4	62,5

Os resultados obtidos nos experimentos de mudas nos permitem fazer as seguintes considerações:

- Os compostos do experimento 2 que utilizaram a mistura de Crotalaria e Napier podem ser utilizados como substitutos do substrato comercial Plantmax HT na produção de mudas de alface, beterraba e tomate.
- Os compostos do experimento 2 que utilizaram apenas Napier apresentaram desempenhos inferiores aos demais compostos e ao substrato comercial Plantmax HT na produção de mudas de alface, beterraba e tomate.
- Os compostos do experimento 3 apresentaram desempenhos muito inferiores aos compostos do experimento 2 na produção de mudas de alface, beterraba e tomate, quando o substrato comercial Plantmax HT é usado como referência. Isto provavelmente ocorreu devido à baixa maturidade e estabilidade dos compostos com 1 e 2 meses de compostagem, e devido à elevada salinidade dos compostos com 3 meses de compostagem.
- O composto do experimento 3 que utiliza 1/3 de Crotalaria e 2/3 de Napier como matéria prima e que foi compostado por 3 meses, apresentou desempenho equivalente ao substrato comercial Plantmax HT para a produção de mudas de beterraba e tomate. Os demais compostos estudados apresentaram desempenho inferior. Para produção de mudas de alface todos os compostos do experimento 3 apresentaram desempenho inferior ao substrato comercial Plantmax HT.
- Não foram observados efeitos tóxicos, através do teste de germinação, para todos os compostos dos experimentos 2 e 3.

4.2 – Avaliação dos Compostos na Produção de Hortaliças

4.2.1 – Alface – compostos do experimento 2

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-7 no Anexo II e as médias estão na Tabela 3.9. Os resultados obtidos para matéria fresca, matéria seca e número de folhas mostram que os compostos que utilizam Crotalaria ou sua mistura com Napier como matéria prima podem substituir o esterco bovino como adubo orgânico de plantio para a cultura do alface. Mostram também que alguns destes compostos tendem a ter desempenhos superiores ao do esterco bovino.

Os resultados indicam que os tratamentos que utilizaram apenas Napier como matéria prima (100N e 100N+A) possuem desempenho inferior aos demais compostos testados. Isto, provavelmente, é devido ao baixo teor de nutrientes e a baixa maturidade e estabilidade destes compostos.

A quantidade de composto e esterco bovino empregados neste experimento (2000 kg ha^{-1} de matéria seca) é relativamente baixa, e pode ter impedido a obtenção de diferenças mais significativas entre os tratamentos. Ricci et al. (1994), utilizaram uma dose de 10 t ha^{-1} de matéria seca de composto em um experimento visando comparar fertilizantes orgânico e químicos na adubação do alface. Yuri et al. (2004), estudando diversas doses de composto orgânico de palha de café + esterco bovino + Crotalaria, aplicado no pré-plantio de alface americana, observaram uma resposta em curva quadrática, com resposta máxima na dose de $56,0 \text{ t ha}^{-1}$ de matéria fresca.

Tabela 3.9: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de alface – compostos do experimento 2.

	Teor de matéria seca --- % ---	Produção de matéria fresca ----- g m ⁻² -----	Produção de matéria seca -----	Diâmetros aos 24 dap¹ ----- cm -----	Diâmetros aos 36 dap¹ -----	Diâmetros aos 52 dap¹ -----	Número de folhas
100C	5,6	1276 AB	69,1 AB	13,3	19,6	23,4	40,7 A
66C33N	6,3	880 AB	54,5 AB	13,7	16,2	20,4	34,3 AB
33C66N	5,2	1116 AB	60,0 AB	12,6	18,6	22,1	35,3 AB
100N	5,7	416 B	24,0 B	9,0	12,0	18,1	24,0 B
33C66N+E	5,8	1352 A	77,0 A	13,1	18,7	21,8	37,0 AB
33C66N+A	5,0	1136 AB	56,4 AB	12,7	18,0	19,1	37,3 AB
100N+A	5,2	700 AB	36,2 AB	9,4	14,5	18,3	31,7 AB
Esterco	5,5	728 AB	40,5 AB	10,3	15,4	18,9	32,0 AB
Test. Absoluta	6,5	544 AB	34,4 AB	9,1	14,8	18,4	28,3 AB
DMS	1,98	922,2337	50,07	9,46	8,46	7,48	14,89

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

1- dap: dias após o plantio.

4.2.2 – Alface – compostos do experimento 3

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-8 no Anexo II. As médias são apresentadas na Tabela 3.10.

Os resultados obtidos para produtividade de matéria fresca, produtividade de matéria seca e diâmetro mostram que os compostos estudados podem substituir o esterco bovino como fonte orgânica de N para a cultura do alface.

Na característica teor de matéria seca, o maior valor foi observado para a testemunha, o que mostra que quando há deficiência nutricional, as plantas de alface tendem a produzir menos massa e aumentar o teor de matéria seca.

Tabela 3.10: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de alface – compostos do experimento 3.

	Teor de matéria seca ---- % ----	Matéria fresca ----- g m ⁻² -----	Matéria seca -----	Diâmetro aos 52 dap ¹ ----- cm -----	Número de folhas
100C-30	4,3 B	1186 AB	51,7 A	20,4 A	29,4
66C33N-30	4,8 B	952 AB	44,7 A	19,4 A	21,7
33C66N-30	4,6 B	922 AB	42,0 A	19,5 A	26,9
100C-60	4,9 B	848 BC	42,3 A	19,5 A	26,1
66C33N-60	4,3 B	1629 A	69,0 A	21,6 A	26,0
33C66N-60	4,6 B	891 BC	40,8 A	18,4 A	20,0
100C-90	4,8 B	983 AB	46,8 A	18,5 A	24,3
66C33N-90	5,0 B	874 BC	43,2 A	18,4 A	22,1
33C66N-90	4,4 B	965 AB	42,3 A	19,3 A	25,6
Esterco	4,6 B	1406 AB	64,8 A	21,1 A	28,3
Test. Absoluta	6,0 A	158 C	9,4 B	10,9 B	24,6
DMS	1,00	735,0	29,02	4,78	13,21

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

1- dap: dias após o plantio.

