

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**MATÉRIA ORGÂNICA E PRODUÇÃO DE ALFACE E CEBOLINHA EM
ARGISSOLO VERMELHO COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
ALTERNATIVOS**

**Ana Cristina Lüdtkke
(DISSERTAÇÃO)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**MATÉRIA ORGÂNICA E PRODUÇÃO DE ALFACE E CEBOLINHA EM
ARGISSOLO VERMELHO COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
ALTERNATIVOS**

ANA CRISTINA LÜDTKE
Tecnóloga em Agropecuária Integrada
(UERGS)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos para a obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Abril de 2014

CIP - Catalogação na Publicação

LÜDTKE, ANA CRISTINA

MATÉRIA ORGÂNICA E PRODUÇÃO DE ALFACE E CEBOLINHA
EM ARGISSOLO VERMELHO COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
ALTERNATIVOS. / ANA CRISTINA LÜDTKE. -- 2014.
101 f.

Orientadora: DEBORAH PINHEIRO DICK.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa
de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-
RS, 2014.

1. SUBSTÂNCIAS HÚMICAS. 2. FONTES ALTERNATIVAS. 3.
ESPECTROSCOPIA FTIR. 4. CARBONO ORGÂNICO. 5. MICELAS
HÚMICAS. I. DICK, DEBORAH PINHEIRO, orient. II. Título.

ANA CRISTINA LÜDTKE

MATÉRIA ORGÂNICA E PRODUÇÃO DE ALFACE E CEBOLINHA EM
ARGISSOLO VERMELHO COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
ALTERNATIVOS.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em
Ciência do Solo.

Aprovada em 02 de abril de 2014
Homologada em 14 de agosto de 2014.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Carlos Alberto Bissani
UFRGS

Prof. Carlos Alberto Ceretta
UFSM

Dra. Juliana Gomes
Unilasalle

Orientadora - Profa. Deborah Pinheiro Dick
UFRGS

Ao meu Rio Grande amado.....

Quando o Rio Grande corre pelas veias

Nalgum fundo de campo da fronteira
Um índio bem montado mira ao longe
E a pampa inteira cabe nos seus olhos
Repletos de coxilhas e horizontes.

Há muito de querência neste homem,
Há séculos de história escrita em versos
E a herança da Campanha se reflete
Na simples amplitude de seus gestos.

A singeleza de cevar um mate
E alçar a perna pra espiar estrelas
É a liturgia do ritual campeiro
Quando o Rio Grande corre pelas veias.

Nalgum fundo de campo da fronteira
Com a proteção sagrada do chapéu
Um índio afina as cordas da guitarra
Olhando a pampa comungar com o céu.

Sou eu o homem que bombeia ao longe
Repleto de coxilhas e distâncias;
O campo é minha razão, é minha essência,
Porque eu sou eu e minhas circunstâncias.

(Marcelo D'Ávila e Robson Garcia)

Ofereço

Aos meus pais Bruno e Marlene Lüdtké

“Vocês não me deram tudo que queriam, mas me deram tudo que tinham”.

Obrigada!

"Insisto na caminhada. O que não dá é pra ficar parado. Se amanhã o que eu sonhei não for bem aquilo, eu tiro um arco-íris da cartola. E refaço. Colo. Pinto e bordo. Porque a força de dentro é maior. Maior que todo mal que existe no mundo. Maior que todos os ventos contrários. É maior porque é do bem. E nisso, sim, acredito até o fim. O destino da felicidade me foi traçado no berço."

Caio Fernando Abreu

Dedico

Ao presente mais lindo que a vida me deu
À minha filha Marina

*Pra você guardei o amor que nunca soube dar
Nando Reis*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela incrível oportunidade de estar aqui ao lado de pessoas especiais, acertando e aprendendo com os erros nessa surpreendente jornada chamada vida.

À minha Florzinha pela sua incansável compreensão, e amor. Desculpe por todos os momentos em que mesmo presente estive ausente. Obrigada pelos seus abraços e beijos carinhosos, nos momentos difíceis.

Aos meus pais. Que nunca mediram esforços para continuar me incentivando a cada dia. Sou muito grata, por ter vocês ao meu lado. A vocês devo a minha vida.

Agradeço a minha admirável irmã, Fabiana Lüdtke, por todos os conselhos, que sempre me motivou a continuar no caminho certo. Uma grande e verdadeira irmã. Aos meus irmãos Cristiano e Leonardo Lüdtke pelo incentivo.

À minha avó querida Iris pelo seu exemplo de coragem dedicação e força durante toda sua vida e a minha tia Irene por sempre estar presente, incentivando e ajudando sempre em todos os momentos.

Aos meus amigos Maiara Ramires e Rodrigo de Moura Silveira que fazem meu coração sorrir... Agradeço de todo coração pelos conselhos, pelo simples olhar de carinho, por compartilharem comigo momentos especiais, pelo ombro amigo... Pelas lágrimas transformadas e risos, por acreditarem em mim, pela força transmitida. Obrigado por fazerem a diferença em minha vida. Amo vocês!!!

À minha amiga Júlia Bolzan, Lucas Jobim, Pablo França, Vagner Eltz, Ingrid Becker, Juliana Tolfo, “Existem pessoas em nossa vida que nos deixam felizes pelo simples fato de terem cruzado o nosso caminho”.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

À professora Dra. Deborah Pinheiro Dick por ter me acolhido com carinho, pela excelente orientação, dedicação, confiança, apoio, constante incentivo e grande amizade.

Agradeço ao Professor Dr. Celso Aita, da UFSM, pela colaboração e aos doutorandos Rafael Cantú e Cledimar Lourenzi pelos ensinamentos e ajuda nas análises.

Aos Laboratoristas Luís Antonio e Adão Luís, pela ajuda nas determinações analíticas. À funcionária Fabiana Grosser do Departamento de Química pela ajuda nas análises espectroscópicas. E ao secretário Jader pelo excelente trabalho e ajuda.

Aos bolsistas de iniciação científica, Bruno Pavan, Luiza Morosino (Lu), Vicente Kraemer, por toda ajuda, dedicação e amizade.

Aos companheiros do laboratório K 104-B, pela confraternização diária, carinho, e a amizade, em especial a Daniel Hanke, Arielli Nebenzahl, Anderson Leite, Graciele Santana, Daniela Barbosa, Otávio Leal.

À todos os meus amigos do PPG Ciência do Solo pelos bons momentos vividos e amizade. Em especial, agradeço Magno Amorin, Felipe Celau, Leonardo Capeleto de Andrade, Bruna Wink, Clarissa Borges, Vanessa Sperotto, Anderson Vedelago, José Bernardo Moraes Borin, Cecília Sacramento, Amanda Martins, Fernando Arnuti.

As minhas amigas Clarissa Borges, Graciele Sarante, por todos os momentos de alegrias, pelo ombro amigo nos momentos difíceis, pelos desabafos e conselhos e, por todo carinho e amizade. Adoro vocês!!

Agradeço ao amigo e professor Benjamim Osório Filho pelo incentivo e amizade.

Agradeço a empresa JDMV pela parceria na realização do trabalho.

A todos que, de forma direta ou indireta participaram desta etapa da minha vida.

Muito obrigada!!

MATÉRIA ORGÂNICA E PRODUÇÃO DE ALFACE E CEBOLINHA EM ARGISSOLO VERMELHO COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES ALTERNATIVOS¹

AUTORA: Ana Cristina Lüdtke

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. Deborah Pinheiro Dick

RESUMO

A utilização de fontes alternativas como fertilizantes orgânicos têm aumentado consideravelmente na última década, visando minimizar a utilização de fertilização mineral. Tendo em vista que a adição de resíduo orgânico pode afetar a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e a produtividade de culturas, este trabalho teve como objetivos principais avaliar o impacto de diferentes fontes de substâncias húmicas solúveis (SHs) na distribuição dos compartimentos químicos e na sua composição química em Argissolo, bem como avaliar o efeito na produtividade de hortaliças. No estudo 1 foram avaliados a composição química e distribuição de ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina, teor de MOS e a distribuição dos metais Cu, Fe, Cr, Mn e Zn em compartimentos da MOS após adição de composto orgânico de dejetos de suínos na forma neutra (T2), na forma ácida (T3) e em solo sem adição (T1). As SHs foram quantificadas e sua composição química foi determinada por espectroscopia de FTIR. A adição de composto orgânico não alterou o teor de C do solo, porém afetou a distribuição da MOS. Nos três tratamentos C_{SHs} aumentou até os 52 dias, sendo que T2 e T3 apresentaram os maiores valores. Comportamento semelhante foi observado para C_{AF} e C_{AH} . Ao final do experimento a distribuição das frações húmicas não diferiu entre tratamentos. A adição de composto não afetou a concentração total dos metais bem como sua concentração nas frações C_{SH} e C_{HCl} . O estudo 2 foi realizado em casa de vegetação, utilizando-se SHs de leonardita em diferentes tratamentos, com e sem aplicação de adubação mineral (NPK) nas culturas de alface e cebolinha ao longo de 48 dias. Foram avaliados número de folhas, diâmetro e altura de plantas, comprimento de raiz e massa seca e fresca da raiz e parte aérea nas plantas. No solo foram determinados o teor de C e de N e a distribuição das frações húmicas. O teor de C e N do solo não variou entre os tratamentos, porém a distribuição das SH foi afetada pelo tipo de fertilizante. Em geral a adição de SHs favoreceu o crescimento das plantas nas variáveis estudadas, sendo que o tratamento Growmater Plant®+NPK foi o que mais se destacou.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós - Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (82p) Abril, 2014. Trabalho realizado com o apoio financeiro do CNPq.

ORGANIC MATTER AND PRODUCTION LETTUCE AND CHIVE ULTISOL IN RED WITH FERTILIZERS APPLICATION OF ALTERNATIVE ²

AUTHOR: Ana Cristina Lüdtke

ADVISER: Prof^a. Dr^a. Deborah Pinheiro Dick

ABSTRACT

The use of alternative sources of organic fertilizers have increased considerably in the last decade, aiming to minimize the use of mineral fertilizer. Given that the addition of organic fertilizers may affect the dynamics of soil organic matter (SOM) and the productivity of crops, the main objectives of this work were to evaluate the impact of different sources of soluble humic substances (HSs) on the distribution of SOM chemical compartments and their chemical composition in Ultisol and to investigate the effect on the productivity of some vegetables . In Study 1, the chemical composition and distribution of humic acids (HA), fulvic acids and humin, content of SOM and the distribution of Cu, Fe , Cr , Mn and Zn in the SOM compartments were evaluated after the addition of organic compost of swine manure. Three treatments were established: soil without addition of compound (T1), soil with addition of neutral compost (T2) and soil with the addition of acid compost (T3). The SHs were quantified and their chemical composition was determined by FTIR spectroscopy. The addition of organic compost did not affect the soil C content but the SOM distribution in humic compartments. In all treatments C_{SHs} increased until 52 days after addition of fertilizer, however T2 and T3 always showed the greatest values. Similar behaviour was verified with C_{AF} e C_{AH} . At the end of the experiment no difference was observed regarding the distribution of humic fractions between treatments. The concentration of metals was not affected by the addition of fertilizer as well as their concentration in humic fractions C_{SH} and C_{HCl} . Study 2 was conducted in a greenhouse employing SHs from leonardite in different treatments, with and without application of mineral fertilizer (NPK) in cultivation of lettuce and chives during 48 days. Number of leaves, plant diameter and height, root length and fresh and dry weight of roots and shoots in plants were evaluated. The soil C and N contents were determined and the distribution of humic fractions as well. Soil C and N content did not differ among treatments, but the distribution of SH was affected by the type of added fertilizer. In general the addition of fertilizers favored the plant growth as indicated by the evaluated variables. The outstanding effect was shown by the NPK + Growmater Plant® treatment.

² Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (82p).April, 2014. Research supported by CNPq.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MOS- matéria orgânica do solo
SHs- substâncias húmicas solúveis
AH - ácido húmico
AF - ácido fúlvico
HU – huminas
Cu- cobre
Fe- ferro
Zn- zinco
Cr- cromo
Mn- manganês
K- potássio
B- boro
Mg- magnésio
CTC- capacidade de troca catiônica
P- fósforo
SB- saturação por bases
 K_{troc} - potássio trocável
 Ca_{troc} - cálcio trocável
C/N – relação carbono/ nitrogênio
N- nitrogênio
CH₄-metano
CO₂- gás carbônico
N₂O- óxido nitroso
H₂S-ácido sulfúrico
NaOH - hidróxido de sódio
HCl- ácido clorídrico
HF- ácido fluorídrico
HClO₄- ácido perclórico

H₂O₂ - peróxido de hidrogênio

MSPA- massa seca da parte aérea

MFPA- massa fresca da parte aérea

MFR- massa fresca raíz

MSR- massa seca raíz

MFT- massa fresca total

MST- massa seca total

HS- Humic Soil

MAPA- Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Substâncias Húmicas.....	3
2.2 Suinocultura e os impactos ambientais gerados pela atividade.....	7
2.3 Compostagem.....	9
2.4 Fertilizantes orgânicos no cultivo de hortaliças.....	11
3. HIPÓTESES.....	13
4. ESTUDO I: MONITORAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E DE SUAS FRAÇÕES HÚMICAS APÓS ADIÇÃO DE COMPOSTO DE DEJETOS DE SUÍNOS.	14
4.1 Introdução	14
4.2 Material e métodos.....	17
4.2.1 Descrição do experimento.....	17
4.2.2 Determinações de carbono (C) e nitrogênio (N).....	19
4.2.3 Extração, quantificação e purificação das substâncias húmicas e determinação de Cu, Fe, Cr, Mn e Zn	19
4.2.4 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	20
4.2.5. Teor total de metais no solo e na planta.....	21
4.2.6 Análise estatística.....	22
4.3. Resultados e discussão.....	22
4.3.1 Teor de C e N, relação C/N.....	22
4.3.2 Distribuição das frações húmicas após adição do composto de dejetos de suínos.....	23
4.3.3 Composição elementar de ácidos húmicos (AH) e huminas (HU).....	29
4.3.4Comportamento espectral dos ácidos húmicos (AH) e huminas (HU).....	30
4.3.5 Teor de metal no solo e nas frações húmicas	33
4.3.6 Teor total de metais na massa seca da planta.....	36
4.4 Conclusões.....	36

5. ESTUDO II. EFEITO DE FERTILIZANTES DE LEONARDITA NO RENDIMENTO DE ALFACE E CEBOLINHA E NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO.....	37
5.1 Introdução	37
5.2 Material e métodos.....	39
5.2.1 Localização do experimento e coleta das amostras.....	39
5.2.2 Fertilizantes orgânicos e fertilizantes inorgânicos empregados.....	40
5.2.3 Instalação do experimento e delineamento experimental.....	40
5.2.4 Características avaliadas nas plantas.....	42
5.2.5 Avaliações nas amostras de solo.....	43
5.2.6 Fracionamento e quantificação das substâncias húmicas.....	43
5.2.7 Espectroscopia de Infravermelho (FTIR).....	44
5.2.8 Análise estatística.....	44
5.3 Resultados e discussão.....	45
5.3.1 Efeito da aplicação de fertilizantes nas variáveis nas plantas de alface.....	45
5.3.2 Produtividade avaliada pela massa fresca e massa seca das plantas de.....	49
5.3.3 Efeito da aplicação de fertilizantes nas variáveis das plantas de cebolinha.....	51
5.3.4 Produtividade avaliada pela massa fresca e massa seca das plantas da cebolinha.....	53
5.3.5 Teores de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da planta de alface.....	54
5.3.6 Características químicas do solo após cultivo da alface.....	55
5.3.7 Teor de Carbono (C) e Nitrogênio (N) do solo e sua distribuição em compartimentos químicos.....	57
5.3.8 Comportamento espectral dos Ácidos Húmicos (AH).....	62
5.4 Conclusões.....	64
5.4.1 Considerações finais.....	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
7. APÊNDICE.....	77

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1.	Teores de carbono (C) e de nitrogênio(N) e relação C/N em solo sem e com aplicação de composto orgânico.....	23
2.	Distribuição do C nas frações húmicas em Argissolo Vermelho, em solo sem adição de composto (T1) e solo com adição de composto neutro (T2) e de composto ácido (T3) advindo da compostagem de dejetos de suínos.....	24
3.	Teores de carbono (C) e nitrogênio (N) e relação C/N nas frações de ácido húmico (AH) e humina (HU), dos tratamentos sem aplicação de composto e com aplicação de composto de dejetos de suínos.....	30
4.	Intensidades relativas e índice de aromaticidade dos ácidos húmicos (AH) em solo sem aplicação de composto orgânico (T1) e com adição de composto neutro (T2) e ácido (T3) advindo de dejetos de suínos, em Argissolo Vermelho.....	31
5.	Teor de cobre (Cu), ferro (Fe), cromo (Cr), manganês (Mn) e zinco (Zn), no solo, na fração HCl e fração SH, em área de referência nos diferentes tratamentos em Argissolo Vermelho.....	35
6.	Teores de cobre (Cu), ferro (Fe), cromo (Cr), manganês (Mn) e zinco (Zn), na massa seca das folhas de alface ao final dos 64 dias, após adição de composto orgânico.....	36
7.	Número de folhas, diâmetro e altura de plantas e comprimento de raiz (cm) nos diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS)+NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura da alface.....	48
8.	Massa fresca e massa seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz em plantas de alface em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS)+NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura.....	50
9.	Número de folhas, altura de plantas e comprimento de raiz (cm) nos diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil ®(HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura da cebolinha.....	53

10. Massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz da cultura da cebolinha em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura.....	54
11. Teores de macronutrientes e micronutrientes da massa seca da parte aérea (MSPA) da cultura da alface, nos diferentes tratamentos aos 48 dias.....	56
12. Teor de C e N e relação C/N em Argissolo Vermelho nos diferentes tipos de adubação: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura da alface.....	57
13. Distribuição dos compartimentos químicos do carbono em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK aos 21 e 48 dias.....	60
14. Intensidades relativas e índice de aromaticidade (FTIR) de ácidos húmicos (AH), nos diferentes tratamentos testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK aos 21 e 48 dias.....	64

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

1. Proporção dos compartimentos químicos do C do solo em Argissolo Vermelho, em solo sem adição de composto (a) e solo com adição de composto neutro (b) e de composto ácido (c) advindo da compostagem de dejetos de suínos..... 28
2. Espectros de FTIR na fração ácido húmico (AH) na camada de 0-10 cm em Argissolo Vermelho em solo sem adição de composto (T1), solo com adição de composto neutro (T2) e composto ácido (T3) e área de referência..... 31
3. Espectros de FTIR da fração humina (HU) em Argissolo Vermelho em solo sem adição de composto (T1) e com adição de composto ácido (T3)..... 32
4. Aplicação de fertilizante orgânico ao solo antes do transplante das mudas de alface e cebolinha..... 41
5. Bancada de cultivo da casa de vegetação, do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS com vasos de alface (a) e cebolinha (b) após o transplante..... 41
6. Proporção dos compartimentos químicos do carbono (C) do solo em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil®(HS)+NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK aos 21 e 48dias..... 61
7. Espectros de FTIR na fração ácido húmico (AH) do solo em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK aos 21 dias (a) e 48dias (b)..... 63

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Períodos de ocorrências de chuvas durante o experimento a campo de maio/agosto de 2012. (Cantú, R.R., 2012 n.p.).....	78
2. Características químicas dos compostos neutro e ácido, estudados (Cantú, R.R., 2012 n.p.).....	78
3. Produção de massa verde em plantas de alface ao final do ciclo (64dias) Santa Maria – RS UFSM, 2012. (Cantú, R.R., 2012, n.p).....	78
4. Valores de pH ao longo do experimento.....	79
5. Propriedades químicas dos fertilizante orgânicos estudados.....	79
6. Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na massa seca da parte aérea da alface aos 48 dias.....	79
7. Características do solo da referência (antes do início do experimento) e aos 48 dias (término do experimento) na cultura da alface, em Argissolo Vermelho.....	80
8. Plantas de cebolinha sete dias após o transplante (a) aos 35 dias(b) (b).....	81
9. Plantas de alface, nos diferentes tratamentos ao final do experimento.....	82
10. Plantas de alface ao final do experimento.....	83

1. INTRODUÇÃO GERAL

A utilização de fertilizantes minerais é prática amplamente difundida na produção de hortaliças, visando uma maior produtividade. Devido ao alto custo dos fertilizantes e aos possíveis impactos ambientais neste sistema de produção, torna-se essencial a busca por alternativas que visem minimizar os prejuízos causados ao ambiente. Neste contexto, surge um modelo de sistema de produção mais sustentável, a produção orgânica. Atualmente devido a crescente exigência do consumidor por alimentos de qualidade e produzidos em um sistema que respeite o meio ambiente e seja socialmente justo (Henz et al., 2007) têm-se adotado o uso de fertilizantes orgânicos.

Segundo a Lei 10.531 de 23 de dezembro de 2003, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, considera-se que:

“Todo sistema orgânico de produção, todo aquele em que se adotam tecnologias que aperfeiçoem o uso de recursos naturais e socioeconômicos, respeitando a integridade cultural e tendo por objetivo a auto sustentação no tempo e no espaço, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energias não renováveis e a eliminação do emprego de agrotóxicos e outros insumos artificiais tóxicos, organismos geneticamente modificados ou radiações ionizantes em qualquer fase do processo de produção, armazenamento e de consumo, e entre os mesmos, privilegiando a preservação da saúde ambiental e humana, assegurando a transparência em todos os estágios da produção e da transformação” (Brasil, 2003).

Para suprir a crescente demanda por fertilizantes orgânicos tem se utilizados diversas fontes alternativas de resíduos orgânicos, tais como, composto de dejetos de animais, vermicompostos, turfas, carvão mineral

(leonardita, carvão betuminoso), entre outras, dentre os quais, os mais frequentemente utilizados na produção de hortaliças são os dois citados inicialmente.

A utilização de resíduos orgânicos na agricultura é uma opção atrativa do ponto de vista econômico, em razão da ciclagem de carbono e nutrientes, promovem o aumento de matéria orgânica do solo e nutrição de planta, além do mais reduzem a necessidade da utilização de fertilizantes minerais. A aplicação de matéria orgânica adicionada ao solo via adubação orgânica de acordo com o grau de decomposição pode ter efeito imediato ou residual por meio de um processo mais lento de decomposição e liberação de nutrientes.

As substâncias húmicas devido sua reatividade correspondem a porção envolvida na maioria das reações químicas do solo. A adição de material humificado no solo, além de ser fonte de carbono e nitrogênio, melhora a agregação das partículas, a infiltração e retenção de água, aumenta a capacidade de troca de cátions, a disponibilidade de nutrientes para as plantas, altera o metabolismo atuando no crescimento e desenvolvimento das plantas.

