



ADENILSON DE FREITAS

**PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE COMPOSTOS
ORGÂNICOS ENRIQUECIDOS COM ROCHAS E INOCULANTE
MICROBIANO NA CULTURA DA ALFACE**

**SETE LAGOAS – MG
2016**



ADENILSON DE FREITAS

**PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE COMPOSTOS
ORGÂNICOS ENRIQUECIDOS COM ROCHAS E INOCULANTE
MICROBIANO NA CULTURA DA ALFACE**

**SETE LAGOAS – MG
2016**

ADENILSON DE FREITAS

**PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE COMPOSTOS
ORGÂNICOS ENRIQUECIDOS COM ROCHAS E INOCULANTE
MICROBIANO NA CULTURA DA ALFACE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias (Área de Concentração em Produção Vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Ivanildo Evódio Marriel
Coorientadora: Profa. Dra. Leila de Castro Louback Ferraz

SETE LAGOAS – MG
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Divisão de Biblioteca da UFSJ – MG – Brasil.

F862p Freitas, Adenilson de, 1972 –
2016 Produção e eficiência agronômica de compostos orgânicos enriquecidos
com rochas e inoculante microbiano na cultura da alface / Adenilson de
Freitas. -- 2016.
62 p. : il.

Orientador: Ivanildo Evódio Marriel.
Coorientadora: Leila de Castro Louback Ferraz.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João Del-Rei,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.

1. Alface – Cultivo – Teses. 2. Alface – Compostagem – Teses. 3. Alface –
Ciclagem de nutrientes – Teses I. Freitas, Adenilson de. II. Marriel, Ivanildo
Evódio. III. Ferraz, Leila de Castro Louback. IV. Universidade Federal de
São João Del-Rei. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. V.
Título.

CDU: 63

ADENILSON DE FREITAS

**PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE COMPOSTOS
ORGÂNICOS ENRIQUECIDOS COM ROCHAS E INOCULANTE
MICROBIANO NA CULTURA DA ALFACE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus Sete Lagoas*, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias (Área de Concentração em Produção Vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Ivanildo Evódio Marriel
Coorientadora: Profa. Dra. Leila de Castro Louback Ferraz

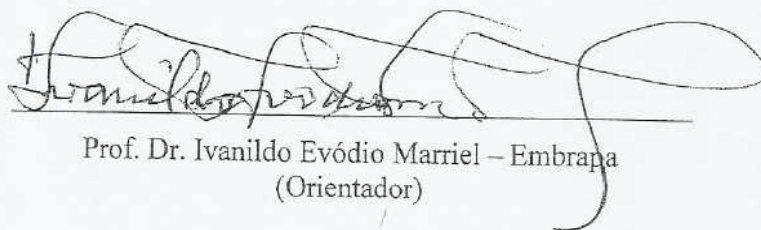
Banca examinadora:



Dra. Christiane Abranches de Oliveira Paiva – Embrapa



Dr. Walter José Rodrigues Matrangolo – Embrapa



Prof. Dr. Ivanildo Evódio Marriel – Embrapa
(Orientador)

"Mais herói que a espada é o arado,
que humildemente rasga a terra e como consequência alimenta toda a humanidade..."

“Ai de nós,
Se por nós,
Uma semente,
Morrer semente..."
(Autor desconhecido)

“Saber esperar é uma virtude”!
Aceitar, sem questionar, que cada coisa tem um tempo certo para acontecer...

É ter Fé! ”
(Do Filme: A Espera de Um Milagre)

DEDICATÓRIA

Genésio de Freitas Lima (in memoriam)

Doralice Rosa Lima (in memoriam)

Norival de Freitas (in memoriam)

Mark Rogério Santos de Freitas (in momoriam)

Genésio Bernardino de Freitas Correia (in memoriam)

João Vitor e Letícia, meus filhos.

Ângela minha esposa.

Toda minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e com sua destra me sustentou e me ensinou que quando estou fraco, é que sou forte. A ti toda honra e toda glória nesse momento de mudança, amadurecimento e dedicação, o sonho se realizou. E não poderia assim ser, se eu tivesse sonhado sozinho.

A minha esposa Ângela, que suportou os momentos difíceis e conturbados, mesmo assim me deu todo apoio e força, me fez compreender que amor resiste à distância. Confiou em mim, sendo exemplo de que Deus é fiel ao que nos prometeu, e aos meus filhos João Vitor e Letícia, com eles, Deus me permitiu assumir o dom da criação, da dedicação e do amor incondicional.

Aos meus irmãos e familiares, as quais formaram uma base sólida de valores e uma única família, pelo apoio, convívio, incentivo e amor.

À Sra. Madrinha Lúcia e família, exemplo de dedicação e amor.

À Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ, Campus Sete Lagoas – CSL, à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, área de concentração Produção Vegetal, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

À Embrapa pela oportunidade de estágio para realização dos estudos.

Ao Professor Dr. Ivanildo Evódio Marriel, pela orientação, dedicação, paciência e ensinamentos que foram de grande relevância para realização deste trabalho.

À Professora Dra. Leila de Castro Louback Ferraz, pela coorientação, dedicação, paciência e ensinamentos que foram de grande relevância para realização deste trabalho.

Ao Dr. Francisco Vilela Resende e Dr. Ernani Clarete da Silva, pela dedicação, paciência e ensinamentos que foram de grande relevância para realização deste trabalho.

Aos membros da banca Dra. Christiane A. O. Paiva, Dr. Walter José R. Matrangolo, Dra. Lanamar A. Carlos e Dr. Alexandre M. Abdão dos Passos, pela prontidão ao convite para compor a mesa e pelos vários apoios e ensinamentos.

Ao Djalma, pela amizade, pela dedicação, paciência e ensinamentos que foram de grande relevância, sempre dispostos a ajudar a superar muitos obstáculos, inclusive nos momentos mais difíceis.

Aos professores e colegas de turmas, da qual tive orgulho de fazer parte, pela amizade, paciência, convivência e ensinamentos.

Aos produtores, cito: Família Monjolinhos (M^a Antônia, Elizânia, Elizio, Elizeu, Edvan e Vitor); Família Xavier (Nilo, Marcone, Imaculada, Jonnas e Mariana); Sr. Hélio Pereira e família; Sr. Claudio Lana e família, Sr. Welliton e família; Sr. Nicodemos e família; Sr. Lucas e família e a todos os funcionários da Fazenda Vista Alegre, a vocês que permitiram o acesso às suas propriedades para estudo, dando total apoio, auxiliando, montando e colhendo os dados dos experimentos.

Aos amigos e companheiros Ênio, Jaqueline, Baú, Vandin, Marcinho, Gilberto, sempre dispostos a ajudar, e que, com suas eficiências e determinações me ajudaram a superar muitos obstáculos, inclusive nos momentos mais difíceis, na montagem e na colheita dos experimentos para a coleta dos dados.

À Emater-MG, pelo trabalho, a todos os colegas de trabalho e meus amigos que de alguma forma diretamente ou indiretamente me apoiaram nessa realização, que nunca mediram esforços para promover o meu desenvolvimento.

Ao Prefeito Romar e à Câmara de Vereadores de Capim Branco, e à Prefeita Oldaira e a Antônio Carlos, colega da Emater de Cedro do Abaeté, aos Gerentes (Clóvis, Tarcísio e Erika), pelo apoio e negociações que possibilitaram as minhas ausências ao trabalho no período de estudo e aos colegas de regional, pelo companheirismo, dignidade, autenticidade e amizade. Sempre me ouviram, incentivaram, apoiaram e estiveram ao meu lado, muitas vezes assumindo meus compromissos para que pudesse me dedicar às atividades do mestrado.

Não poderia deixar de agradecer ao Dr. Antônio Carlos, Waldenia (Epamig), Warley, Samuel, Ana Luiza Gangana, Matilde, Luma, Caique, Adriana, Eduardo, Talita, Alexandre, Ana Cecília, Ana Luiza, Reinaldo, Eliane, Enedir, Mucio, aos colegas do Laboratório de Microbiologia da Embrapa (Jean, Ketleyn, Vitória, Bianca, Barbara, Cássia, Simone, Phelipe, Maycon, João, Denise Isabelle), Profa. Dra. Andréia, pela colaboração e apoio em todo esse período de convivência e ensinamentos.

Muito contente estou por concluir mais uma etapa da minha vida, agradeço a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para essa realização, o meu muitíssimo obrigado de forma muito especial.

Obrigado a todos!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Agricultura Sustentável e Cultivo Orgânico.....	3
2.2. Processo de Compostagem.....	4
2.2.1. Fases da compostagem.....	4
2.2.2. Fatores que afetam o processo de compostagem.....	5
2.2.2.1. Relação C/N.....	5
2.2.2.2. Temperatura.....	5
2.2.2.3. pH.....	6
2.2.2.4. Umidade.....	7
2.2.2.5. Aeração e revolvimento.....	7
2.2.2.6. Tamanho das partículas e granulometria.....	8
2.2.2.7. Dimensão e formato das pilhas/leiras.....	8
2.3. Influência da Incorporação de Rochas e Aditivos Microbianos no Processo de Compostagem.....	9
2.4. Uso do Composto Orgânico na Agricultura e Qualidade Ambiental.....	10
2.4.1. Uso de compostos orgânicos na cultura da alface.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Compostagem de Resíduos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano.....	13
3.2. Preparo do Inoculante Microbiano (IM).....	15
3.3. Avaliações.....	15
3.3.1. Amostragem.....	15
3.3.2. Granulometria.....	16

	Página
3.3.3. Redução do volume e peso (massa).....	16
3.3.4. Temperatura.....	16
3.3.5. pH.....	17
3.3.6. Caracterização química.....	17
3.4. Eficiência Agronômica dos Compostos na Cultura da Alface sob o Sistema Orgânico de Produção em Ambiente Protegido por Túnel Plástico.....	17
3.5. Análise Estatística.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1. Granulometria dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano.....	19
4.2. Redução de Volume e Peso (Massa) das Pilhas dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano.....	20
4.3. Temperatura dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano.....	22
4.4. pH dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano.....	24
4.5. Caracterização Química dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano.....	24
4.6. Avaliação dos Compostos Orgânicos Produzidos no Cultivo da Alface sob o Sistema Orgânico de Produção em Ambiente Protegido por Túnel Plástico.....	34
5. CONCLUSÕES.....	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS ENRIQUECIDOS COM ROCHAS E INOCULANTE MICROBIANO NA CULTURA DA ALFACE¹

RESUMO – A adoção da tecnologia de compostagem torna-se importante principalmente para sistemas agrícolas de baixo *input* de insumos externos à propriedade. Neste trabalho, objetivou-se produzir e avaliar a eficiência agronômica de compostos orgânicos com adição de rochas fosfática e potássica, e inoculante microbiano, na cultura da alface em sistema orgânico de produção. Os experimentos foram conduzidos no município de Capim Branco-MG, sendo os compostos produzidos a céu aberto em pilhas estáticas sem aeração, cobertas com palhada, com revolvimento a cada 15 dias. A eficiência agronômica dos produtos foi avaliada em ambiente protegido por túnel plástico. Foram produzidos e testados seis compostos obtidos a partir de três diferentes misturas de resíduos agrícolas e animais ou resíduos e rochas, sem e com adição de inoculante microbiano (IM). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições, no esquema fatorial (3x2x7), constituído de três tipos de misturas de resíduos, sem e com a adição de inoculante microbiano (IM) e sete épocas de amostragem (15, 30, 45, 60,75, 90 e 105 dias), para caracterização química (relação C/N, macro e micronutrientes). Para avaliação da eficiência agronômica dos compostos, testaram-se oito tratamentos constituídos de seis compostos obtidos, um composto do produtor da região e um tratamento controle, sem adubo, em delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Após 35 dias de cultivo, avaliaram-se o acúmulo de massa fresca, teor e conteúdo de N, P e K, na parte aérea das plantas de alface. Os resultados da análise estatística mostraram diferença significativa entre os compostos em relação à composição química, independentemente dos parâmetros analisados. Os produtos com as rochas apresentaram teores de macronutrientes mais elevados em relação aos demais. E, de modo similar, a adição de inoculante microbiano (IM) apresentou efeito positivo e sinérgico ao das rochas sobre a qualidade dos compostos obtidos. Em relação à produtividade de alface, detectou-se diferença significativa somente para a massa fresca da parte aérea das plantas em função da inoculação com micro-organismos. A falta de resposta da planta aos compostos em relação à composição química foi atribuída, em parte, ao nível elevado de fertilidade do solo utilizado. Concluiu-se que a incorporação de rocha fosfática e potássica e inoculante microbiano (IM) contribuiu para a melhoria da qualidade dos compostos como fonte de nutrientes para a cultura da alface em sistema orgânico de produção.

Palavras-Chave: Compostagem; Ciclagem de nutrientes; Bioinoculante; Pó de rocha; Fosfato natural

¹ Comitê Orientador: Prof. Dr. Ivanildo Evódio Marriel (Orientador), Profa. Dra. Leila de Castro Louback Ferraz (Coorientadora).

PRODUCTION AND ORGANIC COMPOUNDS AGRONOMIC EFFICIENCY ENRICHED WITH ROCKS AND INOCULANT MICROBIAL CULTURE OF LETTUCE ²

ABSTRACT – The adoption of composting technology becomes especially important for agricultural systems of low-input external to the property. This work aimed to produce and evaluate the agronomic efficiency of organic compounds with the addition of phosphatic and potassic rocks, and microbial inoculant, on lettuce in organic system. The experiments were conducted in the municipality of Capim Branco, Minas Gerais, Brazil, and the compounds were produced in open static piles without aeration, covered with straw, with revolving every 15 days. The agronomic efficiency of the products was evaluated in protected environment by plastic tunnel. There were produced and tested six compounds obtained from three different mixtures of agricultural and animal waste or debris and rocks, with and without addition of microbial inoculant (IM). We used a randomized block design with three replications, in a factorial scheme (3x2x7) consisting of three types of waste mixtures, with and without the addition of microbial inoculant (IM) and seven sampling periods (15, 30, 45, 60.75, 90 and 105 days) for chemical characterization (C/N ratio, macro and micro-nutrients). To evaluate the agronomic efficiency of the compounds, we tested eight treatments consisted of six compounds obtained, a compound of the producer in the region, and a control treatment without fertilizer in a randomized block design with three replications. After 35 days of cultivation, we evaluated the fresh mass accumulation, form and content of N, P and K in the aerial part of the lettuce plants. The results of the statistical analysis showed a significant difference between the compounds regarding the chemical composition, regardless of the analyzed parameters. Products bearing rocks have higher levels of macro-nutrients in relation to others. And, similarly, the addition of inoculant (IM) showed positive and synergistic effect of the rocks on the quality of the compounds obtained. Regarding the lettuce productivity, a significant difference was detected only for the fresh weight of the shoot due to inoculation with microorganisms. The lack of response of the plant to the compounds in relation to the chemical composition has been attributed in part to the high level of soil fertility used. We can concluded that the incorporation of phosphatic and potassic rock and microbial inoculant (IM) contributed to the improvement of the quality of the compounds as a source of nutrients for growing lettuce in organic system.