A produtividade obtida nos dois experimentos está próxima do valor médio de 1500 a 2000 g m⁻², descrito por De Polli et al. (1988), mas está muito abaixo da produtividade de 3000 g m⁻², descrita por Souza & Resende (2003) para sistemas orgânicos de produção. Isto, provavelmente, foi devido ao fato do experimento ter sido implantado em solos com baixos teores de N, visando facilitar a expressão de diferenças entre os tratamentos.

4.2.3 – Beterraba – compostos do experimento 2

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-9 no Anexo II. As médias são apresentadas na Tabela 3.11. Não houve diferenças significativas para as características associadas à produção e ao vigor das plantas de beterraba.

Esta incapacidade de se detectar diferenças significativas entre os tratamentos estudados pode ter sido causada pela elevada fertilidade do solo utilizado para o experimento e pela baixa quantidade de composto e esterco empregada nas adubações. Esta hipótese é reforçada pela elevada produtividade obtida pela testemunha absoluta (3480 g m⁻²) que está dentro da faixa de produtividade média de beterraba descrita por Souza & Resende (2003) para sistemas orgânicos de produção (3000 a 4000 g m⁻²).

Alves et al. (2004), obtiveram uma produtividade de 1990 g m⁻² para beterraba cultivada em sistema orgânico, com adubação de 20 t ha⁻¹ de esterco bovino com 1,36% de N.

4.2.4 –Beterraba – compostos do experimento 3

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-10 no Anexo II. As médias são apresentadas na Tabela 3.12.

Os resultados obtidos para as características matéria fresca e diâmetro indicam que os compostos testados podem substituir o esterco bovino como fonte orgânica de N para a cultura da beterraba. Apesar dos resultados mostrarem uma tendência de maior produtividade para os tratamentos que utilizaram compostos com 100% de *Crotalaria* (100C-30, 100C-60 e 100C-90), não é possível afirmar que existam diferenças significativas entre os diversos compostos estudados.

Os valores de matéria fresca de raiz e de parte aérea, observados para este experimento, foram muito inferiores aos valores observados no primeiro experimento (seção 4.2.3). Isto pode ser explicado pelo fato deste experimento ter sido implantado em solos com baixos teores de N, visando facilitar a expressão de diferenças entre os tratamentos.

Tabela 3.11: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de beterraba – compostos do experimento 2.

	Matéria seca de raiz ----- % -----	Matéria seca de parte aérea -----	Produção de raiz (MV) ----- g m ⁻² -----	Produção de parte aérea (MV) -----	Diâmetro ----- cm -----	Número de folhas
100C	12,3 AB	7,0	3653,3	2340,0	5,4	9,9
66C33N	12,1 AB	7,0	3346,7	2153,3	5,3	9,5
33C66N	12,1 AB	7,0	4700,0	2780,0	5,5	10,9
100N	11,5 AB	7,0	3613,3	2346,7	5,5	10,1
33C66N+E	10,8 B	6,9	4633,3	2820,0	6,0	11,7
33C66N+A	13,1 AB	7,4	4433,3	2760,0	6,1	11,0
100N+A	11,0 AB	6,6	3866,7	2706,7	5,3	8,3
Esterco	13,5 A	7,6	4013,3	2613,3	5,6	9,8
Test. Absoluta	11,1 AB	6,8	3480,0	2325,0	5,3	9,9
DMS	2,56	1,57	2523,68	1865,07	1,43	3,23

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

Tabela 3.12: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de beterraba – compostos do experimento 3.

	Matéria seca de raiz ----- % -----	Matéria seca de parte aérea -----	Produção de raiz (MV) ----- g m ⁻² -----	Produção de parte aérea (MV) -----	Diâmetro ----- cm -----	Número de folhas
100C-30	11,4	8,9	2268,3 AB	988,3	5,9 A	8,1
66C33N-30	14,3	8,9	1961,7 AB	1086,7	5,9 A	10,5
33C66N-30	13,2	8,9	1561,7 AB	831,7	5,0 AB	8,8
100C-60	13,6	8,0	2700,0 A	1261,7	5,9 A	9,3
66C33N-60	12,1	9,0	2130,0 AB	870,0	5,4 AB	9,4
33C66N-60	12,7	8,5	2011,7 AB	1011,7	5,4 AB	9,3
100C-90	12,8	8,7	3105,0 A	1366,7	6,5 A	11,2
66C33N-90	13,4	9,0	2971,7 A	1375,0	5,7 AB	11,1
33C66N-90	12,5	9,3	1706,7 AB	908,3	5,1 AB	8,7
Esterco	12,3	9,9	1380,0 AB	625,0	5,1 AB	7,5
Test. Absoluta	14,7	9,8	816,7 B	455,0	3,9 B	7,3
DMS	3,68	2,92	1759,14	1075,35	1,91	4,75

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

4.2.5 –Tomate – compostos do experimento 2

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-11 no Anexo II. As médias são apresentadas na Tabela 3.13. Apesar dos resultados obtidos mostrarem diferenças coerentes entre os tratamentos, estas diferenças não foram significativas. A baixa quantidade de composto e de esterco bovino utilizada (5 t ha^{-1}) e a montagem do experimento com apenas 3 repetições, podem ter contribuído para a ausência de significância. De acordo com Souza (2003), para a produção de tomate em sistemas orgânicos, recomenda-se utilizar 10 t ha^{-1} de cama de aviário ou 20 t ha^{-1} de composto orgânico ou de esterco bovino.

Tabela 3.13: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de tomate – compostos do experimento 2.

	Produção de frutos Extras	Produção de frutos Comerciais	Produção Total de frutos	Massa média dos frutos
	-----	g planta ⁻¹	-----	--- g ---
100C	715,8	1228,5	1289,1	61,2
66C33N	699,9	1195,2	1240,1	59,7
33C66N	723,0	1390,5	1405,8	75,6
100N	796,9	1171,5	1191,8	79,9
33C66N+E	728,8	1153,8	1170,8	65,7
33C66N+A	724,9	1388,8	1443,0	72,7
100N+A	773,0	1281,3	1308,6	58,6
Esterco	744,3	1163,2	1170,0	86,2
Test. Absoluta	427,8	979,0	1020,1	65,3
DMS	549,66	498,57	483,87	40,51

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

A produtividade média obtida para frutos comerciais ficou em torno da metade da produtividade média descrita por Souza & Resende (2003) para sistemas orgânicos de produção, que é de $2000 \text{ g planta}^{-1}$ ($20\ 000 \text{ plantas ha}^{-1}$). Este valor está bem acima do obtido por Bettiol et al. (2004) para tomate cultivar Santa Clara produzido em sistema orgânico, que foi de $613 \text{ g planta}^{-1}$. Em sistema convencional este autor obteve produtividade de $2858 \text{ g planta}^{-1}$.