O presente trabalho visa contribuir para o conhecimento do papel das substâncias húmicas de fontes alternativas na produtividade de hortaliças e nas propriedades químicas do solo. Para tanto foram desenvolvidos dois estudos:

Estudo I: Monitoramento da matéria orgânica do solo e de suas frações húmicas após adição do composto de dejetos de suínos.

O objetivo deste trabalho foi investigar o impacto da adição de composto oriundo de dejetos líquidos de suínos ao solo, na composição química e teor de MOS e distribuição dos metais Cu, Fe, Cr, Mn e Zn no solo ao longo da cultura da alface.

Estudo II: Efeito de fertilizantes de leonardita no rendimento de alface e cebolinha e nas propriedades químicas de um Argissolo Vermelho.

O objetivo deste estudo foi estudar o efeito da aplicação de ácido húmico e de ácido fúlvico comercial oriundo de leonardita em combinação com adubação mineral nas propriedades químicas do solo e na produtividade das culturas da alface e cebolinha.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Substâncias húmicas

As substâncias húmicas solúveis (SH) constituem a fração coloidal da matéria orgânica do solo, contribuindo, em média, com 85 a 90 % do teor total de carbono orgânico (Dick et al., 2009). Essas substâncias originam-se a partir de transformações bioquímicas de compostos como lignina, celulose, hemicelulose, açúcares, aminoácidos, etc. (Silva & Mendonça, 2007), sendo determinantes no conceito de desenvolvimento sustentável devido a sua influência na manutenção da qualidade do solo (Piccolo, 1996).

As substâncias húmicas de acordo com a sua solubilidade em função do pH (Stevenson, 1994), sendo distribuídas em três frações. Os ácidos fúlvicos (AF) apresentam-se solúveis tanto em meio ácido como básico, contendo uma grande quantidade de grupamentos funcionais oxigenados. Já os ácidos húmicos (AH) são insolúveis em meio fortemente ácido, pois, com a protonação dos grupamentos funcionais ocorre o colapso da estrutura e precipitação das macromoléculas e as huminas, que representam a matéria orgânica intimamente ligada à fração mineral do solo, e por isso insolúvel (Canellas et al., 2001). A distribuição dessas frações no solo, pode informar sobre o seu processo de humificação e sua estabilidade (Canellas et al., 2003) e o conteúdo relativo de cada fração da matéria orgânica é um indicativo de qualidade de húmus no solo (MacCallister & Chuien, 2000).

Canellas et al., (2001), em estudos de incubação em vasos de resíduos orgânicos de origem urbana em Latossolo e Argissolo, observou alterações nas frações humificadas da matéria orgânica do solo (MOS), verificando uma

diminuição da relação AH/AF, indicando um caráter mais fúlvico ao húmus do solo.

O estabelecimento do modelo estrutural para as substâncias húmicas tem sido discutido no mundo científico, sob diferentes pontos de vista, como conformação molecular e características supramoleculares, entre outros (Canellas e Santos, 2005). As propostas mais recentes para a estrutura de substâncias húmicas consideram que esses compostos são supramoléculas ou micelas formadas por moléculas menores, em que as estruturas hidrofóbicas estão posicionadas no interior da micela e as estruturas contendo grupos hidrofílicos, na parte externa, as quais podem ser rompidas através dos ácidos orgânicos exsudados por raízes de plantas (Piccolo, 2002). Entretanto, essas estruturas no ambiente terrestre e aquático, comportam-se como macromoléculas. Devido aos grupos funcionais oxigenados e nitrogenados e à presença de estruturas aromáticas e alifáticas, as mesmas constituem o compartimento mais reativo da matéria orgânica do solo.

Por apresentarem uma natureza complexa, as substâncias húmicas decompõem-se muito lentamente, acumulando-se no solo (Passos et al., 2007), sendo formadas pelo processo de humificação. Em função da sua importância no ambiente, adição de material humificado ou parcialmente decomposto ao solo contribui para maior armazenamento de C no solo, aumento da CTC, maior complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, melhoria da estrutura, maior infiltração e retenção de água, aumento da aeração e da atividade e diversidade microbianas (Ceretta et al., 2003; Rocha et al., 2004).

Cardoso et al. (2011), avaliando o efeito de doses de composto orgânico (de cama de frango e farelo de soja), nas propriedades do solo e no teor de nutrientes em Latossolo, verificaram aumento nos teores de matéria orgânica, cálcio e magnésio e valores de soma de bases, CTC e saturação por bases do solo ao final do ciclo da cultura do alface. Também Bastos et al. (2005), estudando a formação e estabilização de agregados de um Latossolo Vermelho, em virtude da adição de diferentes compostos orgânicos, encontraram efeitos positivos na agregação do solo, com moléculas orgânicas com caráter mais hidrofóbico e hidrofílicos na sua estrutura, como os AH.

A fração orgânica humificada, além de fazer parte da matriz do solo na forma de colóides orgânicos, exerce efeitos nas suas propriedades e influencia também, direta ou indiretamente, as plantas e organismos (Canellas e Santos, 2005).

Outra importante propriedade das substâncias húmicas é sua interação com íons metálicos presentes no ambiente. As reações de complexação de íons metálicos pelas substâncias húmicas podem influenciar na biodisponibilidade desses elementos, reduzindo a atividade dos mesmos na solução do solo, atenuando sua capacidade de produzir efeitos tóxicos ou de contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

Santos et al. (2007), estudando a capacidade de complexação de metais Al(III), Pb(II), Cr(VI) e Cd(II) pelas substâncias húmicas extraídas de amostras de turfa, verificaram uma forte afinidade das SH para metais potencialmente tóxicos, especialmente para Al(III), formando complexos estáveis.

Recentemente alguns trabalhos vêm demonstrando o efeito das substâncias húmicas nas plantas, alterando seu metabolismo bioquímico, e influenciando no seu crescimento e desenvolvimento (Rosa et al., 2009). Além da influência das substâncias húmicas sobre a absorção de macronutrientes e micronutrientes (Sharif et al., 2002; Chen et al., 2004) as mesmas atuam no seu crescimento por meio da liberação de moléculas bioativas como auxinas (Nardi et al., 2002; Canellas e Façanha, 2004). Bernardes et al. (2011), avaliando o uso de substância húmica associada a substrato comercial, na produção de mudas de tomateiro (*Lycopersicon esculentum Mill.*) em casa de vegetação, verificaram efeitos positivos no crescimento médio de raiz, refletindo na parte aérea da planta. Já Lima et al. (2011), utilizando humato comercial oriunda de leonardita, observou aumento nos teores de ferro, cobre e zinco em folhas de tomateiro, mas reduziu o teor de Mn e B.

Segundo Vaughan et al. (1985); Nardi et al. (2002), as frações de menor peso molecular, os ácidos fúlvicos, atuam diretamente sobre o crescimento e metabolismo das plantas, entretanto, também tem sido verificada a ação dos ácidos húmicos sobre as plantas, em papéis que se assemelham aos de moléculas de menor massa molar (Canellas et al., 2006).

Façanha et al. (2002), demonstraram que substâncias húmicas de massa molecular relativamente elevada (ácidos húmicos), isoladas de vermicomposto e de lodo obtido de estação de tratamento de esgoto, promoveram o desenvolvimento radicular de plântulas de milho e café e a ativação da H⁺-ATPase de membrana plasmática. Também Baldotto et al. (2009) verificaram efeito positivo no crescimento vegetativo na fase de aclimação de abacaxizeiro proveniente de cultura *in vitro*, em resposta à adição de ácidos húmicos.

A promoção do crescimento vegetal das substâncias húmicas (principalmente pelos ácidos húmicos) tem sido atribuída a ações similares a hormônios, devido à promoção do desenvolvimento e proliferação das raízes, resultando numa absorção mais eficiente de água e nutrientes. Jindo et al. (2011), estudando a interação de AH, extraídos de diferentes materiais orgânicos (lodo de esgoto, composto de lodo de esgoto, resíduos sólidos urbanos) no crescimento radicular e atividade da bomba de prótons em milho, verificaram aumento do crescimento de raiz em todas as amostras, especialmente nas amostras de material compostado que continham mais grupos carboxílicos e caráter mais hidrofóbico. Trabalhos como de Façanha et al. (2002); Zandonadi et al. (2007), (2013), relatam o efeito da regulação de crescimento promovido pelas substâncias húmicas, semelhantes aos hormônios vegetais, como auxinas, podem aumentar significativamente a produção de raízes laterais e pelos absorventes.

As substâncias húmicas são oriundas de diferentes fontes orgânicas, como compostagem de restos orgânicos de diversas origens (lodo de esgoto, dejetos de animais) e leonardita e turfas entre outros (Vasconcelos, 2006). O aproveitamento destes resíduos como fonte de substâncias húmicas solúveis para a agricultura vem sendo amplamente estudados, visto a natureza complexa das SH, (Rosa et al., 2009). E a resposta das plantas aos ácidos húmicos e fúlvicos está na dependência da fonte do material orgânico, de onde foi extraída, e, principalmente da espécie vegetal (Santos et al., 2007), sendo que os efeitos podem diferir entre espécies vegetais e podendo responder diferentemente em cada estágio de desenvolvimento (Santos e Camargo, 1999; Rosa et al., 2009). Na busca por maior eficiência na utilização de recursos naturais é necessário mais estudos com a aplicação de substâncias

húmicas de diferentes fontes, a fim de evitar efeitos indesejáveis. Na literatura encontramos vários resultados positivos (conforme já citados), embora ainda exista uma carência de informações quanto sua aplicação e atuação no solo e em relação às culturas e mecanismos de ação.

2.2 A suinocultura e os impactos ambientais gerados pela atividade

No Brasil, a suinocultura é um segmento consolidado, e com tendência de crescimento para os próximos anos, ocupando o quarto lugar no “ranking” de produção e exportação mundial de carne suína (produção de 3,3 bilhões de toneladas de carne) (CONAB, 2013). A região Sul do país tem se destacado pela evolução do setor, comprovado pelos elevados índices de produtividade.

O sistema de produção é intensivo, gerando grandes volumes de material orgânico. Os dejetos de suínos são constituídos por uma mistura de fezes e urina e outros materiais orgânicos, como restos de alimentos, além de uma quantidade variável de água, utilizados nas propriedades, como forma de ciclar e disponibilizar nutrientes as plantas (Ceretta et al., 2005). As características químicas dos dejetos estão condicionadas as dietas alimentares dos suínos, que são ricas em o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K), e micronutrientes, dentre os quais, se destaca o zinco (Zn), o cobre (Cu) e o manganês (Mn) (Gatiboni et al., 2008; Giroto et al., 2010a). Entretanto, a concentração da atividade suinícola em regiões que apresentam limitação de áreas agrícolas para uso dos dejetos, potencializa o impacto negativo da suinocultura sobre o ambiente (Giacomini e Aita, 2007).

Na região Sul, o armazenamento dos dejetos de suínos é feita em geral em esterqueira para posterior descarte ao solo, sem nenhum tratamento prévio. A escolha de um manejo adequado para a destinação dos resíduos líquidos de suínos torna-se imprescindível (Konzen, 2003), para a manutenção sustentável deste sistema de produção.

A aplicação de dejetos líquidos de suínos como fertilizante orgânico, pode acarretar na acumulação de macronutrientes com fósforo e nitrogênio, podendo causar a eutrofização de águas superficiais. Resultados encontrados por Ceretta et al. (2010) demonstram que após sucessivas aplicações de dejetos

suíno houve aumento das frações lábeis de P no solo, podendo acarretar em contaminação de águas superficiais e subsuperficiais. Também Scherer et al. (2010), encontraram resultados semelhantes com aplicações sucessivas de dejetos de suínos em culturas anuais, com acúmulo de fósforo, potássio, cobre e zinco.