Keywords: composting; Nutrient cycling; inoculant; Dust rock; phosphate

² Guindace Committe: Dr. Ivanildo Evódio Marriel (Advisor), Profa. Dra. Leila de Castro Louback Ferraz (CoAdvisor).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Médias semanais da T°C dos três compostos sem IM e dos três compostos com IM (médias obtidas a partir das medições diárias) no interior das pilhas de compostagem no período de 105 dias, tendo como referência a temperatura ambiente (Tamb). *Médias das T°C dos compostos sem IM são apresentadas em azul, os compostos com IM são apresentadas em vermelho e as temperaturas ambiente (Tamb) são apresentadas em verde. 22

Figura 2. Regressão Polinomial do comportamento da Relação C/N, durante o processo de compostagem: Composto 1 – C1 (Sem IM e Com IM), a); Composto 2 – C2 (Sem IM e Com IM), b) e Composto 3 – C3 (Sem IM e Com IM), c). 26

Figura 3. Regressão Polinomial do comportamento do Nitrogênio N (%), durante o processo de compostagem: Composto 1 – C1 (Sem IM e Com IM), a); Composto 2 – C2 (Sem IM e Com IM), b) e Composto 3 – C3 (Sem IM e Com IM), c). 31

Figura 4. Produção massa fresca da parte aérea [MFPA (g/p)], do uso dos diferentes tratamentos no cultivo de alface, colhidos aos 35 dias após transplante. Valores médios de três repetições. Cultivo sob o sistema orgânico de produção, em ambiente protegido por túnel plástico. Médias seguidas por letras iguais minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste Scott Knott com 5% de probabilidade. 35

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características químicas das misturas utilizadas no processo de compostagem. 15
- Tabela 2.** Granulometria dos compostos orgânicos enriquecidos com rochas e inoculante microbiano, avaliada ao final de 105 dias. 19
- Tabela 3.** Perda de volume em m³, peso (massa) em kg, rendimento e redução em %, ocorrido no período do processo de compostagem, avaliada ao final com 105 dias. 20
- Tabela 4.** Análise de Variância de médias obtidas no experimento em parcelas subdivididas; valores das fontes de variação (FV), quadrados médios (QM), compostos orgânicos produzidos (Sem IM e Com IM), relação C/N e os teores de P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn em sete épocas de avaliação (15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias). 25
- Tabela 5.** Efeito simples dos compostos orgânicos produzido sem e com o uso de inoculante microbiano (IM), em parcelas subdivididas em sete épocas de avaliação (15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias), para o parâmetro da relação C/N e os teores de P, K, S, Ca e Cu. 27
- Tabela 6.** Efeito sobre a disponibilidade média de Mg, Fe, Mn e Zn, dos compostos orgânicos e a interação destes compostos sem e com a adição de inoculante microbiano, em sete épocas de avaliação (15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias). 30
- Tabela 7.** Análise de Variância do experimento do uso dos diferentes tratamentos no cultivo de alface, colhidos aos 35 dias após transplante. Valores médios de três repetições. Cultivo sob o sistema orgânico de produção, em ambiente protegido por túnel plástico. 34
- Tabela 8.** Valores médios de três repetições, do uso dos diferentes tratamentos no cultivo de alface, colhidos aos 35 dias após transplante. Cultivo sob o sistema orgânico de produção, em ambiente protegido por túnel plástico. 34

1. INTRODUÇÃO

De modo geral, o crescimento populacional implica maior demanda por alimentos e, conseqüentemente, maior consumo de fertilizantes. O Brasil possui vantagens competitivas entre os líderes globais na oferta de alimentos, fibras e bioenergia para mercado interno e externo, em função de suas condições favoráveis de clima e solos, associadas às tecnologias disponíveis e extensas áreas potencialmente agricultáveis.

Entretanto, principalmente em regiões com solo de baixa fertilidade natural, como os de cerrado, a manutenção ou incremento da produtividade agrícola depende do reabastecimento das reservas de nutrientes que são removidas do sistema solo-planta. No modelo agrícola predominante no País, o suprimento destes elementos baseia-se na aplicação intensiva de fertilizantes sintéticos. Contudo, esta prática apresenta algumas limitações econômicas e ambientais, uma vez que a agricultura brasileira é altamente dependente de insumos importados. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), em 2014, foram importados 70% do nitrogênio, 50% de fósforo e 90% de potássio, do total de fertilizantes consumidos no País. Ademais, a adição de agroquímicos pode resultar em degradação do ecossistema, do solo e do meio ambiente (Johannsen & Armitage, 2010), particularmente em ambientes com maior vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas, como os cársticos, que são representativos da microrregião de Sete Lagoas-MG (Fernandes et al., 2013).

Vale salientar que a produção agropecuária gera quantidades elevadas dos mais variados resíduos de origem animal, vegetal ou agroindustrial (Costa et al., 2009) que, não raramente, são dispostos de forma incorreta, com impactos negativos ao equilíbrio agroecológico (Oliveira e Jucá, 2004). Por outro lado, quando tratados adequadamente, estes materiais orgânicos constituem importantes fontes de nutrientes e aporte de matéria orgânica ao solo (Hassen et al., 2001).

Dentre os métodos de tratamentos viáveis para o tratamento de resíduos orgânicos disponíveis em fazendas, o processo de compostagem aeróbia apresenta vantagens em relação aos demais, em função da qualidade físico-química do produto final e de seu baixo custo operacional. A compostagem pode ser entendida como a decomposição biológica e estabilização de substratos orgânicos, sob condições que permitam o desenvolvimento de temperaturas termofílicas como resultado do calor produzido biologicamente, com um

produto final suficientemente estável para armazenamento e aplicação na terra, resultando em melhoria de seus atributos químicos, físicos e biológicos (Haug, 1993), especialmente, em áreas degradadas. Neste processo de decomposição, participam diferentes comunidades microbianas, incluindo micro-organismos aeróbios mesófilos, termotolerantes e termofílicos, cujas funções são moduladas pela qualidade da matéria prima, fatores bióticos e abióticos.

O uso adequado de compostos orgânicos pode atender plenamente parte da demanda crescente da agricultura em nutrientes essenciais, principalmente, em sistemas de produção com limitações para o uso de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade (Leal, 2006). Esta prática possibilita assim a substituição destes recursos não renováveis, com redução da dependência do País em fertilizantes importados e, em particular, em sistemas agrícolas de base familiar, melhorando sua sustentabilidade econômica e ecológica, bem como sua trabalhabilidade (White et al., 2013).

O desenvolvimento e inserção de inovações tecnológicas ao processo de compostagem podem contribuir significativamente para a expansão da adoção desta tecnologia, resultando em aumento de renda para o produtor, além de contribuir para mitigação de emissão de gases de efeito estufa atribuída à agricultura. Dentre estas inovações, incluem-se a adição de inoculantes microbianos de grupos funcionais específicos e de rochas, que incrementam a disponibilidade de nutrientes do composto.

Atualmente, estão bem estabelecidos os benefícios da utilização de compostos sobre a produtividade de diferentes culturas, principalmente sobre espécies hortícolas, cuja eficiência varia em função do tipo de solo e do composto utilizado.

No Estado de Minas Gerais, o município de Capim Branco representa um dos principais polos de produção e fornecimento de hortaliças da região metropolitana de Belo Horizonte, com certificação de produtos orgânicos. Neste caso, os agricultores são assistidos de acordo com a Política e Diretrizes Técnicas da Emater-MG (Emater, 2011), com ênfase em utilização de práticas agrícolas alternativas e ou de base agroecológica. Nestes sistemas, a alface é a hortaliça folhosa mais importante e representa 22,6% dos produtos comercializados (Santos, 2014). Neste trabalho, procurou-se explorar a possibilidade de incrementar a disponibilidade de P e K a partir de rochas de baixa solubilidade incorporadas na decomposição de resíduos orgânicos, na presença e ausência de microrganismos solublizadores selecionados e avaliar os produtos na cultura de alface, em ambiente protegido.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Agricultura Sustentável e Cultivo Orgânico

A qualidade do solo constitui componente-chave para o desenvolvimento agrícola sustentável. Não obstante sua complexidade conceitual, agricultura sustentável envolve o manejo adequado de recursos agrícolas de modo a satisfazer as necessidades humanas, enquanto mantém ou incrementa a qualidade ambiental e conserva os recursos naturais. Isto, necessariamente, implica considerar o relacionamento entre produtividade e qualidade estáveis dos produtos, diversidade biológica e qualidade do solo (Harwood, 1990; Kennedy & Smith, 1995; White et al., 2013).

A manutenção ou incremento da produtividade agrícola, que atenda a crescente demanda da população em alimentos, depende do reabastecimento das reservas de nutrientes que são removidas do sistema solo-planta. No caso da chamada agricultura moderna, o *input* de nutrientes é efetuado totalmente via adição de agroquímicos, fertilizantes e pesticidas, que apresentam respostas rápidas em termos de rendimentos físicos de produtos agrícolas (Motes, 2010). Entretanto, estas práticas podem resultar em degradação do ecossistema, do solo e do meio ambiente (Altieri & Nicholls, 2001; Johannsen & Armitage, 2010; Trautmann et al., 1998).

Por outro lado, agricultura também é geradora de quantidades apreciáveis de coprodutos de origem animal, vegetal e de agroindústria, que, se não tratados adequadamente também se transformam em fontes de poluentes. Mas, em fazendas, há alternativas tecnológicas bem estabelecidas para tratamento e reciclagem de resíduos orgânicos – decomposição anaeróbia (biodigestão) e aeróbia de resíduos (compostagem) – que produzem fertilizantes orgânicos valiosos, que são de grande interesse principalmente em propriedades rurais, onde os solos se encontrem em algum estágio de degradação (Hassen et al., 2001).

Entretanto, outros efeitos relevantes da compostagem referem-se ao aumento dos teores de carbono (C) no solo tratados com compostos orgânicos. Considera-se o sequestro de carbono no solo como uma das medidas eficientes de mitigar a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) para atmosfera, atribuída à agricultura (Favoio & Hogg, 2008; Freibauer et al., 2004; Ippc, 1996). Assim, a expansão da adoção desta tecnologia pode contribuir significativamente para o Brasil atingir suas metas de reduzir a emissão de GEE, nos

próximos anos, que foram comprometidas na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21), realizada em Paris, em 2015.

Além disso, permite a substituição de insumos obtidos a partir de recursos não renováveis reduz a dependência do País em fertilizantes importados, melhorando a competitividade, sustentabilidade econômica e ecológica, bem como a trabalhabilidade da atividade agrícola brasileira (Chen et al., 2011; Favoino & Hogg, 2008; White et al., 2013).

2.2. Processo de compostagem

A compostagem pode ser definida como a decomposição biológica e estabilização de substratos orgânicos sob condições que permitam o desenvolvimento de temperaturas termofílicas como resultado do calor produzido biologicamente, com um produto final suficientemente estável para armazenamento e aplicação na terra, sem efeitos ambientais adversos (Haug 1993). Vale salientar que uma gama diversificada de micro-organismos aeróbios mesófilos, termotolerantes e termofílicos, incluindo bactérias, actinomicetos, leveduras e outros fungos, atuam neste processo (Beffa et al., 1996; Hassen et al., 2001) e que fatores bióticos e abióticos estão envolvidos na modulação da estrutura e função de comunidades microbianas durante a compostagem.

2.2.1. Fases da compostagem

Alguns autores consideram que o processo de compostagem compreende quatro fases: 1ª fase mesofílica – é a fase em que predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40 °C, tendo duração média de dois a cinco dias; 2ª fase termofílica – quando o material atinge sua temperatura variando de 40 a 65 °C, e é degradado mais rapidamente, durante poucos dias a vários meses, de acordo com as características do material; 3ª fase de resfriamento – é marcada pela queda da temperatura (40 °C) aproximando aos valores da temperatura ambiente (26 °C); e a 4ª fase da maturação: é o período de estabilização que produz um composto maturado, altamente estabilizado e humificado, livre de toxicidade, que é denominado húmus – pode ter a duração de semanas ou meses (Almeida et al., 2005; Peixoto, 2005; Trautman & Olynciw, 2005; Vallini, 1995).

2.2.2. Fatores que afetam o processo de compostagem

Os principais fatores que influenciam o processo de compostagem são os que afetam direta ou indiretamente o metabolismo dos seres vivos responsáveis pela decomposição dos resíduos e sua transformação num produto estável e rico em substâncias húmicas, pelo controle e otimização dos parâmetros operacionais. Tem-se, assim, como objetivo principal, proporcionar as condições ótimas para o desenvolvimento dos micro-organismos desde a etapa de condicionamento dos materiais (Brito, 2006; Costa et al., 1991).

2.2.2.1. Relação C/N

A relação entre o carbono e o nitrogênio (C/N) por ser um parâmetro útil na preparação das misturas dos resíduos orgânicos, sendo e estudada por vários autores. Os micro-organismos requerem 20 partes de carbono por uma de nitrogênio (20/1), estando o ótimo entre 25 e 30:1. Para valores de C/N inferiores a 20 (maior conteúdo de N) ocorrem perdas de nitrogênio na forma amoniacal; e para relações C/N superiores a 30 o processo torna-se lento (Costa et al., 1991). Após o processo de compostagem, a relação C/N do composto bioestabilizado deve estar por volta de 12/1 até 10/1 (Brito, 2006; Kiehl, 2002; Marín, 2005).

O carbono é importante e determina a sua utilização pelos micro-organismos (Mustin, 1987; Vallini, 1995), uma vez que é utilizado como fonte de energia para a atividade dos micro-organismos, representando cerca de metade da massa das células microbianas, sendo dez partes incorporadas ao protoplasma celular e vinte partes eliminadas como gás carbônico. Já o nitrogênio é utilizado para o crescimento dos micro-organismos, sendo essencial para a composição de proteínas as quais representam aproximadamente metade da biomassa microbiana, ou seja, uma proporção de dez partes de carbono para uma de nitrogênio (Brito, 2006; Haug, 1993; Russo, 2004).

2.2.2.2. Temperatura

Em condições aeróbias, a temperatura é o principal fator que determina os tipos, a diversidade de espécies, e a taxa de atividades metabólicas de micro-organismos, além de

outros fatores bióticos e abióticos que determinam a eficiência do processo (Eggen et al., 2001; Cédric et al., 2005; Lasaridi et al., 2006).

A temperatura pode variar em função da atividade microbiana. Geralmente, considera-se que 60 °C é o pico de temperatura ideal, pois os organismos patogênicos e as sementes de ervas daninhas são destruídos pelo longo tempo de exposição a essas condições, sem, contudo, haver perda excessiva de nutrientes como o nitrogênio (Peixoto, 2005; Trautmann et al., 1998).

Segundo Hassen et al. (2001), a autoesterização induzida por elevadas temperaturas (60 a 65 °C) durante a compostagem causa significativa mudança na comunidade bacteriana. De acordo Misra & Roy (2003), se a temperatura atinge valores acima de 71 °C, os micro-organismos são destruídos, o composto esfriará e todo processo terá que recomeçar (Leal, 2006).

2.2.2.3. pH

O pH do composto pode ser indicativo do estado de compostagem dos resíduos orgânicos. Jimenez e Garcia (1989) indicaram que durante as primeiras horas de compostagem, o pH decresce até valores de aproximadamente 5; e posteriormente, aumenta gradualmente com a evolução do processo de compostagem e estabilização do composto, alcançando, finalmente, valores entre 5 e 8 (Kiehl, 2004). No entanto, Primavesi (1981) afirma que as alterações do pH podem ativar ou quase inativar as enzimas presentes nos micro-organismos.

Os compostos de dejetos animais, geralmente apresentam índice de pH neutro ou levemente alcalino, entre 7 e 8 (Bombilio, 2005; Cassol et al., 1994). Os micro-organismos que atuam na compostagem têm como faixa ótima de desenvolvimento pH entre 6,5 e 8, portanto, quando bem conduzida, a compostagem não apresenta problemas relacionados ao controle de pH (Deon et al., 2007; Nagasaki et al., 1993). De acordo com Tejada et al. (2001), pH alcalino associado com elevadas temperaturas durante o processo de compostagem indica maior disponibilidade de N e maior atividade microbiana, enquanto pH inferior a 6 resulta em menores temperaturas e menor disponibilidade de N.

2.2.2.4. Umidade

A umidade é indispensável para a atividade metabólica e fisiológica dos micro-organismos, sendo que a considerada ideal para a compostagem varia entre 50 e 60% (Pereira Neto, 1994). Segundo Kiehl (2002), a umidade é muito importante na sobrevivência dos micro-organismos, na manutenção da temperatura e na aeração do composto.

Por outro lado, teores de umidade baixos, menores do que 40% inibem a atividade microbiológica, diminuindo a taxa de estabilização (Pereira Neto, 1987; Richard et al., 2002). Se a umidade for elevada acima de 65%, proporcionará decomposição lenta, condições de anaerobiose, perda de nutrientes (chorume), atração de vetores, produção de maus odores e substâncias indesejadas (Pereira Neto, 2007; Peixoto, 2005). Já quando a umidade é excessiva, reduz-se a penetração de oxigênio na leira, uma vez que a matéria orgânica decomposta é hidrófila e as moléculas de água se aderem fortemente à superfície das partículas havendo aglutinação, saturação dos micro e macroporos, baixando a resistência estrutural da leira, restringindo sobremaneira a difusão de oxigênio, afetando as propriedades físicas e químicas do composto (Ecochem, 2004; Tiquia et al., 1997b). Este fato reduz a temperatura média da leira (para faixa mesofílica de 20 a 40 °C) e a concentração de oxigênio para valores menores que 5% (Diaz et al., 1982; Hughes, 1980).

Em caso de falta de água, pode-se adicioná-la uniformemente sobre o material em compostagem e em caso de seu excesso, podem-se misturar materiais absorventes, como: palhas, camas e serragens ou maravalhas (Marriell et al., 1987).

2.2.2.5. Aeração e revolvimento

O oxigênio é de vital importância para a oxidação biológica do carbono dos resíduos orgânicos, para que ocorra produção de energia necessária aos micro-organismos que realizam a decomposição. Parte dessa energia é utilizada no metabolismo dos micro-organismos e o restante é liberado na forma de calor (Kiehl, 1985; Peixoto, 2005).