4.2.6 –Tomate – compostos do experimento 3

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-12 no Anexo II. As médias são apresentadas na Tabela 3.14. Os resultados de todas as características avaliadas indicam que os compostos testados podem substituir o esterco bovino como fonte orgânica de N para a adubação de cova do tomateiro. Estes resultados não permitem uma diferenciação coerente entre o desempenho dos diferentes compostos testados. Leal & Araújo (2004), observaram que composto orgânico de Crotalaria, quando utilizado na mesma quantidade que a cama de aviário, pode substituir este esterco na adubação de cobertura de tomate Santa Clara cultivado em sistema orgânico.

A reduzida produtividade média obtida neste experimento, quando comparada ao experimento anterior, pode ser explicada pela menor disponibilidade de N no solo, causada pelo pré-cultivo com feijão de vagem.

Tabela 3.14: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no experimento de produção de tomate – compostos do experimento 3.

	Produção de frutos Extras	Produção de frutos Comerciais	Produção Total de frutos	Massa média dos frutos
	----- g planta ⁻¹ -----			--- g ---
100C-30	425,1 A	825,8 A	833,3 A	9,5 AB
66C33N-30	331,1 AB	748,8 AB	753,9 AB	9,0 AB
33C66N-30	469,2 A	822,2 A	823,4 A	9,8 A
100C-90	344,4 AB	742,5 AB	750,0 AB	9,0 AB
66C33N-90	374,2 AB	816,5 A	819,8 A	8,9 AB
33C66N-90	318,1 AB	727,5 AB	732,2 AB	9,1 AB
Esterco	178,1 B	656,1 AB	662,2 AB	8,0 B
Test. Absoluta	166,7 B	582,7 B	586,5 B	8,4 B
DMS	223,31	222,45	226,08	1,22

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

A produtividade média obtida nos dois experimentos com tomate estão muito abaixo dos valores normalmente obtidos em cultivo convencionais e estão abaixo dos valores normalmente obtidos em cultivos orgânicos. Isto se deve, principalmente, a utilização de solos de baixa fertilidade, visando diminuir a disponibilidade de N e assim facilitar a expressão de diferenças significativas entre os tratamentos. Além disto, como o objetivo dos experimentos foi estudar a adubação de cova, não se realizou adubações de cobertura, que são fundamentais para a obtenção de uma boa produtividade.

Os resultados observados nos experimentos de campo nos permitem fazer as seguintes considerações:

- Os compostos do experimento 2, com exceção do composto que utilizou apenas o Napier como matéria prima, podem substituir o esterco bovino como adubos orgânicos de plantio para a cultura do alface. Os resultados obtidos para beterraba e tomate não apresentaram diferenças significativas, mas mostraram tendências semelhantes ao resultado obtido para alface.

- Os compostos do experimento 3 podem substituir o esterco bovino como fontes orgânicas de N para as culturas de alface, beterraba e tomate.

- Não foram observadas diferenças significativas entre os compostos do experimento 3 para as culturas de beterraba e tomate. As diferenças observadas para alface não permitem fazer considerações coerentes.

- Os experimentos realizados não permitiram avaliar o efeito residual dos tratamentos estudados. Este efeito é de grande importância na adubação orgânica. Santos et al. (2001), observaram que a adubação com composto orgânico proporciona efeito residual sobre a produção de alface, cultivada 80 a 110 dias após a aplicação do composto.

4.3 – Bioensaios conduzidos em Vasos.

4.3.1 – Bioensaio em vasos - compostos do experimento 2

A análise de variância encontra-se na Tabela AII-13 no Anexo II. As médias são apresentadas na Tabela 3.15.

Os resultados obtidos se mostraram muito coerentes. Os compostos com maiores teores de N e com menores relações C:N apresentaram maiores recuperações. Com exceção do vermicomposto, os tratamentos com relações C:N acima de 30 apresentaram valores negativos de recuperação de N, o que está de acordo com a literatura. O teor de N ou a relação C:N é um fator chave para se determinar a taxa de mineralização de N em fertilizantes orgânicos, mas outros fatores devem ser levados em conta. Segundo Cuttle et al. (2003), em alguns casos, a relação C:N pode ser uma característica muito simplista para a determinação da degradabilidade de fertilizantes orgânicos, porque nem sempre reflete a capacidade da população microbiana acessar o C e o N do material. Outros fatores, como o conteúdo de lignina, têm sido utilizados nesta determinação.

Tabela 3.15: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no bioensaio em vasos – compostos do experimento 2.

	Teor de N no fertilizante ----- % -----	Teor de N na planta -----	Relação C:N	Produção de matéria seca ----- mg vaso ⁻¹ -----	Total de N recuperado -----	Recuperação de N --- % ---
100C	4,0	1,2	12,6	1202	8,2	5,5 A
66C33N	3,8	1,1	12,9	1067	5,8	3,9 AB
33C66N	3,1	1,1	15,0	1005	4,9	3,3 AB
100N	0,6	1,0	52,1	400	-2,5	-1,7 C
33C66N+E	2,5	1,2	15,0	649	1,2	0,8 BC
33C66N+A	3,0	1,1	16,1	805	2,3	1,5 ABC
100N+A	0,8	1,0	48,3	504	-1,6	-1,1 C
Esterco	1,6	1,0	27,6	666	0,1	0,1
Torta de Mamona	7,8	2,8	6,9	1641	39,1	26,0
Vermicomposto	1,0	1,2	31,0	1570	12,9	8,6
Feno de Crotalaria	2,7	2,1	19,3	968	14,2	9,5
Cama de Aviário	3,0	1,8	15,5	1232	16,1	10,8
Uréia	45,0	4,9	--	2216	100,9	67,2
Test.	--	1,1	--	601	6,6	91,6

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey. DMS = 4,64.