Além da poluição da água com elementos minerais, o armazenamento inadequado dos dejetos líquidos pode contribuir com a poluição na atmosfera pela emissão de maus odores, de amônia e de gases de efeito estufa, como o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o dióxido de carbono (CO₂) (Oliveira et al., 2004).

Dentre os metais pesados associados à atividade suinícola, o zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) são os que causam maior preocupação, por estarem presentes em componentes do suplemento dietético de rações e de formulações de antibióticos, aumentando os riscos de contaminação ambiental (Scherer e Baldissera, 1994). Uma vez adicionados ao solo (via dejetos de suínos), existe uma tendência de acúmulo destes metais (Basso et al., 2012) em razão de sua alta reatividade com os grupos funcionais da matéria orgânica do solo (MOS) e argilominerais (Dortzbach, 2009).

Devido suas propriedades químicas, o solo tem a capacidade de reter metais, evitando assim o seu transporte. Em contrapartida, estes metais podem expressar seu efeito contaminante sobre os organismos do solo, plantas, e contaminação de águas subterrâneas quando excedem os limites suportados pelos solos.

Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suíno levam a acumulação de metais no solo, como estudado por Giroto et al. (2010a), que avaliaram o efeito de 17 aplicações sucessivas durante o período de 78 meses em área de plantio direto, apresentando aumento das concentrações de Cu e Zn no solo, devido ao dejetos, evidenciando ainda que o Cu possui maior capacidade de acúmulo em comparação ao Zn. Também Giroto et al. (2010b), avaliando perdas por escoamento e percolação de P e Cu em Argissolo Vermelho distrófico arênico, em sistema de plantio direto, observaram maiores perdas de cobre e fósforo do solo por escoamento superficial, em áreas submetidas a aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos.

As substâncias húmicas são os compostos orgânicos mais estáveis no solo e interagem com os metais, formando complexos metal-orgânicos. A habilidade de formar complexos com íons metálicos é devido a presença de grupos funcionais contendo oxigênio, como os grupos carboxílicos e fenólicos (Kabata-Pendias, 2011). A complexação de metais pela matéria orgânica pode minimizar a atividade desses elementos na solução do solo, diminuindo sua capacidade de provocar efeitos tóxicos para as plantas ou de contaminar águas superficiais e subterrâneas.

2.3 Compostagem

A compostagem é um dos mais antigos processos biológicos e de reciclagem utilizado pelo homem, para a obtenção de composto orgânico utilizado na agricultura.

A compostagem é definida segundo Kiehl (1985), como um “processo controlado de decomposição microbiana e de oxidação de uma massa heterogênea de matéria orgânica”. Durante a compostagem ocorre a aceleração da decomposição aeróbica dos resíduos orgânicos por populações microbianas, concentração das condições ideais para que os microrganismos decompositores se desenvolvam (temperatura, umidade, aeração, pH, tipo de compostos orgânicos existentes e tipos de nutrientes disponíveis) resultando em um produto final estável para a estocagem e aplicação agrícola, sem com isso gerar efeitos adversos ao meio ambiente (Oliveira, 2004). Envolve uma etapa inicial do composto cru ou imaturo, onde os dejetos de líquidos de suínos são misturados a materiais apresentando altas relações C:N (maravalha, palhadas e serragem), em seguida uma fase de semicura ou bioestabilização, que caracteriza-se por uma aceleração do processo de compostagem em decorrência da adequação das características favoráveis à degradação microbiológica da matéria orgânica, para atingir finalmente a maturação ou humificação (Seganfredo, 2000). A humificação ocorre em razão da compostagem ou decomposição natural dos resíduos adicionados ao solo e consiste da síntese de ácidos húmico, fúlvico, húmica e outros materiais húmicos, a partir da degradação de compostos diversos presentes nos resíduos, por meio de reações de síntese e ressíntese mediadas pelos

organismos decompositores (Hsu e Lo, 1999). O período de compostagem vai depender da natureza dos materiais compostado e/ou do tempo de adição de resíduos ao solo, sendo que, o grau de humificação ou o teor de C-substâncias húmicas nos materiais orgânicos podem variar de um material ou área agrícola para outra, em relação à matéria orgânica total (Wu e Ma, 2002).

Durante o processo ocorre a produção de calor e o desprendimento, principalmente de gás carbônico e vapor d'água (Kiehl, 1998), e o produto final constitui-se de composto orgânico podendo ser utilizado como fertilizante orgânico na produção vegetal. Segundo Silva (2007), o composto é um material rico em húmus de cor escura, com teor de matéria orgânica de 50% a 70%, que quando aplicado ao solo proporciona melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, pelo aporte de matéria orgânica (Simioni, 2001), diminuindo a necessidade de uso de adubos minerais (Souza et al., 2005).

Os compostos orgânicos são fertilizantes estabilizados, com baixas taxas de mineralização, de modo que quando aplicados ao solo permitem que os nutrientes retornem ao ambiente lentamente, atuando como fertilizante ou condicionador de solo. A aplicação no solo de composto orgânico estabilizado ou parcialmente humificado, de qualquer natureza e origem, afeta a composição, estrutura e a química das substâncias húmicas do solo (Gomes, 2011). Em um Argissolo de Porto Rico, doses de composto orgânico de 37, 74 e 148 Mg ha⁻¹ foram aplicadas anualmente, por três anos seguidos, sendo observado um aumento dos grupos funcionais e do grau de aromaticidade da MOS (Rivero et al., 2004). Brunetti et al. (2007), estudando fertilizantes orgânicos de diferentes resíduos (esterco líquido de suínos, lodo de esgoto e de dois compostos de resíduos sólidos urbanos), observaram menor evolução dos AH. Os resultados obtidos, no entanto, sugeriram que as estruturas proteináceas, contedoras de enxofre e alifáticas, contidas nas frações AH dos materiais aplicados, foram parcialmente incorporados aos AHs nativos do solo.

A compreensão da evolução e comportamento de componentes da matéria orgânica do solo, após a adição do composto no solo pode contribuir para definir parâmetros químicos que expressem a qualidade agrônômica do composto aplicado no solo.

2.4 Fertilizantes orgânicos no cultivo de hortaliças

A alface (*Lactuca sativa* L.), devido a sua importância alimentar como fonte de vitaminas e sais minerais, destaca-se, entre outras hortaliças folhosas, como a mais consumida em todo mundo. A cebolinha (*Allium fistulosum*, L.) apresenta-se como um dos condimentos apreciados pela população brasileira sendo essa a sua importância. A modernização e evolução dos sistemas de produção seguem em função do consumo crescente e das exigências mercadológicas. A utilização da fertilização mineral é prática consolidada na produção de hortaliças, com resultados satisfatórios, em relação a produtividade. O uso intensivo e inadequado dos fertilizantes minerais neste sistema de produção podem causar prejuízos ao meio ambiente,

A preocupação ambiental e o alto custo dos fertilizantes minerais faz com que, estudos voltados para o aumento da produtividade de alimentos com baixo impacto ambiental,. Uma das alternativas para contornar este tipo de problema seria o uso de compostos orgânicos (Santi et al., 2010).

Segundo Souza et al. (2005); Silva et al. (2011), a utilização da adubação orgânica incrementa a produtividade, além disso, produz plantas com características qualitativas melhores que as cultivadas exclusivamente com adubos minerais podendo, portanto, exercer influência sobre a qualidade nutricional da alface. Oliveira et al. (2010), em cultivando alface e rúcula com adição de composto de cama de aviário de codorna ($5,0 \text{ t ha}^{-1}$), observaram melhor desempenho produtivo sob a adubação orgânica.

Batista et al. (2012), avaliando a influência da adubação na produtividade da alface cv. Elba, em quatro fontes de adubação (húmus de minhoca a partir de esterco bovino, composto orgânico, esterco bovino e adubação orgânica + mineral, com e sem adubação foliar), verificaram que os tratamentos não influenciaram na produtividade da alface e as adubações orgânicas podem ser utilizadas como substituição à adubação mineral.

Existe no mercado uma ampla variedade de produtos comerciais para agricultura, baseados em substâncias húmicas. Atualmente uma das fontes de substâncias húmicas utilizadas é a leonardita, composta de minérios de lignito altamente oxidados, ricos em ácidos húmicos e fúlvicos (Silva Filho e Silva, 2009).

Apesar da importância do uso de compostos orgânicos e de produtos à base de substâncias húmicas na agricultura, em especial em hortaliças, ainda são escassos os trabalhos desenvolvidos sobre os efeitos das substâncias húmicas devido sua natureza complexa. De acordo com Zandonadi et al. (2014), é importante destacar quatro fatores principais, que podem influenciar a bioatividade das substâncias húmicas: a espécie de planta, a dose recomendada para cada cultivar, a fonte do material orgânico e as características físico- químicas das substâncias húmicas, sendo assim, mais pesquisas devem ser realizadas, a fim de evitar efeitos indesejáveis ao solo e plantas.

3. HIPÓTESES

- 1- A aplicação inicial de composto orgânico obtido da compostagem de dejetos líquidos de suínos ao solo afeta a distribuição da matéria orgânica do solo nas frações húmicas.
- 2- O uso de composto orgânico em única aplicação oriundos de dejetos de suínos não promove o acúmulo de metais pesados no solo.
- 3- Fertilizantes ricos em substâncias húmicas estimulam o crescimento, desenvolvimento e produção de massa fresca da parte aérea das plantas de alface e cebolinha.

4. ESTUDO I:

MONITORAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E DE SUAS FRAÇÕES HÚMICAS APÓS ADIÇÃO DO COMPOSTO DE DEJETOS DE SUÍNOS

4.1 Introdução

A suinocultura ocupa lugar de destaque na matriz produtiva do setor agropecuário brasileiro, com grande importância econômica e social. A região Sul concentra 50% de todo rebanho do país com ênfase para os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE, 2006). A criação de suínos é realizada predominantemente em pequenas propriedades rurais e em sistemas intensivos. Com o avanço da tecnologia empregada, a tendência é de crescimento no segmento da suinocultura.

Os resíduos gerados na suinocultura são manejados e armazenados na forma líquida (Giacomini e Aita, 2008), e aplicados diretamente ao solo, com o intuito de disponibilizar nutrientes as plantas (Ceretta, et al., 2003). Os dejetos de suínos apresentam teores elevados de matéria orgânica e outros nutrientes, e quando aplicados ao solo, podem melhorar suas características químicas, físicas e biológicas (Scherer et al., 2007). A disposição intensiva dos dejetos na forma líquida faz com que a capacidade do solo seja excedida, causando vários problemas ambientais, tais como, promoção do acúmulo de nutrientes (nitrato, fósforo e outros elementos minerais) em águas superficiais e subterrâneas (Oliveira, 2004; Scherer et al., 2007), poluição do ar pela emissão de gases como CH₄, CO₂, N₂O e H₂S; contaminação do solo pelo alto teor de elementos traços como Cu e Zn, entre outros (Gräber et al., 2005).

Basso et al, (2012) verificaram uma tendência de acúmulo de Cu e Zn no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos em Latossolo Vermelho ao longo de 22 anos e em um Argissolo ao longo de cinco anos. Em 46 solos da Dinamarca, Gräber et al. (2005), constataram um maior acúmulo de Cu do que de Zn após aplicação de dejetos suínos. Um acúmulo de P na camada superficial foi constatado por Scherer et al., (2010) em estudo com sucessivas aplicações de dejetos líquidos por mais de 20 anos.