De acordo com a disponibilidade de oxigênio, a compostagem varia em dois processos: na presença de oxigênio (aeróbio) e na sua ausência (anaeróbio). A compostagem aeróbia corresponde à decomposição dos substratos orgânicos na presença de oxigênio, sendo que os principais produtos do metabolismo biológico são CO₂, H₂O e energia. Predominam

micro-organismos aeróbios, sendo os agentes mais destacados os fungos, bactérias e actinomicetos (Kiehl, 2004; Peixoto, 2005). De outra forma, na compostagem anaeróbia, a decomposição dos substratos orgânicos ocorre na ausência de oxigênio, produzindo CH₄ e CO₂, além de produtos intermediários, como ácidos orgânicos de baixo peso molecular. O inconveniente de uma compostagem malconduzida pode levar a oxidação anaeróbia, por causa da não liberação completa do nitrogênio aminado como amônia, com a conseqüente formação de aminas incompletas, acompanhada de putrefação, mau cheiro eliminado na atmosfera na forma de gás ácido sulfídrico, mercaptanas (dimetildisulfeto e metilmercaptanas) e outros produtos contendo enxofre, todos com cheiro de “ovo podre” (Kader et al., 2007; Kiehl, 1998; Pereira Neto, 1996).

2.2.2.6. Tamanho das partículas e granulometria

O tamanho das partículas dos materiais a serem compostados exerce grande influência no processo, por aumentar a superfície disponível para o ataque microbiológico, cuja intensidade está relacionada à superfície específica do material a ser compostado, sendo que, quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos; acelerando o processo de decomposição, diminuindo o período de compostagem e melhorando sua eficiência (FEAM, 2002; Fernandes e Silva, 1999; Kenner e Das, 1996).

As partículas devem ter entre 1,3 cm e 7,6 cm. Abaixo deste tamanho seria necessário utilizar sistemas de ar forçado, enquanto que os valores superiores podem ser bons para pilhas mais estáticas e sem arejamento forçado. O ideal é que os materiais utilizados na compostagem não tenham dimensões superiores a 3 cm de diâmetro. Quanto menor for o tamanho das partículas, maior é a sua superfície específica e, portanto, mais fácil é o ataque microbiano ou a disponibilidade biológica das partículas, mas em contrapartida, aumentam os riscos de compactação e de falta de oxigênio (Kiehl, 2002; Primavesi, 1981).

2.2.2.7. Dimensão e formato das pilhas/leiras

A dimensão e a forma do tamanho da pilha/leira de compostagem também influenciam na velocidade de compostagem, designadamente, pelo efeito que têm sobre o arejamento e a

dissipação do calor da pilha. O tamanho ideal da pilha pode ser variável. O volume de 1,5 m x 1,5 m x 1,5 m tem sido considerado bom para materiais diversos (Brito, 2006; Misra & Roy, 2003). No entanto, o volume deve depender do sistema e das tecnologias de compostagem utilizadas (Kiehl, 1985).

Quanto à forma, as pilhas podem ter a seção triangular ou trapezoidal. A forma triangular, com ápice ligeiramente arredondado, é recomendada para as estações chuvosas, pois favorece o escoamento da água da chuva. A trapezoidal, ao contrário, facilita a infiltração de água (isso às vezes, pode ser conveniente). Essa forma é mais utilizada para construção de leiras mais baixas e largas (Magalhães et al., 1993; Silva, 2000). Durante o processo as pilhas podem sofrer uma redução de 40% a 60% do seu volume inicial. Essa redução pode servir de indicativo que o processo está ocorrendo e proporciona redução de custos de transporte do composto, dos locais onde ele é gerado, para o local onde será utilizado (Marín et al., 2005).

2.3. Influência da Incorporação de Rochas e Aditivos Microbianos no Processo de Compostagem

Os custos elevados e dependência de fertilizantes importados têm forçado países em desenvolvimento a incentivar o uso de rochas de ocorrências locais, principalmente como fontes de fósforo e potássio, para incrementar a produtividade agrícola (FAO, 2004; Van Straaten, 2002). Mas, o desenvolvimento e inserção de inovações tecnológicas ao processo de compostagem podem contribuir significativamente para a expansão da adoção desta tecnologia, em razão de melhoria da composição química dos produtos. Embora seja reconhecida como uma opção econômica e sustentável para a gestão de resíduos, por ser de fácil realização, no local do produto (Singh e Amberger 1998; Biswas et al., 2009), os compostos tradicionais apresentam baixo teor de nutrientes, particularmente P e K, e estes nutrientes precisam ser suprido de alguma forma. Várias abordagens têm sido usadas ou propostas para aumentar a disponibilidade de nutrientes de agrominerais, incluindo: (i) incorporação de aditivos; (ii) acidulação parcial; (iii) mistura de rochas com fontes solúveis e (iv) métodos microbianos (van Straaten, 2002).

A compostagem de resíduos orgânicos com rochas naturais mostra-se promissora para aumentar a dissolução do mineral por metabólitos microbianos liberados durante o processo

(FAO, 2009; Biswas & Narayanasamy, 2006; Hellal et al., 2012; Mihreteab et al., 2015) principalmente como uma tecnologia de baixo *input* para melhorar o valor fertilizante do composto (Mahimairaja et al., 1995).

Adicionalmente, o uso de inoculantes microbianos à base de estirpes de grupos funcionais específicos, pré-selecionados *in vitro*, pode estimular a taxa de decomposição de resíduos orgânicos e melhorar a biodisponibilidade nutrientes durante a compostagem de resíduos orgânicos, em particular quando enriquecidos com rochas potássicas e fosfáticas (Biswas, 2011; Ogbo, 2010; Vassilev, 2009).

Entretanto, eficiência dos aditivos microbianos depende da natureza, do tipo e presença do micro-organismo presente na matéria prima a ser decomposta (Boopathy et al, 2001; Lopez et al., 2002; Leal, 2006).

2.4. Uso do Composto Orgânico na Agricultura e Qualidade Ambiental

O uso adequado de compostos orgânicos pode atender plenamente parte da demanda crescente da agricultura em nutrientes essenciais, principalmente, em empreendimentos de base familiar, de base ecológica ou sistema de produção orgânica, em que não se permite o uso de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade (Brasil, 2003; Leal, 2006), ou ainda em propriedades rurais, onde os solos se encontrem em algum estágio de degradação (Hassen et al., 2001). Os agricultores podem produzir e usar a compostagem através da utilização de materiais obtidos a partir da sua propriedade ou a região do entorno, que são considerados fontes economicamente importantes de nutrientes (Araújo Neto et al, 2009; Medeiros et al., 2007) e desempenham um papel central na agricultura sustentável (Karthigeyan & Alagesan, 2011).

Existem ainda, na literatura, evidências diversas relacionadas aos efeitos supressivos de compostos aplicados ao solo sobre a proliferação de organismos fitopatogênicos e, conseqüentemente, contribuindo para redução da severidade de algumas doenças do sistema radicular de diferentes culturas (De Brito & Gagne, 1995; Mandelbaum & Hadar, 1997).

Esses efeitos, em parte, estão associados à atividade de micro-organismos antagonistas presentes nestes materiais. Por outro lado, deve-se considerar que o processo de compostagem, se não conduzido adequadamente, pode permitir a proliferação e disseminação

de micro-organismos potencialmente nocivos à saúde humana, animal e vegetal (Beffa et al., 1996; Millner et al., 1994; Strauch, 1996; Vanotti et al., 2005).

Essencialmente, o composto estabilizado apresenta características que permitem melhoria da qualidade e fertilidade do solo, em relação aos seus atributos químicos, físicos e biológicos (Borken et al., 2002; Carter, 2002). Em geral, os compostos orgânicos de qualidade possuem efeito corretivo do pH e elevada Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (Wrap, 2004), que está estritamente relacionada à capacidade produtiva do solo, pois demonstra seu maior poder de suprimento de nutrientes essenciais às plantas (Ca, Mg, K e NH_4^+), além da liberação de nutrientes via mineralização dos compostos orgânicos.

A qualidade do composto pode ser caracterizada por alguns índices de estabilidade e maturidade, que podem ser monitorados durante ou no final do processo, que inclui parâmetros físico-químicos e biológicos, com destaque para relação C/N, pH, relação NO_3/NH_4 e taxa respiratória (Baby et al., 2004; Lasaridi et al., 2006; Leal, 2006). Atualmente, estão bem estabelecidos os benefícios da utilização de compostos como fontes de nutrientes às diferentes culturas (Santos, 2014), principalmente sobre espécies hortícolas, inclusive a cultura da alface, permitindo elevar a produtividade e qualidade de alimentos, com baixo impacto ambiental.

O sistema orgânico de produção que dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências conforme Lei 10.831/2003, todo aquele em que se adotam técnicas específicas e que não usa fertilizantes sintéticos, agrotóxicos, reguladores de crescimento ou aditivos sintéticos para produção agrícola e alimentação animal (Brasil, 2003; Santos, 2014). Dentre estas, destacam-se reciclagem destes materiais como fonte de nutrientes, redução de custos econômicos e ambientais, redução de insumos químicos importados, além de ser indispensável em sistemas de produção orgânica, em que a legislação não permite o uso de agroquímicos (Santos et al., 2015), principalmente sobre espécies hortícolas, inclusive a cultura da alface, permitindo elevar a produtividade e qualidade de alimentos, com baixo impacto ambiental.

2.4.1. Uso de compostos orgânicos na cultura da alface

A alface, *Lactuca sativa* (família *Asteraceae*) é cultivada em todas as regiões brasileiras, sendo uma das hortaliças mais comum nas hortas domésticas e a principal folhosa

consumida pela população, em função de preço acessível, para o consumidor, pelo sabor e qualidade nutricional e nutritiva (Henz & Suinaga, 2009; Resende et al., 2007; Ricci, 1993).

Atualmente, existem pelo menos quatro sistemas produtivos de alface no Brasil: o cultivo convencional e o sistema orgânico em campo aberto; o cultivo protegido no sistema hidropônico e no solo (Filgueira, 2005; Resende et al., 2007; Segovia, 1991). O cultivo orgânico segue os preceitos básicos de uso de adubação orgânica, como compostos e adubos verdes, e manejo de doenças, insetos, artrópodes e plantas espontâneas de acordo com as normas preconizadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento ou de certificadoras (Cavalcante, 2008; Resende et al., 2007).

Os efeitos benéficos da matéria orgânica englobam aspectos químicos, físicos e biológicos do solo. Especificamente na produção orgânica de hortaliças, seu papel na fertilidade e no condicionamento do solo é fundamental, pois além de funcionar como reservatório de nutrientes, a Matéria Orgânica atua em aspectos importantes para a produção destas culturas, tais como: melhoria da aeração e da capacidade de retenção de água do solo; redução de perdas de solo; melhoria de sua estrutura, propiciando uma drenagem mais eficiente e o melhor desenvolvimento das raízes; e como substrato para a atividade microbiana; tendo como princípio básico a diversificação das atividades, aproveitando-se ao máximo a reciclagem de nutrientes (Primavesi, 1981; Senesi, 1989; Swift e Woome, 1993).

As recomendações de doses variam com o tipo de composto orgânico aplicado, com o solo, a cultura e as condições ambientais. Em geral, as taxas de aplicação estão entre 10 a 100 t ha⁻¹, porém níveis mais elevados não são raros (Schneider, 1983). Vários pesquisadores têm observado respostas positivas do uso de compostos orgânicos na produtividade e qualidade da alface (Marchi 2006; Nakagawa et al., 1992, 1993; Resende et al., 2007).

Outro ponto importante nos cultivos em determinadas épocas do ano refere-se ao uso do cultivo protegido, possibilitando melhorias na qualidade e regularização da oferta na entressafra de produtos hortícolas (Filgueira, 2000; Ludke, 2009). Além disso, tem-se observado redução do ciclo da cultura com a utilização de ambiente protegido (túnel plástico), resultando em ganhos, como na menor lixiviação de nutrientes, menor consumo de água e maior controle de pragas e doenças (Ludke, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido, no município Capim Branco, Estado de Minas Gerais, localizado pelas coordenadas 19°33'03" latitude sul e 44°08'06" longitude oeste, sendo a altitude média de 797 m, apresentando clima Aw Tropical, com inverno seco, de acordo com classificação de Köppen. No trabalho, trata-se da produção de compostos a partir de diferentes misturas de resíduos e teste de sua eficiência agrônômica na cultura da alface sob o sistema orgânico de produção, em ambiente protegido por túnel plástico.

3.1. Compostagem de Resíduos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano

O experimento de compostagem foi conduzido na Fazenda Monjolinhos, Capim Branco-MG, entre julho e outubro de 2014. Utilizou-se o método de compostagem em pilhas estáticas (aeróbia), foram montadas seis pilhas, com dimensões de 4,5 x 1,2 x 1,0 m (5,4 m³). O volume de cada pilha foi definido em função da disponibilidade da matéria-prima. A largura de (1,2 m) e a altura (1,0 m) foram definidas visando facilitar sua montagem, revolvimento e ventilação. As pilhas foram montadas a céu aberto, sob solo compactado, em cinco camadas.

Adotou-se como matéria-prima o capim napier (*Pennisetum purpureum*) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) utilizando-se toda a parte aérea, a folha mais toletes e caules da planta, picado em colhedeira de forragens, com tamanho das partículas variando 1 a 5 cm; esterco bovino semi curtido e peneirado na malha variando de < 4 mm, entre 4 a 7,93 mm e > 7,93 mm; cama de frangos, com a base de serralha de pinus e peneirado na malha < 4 mm; fosfato natural constituído de fosfato de Araxá-MG em pó, contendo 85% da fração granulométrica < 500 microns, e 15% entre 500 a 1.000 microns e verdete extraído no município de Cedro do Abaeté-MG, moído em desintegrador a fim de diminuir o tamanho das partículas das pedras brutas até a forma de pó, utilizando-se 43,2% da fração granulométrica < 500 microns, 30,3% entre 500 a 1.000 microns e 26,5% entre 1.000 a 2.000 microns.

Foram produzidos seis compostos a partir de três misturas de resíduos da agropecuária, sem e com adição de inoculante microbiano (IM):

- Composto 1 (C1) – capim napier picado (75%) + esterco de bovinos (25%);

- Composto 2 (C2) – cana-de-açúcar picada (75%) + esterco de bovinos (12,5%) + cama de frangos (12,5%);
- Composto 3 (C3) – cana-de-açúcar picada (75%) + esterco de bovinos (12,5%) + cama de frangos (12,5%) com incorporação de rochas fosfática e potássica;
- Composto 4 (C4) – Composto 3 com adição de IM;
- Composto 5 (C5) – composto 2 com adição de IM; e
- Composto 6 (C6) – composto 1 com adição de IM.

Para a adição de rochas nos compostos 3 (C3 e C4) sem e com adição de inoculante microbiano (IM), foram utilizadas as rochas fosfato de Araxá como fonte de fósforo de baixa solubilidade (rocha fosfática) e verdete de Cedro do Abaeté, como fonte de potássio de baixa solubilidade (rocha potássica), na proporção de 12,5% (p/p).

Os tratamentos foram denominados como:

- C1, C2 e C3 [sem inoculante microbiano (IM) e ou (Sem IM)]; e
- C1 + IM, C2 + IM e C3 + IM [com inoculante microbiano (IM) e ou (Com IM)].

O cálculo da quantidade de matéria para cada mistura na montagem da pilha foi realizado baseando no modelo de compostagem regional na proporção 3:1. O controle da umidade foi realizado diariamente com adição de água, quando necessária, mantendo-se a umidade próxima a 50%. Após a montagem as pilhas foram reviradas periodicamente, a cada 15 dias.

O ensaio foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com três repetições, em parcelas subdivididas, no esquema fatorial (3 x 2 x 7), sendo três tipos de misturas de resíduos sem e com a adição de inoculante microbiano (IM) e sete épocas de amostragem (15, 30, 45, 60,75, 90 e 105 dias).

No dia da montagem das pilhas de compostagem, foram coletadas amostras das diferentes misturas utilizadas (I – C1; II – C2 e III – C3), as quais apresentaram as composições químicas apresentadas na Tabela 1.

O local de experimentação apresentou no dia da montagem das leiras, variação na temperatura ambiente com máxima de 29,6 °C, média de 20,48 °C e mínima de 11,3 °C; umidade relativa (UR) com média de 53%; ventos com velocidade média de 1,87 m s⁻¹ e não houve dado de precipitação para este dia. Os dados descritos foram disponibilizados pela Estação Meteorológica da Embrapa Milho e Sorgo, por ser a estação mais próxima do ensaio.

Tabela 1. Características químicas das misturas utilizadas no processo de compostagem.

Tratamentos	Parâmetros										
	C	N	P	K	Ca	S	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	--- % ---		--- g/kg ---					--- mg/kg ---			
Composto1 (C1)	28,6	1,2	2,9	15,4	9,7	1,2	2,3	11780,0	414,8	16,2	68,2
Composto2 (C2)	29,2	1,4	5,4	16,2	13,2	2,1	2,8	13250,0	497,3	23,2	130,0
Composto3 (C3)	26,5	1,0	8,4	11,5	59,6	1,6	2,7	19115,0	729,1	24,2	164,0

3.2. Preparo do Inoculante Microbiano

O inoculante microbiano (IM) foi constituído de uma mistura de dois isolados de fungos (*Penicillium verruculosum*) e um isolado de bactéria, previamente selecionados como eficientes na solubilização de fósforo (P) e de potássio (K), (Marriel, comunicação pessoal).