Os tratamentos 100N e 100N+A, que utilizaram apenas o Napier como matéria prima, apresentaram valores negativos. Estes valores negativos não significam necessariamente que houve imobilização, pois no método de cálculo do N total recuperado, a quantidade de N adicionado através das sementes é diminuída do valor do N obtido nas plantas, podendo resultar em valores negativos quando muitas sementes não germinam.

Os resultados também foram coerentes para os adubos orgânicos, exceto para o vermicomposto. Como este material geralmente possui elevado grau de humificação, esperava-se uma baixa recuperação de N.

Os elevados valores de recuperação de N observados para torta de mamona, feno de crotalaria e cama de aviário, mostram que estes adubos têm uma rápida

mineralização de N. Segundo Whiting et al. (2003), a taxa média de mineralização de N para esterco fresco é de 30-50% no primeiro ano, 15-25% no segundo ano e 7-12% no terceiro ano.

O elevado valor de recuperação observado para uréia era esperado, pois o N deste adubo mineral é de rápida disponibilidade para a planta. Infelizmente, a metodologia utilizada não permite quantificar a proporção de N não recuperado que foi perdida por volatilização ou que simplesmente não foi absorvida pelas plantas.

4.3.2 – Bioensaio em vasos - compostos do experimento 3

A análise de variância está na Tabela no Anexo IV. As médias são apresentadas na Tabela 3.16.

Os valores de produtividade de massa neste experimento foram muito inferiores aos obtidos no primeiro experimento, mas os valores de teor de N foram muito parecidos. A temperatura média ao ar livre foi praticamente a mesma durante os dois experimentos, mas a insolação média foi muito menor neste experimento (3,83 horas diárias, contra 7,73 horas diárias no primeiro experimento), o que tem grande influência na temperatura e na disponibilidade de luz no interior de estufas. Isto indica que houve um desenvolvimento mais lento das plantas, provavelmente devido ao clima.

Com isto, as plantas foram colhidas sem que atingissem o ponto de crescimento ideal, não aproveitando de forma eficiente o N disponível e resultando em valores muito baixos de recuperação de N. Este desenvolvimento menor ou mais lento, foi constatado pela ausência de folhas em estágio de senescência na época da colheita.

Tabela 3.16: Médias dos diversos tratamentos para as características estudadas no bioensaio em vasos – compostos do experimento 3.

	Teor de N no fertilizante ----- % -----	Teor de N na planta -----	Relação C:N	Produção de matéria seca ----- mg vaso ⁻¹ -----	Total de N recuperado -----	Recuperação de N --- % ---
100C-30	3,3	1,2	15,0	850	2,6	1,7 AB
66C33N-30	3,1	1,2	16,1	710	1,1	0,7 ABC
33C66N-30	2,4	1,1	21,2	545	-1,2	-0,8 C
100C-60	2,9	1,2	17,6	756	1,6	1,1 ABC
66C33N-60	2,3	1,1	22,1	734	1,0	0,7 ABC
33C66N-60	2,1	1,1	24,3	496	-1,8	-1,2 C
100C-90	3,3	1,2	15,6	936	3,9	2,6 A
66C33N-90	2,8	1,1	18,0	740	0,7	0,4 ABC
33C66N-90	2,4	1,0	20,8	632	-0,7	-0,5 BC
Esterco	1,6	1,0	27,6	417	-3,0	-2,0
Torta de Mamona	7,8	3,7	6,9	1397	45,1	30,0
Vermicomposto	1,0	2,1	31,0	625	5,5	3,6
Feno de Crotalaria	2,7	2,1	19,3	764	9,0	6,0
Cama de Aviário	3,0	2,1	15,5	596	4,8	3,2
Uréia	45,0	6,3	--	1013	57,2	38,2
Test.	--	1,3	--	552	7,3	101,9

Médias na mesma coluna seguidas de diferentes letras são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste Tukey. DMS = 2,434.

Apesar dos baixos valores de recuperação, os resultados obtidos se mostraram coerentes, com maiores recuperações para os compostos e adubos orgânicos com

maiores teores de N e com menores relações C:N. Apenas a cama de aviário apresentou um valor de recuperação abaixo do esperado.

Não foi possível identificar diferenças entre os tempos de compostagem. Esperava-se uma maior recuperação de N para os tratamentos com maior tempo de compostagem, pois nestes materiais espera-se haver uma maior quantidade de N em formas mais disponíveis, como amônia e nitrato. Bernal et al. (1997), em experimento de vasos com centeio, após 28 dias observaram que a utilização de composto de lodo de esgoto e resíduo de algodão na fase inicial da compostagem causou imobilização de N. Já o composto com boa maturação promoveu grande eficiência de utilização de N. Segundo este autor, isto foi devido a altas concentrações de N-nitrato.

4.3.3- Discussão sobre a metodologia

O método utilizado se mostrou eficiente para identificar diferenças qualitativas entre os materiais, mas não permite uma quantificação precisa destas diferenças. Esta metodologia pode ser aperfeiçoada, melhorando muito a precisão de seus resultados. Para isto, alguns problemas observados devem ser solucionados.

Em alguns tratamentos, observou-se que a rápida decomposição resultou em baixa oxigenação do solo. Isto causou uma baixa germinação das sementes e um pequeno desenvolvimento das raízes. A abertura de orifícios de ventilação no recipiente de coleta de lixiviados pode amenizar este problema.

Os resultados obtidos possuem um elevado CV. Isto pode ser melhorado aumentando-se o número de repetições para 4 ou 5.

Como o desenvolvimento das plantas de Milheto é afetado pela temperatura e insolação do ambiente, talvez seja melhor fixar o tempo do experimento em função de alguma característica fenológica, como o início da senescência das folhas, em vez de se fixar um período de 21 dias.