A reciclagem de resíduos orgânicos gerados na criação de suínos é uma estratégia que pode minimizar de maneira eficiente os problemas ambientais causados pelo setor (Senesi et al., 2007). Um destino sustentável ao meio ambiente para esses resíduos é a utilização do sistema de compostagem, evitando que os mesmos sejam descartados no ambiente sem os devidos cuidados.

A compostagem é um processo de decomposição e bioestabilização de resíduos, onde os microrganismos transformam resíduos orgânicos (por exemplo: esterco de animais, serragem, maravalha e resto de alimentos), em composto orgânico. Durante o processo o volume inicial dos resíduos é reduzido, ocorrendo a degradação de substâncias tóxicas e/ou patógenos, a matéria orgânica biodegradável é estabilizada, podendo ser manejada, estocada e aplicada como fertilizante orgânico, sem efeitos nocivos ao meio ambiente (Matos et al., 2012).

Os resíduos orgânicos destacam-se pelo potencial fertilizante (presença de nutrientes essenciais as plantas) e altos teores de matéria orgânica, melhorando as condições de fertilidade do solo (Senesi et al, 2007). Parizotto e Pandolfo, (2009); Pimentel et al., (2009) aplicando composto orgânico (de bovinos e capim Napier e cama de aves e dejetos de suínos) no solo, observaram aumento de MO, P e K⁺ trocável.

Com a aplicação de dejetos de suínos a atividade microbiológica pode ser estimulada, devido ao aumento da disponibilidade de carbono e nutrientes, ou ser inibida pela presença de metais pesados e outros poluentes eventualmente contidos nos mesmos (Fernandes et al., 2005).

Os resíduos orgânicos por serem fonte de MOS, devem ser investigados quanto ao tipo e distribuição das diferentes frações orgânicas contidas nos mesmos, sendo que a presença de moléculas orgânicas de maior biodisponibilidade e o grau de humificação são determinantes na capacidade de adsorção de cátion e liberação de nutrientes desses resíduos para as plantas (Melo et al., 2008). O grau de humificação que representa a proporção de C alocado nas substâncias húmicas em relação ao C total no composto depende do estágio de decomposição do composto e determina o efeito do mesmo como fonte de nutrientes e, ou, condicionador de solo. (Melo et al., 2008). Dependendo do tempo de compostagem e adição de resíduo ao solo, o grau de humificação ou o teor de C-substâncias húmicas nos materiais orgânicos podem variar (Wu & Ma, 2002).

Busato et al., (2012) adicionando composto de torta de filtro de cana de açúcar em Latossolo Vermelho e em Cambissolo verificaram uma alteração no teor das SH, a qual foi dependente das doses de composto aplicada e da mineralogia do solo. Em ambos os solos, a adição do composto aumentou o conteúdo de ácidos fúlvicos, sugerindo a formação de moléculas hidrofílicas de pequenas dimensões. No Latossolo Vermelho e Cambissolo os autores observaram uma diminuição da relação C_{AH}/C_{AF} ao longo do tempo. A relação C_{AH}/C_{AF} (Canellas e Façanhas, 2004) tem sido utilizada como um indicador de maturidade do húmus, expressando o grau de evolução do processo de humificação.

A presença de substâncias húmicas (SH) no composto orgânico, agrega valor como fertilizante orgânico na produção vegetal, por melhorar as condições físicas e químicas de solo. As substâncias húmicas correspondem a fração mais estável da MOS, além de fornecerem nutrientes para as plantas pela mineralização, estimulam o crescimento (Couto e Canniatti-Brazaca, 2010), por meio da liberação de moléculas bioativas, como auxinas (Canellas et al., 2002; Canellas e Façanha, 2004).

A avaliação das substâncias húmicas, quanto à quantidade de ácidos húmicos (AH) e fúlvicos (AF) e sua respectiva composição, permite inferir-se sobre o grau de estabilidade e maturidade da matéria orgânica presentes nos produtos finais (Senesi et al., 1996). Os ácidos húmicos e fúlvicos são

considerados a principal fração da MOS, que contribuem para suas reações com íons e minerais devido a abundância de grupos funcionais oxigenados, como carboxilas e hidroxilas (Dick et al., 2009).

Gräber et al. (2005), observaram que o Cu e o Zn formam complexos solúveis com substâncias húmicas, o que afeta a mobilidade desses metais no perfil do solo. Estudos com Cr, Al, Cd, Pb e SH extraídas de turfa, Santos, et al. (2007) observaram a seguinte ordem de afinidade das SH com os metais: $Cr < Cd < Pb < Al$. Estudos sobre o entendimento da interação das SH com metais se tornam importantes, uma vez que o destino dos mesmos é dependente destas interações. Este estudo teve por objetivo investigar o impacto da adição de dois compostos oriundo de dejetos líquidos de suínos ao solo, na composição química e teor de MOS e distribuição dos metais Cu, Fe, Cr, Mn e Zn em frações orgânicas.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Descrição do experimento

O presente trabalho teve por base amostras do experimento a campo que foi conduzido no período de maio a agosto de 2012, na área experimental do setor de Suinocultura (29°43'30" S e 53°45'03" W) pertencente ao Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Rurais, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul. O clima, da região, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido tipo Cfa 2, com temperatura média anual em torno de 19°C e precipitação pluviométrica de 1700 mm ano⁻¹ (Giacomini e Aita, 2008). O solo da área apresenta textura arenosa e é classificado como um Argissolo Vermelho distroférico úmbrico (EMBRAPA, 2006). Dois anos antes da implantação do experimento, a área recebeu aplicação de calcário e foi cultivada com aveia e azevém apenas para cobertura de solo. Anteriormente a esse período era cultivada com milho sob plantio convencional. No início do experimento o solo da camada de 0-10 cm apresentou as seguintes características, 350 g kg⁻¹ de areia; 530 g kg⁻¹ silte e 120 g kg⁻¹ argila; P- Mehlich, 10,9 mg dm⁻³; K⁺_{troc}, 80 mg dm⁻³; teor de MO, 27 g

kg^{-1} ; pH H_2O , 5,7; índice SMP, 5,9; $\text{Ca}^{+2}_{\text{trroc}}$, 8,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{+2}_{\text{trroc}}$, 3,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; $\text{Al}_{\text{trroc}}^{+3}$, 0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; H + Al, 4,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. O período e volume de chuvas durante o período do experimento encontram-se no Apêndice 1.

O composto foi obtido da compostagem automatizada após 156 dias, onde foram realizadas 13 adições de dejetos líquidos de suínos (totalizando 8,3 L. kg^{-1}) misturados (com serragem e maravalha (233 kg). Foram empregados dois meios de compostagem: a) em condições de pH originais do meio, pH 7,0 (composto neutro); b) em meio ácido pH 6,0 (composto ácido) por meio da adição de ácido fosfórico concentrado (85% e densidade 1,6 g cm^3) na proporção de 3,5 mL ácido. L^{-1} de dejetos. O composto foi incorporado ao solo a 0,15m de maneira a simular a adubação aplicada à alface em dose única, que foi estabelecida com base no teor de N total dos dois compostos, assumindo um índice de mineralização do N de 35%, (Cordovil et al., 2012) e uma quantidade de N disponível de 175 kg ha^{-1} com base na demanda da cultura estabelecida pelo Manual de Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004). Foram incorporados ao solo em dose única 70,4 t ha^{-1} de composto neutro e 94,3 t ha^{-1} de composto ácido, correspondendo a 30 g kg^{-1} de solo de composto neutro e 40 g kg^{-1} de solo de composto ácido.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três tratamentos e quatro repetições. Antes da instalação do experimento foram coletadas quatro amostras representativas da área do experimento que correspondem ao tempo zero de todos os tratamentos. Os tratamentos avaliados foram: T1 (solo sem adição de composto), T2 (solo com aplicação de composto neutro) e T3 (solo com aplicação de composto ácido) (Apêndice 2). Em todos os blocos foi cultivada alface (*Lactuca sativa L*) variedade Amanda.

As amostras de solo foram coletadas pelo doutorando Rafael Cantu (PPGCS UFSM) na camada de 0-10 cm durante o período do ciclo da alface aos 40, 52 e 64 dias após a aplicação do composto, sendo acondicionadas e enviadas para o Instituto de Química, UFRGS, onde foram realizadas as análises. As amostras de solo foram destorroadas, secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm. No entanto, parte do material do composto adicionado ficou retido na peneira uma vez que o mesmo continha maravalha na sua composição.

Ao final do experimento foram coletadas 12 plantas de alface de cada tratamento, para a obtenção dos dados de produção. As plantas foram fracionadas em parte aérea e raiz, que foram pesadas para a obtenção da massa fresca. Posteriormente essas frações foram secas em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C, até obter peso constante. Após secas foram moídas e encaminhadas para o Laboratório de Química – UFRGS, para a realização das análises.

4.2.2 Determinações de carbono (C) e nitrogênio (N)

Os teores de carbono orgânico (C) e nitrogênio (N), do solo e das amostras das frações de ácido húmico (AH) e de huminas (HU) foram determinados por combustão seca (Perkin Elmer 2400). A partir dos resultados, foi calculada a relação C/N que informa sobre a proporção relativa de grupos nitrogenados na estrutura da amostra.

4.2.3 Extração, quantificação e purificação das substâncias húmicas e determinação de Cu, Fe, Cr, Mn e Zn.

O fracionamento químico da MOS foi realizado segundo Dick et al., (1998).

Em 1 g de solo foram adicionados 30 mL de solução de HCl 0,1 mol L⁻¹, e a suspensão foi agitada por 2 h. Após foi realizada a centrifugação a 2.500 rpm por 5 min, e o sobrenadante foi separado e armazenado. Este procedimento foi repetido mais duas vezes. O volume final dos extratos foi medido. A seguir foram realizadas extrações na mesma amostra com 30 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ com agitação por três horas, e o extrato alcalino contendo as substâncias húmicas foi separado por centrifugação a 2.500 rpm por 5 min. O procedimento foi repetido até o extrato ficar incolor (5 ou 6 extrações). O volume final do extrato alcalino foi medido e uma alíquota de 10 ml foi separada para posteriores análises. A seguir a solução alcalina foi acidificada a pH 2,0 com solução de HCl 4,0 mol L⁻¹. Após 24 h em repouso, a fração de ácido fúlvico (AF) (sobrenadante) e da fração ácido húmico precipitado (AH) foi separada por centrifugação. O volume final do extrato da fração AF foi medido. O teor de

carbono no extrato ácido (C_{HCl}), no extrato das substâncias húmicas solúveis (C_{SH}) e no extrato de ácidos fúlvicos (C_{AF}) foi quantificado, determinando-se a absorbância a 580 nm (Shimadzu UV-160 A) após oxidação do C com dicromato de potássio em meio ácido a 60°C durante 4 h (Dick et al., 1998). A curva padrão foi feita utilizando-se soluções de glicose em diferentes concentrações de C: 0, 30, 60, 90, 120, 210 e 300 mL⁻¹. O teor de C no solo referente aos ácidos húmicos (C_{AH}) foi calculado pela diferença entre o C_{SH} - C_{AF} . O teor de C presente na forma de huminas (C_{HU}) foi obtido por: $C_{HU} = C_T - (C_{SH} + C_{HCl})$, onde C_T é o teor de carbono total no solo. Foi calculada a distribuição de cada fração em relação ao C_T e a razão C_{AH} / C_{AF} .