Para obtenção do inóculo, os micro-organismos foram cultivados em meio de cultura líquido, durante cinco dias, sob agitação, em temperatura ambiente. Após este período, as culturas foram centrifugadas e ressuspendidas em solução salina (NaCl 0,85%) e a concentração ajustada para aproximadamente 10^9 células ou propágulos/mL. O IM após a concentração final, foi aplicado no momento da montagem das pilhas adicionando-se a suspensão microbiana com aproximadamente 10^8 UFC/mL. Foram diluídos 50 mL da suspensão em 10 litros de água e regados em cada camada da pilha de compostagem, distribuindo um total de 9,3 litros da solução por m^3 de biomassa.

3.3. Avaliações

3.3.1. Amostragem

Para a avaliação de temperatura e amostragem para caracterização química das misturas, cada pilha de composto com 4,5 m de comprimento x 1,2 m de largura x 1,0 m de altura foi subdivida em três repetições, com frações de 1,5 m de comprimento considerando-se como cada repetição.

A cada quinze dias, foram coletadas as amostras para caracterização química. Foram coletadas 18 amostras, em oito épocas diferentes, cada uma das repetições com seu ponto de coleta definido, eliminando as bordas e coletando ao centro da pilha numa profundidade aproximada de 30 cm, uma porção da mistura de aproximadamente 500 g, posteriormente

acondicionadas em saco plástico, e levadas para o laboratório de Análises Químicas da Embrapa Milho e Sorgo. As amostras foram secas a 65 °C, trituradas em moinho tipo Willey, passadas por peneira de 0,5 mm.

3.3.2. Granulometria

A caracterização física foi avaliada no composto final aos 105 dias. Foram pesados dois quilogramas de cada composto, fazendo uso de três peneiras de malhas de fundos diferentes (< 4 mm, entre 4 a 7,93 mm e > 7,93 mm). Conforme as referências da Portaria nº 1 (Brasil, 1983), determinou-se como sendo farelado quando 100% das partículas passam através de peneira 4,8 mm (ABNT 4), e 80% através de peneira 2,8 mm (ABNT 7); farelado grosso quando 100% das partículas passam através de peneira de 38 mm e 98 % através de peneira 25 mm.

3.3.3. Redução do volume e peso (massa)

As avaliações da redução do volume e peso foram realizadas, ao final do processo de compostagem, após 105 dias, com a medição com auxílio de uma trena e por meio de uma balança eletrônica, respectivamente.

3.3.4. Temperatura

O monitoramento da temperatura foi realizado diariamente no período da manhã, utilizando um Termômetro Digital Tipo Espeto (Multi Thermometer® Cód. 9227.16.0.00), o qual foi inserido na parte superior de cada repetição a uma profundidade de 0,3m. Foi feita uma média das temperaturas para cada semana de avaliação (média dos sete dias da semana) para os compostos, sem e com a adição de inoculante microbiano (IM), sendo estas relacionadas à temperatura ambiente.

O controle de umidade foi realizado semanalmente com adição de água, quando necessário, mantendo-se umidade próxima a 50%.

3.3.5. pH

Para determinação do pH dos compostos, eles foram submetidos ao procedimento preconizado por Tedesco et al. (1995), onde as amostras foram acrescidas de água destilada na proporção 1:2,5, submetidas a agitação com bastão de vidro e mantidas em repouso por 1 hora. Posteriormente, utilizou-se um pHmetro de bancada com eletrodo de vidro, devidamente calibrado para leitura dos valores de pH.

3.3.6. Caracterização química

A primeira coleta foi realizada após a montagem das pilhas e as demais aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias, para avaliar as características químicas dos compostos orgânicos.

As análises dos teores de Carbono Total foram executadas de acordo com a marcha analítica preconizadas por Yeomans & Bremner (1988), onde as amostras de composto orgânico foram digeridas com $K_2Cr_2O_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e H_2SO_4 concentrado, e posteriormente tituladas com Sulfato Ferroso Amoniacal $0,4 \text{ mol L}^{-1}$. As análises de Nitrogênio Orgânico Total foram realizadas pelo método Kjeldahl, de acordo com Embrapa (2009), onde as amostras tiveram sua completa digestão em Ácido Sulfúrico concentrado e catalisadores tais como sais de Cobre e Titânio em alta temperatura, e tituladas com HCl 0,1 N. A determinação dos teores de K, Na, Ca, Mg se deram por Absorção Atômica, e P por colorimetria após mineralização das amostras, ambas pelo método descrito pela Embrapa (2009).

3.4. Eficiência Agronômica dos Compostos na Cultura da Alface sob o Sistema Orgânico de Produção em Ambiente Protegido por Túnel Plástico

O ensaio foi conduzido na Fazenda Vista Alegre, município de Capim Branco, em Latossolo Vermelho Distrófico, fase cerrado, com a variedade de alface crespa cv “Vanda”, cultivada sob o sistema orgânico de produção, em ambiente protegido por túnel plástico, de 6,2 m de largura x 34 m de comprimento x 3,5 m de altura.

Antes da realização do ensaio, coletou-se uma amostra do solo na profundidade de 0 a 20 cm, e ela foi levada ao Laboratório de Análises Químicas e Fertilidade do Solo, da Embrapa Milho e Sorgo, procedendo-se à determinação dos teores de Soma de Bases (cmolc

dm⁻³), P (mg dm⁻³) e CTC (cmolc dm⁻³). A análise química do solo foi realizada de acordo com as metodologias propostas pela Embrapa (2009), e indicou as seguintes composições: pH em água = 5,5; H+Al = 3,99 cmolc dm⁻³; P = 49,26 mg dm⁻³; MO = 3,29 dag kg; C = 1,91 %; Al = (sem informação); Ca = 8,10 cmolc dm⁻³; Mg = 1,31 cmolc dm⁻³; K = 164 mg dm⁻³; SB = 9,83 cmolc dm⁻³; CTC = 13,82 cmolc dm⁻³; V = 71 %; Sat. Al = (sem informação); B = (sem informação); Cu = 2,99 mg dm⁻³; Fe = 111,20 mg dm⁻³; Mn = 24,26 mg dm⁻³ e Zn = 6,48 mg dm⁻³.

Foram testados oito tratamentos, constituídos de seis compostos descritos no item anterior, mais um composto tradicional do produtor (TCPRO) usado como referência, e um tratamento controle sem adubo (TSOLO), em delineamento de blocos casualizados (DBC), com três repetições. Estes foram incorporados no solo aos 12 dias antes do transplântio das mudas, na dose de 50,0 t ha⁻¹. O produtor usou o composto, produzido previamente na própria fazenda, constituído da seguinte mistura: cana-de-açúcar picada + esterco bovino + cama de frangos + esterco ovino + pó de carvão + fosfato Yoorin, na proporção 1,0: 0,1: 0,1: 0,1: 0,1: 0,01, respectivamente.

Realizou-se a semeadura da alface no dia 24 de janeiro de 2015, objetivando a produção de mudas em bandeja de PVC contendo 200 células, preenchidas com húmus de minhoca e fosfato Yoorin, e o transplântio delas foi efetuado 31 dias após a semeadura.

Cada parcela continha 0,72 m² de área útil, com espaçamento entre linhas de 0,3 m x 0,3 m entre plantas. A umidade do solo durante o cultivo das plantas foi mantida em torno de 60% da Capacidade de Campo, utilizando o sistema de irrigação por microaspersão. A colheita da alface foi realizada 35 dias após o transplântio das mudas, e analisados os parâmetros de Massa Fresca e Massa Seca da parte aérea das plantas, teores e conteúdo de N, P e K, de acordo com as metodologias propostas pela Embrapa (2009).

3.5. Análise Estatística

Para análise estatística dos resultados obtidos nos ensaios, eles foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o software SISVAR, Versão 5.4 (Banzatto & Kronka, 2006). O delineamento utilizado nos tratamentos foi de blocos casualizados, e o desempenho dos diferentes tipos de compostos foi comparado pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Granulometria dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano

Os resultados da análise granulométrica dos compostos estudados ao final dos 105 dias encontram-se na **Tabela 2**. Observou-se que parte dos grânulos dos compostos ficou retida nas peneiras de acordo com sua malha: de 68,8 a 71% em peneira de malha < 4 mm, de 9,3 a 21% em peneira com malha entre 4 a 7,93 mm e 8 a 12,8% em peneira de malha > 7,93 mm.

Tabela 2. Granulometria dos compostos orgânicos enriquecidos com rochas e inoculante microbiano, avaliada ao final de 105 dias.

Tratamentos ^{*/**}	Peneiras		
	< 4 mm	Entre 4 a 7,93 mm	> 7,93 mm
		--- % ---	
C1	68,8	18,5	12,8
C1+IM	69,5	9,8	9,8
C2	69,2	19,3	11,5
C2+IM	69,8	9,3	10,0
C3	69,9	19,6	10,5
C3+IM	71,0	21,0	8,0

* Composto 1 – C1 (capim napier + esterco de bovinos); C1+IM (composto 1 + inoculante microbiano); Composto 2 – C2 (cana-de-açúcar + esterco de bovinos + cama de frangos); C2+IM (composto 2 + inoculante microbiano); Composto 3 – C3 (composto 2 + rocha fosfática e potássica) e C3 + IM (composto 3 + inoculante microbiano). ** Amostra utilizada de dois quilogramas, de cada tipo de tratamento (compostos orgânicos).

Ao final do processo de compostagem houve destaque para o tratamento C3+IM, que apresentou predomínio de material com granulometria < 4 mm, que, de acordo com Fernandes e Silva (1999), é uma grande vantagem, visto que quanto mais fina é a granulometria maior é a área exposta à atividade microbiana, promovendo o aumento das reações bioquímicas, em função do aumento da área superficial em contato com o oxigênio. Corroborando com Kiehl (2004), que afirma que a granulometria do composto maturado é influenciada diretamente pela eficiência do processo de compostagem, pois quanto mais fina a granulometria final do composto maturado, mais eficiente será a ação dos micro-organismos.

Em todos os tratamentos, o percentual de compostos com granulometria < 4 mm, houve o aumento em comparação às demais malhas, o que demonstra uma eficiência de decomposição em relação ao início do processo de compostagem. Este comportamento é

esperado, provavelmente em razão dos altos teores de lignina e da relação C/N presentes nos materiais utilizados.

Os resultados da granulometria avaliados no final do processo de compostagem apresentaram valores divergentes aos encontrados por Busnello et al. (2013), ao avaliar a granulometria em compostagem de pequena escala com diferentes fontes de resíduos. Provavelmente, isso ocorreu em função da diferença na natureza físico-química dos materiais utilizados nos dois experimentos.

4.2. Redução do Volume e do Peso (Massa) das Pilhas dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano

Observa-se na (Tabela 3) que o uso do inoculante microbiano (IM), contribuiu para a redução do volume e do peso (massa) das pilhas de compostagem ao final dos 105 dias, a atividade microbiológica promovida pelo IM amplificou a função dos materiais utilizados.

Tabela 3. Perda de volume em m³, peso (massa) em kg, rendimento e redução em %, ocorrido no período do processo de compostagem, avaliado ao final com 105 dias.

Tratamentos*	Inicial	Final	Reduzido	Rendimento	Redução
	Volume				
	--- m ³ ---			--- % ---	
C1	5,4	2,3	3,1	42,6	57,4
C1+IM	5,4	2,2	3,2	40,4	59,6
C2	5,4	2,5	2,9	46,7	53,3
C2+IM	5,4	2,4	3,1	43,5	56,5
C3	5,4	2,6	2,8	48,1	51,9
C3+IM	5,4	2,5	3,0	45,4	54,6

Tratamentos*	Peso / Massa				
	--- Kg ---			--- % ---	
C1	1333,3	475,8	857,5	35,7	64,3
C1+IM	1333,3	423,7	909,6	31,8	68,2
C2	1333,3	473,0	860,3	35,5	64,5
C2+IM	1333,3	408,8	924,5	30,7	69,3
C3	1666,7	757,7	909,0	45,5	54,5
C3+IM	1666,7	735,5	931,2	44,1	55,9

* Composto 1 – C1 (capim napier + esterco de bovinos); C1+IM (composto 1 + inoculante microbiano); Composto 2 – C2 (cana-de-açúcar + esterco de bovinos + cama de frangos); C2+IM (composto 2 + inoculante microbiano); Composto 3 – C3 (composto 2 + rocha fosfática e potássica) e C3 + IM (composto 3 + inoculante microbiano).

O peso (massa) inicial das leiras com os tratamentos C1, C1+IM, C2, C2+IM foi padronizado em 1.333,3 Kg, C3 e C3+IM em 1.666,7 Kg, que correspondeu à padronização do volume de 5,4 m³ da mistura total. Ao final do processo, aos 105 dias, foram realizadas as medições para verificar a redução das mesmas, observou-se que o peso (massa) médio final das leiras foi de 545,8 kg, que corresponde em média a 37,2% de rendimento e o volume médio final das leiras foi de 2,4 m³, que corresponde em média a 44,4% de rendimento.

Apesar da diferença entre os materiais utilizados entre si, os compostos C1+IM, C2+IM e o C3+IM apresentaram diminuição no rendimento do peso (massa) e volume em comparação com os compostos C1, C2 e C3 respectivamente, evidenciando a eficácia da inoculação microbiana no processo de compostagem.

Segundo Santos e Flores (2012), este fato ocorre em consequência da degradação microbiana, pois no decorrer do processo houve a perda de massa dos materiais (liberação de CO₂ e H₂O) e humificação da matéria orgânica.

Os resultados percentuais de redução de volume obtidos aos 105 dias corroboram com o descrito por Kiehl (1985), que afirma que a redução da massa de compostagem varia de acordo com vários fatores, como tamanho da leira, aeração, umidade, temperatura e relação C/N, sendo esperada uma redução aproximada de 50%. Gorgatti (2001), trabalhando com a compostagem de lixo urbano, obteve reduções semelhantes ao presente trabalho, com médias de 52,5%, 34,33%, 51,38% e 60,07%, nas estações primavera, verão, outono e inverno respectivamente.

Os resultados encontrados referentes à perda de peso (massa) variaram de 54,5 a 69,3% e estão próximos aos encontrados por Augusto et al. (2009), quando submeteu a compostagem com dejetos de galinhas poedeiras adicionados com serragem de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar, obtendo redução da massa de 64,70 e 72,30%.

Segundo Caetano (2014), ao avaliar os micro-organismos eficientes (EMs) na compostagem de palha de cana-de-açúcar e esterco bovino, encontraram-se valores de redução de peso variando de 35,9 a 47,4%. Espiritu (2011) obteve como resultado a redução de 45,4% da massa dos resíduos com a adição de *Azotobacter sp.*, e de 85,7% com a adição de *Azotobacter sp.* + *T. harzianum* (v/w) em pesquisa de compostagem de feijão verde e almeirão. Os resultados de redução de peso apresentados por estes autores estão abaixo dos valores encontrados neste trabalho, sendo que, no trabalho de Espiritu (2011) foi encontrado o maior valor, 87,5%.

4.3. Temperatura dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano

Foram realizadas médias semanais das temperaturas (T°C) de cada um dos compostos (Sem IM e Com IM). Tais compostos demonstraram um rápido início de processo (Figura1) atingindo a fase termofílica em 2 dias.

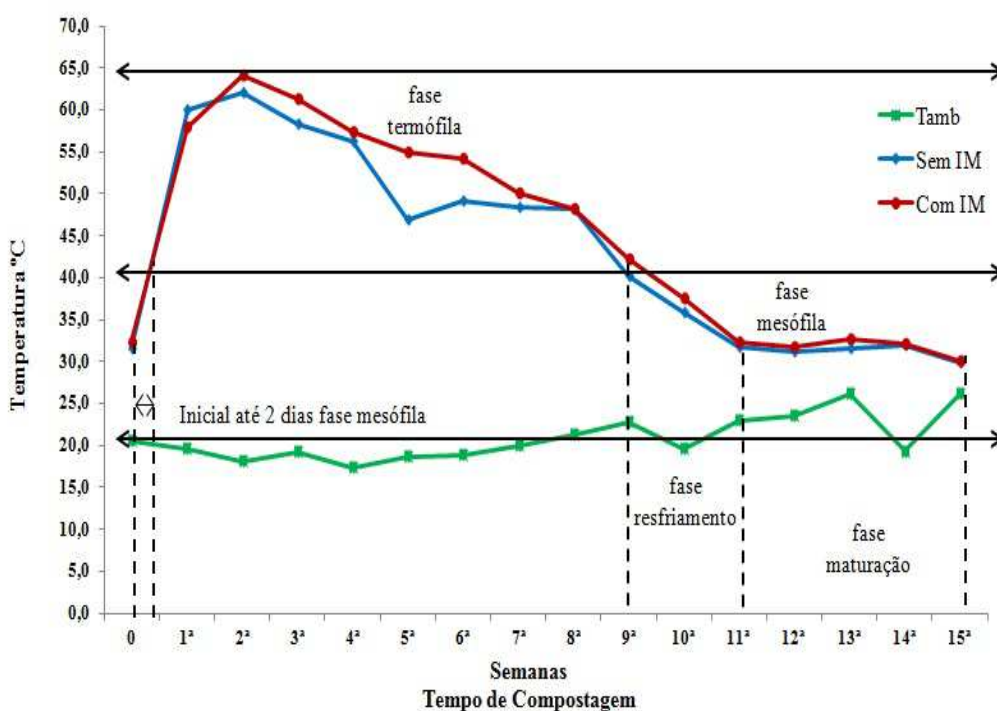


Figura 1. Médias semanais da T°C dos três compostos sem IM e dos três compostos com IM (médias obtidas a partir das medições diárias) no interior das pilhas de compostagem no período de 105 dias, tendo como referência a temperatura ambiente (Tamb). *Médias das T°C dos compostos sem IM são apresentadas em azul, os compostos com IM são apresentadas em vermelho e as temperaturas ambiente (Tamb) são apresentadas em verde.