5. CONCLUSÕES

- Os compostos obtidos com a palhada de *Crotalaria juncea* e de capim Napier (*Pennisetum purpureum*) misturados substituem o substrato comercial Plantmax HT na produção de mudas de alface, beterraba e tomate.
- Os compostos obtidos com a palhada de *Crotalaria juncea* pura ou misturada com a palhada de capim Napier (*Pennisetum purpureum*) substituem o esterco bovino na adubação orgânica de plantio das culturas de alface, beterraba e tomate.
- Os compostos com maiores teores de N proporcionaram maiores valores de recuperação de N.
- A metodologia utilizada nos bioensaios de vasos se mostrou eficiente para identificar diferenças qualitativas na velocidade de liberação de N de diferentes materiais utilizados como fertilizantes orgânicos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; BATAGLIA, O. C. Uso da análise química na avaliação da qualidade de substratos e componentes. In: FURLANI, A. M. C., et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. p.17-28. (IAC. Documentos, 70).
- ALVES, S. M.; ABOUD, A. C. S.; RIBEIRO, R. de L. D.; ALMEIDA, D. L. de. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 11, p. 1111-1117, 2004.
- BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrate for plants. In: FURLANI, A. M. C., et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. p. 7-15. (IAC. Documentos, 70).
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 9-26.
- BERNAL, M. P.; NAVARRO, A. F.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; CEGARRA, J. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 30, n. 3, p. 305-313, 1998.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J. A. H.; SILOTO, R. C. Organic and conventional tomato cropping systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 3, p. 253-259, 2004.
- CARLILE, W. R. The requirements of growing media. **Peat in Horticulture**, v. 2, n. 7, p. 17-23, 1997.
- CASTELLANOS, J. Z.; PRATT, P. F. Mineralisation of manure nitrogen: correlation with laboratory indexes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 354-357, 1981.
- CORDEIRO, G. C.; RESENDE, G. M.; PEREIRA, J. R.; COSTA, N. D. Utilização de água salina e condicionador de solo na produção de beterraba no semi-árido brasileiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 1, p. 39-41. 1999.
- CORTI, C.; CRIPPA, L. Compost use in plant nurseries: hydrological and physicochemical characteristics. **Compost Science/Land Utilization**, Pennsylvania, v. 6, n. 1, p. 35-45, 1998.
- CUTTLE, S.; SHEPHERD, M.; GOODLASS, G. **A review of leguminous fertility-building crops, with particular reference to nitrogen fixation and utilization**. In: DEFRA Project OF0316 'The development of improved guidance on the use of fertility-building crops in organic farming', 2003. 167 p.
- De BRITO, A. M. A.; GAGNE, S. Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of plant growth-promoting rhizobacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 61, n. 1, p. 194-199, 1995.

- De HAAN, S. Results of municipal waste compost research over more than fifty years at the Institute for soil fertility at Haren/Groningen, the Netherlands. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 29, p. 49-61, 1981.
- De-POLLI, H. (Coord.). **Manual de adubação orgânica para o estado do Rio de Janeiro**. Itaguaí: Editora Universidade Rural, 1988. 177 p.
- DINIZ, K. A.; LUZ, J. M. Q.; MARTINS, S. T.; DUARTE, L. C. Produção de mudas de tomate e pimentão em substrato a base de vermicomposto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n. 2, p. 258, 2001. Suplemento. Resumo.
- DINIZ NETO, M. A.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, M. R. M.; SANTOS, C. G.; CRUZ, J. S. Crescimento inicial do pepino submetido ao efeito de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, p. 345, 2003. Suplemento. Resumo.
- FERMINO, M. H. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: FURLANI, A. M. C., et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. p. 29-37. (IAC. Documentos, 70).
- FONTAINE, S.; MARIOTTI, A.; ABBADIE, L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 35, p. 837-843, 2003.
- FRAZIN, S. M.; MENEZES, N. L.; GARCIA, D. C.; SANTOS, O. S. Efeito da qualidade das sementes sobre a produção de mudas de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 2, p. 193-197, 2005.
- HADAS, A.; PORTNOY, R. Rates of decomposition in soil and release of available nitrogen from cattle manure and municipal solid waste. **Compost Science/Land Utilization**, Pennsylvania, v. 5, p. 48-54, 1997.
- HOGG, D.; BARTH, J.; FAVOINO, E.; CENTEMERO, M.; CAIMI, V.; AMLINGER, F.; DEVLIEGHER, W.; BRINTON, W.; ANTLER, S. **Comparison of Compost Standards Within the EU, North America and Australasia**. Oxon-UK: The Wastes and Resources Action Programme (WRAP), 2002. 108 p.
- HOITINK, H. A. J.; POOLE, H. A. Factors affecting quality of composts in container media. **HortScience**, Alexandria, v. 15, n. 2, p. 171-173, 1980.
- HORTENSTINE, C. C.; ROTHWELL, D. F. Pelletized municipal refuse compost as a soil amendment and nutrient source for sorghum. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 2, p. 343-345, 1973.
- HUE, N. V. Interaction of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ applied to an oxisol and previous sludge amendment: soil and crop responses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 21, p. 61-73, 1990.
- JONES, P.; MARTIN, M. **A review of the literature on the occurrence and survival of pathogens of animals and humans in green compost**. Oxon-UK: The Wastes and Resources Action Programme (WRAP), 2003. 33 p.
- KNOOP, M.; CUTLER-TALBOTT, K. **Technical information on the use of organic materials as soil amendments – A literature review**. Washington: The University of Washington College of Forest Resources, 1990. 81 p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes, 2000. 531 p.
- LEAL, F. R. R.; BEZERRA, F. C.; SOARES, I.; ROSA, M. F.; CAPISTRANO, I. R. N. Composto orgânico à base de resíduo de coco verde como substrato para a produção de