As amostras de AH, foram purificadas com 30 ml de solução de HF/HCl 5 % (v/v) sob agitação mecânica de 2 horas, centrifugada repetindo-se seis vezes o procedimento. A massa remanescente (AH purificado) foi lavada com água destilada por 1 hora, posteriormente foi centrifugada por 5 min a 2500 rpm, (este procedimento foi realizado cinco vezes) e seca em estufa a 60°C. (Dick et al., 2005).

A purificação da fração humina foi realizada com a adição de 30 ml de solução HF10%. A suspensão foi mecanicamente agitada por 2 horas e, posteriormente, centrifugada a por 5 min a 2500 rpm Após o descarte do sobrenadante esta operação foi realizada seis vezes. A fração concentrada da humina foi lavada seis vezes com água destilada, secada em estufa a 50°C. As determinações de cobre (Cu), ferro (Fe) cromo (Cr), manganês (Mn) e zinco (Zn) nas frações de SH e de HCl foram realizadas por espectrometria de absorção atômica de chama (Perkin - Elmer 240).

4.2.4 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A identificação dos grupos funcionais nos ácidos húmicos e huminas foi realizada por espectroscopia de Infravermelho Transformada de Fourier (FTIR) (Shimadzu FTIR 8300), em pastilhas de KBr (1 mg amostra : 100 mg KBr), empregando-se 32 scans e resolução de 4 cm⁻¹, no intervalo espectral de 4000 a 400 cm⁻¹. A atribuição das bandas de absorção foi realizada segundo Tan (1996). Foi calculado o índice de aromaticidade (I_{1630}/I_{2920}) (Cheftetz et al., 1996), que relaciona a intensidade de absorção em torno de 1640 cm⁻¹,

atribuída aos grupos aromáticos, com aquela em 2920 cm^{-1} , que representa os grupos alifáticos (Dick et al., 2008).

As intensidades relativas das principais bandas de absorção foram calculadas segundo Gerzabek et al. (2006), dividindo-se a intensidade corrigida de um dado pico (p.ex., em torno de 2.920, 1.720, 1.630, 1.540 e $1.070\text{--}1.030\text{ cm}^{-1}$) pela soma das intensidades de todos os picos e multiplicando por 100 %.

Os limites (cm^{-1}) para determinação da base para cada pico foram estabelecidos como segue: (base1/pico/base2): 1.800/ 1.720/1.700; 1.560/1.540/1.490; e 1.190/1.070–1.030/ 900.

4.2.5 Metais no solo e na planta

A determinação dos teores totais dos metais Cu, Fe, Cr, Mn e Zn no solo foi realizado segundo Helmke & Sparks (1996).

Foi pesado 1,0 g de solo em Becker de teflon, adicionando-se 5 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 30%). A suspensão foi aquecida a $95\text{ C}^\circ (\pm 5\text{C}^\circ)$ em chapa aquecedora até secar. Posteriormente, adicionou-se 10 mL de ácido fluorídrico (HF 40%) sendo aquecida até secar. À suspensão foram adicionados 2 mL de ácido perclórico concentrado (HClO_4) seguido de aquecimento a $95\text{ C}^\circ (\pm 5\text{C}^\circ)$, até restar uma solução pastosa. Após, foi adicionado 10 mL de ácido fluorídrico (HF 40%) e aquecido a $95\text{ C}^\circ (\pm 5\text{C}^\circ)$ até esperar secar. Adicionou-se 2 mL de ácido perclórico, aquecendo a $95\text{ C}^\circ (\pm 5\text{C}^\circ)$ até restar uma solução pastosa. Após o resfriamento das amostras adicionou-se 5 mL de ácido clorídrico (HCl 37%). As amostras foram filtradas em balões de 50 mL, e o volume foi completado com água destilada e as concentrações determinadas em espectrometria de absorção atômica (Varian Spectr AA-20 plus).

A determinação do teor de Cu, Fe, Cr, Mn e Zn na massa seca da parte aérea foi realizada por meio de digestão nitro-perclórica, segundo Tedesco et al., (1995) e as concentrações foram determinadas em ICP- Espectrômetro de emissão óptica por plasma induzido.

4.2.6 Análise estatística

Os resultados referentes aos teores de C na forma de extrato ácido (C_{HCI}), substâncias húmicas (C_{SH}), ácidos húmicos (C_{AH}) e ácidos fúlvicos (C_{AF}) e huminas (HU) bem como os teores de metais no solo foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5%. As análises foram realizadas com o auxílio do programa Computacional Sistema para Análise de Variância- Sisvar (Ferreira, 2000).

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Teor de C_T e N e relação C/N

Os teores de carbono orgânico total do solo (C_T) apresentaram valores entre 16 a 21 g kg⁻¹ (Tabela 1) e não diferiram estatisticamente entre os tratamentos, entre os tempos avaliados e em relação à referência. No entanto, observa-se que entre os 40 dias e 52 dias houve uma tendência de aumento de C nos tratamentos com composto neutro (T2) e ácido (T3) de 17,8 para 20,5 g kg⁻¹, estabilizando-se em torno de 21,3 g kg⁻¹ a partir deste tempo. Já para o tratamento onde não houve aplicação de composto (T1) o teor de C fica constante ao longo do tempo. Essa tendência observada para os tratamentos com composto neutro (T2) e composto ácido (T3) pode ser devido à decomposição de parte do resíduo de maravalha > 2mm aos 52 dias do experimento, contribuindo assim para a matéria orgânica do solo de tamanho < 2mm.

Ao peneirar-se o solo, a fração da maravalha > 2mm fica retida na peneira e esta fonte de C não é medida na combustão seca. Devido à sua granulometria esse material não é passível de análise no analisador elementar.

O teor de N não foi influenciado pela aplicação de composto neutro ou de composto ácido nos diferentes tempos e variou de 1,2 a 1,5 g kg⁻¹. Os teores de N dos tratamentos T1, T2 e T3 diferiram estatisticamente da área de referência (Tabela 1).

A relação C/N variou entre 12,3 e 15,2 e não diferiu entre os tratamentos nos tempos analisados (Tabela 1). Costa et al., (2008), encontraram resultados

semelhantes com aplicação de cama de peru (em duas épocas de amostragem aos 60 e 210 dias) não verificando aumento com a adição de material orgânico. Pode-se inferir que o curto período de aplicação de composto orgânico pode ter influenciado nos resultados encontrados. Melo et al., (2004) observaram incremento de C após longo período de aplicações repetidas de lodo de esgoto.

Tabela 1. Teores de carbono (C) e de nitrogênio(N) e relação C/N em solo sem e com aplicação de composto orgânico.

Tratamento	Dias	C _T	N	C/N
		g kg ⁻¹		
Referência	0	16,4 ^{ns}	1,1Bb	14 ^{ns}
T1 ⁽¹⁾	40	16,5 ^{ns}	1,2Aa	13 ^{ns}
T2 ⁽²⁾		17,8 ^{ns}	1,3Aa	13 ^{ns}
T3 ⁽³⁾		17,8 ^{ns}	1,3Aa	13 ^{ns}
T1	52	16,1 ^{ns}	1,3Aa	12 ^{ns}
T2		20,1 ^{ns}	1,4Aa	14 ^{ns}
T3		20,5 ^{ns}	1,5Aa	13 ^{ns}
T1	64	16,6 ^{ns}	1,2Aa	13 ^{ns}
T2		21,3 ^{ns}	1,4Aa	15 ^{ns}
T3		21,2 ^{ns}	1,5Aa	14 ^{ns}

⁽¹⁾ solo sem adição de composto, ⁽²⁾ solo + composto neutro e ⁽³⁾ solo+ composto ácido. "ns" Não significativo a 5%; médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre tratamentos e letras minúsculas iguais não diferem entre diferentes tempos, teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade.

4.3.2 Distribuição das frações húmicas após adição do composto de dejetos de suínos.

Em T1 onde não houve aplicação de composto, o teor de carbono no extrato de HCl, que corresponde às substâncias de menor tamanho do que as micelas das substâncias húmicas (Potes et al., 2010), foi de 0,05 g kg⁻¹ aos 40 dias e aumentou para 0,4 g kg⁻¹ aos 64 dias (Tabela 2) contribuindo com 0,3 a 4,9% do carbono total do solo (Figura 1). Os compostos solúveis nesse extrato são considerados bioquimicamente mais lábeis do que as substâncias húmicas e podem estar associados fracamente à fração mineral como também entre si por meio de pontes de cátions de esfera externa (Dick et al.,1998).

Já o teor de C_{SH} aumentou de $3,9 \text{ g kg}^{-1}$ aos 40 dias para $8,1 \text{ g kg}^{-1}$ aos 52 dias e permaneceu neste valor até o final do experimento, contribuindo com 24 a 50% do C. A contribuição de C_{AH} e C_{AF} para o aumento de C_{SH} , foi, no entanto, diferenciada. O teor de C_{AF} aumentou gradativamente de 1,9 a $5,1 \text{ g kg}^{-1}$ ($11 < C_{AF}/C_T < 31 \%$) até os 64 dias enquanto que C_{AH} variou de 2,0 a $4,3 \text{ g kg}^{-1}$ (12 a 19 %) (Tabela 2, Figura 1). Entre os 52 e 64 dias houve uma redistribuição dessas duas frações húmicas e a proporção C_{AH}/C baixou de 25% para 20% em T1. Conseqüentemente, a relação C_{AH}/C_{AF} diminuiu de 1,0 a 0,65 ao longo do experimento (Tabela 2). Considerando-se que o teor de C não variou para o tratamento sem adição de composto, C_{HU} variou de maneira inversa o C_{SH} , diminuiu de $12,5 \text{ g kg}^{-1}$ aos 40 dias ($C_{HU}/C_T = 75,5 \%$) para $7,9 \text{ g kg}^{-1}$ aos 64 dias ($C_{HU}/C_T = 47 \%$) diferindo estatisticamente do valor observado na referência.

Tabela 2. Distribuição do C nas frações húmicas em Argissolo Vermelho, em solo sem adição de composto (T1) e solo com adição de composto neutro (T2) e de composto ácido (T3) advindo da compostagem de dejetos de suínos.

Tratamento	Dias	C_{HCl}	C_{SH}	C_{AF}	C_{AH}	C_{HU}	C_{AH}/C_{AF}
g kg^{-1} de solo							
Referência	0	0,04Bd	3,6Bc	1,7Cf	1,9Bc	12,6Aa	1,1Ab
T1	40	0,05Bd	3,9Bc	1,9Cf	2,0Bc	12,5Aa	1,0Ab
T2		0,07Bd	9,8Ab	3,2Bde	6,3Aa	7,9Bc	2,0Aa
T3		0,7Ab	8,9Ab	6,5Abc	2,3Bc	8,3Bc	0,5Bc
T1	52	0,8Bb	8,1Bc	3,9Bde	4,3Bbc	7,2Ac	1,1Ab
T2		1,4Aa	14,5Aa	8,0Aa	6,4Aa	4,1Bd	0,7Bc
T3		1,5Aa	15,1Aa	7,4Aa	7,7Aa	4,5Bd	1,0Ab
T1	64	0,4Ac	8,2Ab	5,1Acd	3,1Abc	7,9Ac	0,6Bc
T2		0,5Ac	9,0Ab	5,4Abcd	3,5Abc	11,0Aab	0,8Bc
T3		0,5Ac	9,7Ab	4,4Ade	5,3Aab	10,9Ab	1,2Ab

Letras maiúsculas iguais não diferem os tratamentos nas colunas no mesmo tempo e letras minúsculas iguais não diferem entre os diferentes tratamentos e tempos, teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade.

O comportamento das frações húmicas observados em T1 pode ser devido a uma reestabilização do sistema após a implantação do experimento, bem como as variações locais do ambiente ao longo do experimento. Em vista

disso os resultados obtidos nos tratamentos com composto serão discutidos para cada tempo.