Na 1ª semana, o processo apresentou-se aumento exponencial da T°C nas pilhas, apresentando 60 °C para os compostos sem IM e 57,9 °C para os compostos com IM. Na 2ª semana houve o pico da temperatura, com as temperaturas médias mais altas de 64,2 °C para o composto com IM e 62 °C sem IM. Até a 9ª semana (67 dias), a temperatura tendeu à estabilidade ou a um leve declínio, consistindo assim, portanto, da fase termofílica. Após a 9ª semana as temperaturas médias foram de 42,3 °C para o composto com IM e 40,1 °C sem IM,

mantendo a mesma tendência até a 15ª semana (105 dias). Neste período, a temperatura começou a decrescer, chegando aos valores 30,1 °C para o composto com IM e 29,9 °C sem IM, aproximando-se da temperatura ambiente 26,1 °C.

Observou-se o decréscimo lento da temperatura (consistindo a fase mesófila, fase de resfriamento e após a fase de maturação), redução da atividade microbiana e consequentemente perda de umidade ao longo do processo.

Desta forma, a temperatura é considerada um dos principais fatores que influencia o processo de compostagem, sendo o indicador do processo de fermentação e refletindo diretamente na eficiência do processo (Silva, 2007).

Pode-se perceber que os compostos sem IM apresentaram baixa variação de temperatura em relação aos compostos com IM, mostrando, assim, o efeito da presença do inoculante microbiano (IM) adicionado.

A decomposição inicial é conduzida por micro-organismos mesófilos, que utilizam os componentes solúveis e rapidamente degradáveis da matéria orgânica, assim como o metabolismo dos micro-organismos é exotérmico, parte do calor gerado, durante a oxidação da matéria orgânica, acumula-se no interior das pilhas (Kiehl, 1985; Tang et al., 2004).

Segundo Peixoto (2005); Rosas (2002), a pilha do composto montada geralmente atinge temperatura de 40 a 50 °C dentro de dois dias, podendo atingir temperaturas de 60 a 70 °C antes de quinze dias, com duração de mais de 20 dias. No presente trabalho foram encontrados valores semelhantes nas semanas iniciais do processo de compostagem.

Gorgatti (2001), ao fazer compostagem com resíduo sólido urbano, observou temperaturas máximas nas estações de primavera, verão, outono e inverno (62,2; 69,0; 77,0 e 74,0 °C), respectivamente, com duração da fase ativa em torno de 25 dias. Comparando aos dados analisados, as temperaturas variaram da 1ª a 8ª semana 48,2 a 64,2 °C. Caracterizada por temperaturas acima de 45 °C, predominando a faixa de 48 a 65 °C, a fase termófila. Neste estudo, o processo de compostagem obteve um aquecimento com temperaturas médias ideais para que o composto fosse obtido com qualidade, proporcionando assim a limpeza dele, matando os micro-organismos patogênicos e auxiliando na ciclagem de nutrientes.

4.4. pH dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano

Os resultados da determinação do pH avaliados no final do processo de compostagem aos 105 dias detectaram que o pH de todos os tratamentos varia de 6,62 a 7,18. A diferença de pH apresentada, entre os tratamentos, pode, ainda, estar relacionada às alterações das características das misturas, isto é, conseqüentemente, maior ou menor atividade dos micro-organismos (Bruni, 2005).

Os valores para a faixa de variação do pH seriam de 6,5 a 8,0 (Kiehl, 1985; Pereira Neto, 1996), assim sendo é possível notar que permaneceram na faixa esperada. Segundo Pereira Neto (1996), os micro-organismos controlam o pH, e uma variação pode estar relacionada com a maior ou menor atividade desenvolvida pelos micro-organismos.

A partir dos resultados obtidos por Fernandes e Silva (1999), pode ser considerada normal uma variação nos valores do pH entre 6 e 9.

Corroborando com Bruni (2005), ao avaliar o processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados, os valores encontrados foram próximos aos valores apresentados.

4.5. Caracterização Química dos Compostos Orgânicos Enriquecidos com Rochas e Inoculante Microbiano

Os valores relacionados às características químicas, teores dos nutrientes P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn, e da relação C/N, dos compostos orgânicos, subdivididos em sete épocas de avaliação (15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias), apresentaram diferenças significativas em relação ao tipo de composto, épocas de coleta, na ausência e presença do inoculante microbiano (**Tabela 4**).

Observa-se que na interação dos compostos e inoculante microbiano, há diferença significativa ($P < 0,05$), para os teores de N, Mg, Fe, Mn e Zn. Assim, para cada composto, a presença do inoculante microbiano pode ter alterado a composição química destes elementos químicos (**Tabela 4**). Entretanto, não houve diferenças significativas para interação entre épocas e compostos; épocas e inoculante microbiano, e nem para épocas, inoculante microbiano e composto.

Tabela 4. Análise de Variância de médias obtidas no experimento em parcelas sub-subdivididas; valores das fontes de variação (FV), quadrados médios (QM), compostos orgânicos produzidos (Sem IM e Com IM), relação C/N e os teores de P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn em sete épocas de avaliação (15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias).

FV	GL	N	C/N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
BLOCOS	2	0,05	0,16	0,75	4,80	0,04	36,26	0,62	658026,74	14016,53	11,68	247,85
COMP	2	6,30**	58,20**	2546,57**	488,52**	13,08**	42925,37**	8,17**	3,14**	8442253,40**	9740,35**	410342,91**
ERRO 1	4	0,50	1,59	5,65	0,55	0,12	29,30	0,21	623906,13	16986,82	13,25	148,62
(PARCELAS)	8											
IM	1	0,11	16,68*	188,05**	331,84**	6,58**	2822,68**	22,71**	708871349,51**	969349,87**	2627,75**	54,62
COMP+IM	2	2,33**	0,75	8,67	11,20	0,33	559,99	2,10*	99136592,10**	851197,37**	30,57	6589,89**
ERRO 2	6	0,01	1,89	4,95	14,14	0,10	112,67	0,20	5848195,21	33155,15	8,70	102,66
(SUBPARCELAS)	17											
EPOCA	6	0,82**	281,36**	43,97*	382,76**	5,44**	2098,93**	20,44**	211462976,64**	576044,90**	2599,15**	39112,27**
EP ^α COMP	12	0,04	2,48	11,62	29,31	0,10	441,67	0,51	37928981,53	133532,84	361,82	5379,44
EP ^α IM	6	0,01	2,27	2,86	6,66	0,31	81,67	0,77	8287106,68	31155,73	53,74	696,15
EP ^α IM ^α COMP	12	0,14	1,73	6,68	8,14	0,12	118,65	0,32	19722609,46	34806,08	30,09	859,71 ^{NS}
ERRO 3	72	0,14	3,25	15,84	49,74	0,60	236,77	2,12	39275613,94	172222,24	356,55	6900,86
TOTAL	125											
CV1 (%)		13,16	8,82	8,82	18,47	3,71	12,24	11,22	8,94	3,53	13,16	7,74
CV2 (%)		4,92	9,61	9,61	17,30	18,83	10,82	21,97	8,78	10,82	18,38	6,27
CV3 (%)		21,52	12,61	12,61	30,92	35,32	27,13	31,84	28,69	28,05	41,89	40,13
Média		1,74	14,30	14,30	12,87	19,97	2,85	48,32	5,07	22346,15	990,57	47,05

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

IM (Inoculante Microbiano); COMP (Composto); EP (Época) e ^α (Interação).

Na Figura 3 (a, b e c) é apresentado o comportamento da relação C/N nos compostos orgânicos em relação aos tempos (dias) de amostragens do processo de compostagem para os compostos (Sem IM e Com IM).

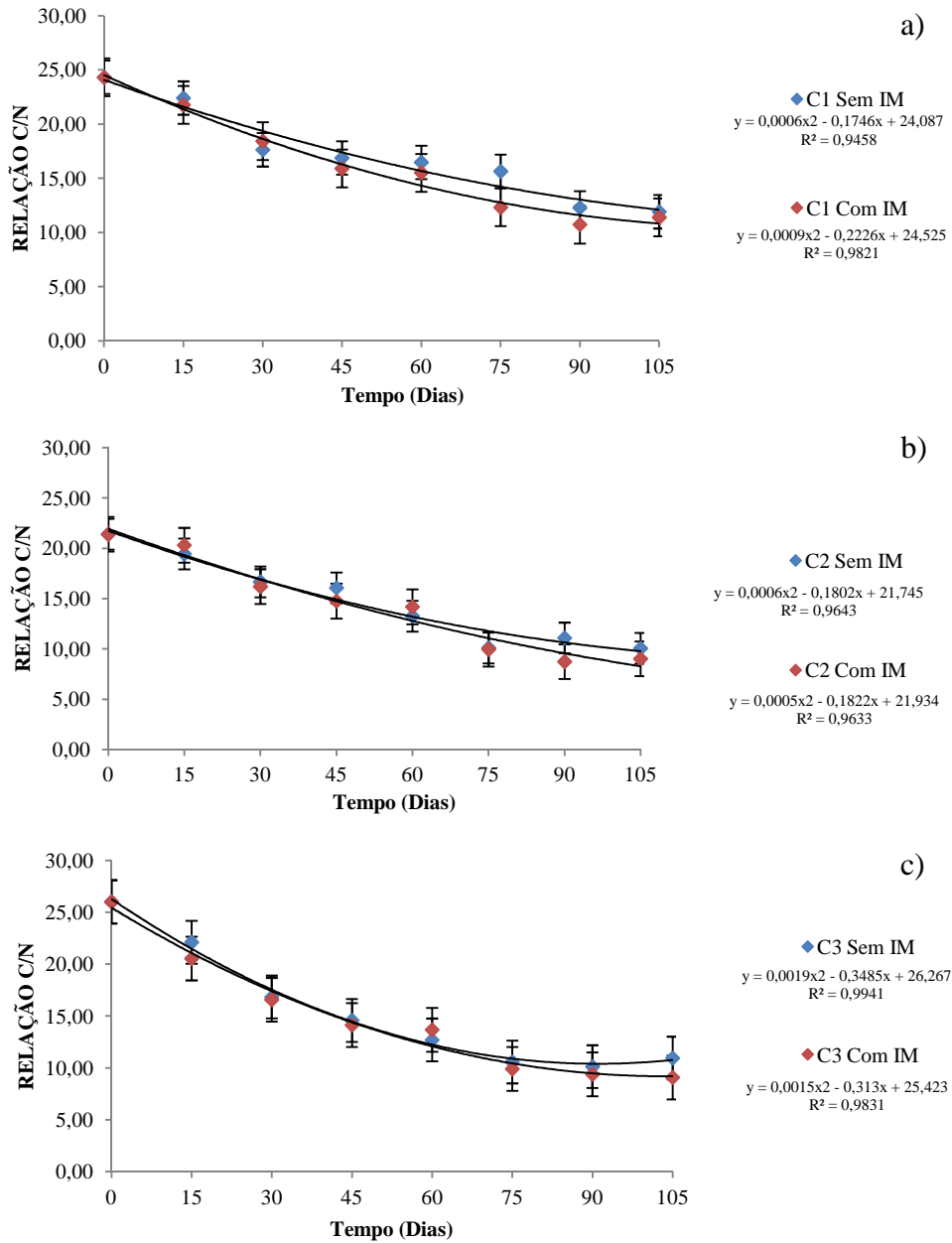


Figura 2. Regressão Polinomial do comportamento da Relação C/N, durante o processo de compostagem: Composto 1 – C1 (Sem IM e Com IM), a); Composto 2 – C2 (Sem IM e Com IM), b) e Composto 3 – C3 (Sem IM e Com IM), c).

Percebe-se que no início do processo de compostagem a relação C/N tem maiores valores e ao longo do processo de compostagem a mesma tende a se estabilizar para os compostos C1, C2 e C3 (Sem IM). Já para os compostos C1, C2 e C3 (Com IM) a adição do inoculante microbiano (IM) acelerou o processo de compostagem corroborando com trabalho de Kiehl (2004).

A Tabela 5 apresenta os efeitos simples para os tratamentos dos compostos orgânicos. A relação C/N variou de 13,67 a 15,66 (entre os compostos), independentemente da época de avaliação ou da presença de bioinoculante. O composto C1 apresentou maior valor, diferindo dos compostos C2 e C3.

Tabela 5. Efeito simples dos compostos orgânicos produzido sem e com o uso de inoculante microbiano (IM), em parcelas subdivididas em sete épocas de avaliação (15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias), para o parâmetro da relação C/N e os teores de P, K, S, Ca e Cu.

Tratamentos	Parâmetros					
	C/N	Teores				
		P	K	S	Ca	Cu
--- g/kg ---						
Efeito Simples Composto						
C1	15,66 a	5,99 c	16,60 c	2,28 c	26,63 c	29,62 c
C2	13,57 b	11,30 b	19,88 b	2,87 b	33,30 b	53,74 b
C3	13,67 b	21,32 a	23,42 a	3,40 a	85,04 a	57,79 a
CV (%)	8,82	18,47	3,71	12,24	11,22	7,74
Efeito Simples Inoculante Microbiano (IM)						
Sem IM	14,66 a	11,65 b	18,34 b	2,62 b	43,59 b	51,62 a
Com IM	13,94 b	14,09 a	21,59 a	3,08 a	53,06 a	42,48 b
CV (%)	9,61	17,3	18,83	10,82	21,97	6,27
Efeito Simples Época (Dias)						
15	21,10 d	10,03 b	13,12 b	1,96 c	30,65 b	28,63 b
30	17,01 c	14,55 a	25,47 a	3,45 a	55,61 a	58,57 a
45	15,39 b	12,06 b	15,12 b	2,40 c	37,14 a	40,56 b
60	14,31 b	13,39 a	22,59 a	3,00 b	53,72 a	48,82 a
75	11,42 a	13,30 a	18,58 b	2,90 b	52,33 a	52,28 a
90	10,40 a	12,34 b	20,76 a	2,76 b	47,72 a	37,97 b
105	10,41 a	14,41 a	24,14 a	3,51 a	61,11 a	62,51 a
CV (%)	12,61	30,92	35,32	27,13	31,84	40,13

Médias seguidas por letras iguais minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott Knott com 5% de probabilidade. Estas diferenças são relacionadas ao parâmetro e os teores de efeito simples isoladamente.

A característica química no parâmetro relação C/N, discriminado na (Tabela 5), para o efeito simples entre os compostos, verifica-se que os valores obtidos mostraram diferença

significativa entre os tratamentos. Observou-se que o tratamento C1 apresentou maior valor, diferindo dos tratamentos C2 e C3.

Para o efeito simples do inoculante microbiano (IM), observou-se que a relação C/N que o tratamento Sem IM foi maior do que o Com IM, mostrando que os tratamentos apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$). Portanto, os valores mostram o efeito positivo da adição do inoculante microbiano, que por sua vez aceleraram o processo de compostagem e diminuíram os valores da relação C/N.

O maior valor da relação C/N, para o efeito simples em épocas, foi encontrado no início do processo de compostagem (15 dias); fase inicial e o indicativo de fase avançada de decomposição, caracterizada pela bioestabilização, humificação e mineralização da matéria orgânica, decréscimo nos valores em função do tempo, obtendo menores valores aos 90 dias.

Houve tendência de redução da matéria orgânica nos tratamentos, uma vez que, na decomposição dos materiais, o carbono não é só utilizado pelos micro-organismos na elaboração de novas células, como também é perdido para o meio ambiente na forma de gás carbônico. Por seu lado, o nitrogênio é essencial para a composição de proteínas, as quais representam aproximadamente metade da biomassa microbiana (Brito, 2006; Farias, 2001; Kiehl, 1998; Tiquia & Tam, 2000).