- mudas de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, p. 303, 2003. Suplemento. Resumo.
- LEAL, M. A. de A.; ARAÚJO, M. L. de. Utilização de composto de crotalaria na adubação de cobertura de tomateiro em ambiente protegido, em sistema orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 492, 2004. Suplemento. Resumo.
- LIEVENS, B. Systemic resistance induced in cucumber against Pythium root rot by source separated household waste and yard trimmings composts. **Compost Science/Land Utilization**, Pennsylvania, v. 9, n. 3, p. 221-229, 2001.
- LOPES, J. C.; ZONTA, J. B.; CAVATTE, P. C. Efeito de diferentes tratamentos e substratos na germinação e desenvolvimento de plântulas de beterraba. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 363, 2004. Suplemento. Resumo.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola, adubos e adubação**. São Paulo: Ceres, 1959. 487 p.
- MAMO, M.; ROSEN, C. J. Nitrogen availability and leaching front soil amended with municipal solid waste compost. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 28, n. 4, p. 1074-1082, 1999.
- MANDELBAUM, R.; HADAR, Y. Methods for determining Pythium suppression in container media. **Compost Science/Land Utilization**, Pennsylvania, v. 5, n. 2, p. 15-22, 1997.
- MARTINS, S. T.; LUZ, J. Q. M.; DINIZ, K. A. Produção de mudas de alface em substrato a base de vermicomposto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 257, 2001. Suplemento. Resumo.
- MAYS, D. A.; TURMAN, G. T. Municipal compost: effects on crop yields and soil properties. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 2, p. 89-92, 1973.
- MENEZES JÚNIOR, F. O. G.; FERNANDES, H. S.; MAUCH, C. R.; SILVA, C. B. Caracterização de diferentes substratos e seu desempenho na produção de mudas de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, n. 3, p. 164-170, 2002.
- MOOLENAAR, S. W.; LEXMOND, T. M.; VAN DER ZEE, S. E. A. T. M. Calculating heavy metal accumulation in soil: a comparison of methods illustrated by a case-study on compost application. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 66, p. 71-82, 1997.
- NOBLE, R.; ROBERTS, S. J. **A review of the literature on eradication of plant pathogens and nematodes during composting, disease suppression and detection of plant pathogens in compost**. Oxon-UK: The Wastes and Resources Action Programme (WRAP), 2003. 41 p.
- NÚÑEZ, J. E. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PALMIERI, F.; MESQUITA, A. A. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 981-990, 1999.
- PALM, C. A.; GACHENGO, C. N.; DELVE, R. J.; CADISH, G.; GILLER, K. E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 83, p. 27-42, 2001.

RICCI, M. S.; CASALI, V. W. D.; CARDOSO, A. A.; RUIZ, H. A. Produção de alface adubadas com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 12, n. 1, p. 56-58, 1994.

ROSA, E. A. S. **Salinização em ambiente protegido**. In: FORO internacional de cultivo protegido. Botucatu: UNESP, 1997. p. 226-262.

SANTOS, R. H.; SILVA, F.; CASALI, V. W. D.; CONDE, A. R. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n.11, p. 1395-1398, 2001.

SILVA, E. T.; MAGALHÃES, C. de S. Controle da poluição de atividades pecuárias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 62-76, 2001.

SIMÃO, J. B. P.; SIQUEIRA, J. O. Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 22, p. 18-26, 2001.

SOUZA, J. L. Tomateiro para mesa em sistema orgânico. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, n. 219, p. 108-120, 2003.

SOUZA, J. L.; RESENDE, P. **Manual de olericultura orgânica**. Viçosa-MG: Aprenda Fácil Editora, 2003. 555 p.

SOUZA, J. M. P. F.; LEAL, M. A. A.; ARAÚJO, M. L. Produção de mudas de tomateiro utilizando húmus de minhoca e cama de aviário como substrato e o biofertilizante Agrobio como adubação foliar. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, p. 314, 2003. Suplemento. Resumo.

THOMPSON, W.; LEEGE, P.; MILLNER, P.; WATSON, M. E. Test methods for examination of composts and composting. The US Composting Council, US Government Printing Office, 2003. Disponível em: <<http://tmecc.org/tmecc/index.html>>. Acesso em: mar. 2006.

WHITING, D.; WILSON, C.; MEARA, C. O. Vegetable garden: Soil management and fertilization. Colorado: Colorado Master Garden, 2003. 12 p. (Gardening Series N° 7840).

WRAP-THE WASTES AND RESOURCES ACTION PROGRAMME. **To support the development of standards for compost by investigating the benefits and efficacy of compost use in different applications**. Oxon-UK, 2004. 72 p.

YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J. Efeito de composto orgânico sobre a produção e características comerciais de alface americana. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 1, p. 127-130, 1994.

CONCLUSÕES GERAIS

- Para a obtenção de massa e de N visando a produção de compostos orgânicos nas condições edafoclimáticas do Estado do Rio de Janeiro, recomenda-se o plantio de *Crotalaria juncea*, semeada na primavera e com corte aos três meses de idade.
- É possível a obtenção de compostos com elevados teores de N utilizando-se *Crotalaria juncea* pura ou misturada com capim Napier (*Pennisetum purpureum*), sem a necessidade de inoculantes ou outros aditivos.
- Os compostos obtidos com a palhada de *Crotalaria juncea* e de capim Napier (*Pennisetum purpureum*) misturados substituem o substrato comercial Plantmax HT na produção de mudas de alface, beterraba e tomate.
- Os compostos obtidos com a palhada de *Crotalaria juncea* pura ou misturada com a palhada de capim Napier (*Pennisetum purpureum*) substituem o esterco bovino na adubação orgânica de plantio das culturas de alface, beterraba e tomate.

ANEXOS

Anexo I – Quadros de análise de variância dos experimentos do capítulo I.

Tabela AI-1: Quadro de análise de variância apresentando os quadrados médios (QM) e os valores F dos efeitos avaliados no experimento com Feijão de Porco, para as diversas características estudadas.

		GL	Altura	Massa fresca por ha	Massa seca por ha	%MS	Relação folha/p. aérea	%N na p. aérea	N folha p/ N p. aérea	N por ha	Massa de folha por ha	N folha por ha
Bloco	QM	2	1E-04	10403675	497527,6	8E-06	0,007408	0,333249	0,008319	382,8026	11146,43	85,55185
	F		0,04	1,51	1,34	0,03	1,25	<u>3,61</u>	0,77	0,90	0,05	0,20
Época de Plantio	QM	3	0,053737	2,41E+08	13577628	0,000123	0,10492	0,053744	0,136605	8649,812	2878193	3958,558
	F		<u>20,27</u>	<u>35,00</u>	<u>36,64</u>	0,43	<u>17,65</u>	0,58	<u>12,70</u>	<u>20,45</u>	<u>12,51</u>	<u>9,48</u>
Época de Corte	QM	2	0,007275	4,85E+08	28748741	0,001346	0,328412	0,051527	0,378616	20376,29	1236585	2376,077
	F		2,74	<u>70,36</u>	<u>77,58</u>	<u>4,72</u>	<u>55,23</u>	0,56	<u>35,19</u>	<u>48,17</u>	<u>5,38</u>	<u>5,69</u>
Interação EC x EP	QM	6	0,069668	17212389	867320,1	0,000939	0,019016	0,214496	0,037048	875,5595	376290,4	923,4122
	F		<u>26,27</u>	2,50	2,34	<u>3,29</u>	<u>3,20</u>	2,33	<u>3,44</u>	2,07	1,64	2,21
QM do Resíduo		22	0,002652	6892705	370551,6	0,000285	0,005946	0,092209	0,010759	423,027	229997,9	417,5688
CV%			6,82	21,68	21,74	7,39	16,36	11,80	16,09	28,70	43,76	50,55

Os valores sublinhados são significativos (p<0,05) pelo teste F.