No tratamento com adição de composto neutro (T2) o teor de C_{HCl} apresentou tendência de variação com o tempo semelhante à observada em T1, porém aos 52 dias atingiu $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ ($C_{HCl}/C_T = 7,1 \%$) sobrepassando o valor observado para o solo onde não houve aplicação de composto. Para T3 (adição de composto ácido) C_{HCl} é maior do que em T1 (sem adição de composto) tanto aos 40 como aos 52 dias ($C_{HCl}/C_T = 7,4 \%$) (Tabela 2, Figura 1).

Os compostos extraídos com HCl 0,1 M são considerados como sendo oriundos principalmente da atividade microbiana (Dick et al., 2008) e da exsudação de raízes (Potes et al., 2010). Portanto, os maiores valores observados nos tratamentos com composto neutro e composto ácido em comparação a referência e solo onde não houve aplicação de composto podem ser um indicativo de atividade microbiana comparativamente mais intensa nesse ambiente (Kalbitz et al., 2000), motivada pela adição do composto. Os teores de C_{SH} em solo com aplicação de composto neutro e composto ácido foram sempre superiores aos valores observados em relação a referência e para tratamento sem aplicação de composto (Tabela 2) e atingiram o valor máximo aos 52 dias. Esse comportamento pode ser devido às características do próprio composto adicionado que apresentava um grau de humificação maior do que a matéria endógena do solo. No entanto a proporção C_{SH}/C_T nos dois tratamentos onde foi realizada aplicação de composto de dejetos de suínos, que é sempre maior do que a observada em solo sem aplicação de composto sofre um máximo aos 52 dias indicando que nesse período a produção de substâncias húmicas foi estimulada ocorrendo a sua diminuição aos 64 dias. Aos 52 dias houve aumento de C em relação aos 40 dias ainda que essa diferença não tenha sido estatisticamente significativa (Tabela 1). Uma hipótese para o comportamento observado com C_{SH} é que a decomposição do composto > 2mm (principalmente a maravalha) levou à produção de SH aos 52 dias; e aos 64 dias essas substâncias passaram para outro compartimento húmico, a humina, que chegou a $10,9 \text{ g kg}^{-1}$ ($C_{HU}/C_T = 53\%$) aos 64 dias. Essa hipótese é corroborada pelos dados de C_{HCl} de T2 e

T3, onde os valores máximos foram observados aos 52 dias (Tabela 2). (Tabela 2).

Em relação às frações C_{AF} e C_{AH} os tratamentos com adição de composto apresentaram comportamento diferenciado ao longo do tempo. Aos 40 dias o tratamento com aplicação de composto neutro apresentou predomínio de AH ($6,3 \text{ g kg}^{-1}$) em relação a AF ($3,2 \text{ g kg}^{-1}$) com $C_{AH}/C_{AF} = 2,0$. Para o tratamento com adição de composto ácido, se verificou o inverso nesse tempo: $C_{AH} = 2,3 \text{ g kg}^{-1}$ e $C_{AF} = 6,5 \text{ g kg}^{-1}$ e C_{AH}/C_{AF} foi de 0,5. Para o tratamento sem aplicação de composto (T1), C_{AH}/C_{AF} apresentou valor intermediário (Tabela 2). Estes resultados sugerem que o composto ácido apresentava menor grau de humificação do que o composto neutro no momento da adição, e que essa característica se transferiu à matéria orgânica do solo. No decorrer do experimento C_{AH} tende a diminuir para o tratamento com adição de composto neutro e a aumentar em tratamento com aplicação de composto ácido. Consequentemente, C_{AH}/C_{AF} tende a diminuir em tratamento onde houve aplicação de composto neutro, seguindo comportamento observado em T1 (sem aplicação de composto). Já para o tratamento onde houve aplicação de composto ácido, esta razão tende a aumentar, indicando aumento do grau de humificação da matéria orgânica no decorrer do experimento (Tabela 2). Esse resultado também pode ser interpretado como uma maior estabilização de matéria orgânica no tratamento com aplicação de composto ácido (T3), uma vez que este apresentou maior proporção de micelas húmicas de maior tamanho (C_{AH}).

Infere-se, portanto, que os dois tipos de compostos afetam diferentemente a dinâmica da MOS. Isto pode ser verificado também pela contribuição de cada fração húmica à matéria orgânica do solo. A proporção C_{AF}/C_T em T2 (aplicação de composto neutro) decresceu de 40,1 % aos 52 dias para 26,5 % aos 64 dias, e a de C_{AH}/C_T diminuiu gradativamente ao longo do experimento de 36,7 para 17,3% (Figura 1). Para o tratamento onde houve aplicação de composto ácido (T3), a proporção dos AF também decresce (C_{AF}/C_T de 36,5 para 20,2 %), mas ocorreu um incremento de C_{AH}/C_T de 12,2% aos 40 dias a 25,2% aos 64 dias (Figura 1).

O comportamento da fração húmica nos tratamentos com adição de composto foi semelhante entre si, variando em média de 7,9 a $11,6 \text{ g kg}^{-1}$ ao

longo do tempo. A proporção C_{HU}/C_T para T2 e T3 variou entre 20 e 50% (Figura 1).

A adição de composto orgânico ao solo se refletiu na maior produção de plantas de alface ($g\ planta^{-1}\ ha$) determinada ao longo do ciclo da cultura (64dias) e variou na ordem $T1 < T2 = T3$ (Apêndice 3). Segundo Oliveira et al., (2010) e Silva et al., (2011) a aplicação de composto orgânico ao solo tem proporcionado aumento no rendimento da alface. Esse comportamento pode ser associado ao aumento de C_{SH} observados nos dois tratamentos onde houve aplicação de composto (T2 e T3), aos 52 dias que coincide com o estágio vegetativo da planta. Uma possível explicação seria o fato de SH poderiam ativar algumas enzimas transmembranares (H^+ -ATPase) capazes de hidrolisar ATP, gerando energia e ativando mecanismos de translocação de íons (Rodda et al., 2006), proporcionando um aumento da absorção de nutrientes e o crescimento vegetal (Chen e Aviad, 1990; Nardi et al., 2002).

A contribuição das substâncias húmicas para o aumento da produção vegetal pode estar relacionado com seu efeito em estimular o crescimento das raízes de uma maneira semelhante à promovida pela auxina (Canellas et al. 2002). A promoção de crescimento radicular pelas substâncias húmicas está bem documentada (Costa, 2001; Canellas et al., 2002; Canellas et al., 2004; Rodda et al., 2006; Rosa et al., 2009). Façanhas et al., (2002), observaram que SH de vermicomposto e de lodo de esgoto promoveram o desenvolvimento radicular de plântulas de milho e de café, bem como estimularam a ação da H^+ -ATPase de membrana plasmática. Estas enzimas se hidrolisam gerando energia e um gradiente eletroquímico responsável pela diferença de potencial e acidificação do apoplasto, condição necessária para o alongamento e divisão celular (Canellas et al., 2002), aumentando a absorção de nutrientes e crescimento vegetal (Nardi et al., 2002).

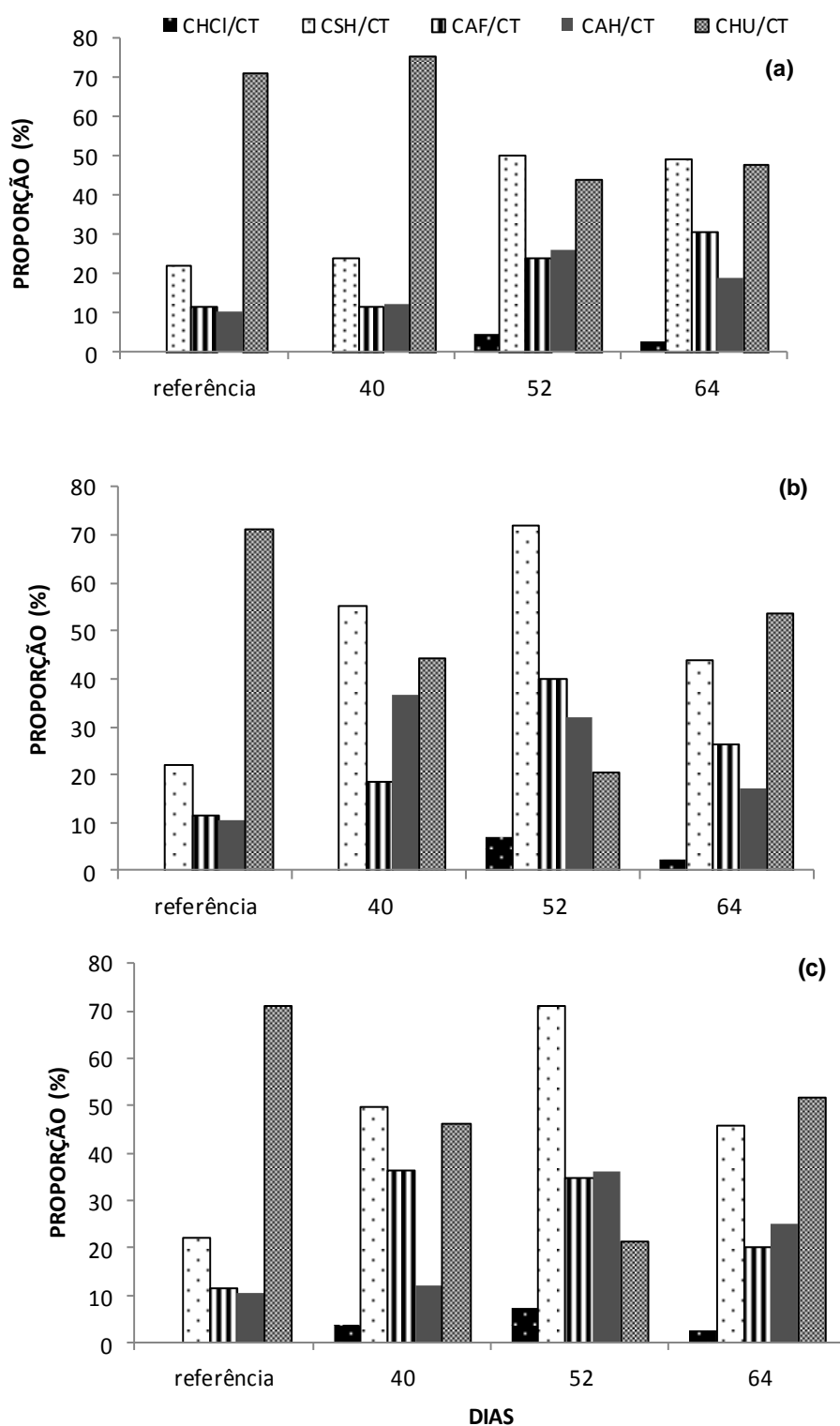


Figura 1. Proporção dos compartimentos químicos do C em Argissolo Vermelho, sem adição de composto (a) e com adição de composto neutro (b) e de composto ácido (c) advindo da compostagem dejetos de suíno

4.3.3 Composição elementar de ácidos húmicos (AH) e huminas (HU)

Os teores de C e de N dos AH de T1(sem aplicação de composto) tenderam a diminuir com o tempo e alcançaram os valores de 45 % e de 2,8 %, respectivamente, aos 64 dias e a relação C/N oscilou em torno de 16 (Tabela 3). Nos tratamentos com adição de composto de dejetos de suínos os teores de C dos AH variaram aleatoriamente entre 48,5 a 51,5% e de N entre 3,0 a 3,4% ao longo do período do experimento (Tabela 3). A relação C/N oscilou entre 15 e 16 e também não apresentou uma tendência de variação com o tempo. Os teores de C e de N e para a relação C/N observados para os AH dos solos que receberam adição de composto são coerentes com os valores usualmente observados para AH de solos (Ferri et al, 2005).