A relação C/N poderá variar (em função das características específicas dos materiais utilizados) com a disponibilidade do carbono e o ataque microbiano (Cunha Queda et al., 2002; Brito 2006). Apesar de quase todo o nitrogênio orgânico estar disponível para ser utilizado pelos micro-organismos, ele não se verifica relativamente ao carbono de determinados materiais, por se encontrar em formas resistentes à degradação biológica (Russo, 2004).

De acordo com Kiehl (1985), uma faixa boa de valores da relação C/N final está entre 8 e 12, como ótimo, entre 12 e 18, bom, e acima de 18, indesejável. Dessa forma, os compostos C2 e C3 apresentam resultados mais adequados, indicando que estes possuem componentes mais ricos em energia possivelmente por conter em sua composição: cana-de-açúcar, cama de frangos e de pó de rocha (fosfato natural e verdete), além dos outros componentes presentes no C1.

Os valores encontrados situaram-se entre 10,40 e 11,42, podendo ser considerados similares aos observados por Sedyama et al. (2000), que encontraram valores de C/N entre 10 e 14, para compostos orgânicos produzidos a partir de dejetos suíno. Estes resultados também

vieram confirmar os resultados observados por Pereira Neto (1987), que já constataram anteriormente a diminuição da relação C/N com o aumento no grau de maturação do composto, tendendo à estabilização em valores em torno de 10 no húmus.

Em relação aos resultados do efeito simples nos compostos orgânicos para os teores de P, K, S, Ca e Cu, verifica-se que eles mostraram diferenças significativas entre os tratamentos. Observa-se que o composto C3 foi o que apresentou os maiores valores para estes elementos diferindo dos compostos C2 e C1. Portanto, a composição do C3, foi evidenciada principalmente quando comparado ao C2, de mesma constituição, o que diferencia o C3 do C2, é a adição do pó de rocha (fosfato natural – fonte de P e verdete – fonte de K) no C3, que apresentaram os maiores valores de P, K, S, Ca e Cu. Nesta comparação, observou-se que estes teores aumentaram em + 88,67%, + 17,80%, + 18,47%, + 155,37% e + 7,54%, respectivamente.

Para os teores de P, K, S e Ca observou-se o efeito simples do inoculante microbiano aumentando os valores destes nutrientes. Entretanto, para o teor de Cu foi o inverso. Os tratamentos apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$). Os teores de P, K, S e Ca, mostraram que os valores do tratamento Com IM foi maior do que Sem IM. Assim, os dados mostraram o efeito positivo da adição do inoculante microbiano, evidenciando a eficiência do processo de compostagem para estes nutrientes aumentando em + 20,94%, + 17,72%, + 17,56%, + 21,73%, respectivamente. Quanto ao teor de cobre, este reduziu em - 17,71%, havendo também um efeito positivo, visto que este elemento é considerado como um metal pesado.

Para o efeito simples em épocas, os teores de P, K, S, Ca e Cu apresentaram variações crescentes e decrescentes de uma época para outra, sendo a menor concentração destes nutrientes aos 15 dias. Observaram-se, para os elementos P e K, as maiores concentrações aos 30 e 105 dias. Já os outros elementos S, Ca e Cu foram aos 105 dias. Portanto, ao final do processo de compostagem, isto é, aos 105 dias, observou-se a influência das épocas para maior disponibilização destes elementos.

Os resultados dos teores de N, Mg, Fe, Mn e Zn apresentados na **(Tabela 6)**, mostram que eles variaram de acordo com o tipo de composto orgânico e o efeito da adição do inoculante microbiano. Os tratamentos dos compostos e o efeito do inoculante microbiano apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) para todos os elementos estudados. Tal fato indicam os efeitos de interação e análise do desdobramento dos compostos orgânicos dentro

de cada nível do inoculante microbiano; e as análises do desdobramento do inoculante microbiano dentro de cada nível dos compostos orgânicos aumentaram e diminuíram de acordo a cada elemento.

Tabela 6. Efeito sobre a disponibilidade média de Mg, Fe, Mn e Zn, dos compostos orgânicos e a interação destes compostos sem e com a adição de inoculante microbiano, em sete épocas de avaliação (15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias).

Tratamentos	Parâmetros					
	N		Mg			
	(%)		(g/kg)			
	Inoculante Microbiano (IM)					
	Sem IM	Com IM	Sem IM	Com IM		
C1	1,46 bB	2,01 aA	3,96 cB	5,22 bA		
C2	1,42 bA	1,27 bB	5,27 aB	5,64 aA		
C3	2,94 aA	1,95 aB	4,72 bB	5,63 aA		
CV (%)	4,92		8,78			
Tratamentos	Fe		Mn		Zn	
	--- mg/kg ---					
	Inoculante Microbiano (IM)					
		Sem IM	Com IM	Sem IM	Com IM	Sem IM
C1	21385,71 bA	14177,5 bB	875,24 bA	543,87 bB	124,45 cB	128,02 cB
C2	19793,86 bA	14071,61 bB	928,58 bA	580,48 bB	281,15 bA	252,70 bB
C3	32974,62 aA	31673,57 aA	1431,01 aB	1584,21 aA	306,38 aB	327,32 aA
CV (%)	10,82		18,38		4,28	

Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Scott Knott com 5% de probabilidade.

A Figura 2 (a, b e c) apresenta o comportamento do teor de Nitrogênio (N) nos compostos orgânicos em relação aos tempos (dias) de amostragens do processo de compostagem para os compostos (Sem IM e Com IM).

Observa-se que os valores do Nitrogênio total tenderam a um aumento polinomial para os compostos C1 e C2 (Sem IM e Com IM), no entanto, os aumentos foram diferentes, com destaques para os compostos C1 e C2 (Com IM). Já para o composto C3 não houve uma linearidade de aumento e diminuição dos teores de Nitrogênio (N), fato este que pode estar relacionado à adição das rochas (fosfato natural e verdete) a ele. Segundo Kiehl (1998), o teor de nitrogênio total aumenta com o grau de maturação, uma vez que há perda de C orgânico do sistema, na medida em que este elemento é transformado em CO₂. Resultados similares foram encontrados neste trabalho. Os mesmos resultados também coincidem com o observado

por Pereira Neto (1989) e Goulart (1997), segundo os quais ocorre um aumento na concentração deste elemento durante o processo de compostagem.

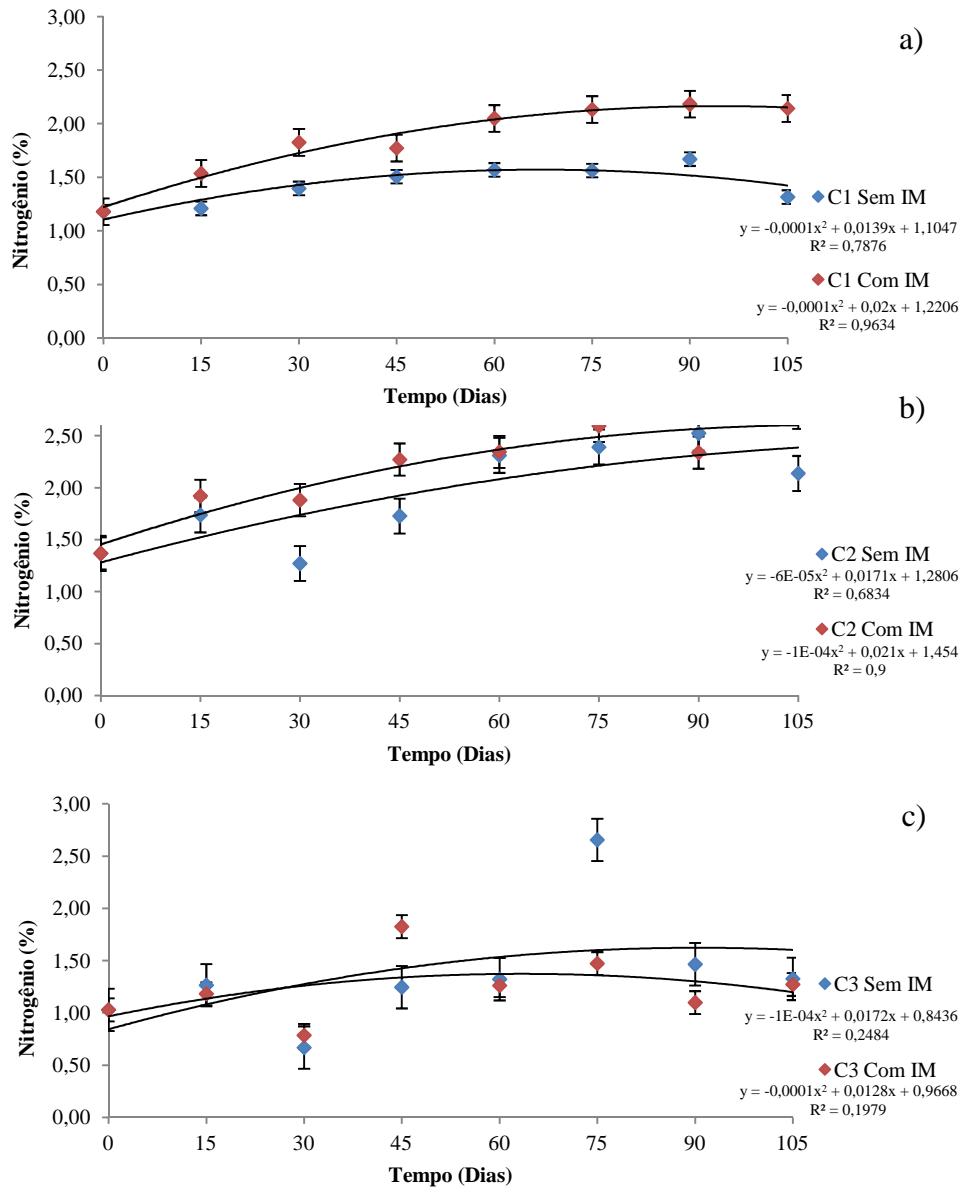


Figura 3. Regressão Polinomial do comportamento do Nitrogênio N (%), durante o processo de compostagem: Composto 1 – C1 (Sem IM e Com IM), a); Composto 2 – C2 (Sem IM e Com IM), b) e Composto 3 – C3 (Sem IM e Com IM), c).

Segundo Pereira Neto (1989), os acréscimos usualmente registrados na concentração de nitrogênio, durante a fase de aeração, têm sua explicação com base na redução dos sólidos voláteis, ou seja, um aparente acréscimo. Na verdade, trata-se de um aumento relativo, por

causa do consumo de carbono, pois o aquecimento associado à elevação da concentração de amônia na fase inicial da decomposição resulta em perdas significativas deste nutriente.

O composto C2 apresentou o maior valor de Mg entre os compostos, mostrando diferença significativa ($P < 0,05$) para o C3 e C1, e não sofrendo influência da adição do pó de rocha (fosfato natural e verdete), que foi adicionado ao C3, podendo estes terem influenciado no aumento significativo do C2 em relação ao C1, visto que os materiais utilizados para a composição do C1 são diferentes do C2.

Houve aumento significativo ($P < 0,05$) do teor de Mg em todos os compostos comparando os Com IM em relação aos Sem IM; não havendo diferença entre os compostos com mesma composição C1, C2 e C3 (com e sem IM).

Para os teores de Fe, Mn, e Zn, o composto C3 apresentou os maiores valores entre os compostos, mostrando o efeito positivo da adição do pó de rochas (fosfato natural e verdete), uma vez que a composição do C3 é a mesma do C2, com diferença da adição do pó de rochas. Na interação composto com inoculante microbiano, para o teor de Fe não houve diferença significativa entre si no composto C3, Com IM e o Sem IM. Já nos teores de Mn e Zn houve diferença significativa ($P < 0,05$) no composto C3 Com IM em relação Sem IM. Resultados diferentes foram encontrados para os compostos C2 e C1, onde os teores de Fe e MN, na interação composto com inoculante microbiano, apresentaram diferença significativa ($P < 5,0$) Sem IM em relação Com IM. Já para o teor de Zn no composto C2 houve diferença significativa ($P < 0,05$) Sem IM em relação ao Com IM e no composto C1 não houve diferença significativa entre o composto Sem IM e o Com IM.

De acordo Souza (2005), a grande vantagem deste enriquecimento é que o ataque térmico, microbiano e de ácidos húmicos e fúlvicos acontece durante 90 dias do processo, disponibilizando em torno de 70% do P e grandes quantidades de outros micronutrientes importantes às plantas, mesmo utilizando-se fosfatos de baixa solubilidade, como o Araxá.

Atualmente, as opções dos fosfatos naturais reativos importados, melhoram ainda mais a disponibilização de nutrientes. Considerando que as recomendações de adubações orgânicas têm se situado na faixa de 30 ton ha^{-1} (composto com 50% de umidade), tal adição de fosfato na pilha equivale a uma fosfatagem de 1.000 kg ha^{-1} diretamente no solo. Acrescido a este fato, tem-se a vantagem de o fosfato ser levado ao solo de forma parcialmente solubilizada, pelo ataque microbiano e pela ação dos ácidos orgânicos (Souza & Resende, 2003).

Segundo Kiehl (2004) e Silva et al. (2010), a melhoria na composição de potássio pode ser obtida acrescentando-se pó de rocha a resíduos vegetais de maior concentração neste elemento, como bananeira, palha de café e capim cameron, dentre outros. Também se pode elevar o potássio adicionando-se cinza vegetal na mistura da compostagem (Souza, 2005).

A dissolução das rochas pode ser favorecida pela presença de ácidos orgânicos e inorgânicos gerados pelos micro-organismos (Fontaniva et al., 2008, Stamford et al., 2004). Assim, ao propiciar um meio mais favorável à atividade microbiana, a presença de uma matriz orgânica nos compostos organominerais produzidos para o presente estudo parece ter um papel preponderante na eficiência das rochas como fontes de nutrientes (Farias, 2001; Kiehl, 1985; Peixoto, 2005).

O contato da rocha com micro-organismos e subprodutos derivados do metabolismo microbiano pode resultar na biossolubilização dos minerais, e na consequente liberação de nutrientes no solo. No entanto, os mecanismos envolvidos neste processo ainda não são suficientemente claros para uma aplicação em maior escala (Stamford et al., 2004; Lapidou-Loureiro et al., 2010).

Segundo Sedyama et al. (2000), em trabalho realizado comparando composto orgânico oriundo de resíduo de *Leucena* com esterco de animais, quanto aos teores de N, P e K. O esterco de curral apresentou: 2,60; 2,40 e 2,25%; esterco de frango 2; 2 e 1% e no composto orgânico curado 1,59; 0,27; 0,98% de cada nutriente, respectivamente. De acordo com estes resultados, os valores de P e K que foram os elementos avaliados nos diversos tratamentos estão abaixo do esperado.

Os resultados dos elementos avaliados neste estudo apresentaram valores maiores aos encontrados por Rodrigues et al. (2015), ao avaliar o processo de compostagem e a qualidade do composto, provenientes de diferentes resíduos orgânicos como: cama de frango, resíduo de restaurante universitário, resíduo orgânico de origem domiciliar, lodo do processo de flotação de frigorífico de aves, dejetos sólidos de bovinos, serragem, bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho e de soja. Os resultados apresentaram valores variando de 47,9 a 101,5 mg dm⁻³ de P; 156,4 a 737,3 mg dm⁻³ de K; 6,3 a 32,3 mg dm⁻³ de S; 4,2 a 4,7 cmolc. dm⁻³ de Ca; 0,5 a 2,3 cmolc. dm⁻³ de Mg; 0,4 a 2,2 mg dm⁻³ de Cu e 3,5 a 53,1 mg dm⁻³ de Zn, respectivamente. Assim, a adição do pó de rochas e do inoculante microbiano mostrou-se eficiente na solubilização de P e K, bem como melhorou a composição química dos teores dos outros elementos nos compostos avaliados.

4.6. Avaliação dos Compostos Orgânicos Produzidos no Cultivo da Alface sob o Sistema Orgânico de Produção em Ambiente Protegido por Túnel Plástico

Os resultados obtidos para os valores de F apresentados na (Tabela 7) mostram o ganho para produtividade de massa fresca da parte aérea da alface em função do uso dos diferentes tratamentos testados no cultivo da alface sob o sistema orgânico de produção, em ambiente protegido por túnel plástico, na propriedade Fazenda Vista Alegre, Capim Branco-MG.

Tabela 7. Análise de Variância do experimento do uso dos diferentes tratamentos no cultivo de alface, colhidos aos 35 dias após transplante. Valores médios de três repetições. Cultivo sob o sistema orgânico de produção, em ambiente protegido por túnel plástico.