Tabela AI-2: Quadro de análise de variância apresentando os quadrados médios (QM) e os valores F dos efeitos avaliados no primeiro experimento com *Crotalaria juncea*, para as diversas características estudadas.

		GL	Altura	Massa fresca por ha	Massa seca por ha	%MS	Relação folha/p. aérea	%N na p. aérea	N folha p/ N p. aérea	N por ha	Massa de folha por ha	N folha por ha
Bloco	QM	2	0,015069	42191594	6744891	0,001058	0,00152	0,265125	0,005171	614,8321	115270,4	59,72498
	F		0,95	1,87	2,70	<u>5,82</u>	0,93	<u>3,90</u>	0,54	0,64	1,35	0,36
Época de Plantio	QM	3	1,472106	1,8E+09	1,57E+08	0,003959	0,007955	0,628526	0,010911	39609,18	4695602	8380,219
	F		<u>92,57</u>	<u>79,70</u>	<u>63,04</u>	<u>21,80</u>	<u>4,88</u>	<u>9,25</u>	1,15	<u>41,31</u>	<u>54,80</u>	<u>50,69</u>
Época de Corte	QM	2	0,556319	3,82E+08	61833121	0,026944	0,046919	0,511479	0,194868	13488,76	1057111	899,4588
	F		<u>34,98</u>	<u>16,95</u>	<u>24,78</u>	<u>148,35</u>	<u>28,79</u>	<u>7,53</u>	<u>20,46</u>	<u>14,07</u>	<u>12,34</u>	<u>5,44</u>
Interação EC x EP	QM	6	0,154468	1,9E+08	16137499	0,001218	0,003307	0,244014	0,023708	4011,427	769401,4	1258,595
	F		<u>9,71</u>	<u>8,43</u>	<u>6,47</u>	<u>6,71</u>	2,03	<u>3,59</u>	2,49	<u>4,18</u>	<u>8,98</u>	<u>7,61</u>
QM do Resíduo		22	0,015903	22554057	2494954	0,000182	0,00163	0,067962	0,009526	958,7764	85693,27	165,3287
CV%			6,61	21,34	23,09	4,38	18,14	12,87	20,52	24,48	21,37	22,20

Os valores sublinhados são significativos ($p < 0,05$) pelo teste F.

Tabela AI-3: Quadro de análise de variância apresentando os quadrados médios (QM) e os valores F dos efeitos avaliados no segundo experimento com *Crotalaria juncea*, para as diversas características estudadas.

		GL	Altura	Massa fresca	Matéria seca	%MS	Relação folha/p. aérea	Massa de folha por ha
Bloco	QM	2	0,012708	14503119	556106,5	0,000903	0,000475	32738,03
	F		1,28	0,41	0,17	<u>11,50</u>	1,04	0,14
Época de Plantio	QM	3	0,116019	5,93E+08	24800816	0,00804	0,009788	1164764
	F		<u>11,71</u>	<u>16,62</u>	<u>7,77</u>	<u>102,37</u>	<u>21,43</u>	<u>5,13</u>
Época de Corte	QM	2	0,853958	3,55E+08	76080752	0,018411	0,052108	326184,9
	F		<u>86,21</u>	<u>9,95</u>	<u>23,83</u>	<u>234,43</u>	<u>114,07</u>	1,44
Interação EC x EP	QM	6	0,041366	37265791	1660540	0,001259	0,001149	107407,2
	F		<u>4,18</u>	1,04	0,52	<u>16,03</u>	2,52	0,47
QM do Resíduo		22	0,009905	35696396	3192511	7,85E-05	0,000457	227132,1
CV%			4,87	21,94	22,66	3,04	8,41	25,36

Os valores sublinhados são significativos ($p < 0,05$) pelo teste F.

Anexo II - Quadros de análise de variância dos experimentos do capítulo III.

Tabela AII-1: Quadro de análise de variância do experimento de produção de mudas de alface – compostos do experimento 2.

	GL	Altura da parte aérea	N ° de Folhas	Matéria fresca da parte aérea	Matéria seca da parte aérea	%MS
SQ Tratamento	7	8,883571	15,57185	18,83143	0,133375	6,681877
Valor F	-	88,01**	209,96**	68,90**	51,98**	4,42**
SQ Resíduo	16	0,100938	0,074167	0,273333	0,002566	1,510530
CV%	-	10,32	3,84	16,44	18,76	13,78

** valores significativos ($p < 0,01$) pelo teste F.

Tabela AII-2: Quadro de análise de variância do experimento de produção de mudas de alface – compostos do experimento 3.

	GL	N ° de Folhas	Matéria fresca da parte aérea	Matéria seca da parte aérea	%MS
SQ Tratamento	9	1,28	856512	14450,62	17,83
Valor F	-	7,55**	63,70**	129,11**	13,28**
SQ Resíduo	20	0,17	13445,50	111,93	1,34
CV%	-	9,17	19,27	21,56	17,96

** valores significativos ($p < 0,01$) pelo teste F.

Tabela AII-3: Quadro de análise de variância do experimento de produção de mudas de beterraba – compostos do experimento 2.

	GL	Altura da parte aérea	N ° de Folhas	Matéria fresca da parte aérea	Matéria seca da parte aérea	%MS
SQ Tratamento	7	28,16518	3,000417	27,94548	0,113433	12,60116
Valor F	-	135,60**	122,05**	85,88**	77,02**	65,05**
SQ Resíduo	16	0,207708	0,024583	0,325417	0,001473	0,193702
CV%	-	7,10	4,40	14,33	15,35	6,22

** valores significativos ($p < 0,01$) pelo teste F.

Tabela AII-4: Quadro de análise de variância do experimento de produção de mudas de beterraba – compostos do experimento 3.