FV	GL	MFPA	MTSPA	MSSPA	N [#]	P [#]	K [#]	N ^{##}	P ^{##}	K ^{##}
BLOCOS	2	1901,16	2,93	0,3	0,17	3,3	171,06	55379,21	3665,8	516901,22
TRATOS	7	1981,68**	0,52	0,07	0,21	3,33	135,63	14120,99	1358,63	106168,26
ERRO	14	269,25	0,9	0,06	0,11	4,26	157,24	13049,18	1092,23	73317,61
TOTAL	23									
CV1 (%)		7,26	27,53	29,14	7,18	18,86	10,59	30,99	38,07	29,06
Média		226,07	3,44	0,87	4,69	10,95	118,46	368,59	86,81	931,92

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Refere-se ao teor ## Refere-se ao conteúdo (acúmulo) nos elementos de N, P e K.

Tabela 8. Valores médios de três repetições, do uso dos diferentes tratamentos no cultivo de alface, colhidos aos 35 dias após transplante. Cultivo sob o sistema orgânico de produção, em ambiente protegido por túnel plástico.

Tratamentos*	Parâmetros							
	MTSPA	MSSPA	Teores			Conteúdos		
			N	P	K	N	P	K
			(%)	(g)	(%)	---	g/planta	---
TSOLO	3,19 a	5,98 a	4,73 a	9,50 a	111,08 a	282,58 a	57,25 a	665,98 a
C1	3,83 a	7,92 a	4,92 a	11,08 a	114,66 a	389,10 a	89,62 a	937,03 a
C1+IM	3,05 a	7,56 a	4,51 a	11,78 a	113,69 a	341,93 a	88,86 a	857,35 a
C2	3,82 a	8,81 a	4,63 a	11,77 a	121,82 a	409,04 a	108,87 a	1085,20 a
C2+IM	3,99 a	10,46 a	4,54 a	11,63 a	122,30 a	470,30 a	122,03 a	1285,66 a
C3	2,90 a	6,18 a	4,25 a	11,68 a	130,64 a	263,96 a	69,25 a	797,32 a
C3+IM	3,14 a	7,82 a	5,07 a	9,14 a	111,22 a	395,73 a	71,08 a	868,75 a
TCPRO	3,60 a	8,01 a	4,87 a	11,02 a	121,47 a	396,04 a	87,51 a	958,07 a

* TSOLO (sem adição de composto e sem adubo químico); Composto 1 – C1 (capim napier + esterco de bovinos); C1+IM (composto 1 + inoculante microbiano); Composto 2 – C2 (cana-de-açúcar + esterco de bovinos + cama de frangos); C2+IM (composto 2 + inoculante microbiano); Composto 3 – C3 (composto 2 + rocha fosfática e potássica); C3 + IM (composto 3 + inoculante microbiano) e TCPRO (cana-de-açúcar picada + esterco de bovinos + cama de frangos + esterco de ovinos + pó de carvão + fosfato yoorin). Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste Scott Knott com 5% de probabilidade.

Em relação aos valores apresentados na (Tabela 8), dos parâmetros de matéria seca e massa seca, teores e conteúdos (acúmulos) de N, P e K entre os tratamentos, embora não tenha apresentado diferença significativa ($P < 0,05$), comparando os maiores valores de cada parâmetro em relação ao TSOLO, houve o aumento de + 25,23%, + 74,89%, + 7,19%, + 24%, + 17,61%, + 66,43%, +113,15 e +93,05%, respectivamente.

Os valores observados de produção massa fresca da parte aérea [MFPA (g/p)], do uso dos diferentes tratamentos no cultivo de alface, colhidos aos 35 dias após transplante, oscilaram entre 189,37 g/planta no tratamento testemunha (TSOLO) a 263,60 g/planta, mostrando diferença significativa ($P < 0,05$) na presença do composto C2+IM, na presença do inoculante microbiano. Entretanto, a produtividade de alface na presença deste composto C2+IM, foi similar às produtividades obtidas com os compostos C1+IM e C3+IM e superior aos demais tratamentos. Neste caso, vale salientar que as misturas propostas apresentaram maiores produtividades em relação ao composto do produtor (TCPRO) da referida Fazenda, bem como do tratamento testemunha (TSOLO) (Figura 4).

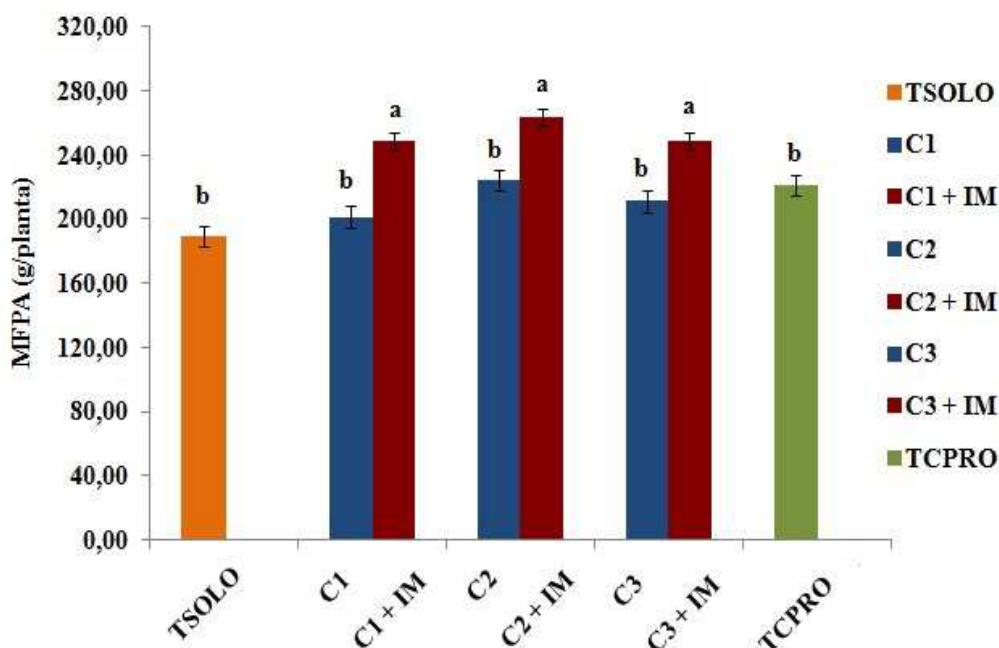


Figura 4. Produção massa fresca da parte aérea [MFPA (g/p)], do uso dos diferentes tratamentos no cultivo de alface, colhidos aos 35 dias após transplante. Valores médios de três repetições. Cultivo sob o sistema orgânico de produção, em ambiente protegido por túnel plástico. Médias seguidas por letras iguais minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste Scott Knott com 5% de probabilidade.

Comparando o nível de produtividade obtido com o composto do produtor (TCPRO), que foi uma das testemunhas, nota-se que os compostos C2+IM, C1+IM e C3+IM, apresentaram melhores rendimentos. E, considerando-se os valores obtidos e transformados para m^2 , nota-se que esses valores estão próximos de outros relatados na literatura, em torno de $3.000\text{ g}/m^2$ (Souza e Rezende, 2003). Silva et al. (2013), também constataram efeito positivo de compostos orgânicos na produção de biomassa fresca de alface, com efeitos distintos em relação ao tipo de composto.

De acordo com literatura, está bem estabelecido que o emprego de compostos orgânicos contribui para melhorar os atributos biológicos, físicos e químicos do solo. As substâncias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina) respondem pela maior parte dos grupamentos reativos da matéria orgânica, por meio dos quais se associam à fração mineral do solo formando complexos argilo-húmicos, responsáveis por desenvolver carga negativa, aumentando a capacidade de troca catiônica do solo (Silva et al., 2013; Oliveira, 2011). Tais grupamentos funcionais também interagem com metais pesados, por exemplo, Cu^{2+} , Fe^{2+} e Al^{3+} , formando complexos estáveis, tornando-os indisponíveis às plantas (Silva & Mendonça, 2007).

Esses resultados mostram que os usos dos compostos orgânicos promovem aumento da produtividade. Segundo Primavesi (2006), um dos efeitos mais significativos da adição do composto orgânico está na otimização das propriedades físicas do solo. Com isso, a matéria orgânica do composto eleva a CTC do solo, melhorando sua estrutura e fornece nutrientes com distribuição lenta e contínua às plantas. Além disso, o composto orgânico contém macro e micronutrientes e compostos fenólicos de forma contínua pela aplicação fracionada, atendendo as diversas fases fenológicas da cultura.

5. CONCLUSÕES

A incorporação de rochas fosfática e potássica de baixa solubilidade em compostagem de misturas de resíduos vegetais e animais aumenta a disponibilidade de P e K e outros nutrientes do composto.

A adição do inoculante microbiano (IM) contendo *Penicillium* selecionado *in vitro* para biossolubilização de P e K contribui para melhoria da qualidade do composto em relação às características químicas e físicas.

A utilização dos produtos obtidos a partir da compostagem na presença do inoculante microbiano resultam em ganhos de produtividade de biomassa de plantas de alface cultivadas em ambiente protegido.

A eficiência agrônômica dos compostos obtidos na ausência de inoculante microbiano foi similar ao produto utilizado pelo agricultor.

Apresentaram resultados positivos com relação à solubilização de praticamente todos os nutrientes pesquisados, proporcionando uma maior concentração deles nos compostos que receberam o pó de rochas (fosfato natural e verdete).

O estudo mostrou que há possibilidade do uso do inoculante microbiano (IM) como fonte alternativa e/ou complementar no processo de compostagem, revelando potencial para a produção da biomassa das plantas de alface na região nas mesmas condições, possibilitando assim uma agricultura sustentável.

Constatou-se que os compostos gerados apresentaram qualidade agrônômica apropriada e, conseqüentemente, potencial para sua utilização como adubo orgânico, demonstrando a eficiência e disponibilidade de macro e micronutrientes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. et al. **Guia da Reciclagem Orgânica. Resíduos Orgânicos, compostagem e digestão anaeróbica.** Gabinete de Estudos Ambientais Universidade Católica Portuguesa. 2005. 74p.

ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I. Ecological impacts of modern agriculture in the United States and Latin America. In: SOLBRIG, O.T.; PAARLBERG, R.; CASTRI, F. di (Ed.). **Globalization and the Rural Environment.** Cambridge: Harvard University Press. 2001.

ARAÚJO NETO, S.E.; AZEVEDO, J.M.A.; GALVÃO, R.O.; OLIVEIRA, E.B.L.; FERREIRA, R.L.F. Produção de muda orgânica de pimentão com diferentes substratos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1408-1413, 2009.

AUGUSTO, K.V.Z.; LUCAS, J.R.J.; MIRANDA, A.P. REDUÇÃO DE VOLUME E PESO DURANTE A COMPOSTAGEM DE DEJETOS DE GALINHAS POEDEIRAS. In: I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais Tratamento de Dejetos de Animais. Florianópolis, SC. 2009.

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.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola.** 4ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.

BEFFA, T.; BLANC, M.; MARILLEY, L.; LOTT FISHER, J.; LYON, P.F. Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting. In: BERTOLDI, M.; SEQUI, P.; LEMMES, B.; PAPI, T. (Ed.). **The Sciences of Composting.** Blackie Academic and Professional. Glasgow, UK, 1996. p. 149-161.

BISWAS, J. et al. Rhizobial inoculation influences seedling vigor and yield of rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.5, p.880-886, 2000.

BISWAS, R. D. Nutrient recycling potential of rock phosphate and waste mica enriched compost on crop productivity and changes in soil fertility under potato–soybean cropping sequence in an Inceptisol of Indo-Gangetic Plains of India. **Nutr Cycl Agroecosyst.** 2011. p.15–30.

BISWAS, R.D.; NARAYANASAMY, G. Rock phosphate enriched compost: An approach to improve low-grade Indian rock phosphate. **Bioresources Technology.** 2006. p. 2243–2251.

BOMBILIO, D.C. COMPOSTAGEM DE ESTERCO DE SUÍNO EM CINCO TEORES DE UMIDADE E TRÊS SISTEMAS DE AERAÇÃO. 2005. 61 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

BOOPATHY, R.; BEARY, T.; TEMPLET, P.J. Microbial decomposition of post-harvest sugar cane residue. **Bioresources Technology**, Kidlington, v.79, n.1, p. 29-33, 2001.

BORKEN, W; MUHS A; REESE, F. Changes in microbial and soil properties following compost treatment of degraded temperate forest soils. **Soil Biol Biochem**, v. 34, p. 403-412, 2002.

BRASIL. LEI Nº10.831, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.831.htm>. Acesso em: 24 jun. 2014.

BRASIL. MAPA – Ministério da Agricultura e do Abastecimento. PORTARIA Nº 01, de 04 de março de 1.983. Disponível em:<[http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/arquivos/portarias/port_sefis_1_83\[1\].pdf](http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/arquivos/portarias/port_sefis_1_83[1].pdf)>. Acesso em: 11 set. 2015.

BRITO, M. **Manual de Compostagem**. Escola Superior Agrária de Ponte Lima (ESAPL), Portugal, 2006.

BRUNI, V.C. AVALIAÇÃO DO PROCESSO OPERACIONAL DE COMPOSTAGEM AERADA DE LODO DE ESGOTO E PODA VEGETAL EM REATORES FECHADOS. 2005. 114 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BUSNELLO, J.F.; KOLLING, F.D.; DALLA COSTA, R.; MOURA, C.L. pH e granulometria em compostagem de pequena escala com diferentes fontes de resíduos. 2013. Disponível em:<<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/14241/9675>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

CAETANO, M.I. MICRO-ORGANISMOS EFICIENTES (EM's) NA COMPOSTAGEM DE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR E ESTERCO BOVINO. 2014. Disponível em:<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2497/1/LD_COEAM_2013_2_19.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2016.

CARTER, M.R. Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions. **J. Agronomy**. 94, p. 38-47, 2002.

CASSOL, P.C.; VEZARO, M.A.; CASA, A.M. Teores de matéria seca, C orgânico, nutrientes e pH em esterco de bovinos, suínos e aves. In: REUNIÃO SULBRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 1, 1994, Pelotas. **Anais**. Pelotas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul, 1994. p.62-63.

CAVALCANTE, A.S.S da. Produção orgânica de alface em diferentes épocas de plantio, preparo e coberturas de solo no Estado do Acre. 2008. 63 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco.

CÉDRIC, F.; POITRENAUD, M.; HOUOT, S. Stabilization of Organic Matter During Composting: Influence of Process and Feedstocks. **Compost Science & Utilization**, Pennsylvania, v. 13, p. 72-83, 2005.

CHEN, R.; LIN, X.; WANG, Y.; HU, J. Mitigating methane emissions from irrigated paddy fields by application of aerobically composted livestock manures in eastern China. **Soil Use Manag**, v. 27, p. 103-109, 2011.

COSTA, F.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; POLO, A. **Resíduos Sólidos Urbanos: Manejo y Utilización**. CSIC, Murcia. 1991.

COSTA, M.S.S.M.; COSTA, L.A.M.; DECARLI, L.D.; PELÁ, A.; SILVA, C.J.; MATTER, U.F.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 100-107, 2009.

CUNHA QUEDA, A.C.; VALLINI, G.; AGNOLUCCI, M.; COELHO, C.A.; CAMPOS, L.; SOUSA, R.B. Microbiological and chemical characterisation of composts at different levels of maturity, with evaluation of phytotoxicity and enzymatic activities. In: INSAM, H.; RIDDECH, N.; KLAMMER, S. (Ed). **Microbiology of Composting**. Berlin: SPRINGER-VERLAG. 2002. P. 345-355.

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, p. 194-199, 1995.

DEON, M.; J.L. MATTIAS; C.N. NESI; D.F. KOLLING. Avaliação da qualidade de composto orgânico na Universidade Comunitária Regional de Chapecó. **Rev. Bras. Agroecol.**, V. 2, p. 1441-1444, 2007.

DIAZ et al. "**Preparation of MSW for Composting**". The J.G. Press, Emmaus, PA, USA, 1982.p. 95-106.

ECOICHEM. Composting process. 2004. Disponível em:<http://www.ecochem.com/t_compost_fa2.html>. Acesso em: 26 jun. 2015.

EGGEN, T.; VETHE, O. Stability indices for different composts. **Compost Science & Utilization**, Pennsylvania, v. 9, p. 19-26, 2001.

EMATER–MG – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. **Políticas e Diretrizes Técnicas da Emater–MG**. 2011. 25p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio César da Silva. – 2. ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica, 2009. 627p.

ESPIRITU, B.M. **Use od compost with microbial inoculation in container media for Mungbean (*Vigna radiate* L. Wilczek) and Pechay (*Brassica napus* L.)**. J. ISSAAS Vol. 17, 2011.

FAO – Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 13 Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and the Land and Water Development Division (AGL), FAO, Rome 2004.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Use of phosphate rocks for sustainable agriculture**. Roma, 2009, 148p.

FARIAS, C.A. RESÍDUOS ORGÂNICOS ALTERNATIVOS NOS PROCESSOS DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM. 2001. 130 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FAVOINO, E. AND HOGG, D. The potencial role of compost in reducing greenhouse gases. **Waste Manage & Res.**, 26 p. 61-69, 2008.

FEAM. **Como destinar resíduos sólidos urbanos**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2002. 45p.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P da. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. 1a Edição. Rio de Janeiro: ABES. 1999

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. da. PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. 1999.

FERNANDES, M.R. et al. Minas Gerais: **Caracterização de unidades de paisagem Belo Horizonte**: EMATER-MG, 2013. 92 p. il.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005.

FONTANIVA, S.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; CZYCZA, R.V. Eficiência agrônômica relativa do fosfato natural reativo de gafsa associado a enxofre elementar com *Acidithiobacillus*. In: FERTIBIO, 2008. **Anais**. LondrinaPR, 2008. CD-ROM

FREIBAUER, A.; ROUNSEVELL, M.D.A.; SMITH, P.; VERHAGEN, C.J. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. **Geoderma**, v. 122, p. 1-23, 2004.

GORGATTI, C.Q. Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais – município de São Lourenço da Serra – SP: compostagem e impacto ambiental. 2001. 74 p. Tese (Doutorado) – USP (FAC), Botucatu.

GOULART, R.M. Processo de compostagem: alternative complementar para tratamento de camas biológicas de dejetos de suíno. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

HARWOOD, R.R. A history of sustainable agricultura. In: EDWARDS, C.A. (Ed.) **Sustainable Agricultural systems**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society of America, 1990. p. 3-19.

HASSEN, A.; BELGUTHA, K.; CHERIF, A.; CHERIF, M.; BOUBADOUS, A. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. **Bioresources Technology**, Essex, v. 80, p. 217-225, 2001.

HAUG, R.T. **The practical handbook of compost engineering**. Lewis Publishers (Ed.). 1993. 717p.

HELLAL, F.A., NAGUMO, F. AND ZEWAINY, R.M. Influence of Phospho-Composting on Enhancing Phosphorus Solubility from Inactive Rock Phosphate Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(5): p. 268-276, 2012.

HENZ, G.P; SUINAGA, F. **Tipos de Alface Cultivados no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 7p. (Comunicado Técnico, 75).

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Clearly identified carbon sequestration in soils as one of the possible GHG mitigation measures for agriculture at an early stage. 1996.

JIMENEZ, I.E.; GARCIA, V.P. Evaluation of city refuse compost maturity: **A review biological wastes**. v. 27, p. 115-142, 1989.

JOHANNSEN, S.S.; ARMITAGE, P. AGRICULTURAL PRACTICE AND THE EFFECTS OF AGRICULTURAL LAND-USE ON WATER QUALITY. **Freshwater Forum**, v. 28, p. 45-59, 2010.

KADER, N.A.E.; P. ROBIN; J.M. PAILLAT; P. LETERME. Turning, compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. **Bioresources Technology**, 98, p. 2619-2628, 2007.

KARTHIGEYAN, M. AND ALAGESAN, P. Millipede composting: A novel method for organic waste recycling. **Recent Research in Science and Technology**. p. 62-67, 2011.

KENNEDY, A.C.; SMITH, K.L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and Soil**, v. 170, p. 75-86, 1995.

KENNER, H.M.; DAS, K.. Process control based on dynamic properties in composting: moisture and compaction considerations. In: **The science of composting**. part 1. Chapman & Hall. England. 1996. p. 116-125.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação do composto**. 3. Ed. Piracicaba, 2002. 17p.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Ed. Agr. Ceres Ltda., 1998. 171p.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. 4ª Ed. Piracicaba, 2004. 173p.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; NASCIMENTO, M.; NEUMANN, R.; RIZZO, A.C. Tecnologias de aplicação de glaucomita como fonte de potássio na agricultura: o caso brasileiro e a experiência indiana. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2010. **Anais**. Planaltina: SOB (CD-ROM).

LASARIDI, K.; IOANNA, O.; PROTOPAPA.; KOTSOU, M.; PILIDIS, G.; MANIOS, T.; KYRIACOU, A. Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. **Journal of Environmental Management**, v. 80, p. 58–65, 2006.

LEAL, M.A.A. Produção e Eficiência Agronômica de Compostos Obtidos com Palhada de Gramínea e Leguminosa para o Cultivo de Hortaliças Orgânicas. 2006. 133 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica.

LÓPEZ, L.M.; PELLEGRINO DE IRALDI, A.; CARRIZO, P.H.; DUBIN, M.; STOPPANI, A.O.M. Effect of the lipophilic o-naphthoquinone CG 10-248 on rat liver mitochondria structure and function. **Biocell** 26: p. 237-245, 2002.

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. **Bioresources Technology**, Oxford, v. 81, p. 123-129, 2002.

LUDKE, I. Produção orgânica de alface americana fertirrigada com biofertilizante em cultivo protegido. 2009. 79 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília.

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.

MAHIMAIRAJA, S.; BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J; MACGREGOR, A.N. Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: an incubation experiment. **Bioresources Technology**. 47 (3): p. 265–273. 1994.

MANDELBAUM, R.; HADAR, Y. Methods for determining pythium suppression in container media. **Compost Science & Utilization**, Pennsylvania, v. 5, p. 15-22, 1997.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e SPA – Secretaria de Política Agrícola. Informativo de Economia Agrícola 2014. Disponível em:<http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/INFORMATIVO%20DE%20ECONOMIA%20Agri_%20ano%206%20vol_%201.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2016.

MARCHI, E.C.S. Influência da adubação orgânica e doses de material húmico sobre a produção de alface americana e teores de carbono no solo. 2006. 46 p. Tese (Doutorado) – UFLA, Lavras.

MARÍN, I.; SANZ, J.L.; AMILS, R. **Biotecnología y medioambiente**. Ed. Ephemera, Madri, 2005.

MARRIEL, I.E.; KONZEN, E.A.; ALVARENGA, R.C.; SANTOS, H.L. Tratamento e utilização de resíduos orgânicos. **Informe agropecuário**, n. 147, p. 24-36, 1987.

MEDEIROS, A.N.; COSTA, R.G.; SANTOS, I.B.; CARVALHO, F.F.R.; VALLECILLO, A.; SANTOS, N.M. dos. Effect of different levels of elephant grass consumption (*Pennisetum purpureum*, Schum var. Cameroon) during rearing of goatscaprinos). Arch. Latinoamericanos Prod. Anim., p.75-82. 2007.

MIHRETEAB, F.G.; CEGLIE, A. ALY & F. TITTARELLI. **Rock phosphate enriched compost as a growth media component for organic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings production**. 2015.

MILLNER, P.D.; OLENCHOCK, A.S.; EPSTEIN, E.; RYLANDER, R.; WALKER, J.; OOI, B.L.; HORNE, E.; MARITATO, M. Bioaerosols associated with compost facilities. **Compost Science & Utilization**, Pennsylvania, Pennsylvania, v. 2, p. 6-57, 1994.

MISRA, R.V.; ROY, R.N. **On farm composting methods**. Rome: FAO, 2003. 26p.

MOTES, W.C. Modern Agriculture and its Benefits: Trends, Implications and Outlook”, March 2010. Disponível em: <<http://www.globalharvestinitiative.org/Documents/Motes%20-%20Modern%20Agriculture%20and%20Its%20Benefits.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2015.

MUSTIN, M. **Le compost – gestion de la matière organique**. Editions François Dubusc – Paris. 1987. 954p.

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.

NAKAGAWA, J.; BÜLL, L.T.; PROCHNOW, L.I.; VILLAS BOAS, R.L. Efeitos de compostos orgânicos na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). Série I. **Científica**, São Paulo, v. 20, p. 173-180, 1992.

NAKAGAWA, J.; KAMITSUJI, M.K.; PIERI, J.C.; VILLAS BÔAS, R.L. Efeitos do bagaço, decomposto por ação de biofertilizante, na cultura da alface. **Científica**, São Paulo, v. 21, p. 169-177, 1993.

OGBO, F.C. Conversion of cassava wastes for biofertilizer production using phosphate solubilizing fungi. **Bioresources Technology**, June, v.101(11), p. 4120(5), 2010.

OLIVEIRA, F.J.S.; JUCÁ, J.F.T. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental [S.I.]**, v. 9, p. 211-217, 2004.

PEIXOTO, R.T. dos G. **Compostagem: Princípios, Práticas e Perspectivas em Sistemas Orgânicos de Produção**. EMBRAPA Informação Tecnológica, Brasília, DF 2005. p. 389-419.

PEREIRA NETO, J.T. “**On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting – A Low Cost Technology Approach**”. University of Leeds, Inglaterra. 1987. p. 839-845.

PEREIRA NETO, J.T. **Conceitos modernos de compostagem**. Engenharia Sanitária, 1989. p. 104-109.

PEREIRA NETO, J.T. **Lixo Urbano no Brasil: Descaso, Poluição Irreversível e Mortalidade Infantil**. Ação Ambiental – Universidade Federal de Viçosa, agosto/setembro, 1998. p. 8-11.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de Compostagem**. Belo Horizonte – UNICEF. 1996. 56p.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. UFV. Viçosa. 2007. 81p.

PEREIRA NETO, J.T. Tratamento, reciclagem e impacto ambiental de dejetos agrícolas. In: Conferência sobre Agricultura e Meio Ambiente. 1992, Viçosa. **Anais**. UFV-NEPEMA. Viçosa. 1994. p. 61-74.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 18. ed. São Paulo. 2006. 549p.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. Nobel. São Paulo. 1981. 535p.

RESENDE, F.V.; SAMINÉZ, T.C.O.; VIDAL, M.C.; SOUZA, R.B.; CLEMENTE, F.M.V. **Cultivo de alface em sistema orgânico de produção**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. 16p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 56).

RICCI, M. dos S. F. Crescimento e teores de nutrientes em cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) adubados com vermicomposto. 1993. 101 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa.

RICHARD, T.; N. TRAUTMANN; M. KRASNY; S. FREDENBURG AND C. STUART. The science and engineering of composting. The Cornell composting website, Cornell University. 2002. Disponível em: <http://www.compost.css.cornell.edu/composting_homepage.html>. Acesso em: 26 jun. 2015.

RODRIGUES, A.C.; FRANÇA, JR.; SILVEIRA, R.B. da.; SILVA, R.F.; ROSCO, D.A.; KEMERICH, P.D.C. **COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: EFICIÊNCIA DO PROCESSO E QUALIDADE DO COMPOSTO**. 2015. Disponível

em:<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015c/agrarias/compostagem%20de%20residuos.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

ROSAS, C. Compostagem. 2002. Disponível em:<[http://www.confagri.pt/Ambiente Áreas Temáticas/Solo](http://www.confagri.pt/Ambiente%20-%20Tematicas/Solo)>. Acesso em: 11 set. 2015.

RUSSO, M.A.T. **Introdução à compostagem de resíduos sólidos**. Escola Superior de tecnologia e Gestão, Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo, 2004. 81p.

SANTOS, D.A.D. dos.; FLORES, M. Compostagem acelerada de resíduos alimentares utilizando o acelerador de compostagem Embiotc® Line. Faculdade de Tecnologia – Universidade Estadual de Campinas. Limeira, SP. 2012.

SANTOS, D.E. dos. A construção social do mercado de alimentos orgânicos na RMBH. 2014. 187 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, de Belo Horizonte, Belo Horizonte.

SANTOS, K.K.B. dos.; FREITAS, A. de.; CAMILO, B.G.; OLIVEIRA, A.C. de.; PAIVA, C.A.O.; MARRIEL, I.E. Dinâmica da atividade da urease e arginase durante a compostagem de resíduos agrícolas enriquecidos com rochas potássicas e fosfáticas e bioinoculante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: **Anais**. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

SCHNEIDER, L. Rendimento e qualidade de alface em função de adubação nitrogenada orgânica e mineral. 1983. 69 p. Dissertação (Mestrado) – UFRGS, Porto Alegre.

SEDIYAMA, M.A.N.; GARCIA, N.C.P.; VIDIGAL, S.M.L.; MATOS, A.T. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e animais. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 57, p 128-135, 2000.

SEGOVIA, J.F.O. Influência da proteção ambiental de uma estufa de polietileno transparente sobre o crescimento da alface. 1991. 74 p. Dissertação (Mestrado) – UFSM, Santa Maria.

SENESI, N. Composted materials as organic fertilizers. **The science of the total environment**, 81/82, 1989. p.521-542.

SILVA, E.C. LEAL, N.R.; MALUF, W.R. Avaliação de cultivares de alface sob altas temperaturas em cultivo protegido em três épocas de plantio na região Norte-Fluminense. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 23, p. 491-499, 1999.

SILVA, F.A.M.; VILAS-BOAS, R.L.; SILVA, R.B. da. Resposta da alface à adubação nitrogenada com diferentes compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 131-137, 2010.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.R. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. p. 276-374.

SILVA, L.N. Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais. 2007. 59 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR.

SILVA, M.E.C. **Compostagem de Lixo em Pequenas Unidades de Tratamento**. Viçosa, CPT, 2000.

SILVA, N.R. da.; CAMARGO, A.P.F.; WANGEN, D.R.B. PRODUÇÃO ORGÂNICA DE ALFACE ADUBADA COM DIFERENTES TIPOS DE COMPOSTOS ORGÂNICOS. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.9, n.17; p. 2151-2158. 2013. Disponível em:<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/producao%20organica.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2015.

SINGH, C.P. AND AMBERGER, A. Organic acids and phosphorus solubilization in straw composted with rock phosphate. **Bioresources Technology** 63: p. 13–16. 1998.

SOUZA, J.L. de. **Agricultura Orgânica: tecnologias para a produção de alimentos saudáveis**. Vol. 2. Vitória, 2005. 257p.

SOUZA, J.L. de.; RESENDE, P. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. 564p.

STAMFORD, N.P.; SANTOS, C.E.R.S.; STAMFORD JÚNIOR, W.P.; DIAS, S.L. Biofertilizantes de rocha fosfatada com *Acidithiobacillus* como adubação Alternativa de caupi em solo com baixo P disponível. **Revista Analytica**, 9, p. 48-53, 2004.

STRAUCH, D. Occurrence of microorganisms pathogenic for man and animals in source separated biowaste and compost – importance, Control, Limits and Epidemiology. In: BERTOLDI M de; SEQUI P; LEMMES B; PAPI T (Ed.). **The Sciences of Composting**. Blackie Academic and Professional. Glasgow, UK, 1996. p. 224-232.

SWIFT, M.J.; WOOPER, P. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: definitions and measurement. In: MULUNGOY, K.; MERCKX, R. (Eds.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Leuven: Wiley-Sayce co. 1993. p.3-18.

TANG, J.C.; KANAMORI.; INQUE, Y. **Changes in the microbial community structure during thermophilic composting of manure as detected by quinone profile method**. Process Biochem. 2004. 39p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS. 174p. 1995. Boletim Técnico, 5.

TEJADA, M.; DOBAO, M.M.; BENETEZ, C.; GONZALEZ, J.L. Study of composting of cotton residues. **Bioresources Technology**, Essex, v. 79, p. 199-202, 2001.

TIQUIA S.M.; TAM N.F.Y. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 110, p. 535-541, 2000.

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, p. 161-171, 1997b.

TRAUTMANN, N.; OLYNCIW, E. **Compost Microorganisms**. In: CORNELL Composting, Science & Engineering. Disponível em: <<http://compost.css.cornell.edu/microorg.html>>. Acesso em: 30 jul. 2015.

TRAUTMANN, N.M.; PORTER, K.S.; WAGENET, R.J. Modern Agriculture: **Its Effects on the Environment, Natural Resources Cornell Cooperative Extension**. 1998.

VALLINI, G. Compostaggio. In: La protezione dell'ambiente in Italia. Ed. BERTINI, I.; CIPOLLINI, R.; TUNDO, P. **Consiglio Nazionale delle Ricerche, Società Chimica Italiana e Consorzio Interuniversitario Chimica per l'Ate**. Bologna: 1995. p. 83-134.

VAN STRAATEN P. **Rocks for crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa**. ICRAF, Nairobi, Kenya, 2002. 338p.

VANOTTI, M.B.; MILLNER, P.D.; HUNT, P.G.; ELLISON, A.Q. Removal of pathogen and indicator microorganisms from liquid swine manure by a multi-step biological and chemical treatment. **Bioresources Technology**, Essex, v. 96. p. 209-214, 2005.

VASSILEV, N., SOMEUS, E., SERRANO, M., BRAVO, V., GARCIA, ROMAN, M., REYES, A., VASSILEVA, M. Novel approaches in phosphate-fertilizer production based on wastes derived from rock phosphate mining and food processing industry. In: SAMUELSON J.P. (Ed.) **Industrial waste: environmental impact, disposal and treatment**. Nova Science Publish, NY, p. 387-391, 2009.

WHITE, P.J.; CRAWFORD, J.W.; ÁLVAREZ, M.C.D.; MORENO, R.G. **Soil Management for Sustainable Agriculture**. Applied and Environmental Soil Science. 2013.

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. 72p.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 19: p. 1467-1476, 1988.