	GL	Altura da parte aérea	N ° de Folhas	Matéria fresca da parte aérea	Matéria seca da parte aérea	%MS
SQ Tratamento	9	0,31	0,95	1211636	11383,78	9,77
Valor F	-	8,81**	19,23**	28,12**	43,63**	18,28**
SQ Resíduo	20	0,04	0,05	43094,67	260,89	0,53
CV%	-	13,07	9,65	20,49	16,24	7,13

** valores significativos ($p < 0,01$) pelo teste F.

Tabela AII-5: Quadro de análise de variância do experimento de produção de mudas de tomate – compostos do experimento 2.

	GL	Altura da parte aérea	N ° de Folhas	Matéria fresca da parte aérea	Matéria seca da parte aérea	%MS
SQ Tratamento	7	22,18065	6,132798	34,05994	0,541290	0,555816
Valor F	-	286,20**	140,18**	212,88**	147,13**	12,27**
SQ Resíduo	16	0,077500	0,043750	0,160000	0,003679	0,534486
CV%	-	4,49	4,86	8,55	11,03	6,48

** valores significativos ($p < 0,01$) pelo teste F.

Tabela AII-6: Quadro de análise de variância do experimento de produção de mudas de tomate – compostos do experimento 3.

	GL	Altura da parte aérea	N ° de Folhas	Matéria fresca da parte aérea	Matéria seca da parte aérea	%MS
SQ Tratamento	9	1,38	1,34	1851340	40409,77	12,87
Valor F	-	16,75**	16,20**	13,06**	25,54**	7,73**
SQ Resíduo	20	0,08	0,08	141712	1582,24	1,66
CV%	-	7,97	8,74	30,63	27,10	10,93

** valores significativos ($p < 0,01$) pelo teste F.

Tabela AII-7: Quadro de análise de variância do experimento de produção de alface – compostos do experimento 2.

	GL	% de Matéria Seca	Matéria fresca	Matéria seca	Diâmetro aos 24 dap ¹	Diâmetro aos 36 dap ¹	Diâmetro aos 52 dap ¹	Número de folhas
SQ Bloco	2	0,43	525312,00	1258,97	39,48	13,17	32,80	183,81
SQ Tratamento	8	0,76	329532,00	919,19	11,73	18,34	11,56	76,81
Valor F	-	1,64	3,27*	3,09*	1,11	2,16	1,74	2,92*
SQ Resíduo	16	0,46	100848,00	297,28	10,61	8,48	6,63	26,27
CV%		12,08	35,08	34,33	28,46	17,74	12,85	15,34

* valores significativos ($p < 0,05$) pelo teste F.

1- dap: dias após o plantio.

Tabela AII-8: Quadro de análise de variância do experimento de produção de alface – compostos do experimento 3.

	GL	% de Matéria Seca	Matéria fresca	Matéria seca	Diâmetro aos 52 dap¹	Número de folhas
SQ Bloco	2	1,03	454332	1457,42	50,83	11,99
SQ Tratamento	10	0,93	544319	930,98	31,83	32,90
Valor F	-	5,62**	6,10**	6,69**	8,44**	1,14
SQ Resíduo	30	0,17	89274,57	139,19	3,77	28,83
CV%		8,57	30,39	26,12	10,34	21,50

* valores significativos ($p < 0,05$) pelo teste F.

1- dap: dias após o plantio.

Tabela AII-9: Quadro de análise de variância do experimento de produção de beterraba – compostos do experimento 2.

	GL	% de Matéria Seca de Raiz	% de Matéria Seca de Parte Aérea	Produção de Raiz	Produção de Parte Aérea	Diâmetro	Número de folhas
SQ Bloco	2	4,36	0,5083	9477018,95	4166735,62	3,8148	6,35
SQ Tratamento	8	2,79	0,2878	727948,15	181421,76	0,3018	2,74
Valor F	-	3,61*	0,9790	0,96	0,44	1,2436	2,22
SQ Resíduo	16	0,77	0,2940	755186,29	412452,69	0,2427	1,24
CV%		7,39	7,71	22,14	25,47	8,91	11,02

* valores significativos ($p < 0,05$) pelo teste F.

Tabela AII-10: Quadro de análise de variância do experimento de produção de beterraba – compostos do experimento 3.

	GL	% de Matéria Seca de Raiz	% de Matéria Seca de Parte Aérea	Produção de Raiz	Produção de Parte Aérea	Diâmetro	Número de folhas
SQ Bloco	2	4,73	0,4596	2870764	684002	2,25	1,62
SQ Tratamento	10	2,90	0,8346	1432299	251463	1,34	5,19
Valor F	-	1,87	0,85	4,03*	1,89	3,21*	2,00
SQ Resíduo	20	1,55	0,98	355534	132856	0,42	2,59
CV%		9,58	11,03	29,00	37,19	17,49	11,93

* valores significativos ($p < 0,05$) pelo teste F.

Tabela AII-11: Quadro de análise de variância do experimento de produção de tomate – compostos do experimento 2.

	GL	Produção de frutos Extras	Produção de frutos Comerciais	Produção Total de frutos	Massa média dos frutos
SQ Bloco	2	390313	419252	429888	1873,098
SQ Tratamento	8	34825	48737	50793	281,339
Valor F	-	0,97	1,65	1,83	1,45
SQ Resíduo	16	35824	29474	27761	194,579
CV%		26,89	14,11	13,34	20,09

* valores significativos ($p < 0,05$) pelo teste F.

Tabela AII-12: Quadro de análise de variância do experimento de produção de tomate – compostos do experimento 3.

	GL	Produção de frutos Extras	Produção de frutos Comerciais	Produção Total de frutos	Massa média dos frutos
SQ Bloco	3	4985554	6560098	6277882	252
SQ Tratamento	7	2936943	1901900	1894555	80
Valor F	-	5,19**	3,39*	3,27*	4,72**
SQ Resíduo	21	565821	561440	579917	17
CV%		28,85	12,65	12,77	5,73

* valores significativos ($p < 0,05$) pelo teste F.

Tabela AII-13: Quadro de análise de variância dos bioensaios de vasos.

	GL Tratamento	QM Tratamento	GL Resíduo	QM Resíduo	Valor F	CV%
Compostos do experimento 2	6	20,5646	14	2,1766	9,45	38,24
Compostos do experimento 3	8	4,4457	18	0,7651	5,81	168,42