O teor de C da fração humina concentrada variou entre 3,5 e 24,8 e o de N entre 0,2 e 1,1 (Tabela 3). Para ambos os elementos os valores são muito baixos para qualquer fração orgânica do solo e isso se deve à purificação ineficiente desta fração, permanecendo uma elevada proporção de fração inorgânica. Potes et al., (2010), constataram que para solos arenosos a remoção de quartzo por meio do tratamento com HF 10% não é eficaz, permanecendo grande parte deste mineral após vários tratamentos.

A relação C/N da humina dos tratamentos com adição de composto oscilou entre 21 e 46 e foi sempre superior aos valores observados para T1 (18 a 24) em cada tempo (Tabela 3) sugerindo que a adição de composto causa um empobrecimento relativo de compostos nitrogenados na humina. Comparando-se com a relação C/N do solo inteiro (Tabela 1), a humina de todos os tratamentos avaliados apresenta valores maiores, sendo que essa tendência é mais acentuada para T2 e T3. Esse comportamento sugere que a adição de composto altera a dinâmica do N, onde os compostos nitrogenados tendem a se concentrar nas frações mais oxidadas (ácidos húmicos). Também, a relação C/N de HU é maior que a dos respectivos AH, indicando que humina é mais empobrecida em N (Tabela 3), conforme já descrito na literatura (Dick et al, 2008; Santana et al, 2011).

Tabela 3. Teores de carbono (C) e nitrogênio (N) e relação C/N nas frações de ácido húmico (AH) e humina (HU), dos tratamentos sem aplicação de composto e com aplicação de composto de dejetos de suínos.

Tratamento	Dias	C N C/N			C N C/N		
		AH			HU		
		(%)					
Referência	0	48,4	2,9	17	11	0,5	22
T1 ⁽¹⁾	40	49,9	3,1	16	23,5	1,1	21
T2 ⁽²⁾		51,1	3,2	16	16,4	0,7	23
T3 ⁽³⁾		48,6	3,0	16	24,8	0,7	35
T1	52	49,6	2,9	17	12,0	0,5	24
T2		51,5	3,4	15	21,2	0,8	27
T3		50,3	3,2	16	13,8	0,3	46
T1	64	45,0	2,8	16	3,5	0,2	18
T2		48,8	3,3	15	12,7	0,6	21
T3		48,5	3,0	16	8,0	0,3	27

⁽¹⁾ solo; ⁽²⁾ solo+composto neutro; ⁽³⁾ solo+composto ácido

4.3.4 Comportamento espectral dos ácidos húmicos (AH) e huminas (HU)

Os espectros de FTIR de AH dos tratamentos analisados apresentaram o mesmo padrão e serão apresentados aqueles obtidos para 64 dias (Figura 2). As principais bandas identificadas e respectivas atribuições foram: região de 3.283 cm^{-1} atribuída ao grupamento OH, bandas na região de $2.916 - 2.844\text{ cm}^{-1}$ devido ao estiramento C-H alifático; banda em torno de $1.728 - 1.713\text{ cm}^{-1}$ referente ao estiramento C=O do grupo carboxílico; banda na região em $1.630 - 1.615\text{ cm}^{-1}$ atribuída ao estiramento C=C de aromático; bandas em torno de $1.443 - 1.415\text{ cm}^{-1}$ devido deformação C-H alifático; banda em $1.386 - 1.371\text{ cm}^{-1}$ referente ao C-H de alifáticos ; banda na região $1.268 - 1.209\text{ cm}^{-1}$ atribuída ao estiramento C-O e à deformação OH do grupo carboxílico; banda em $1.113 - 1.150\text{ cm}^{-1}$ e pico em $1.084 - 1.041\text{ cm}^{-1}$ correspondente aos estiramentos C-O de polissacarídeos .

No que diz respeito às intensidades relativas, os AH de T2 aos 64 dias apresentaram, em geral, valores semelhantes aos observados para os AH de

T1 (Tabela 4), resultado que está de acordo com os encontrados por Canellas et al., (2000) em estudos com AHs extraídos de lodo de esgoto e composto de lixo, observaram que as duas frações húmicas apresentaram natureza química similar aos ácidos húmicos do solo. Já os AH de T3 diferiram de T2 pelos menores valores de IR_{1720} e de IR_{1067} , pelo maior valor de IR_{1640} , e pelo maior índice de condensação (Tabela 4).

Esses resultados indicam que o AH obtido no tratamento em que houve adição de composto ácido tende a ser menos carboxilado e mais aromático que o AH do tratamento com adição de composto neutro.

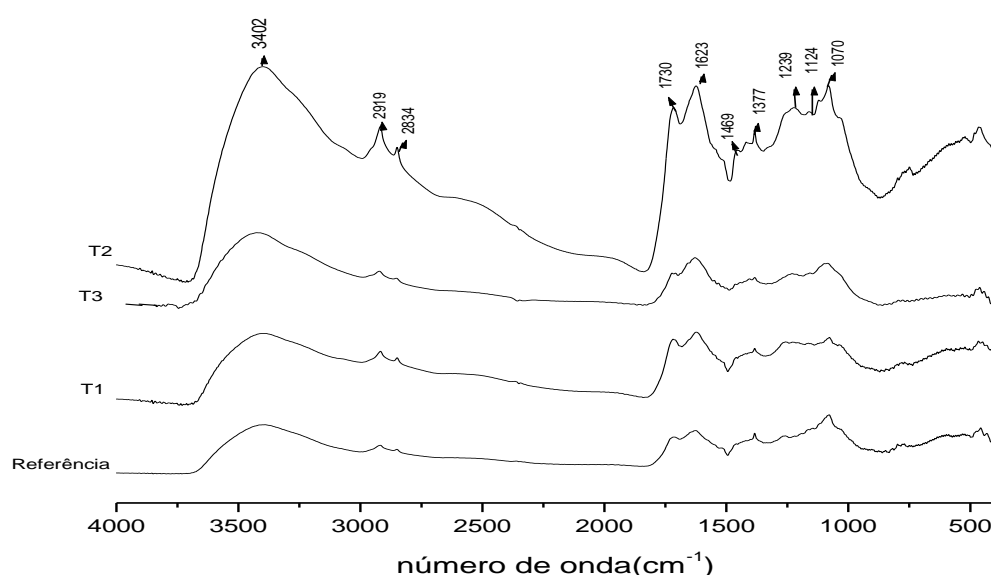


Figura 2. Espectros de FTIR na fração ácido húmico (AH) em Argissolo Vermelho em área de referência, solo sem adição de composto (T1), solo com adição de composto neutro (T2) e ácido (T3).

Tabela 4. Intensidades relativas e índice de aromaticidade dos ácidos húmicos (AH) em solo sem aplicação de composto orgânico (T1) e com adição de composto neutro (T2) e ácido (T3) advindo de dejetos de suínos, em Argissolo Vermelho.

Tratamento	Dias	IR_{2921}	IR_{1726}	IR_{1640}	0-10 cm					$I_{C=C}/I_{C-H}$
					IR_{1475}	IR_{1390}	IR_{1227}	IR_{1164}	IR_{1067}	
Referência	0	4,6	14,5	16,6	6,4	11,8	10,1	14,7	21,6	3,6
T1 ⁽¹⁾		6,4	23,3	23,3	6,4	10,6	13,9	n.d. ⁽⁴⁾	15,8	3,6
T2 ⁽²⁾	64	6,9	23,8	23,4	4,0	4,7	9,5	12,08	15,3	3,3
T3 ⁽³⁾		6,1	15,7	25,3	6,1	10,2	10,3	13,6	12,3	4,1

⁽¹⁾ solo, ⁽²⁾ solo + composto neutro; ⁽³⁾ solo+ composto ácido. ⁽⁴⁾ não detectado.

Os espectros da fração HU acusaram a presença de material inorgânico, confirmando a discussão da composição elementar. A título de exemplo serão apresentados espectros de humina do tratamento T1 e do Tratamento T3 (Figura 3).

As bandas finas na região de 1630-1620 cm^{-1} , na região de 1384-1378 cm^{-1} , em torno de 900 cm^{-1} são indicativos de deformação e/ou estiramentos de grupos Si-O e mascaram as bandas dos grupos orgânicos (Figura 3). As bandas dos grupos orgânicos identificados foram na região de 2920 a 2844 cm^{-1} e em 1726 cm^{-1} , indicando que as huminas além de apresentarem estruturas alifáticas são também carboxiladas.

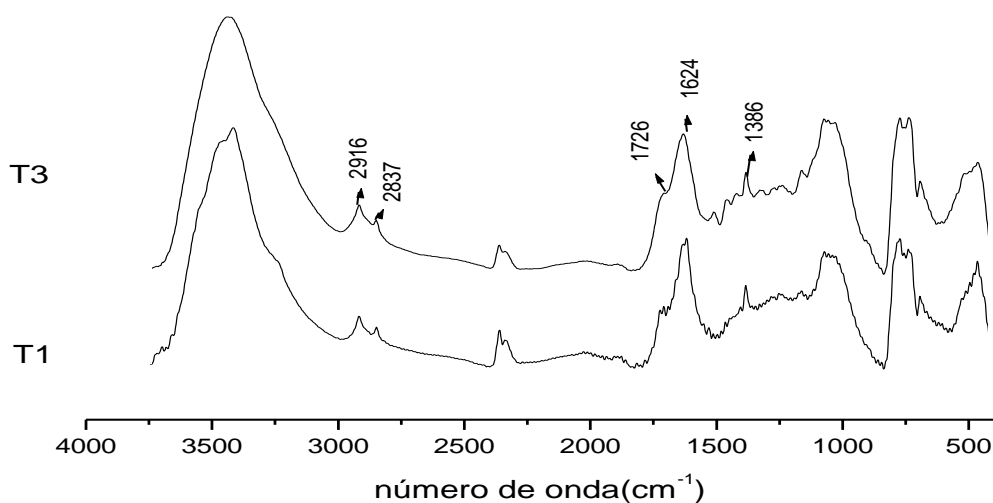


Figura 3. Espectros de FTIR da fração humina (HU) em Argissolo Vermelho em solo sem adição de composto (T1) e com adição de composto ácido (T3).

4.3.5 Teores de metais no solo e nas frações húmicas

Os teores totais de Cu, Fe, Cr, Mn e Zn no solo dos três tratamentos foram em média em mg kg^{-1} : 9,7 Cu; 599,1 Fe; 14,6 Cr; 120 Mn e 70,1 Zn ao final dos 64 dias (Tabela 5).

Para todos os elementos avaliados, os valores encontram-se abaixo do respectivo limite superior de referência para solos para uso agrícola, os quais são em mg kg^{-1} : Cu: 200, Fe: 2.450, Cr: 150, Mn:400 e Zn: 45(Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009 do CONAMA).

Os únicos metais em que foi observada diferença nos teores dos tratamentos T2 e T3 em relação aos da referência e da testemunha ao longo do experimento foram Cu e Zn (Tabela 5). No caso do Cu os teores dos tratamentos foram maiores que a testemunha, porém variaram aleatoriamente ao longo do tempo. Para o Zn os valores foram maiores que a testemunha, porém menores que a referência (Tabela 5). Possivelmente essas variações se devam à heterogeneidade das amostras e, ainda que, estatisticamente significativas não tem significado prático. O efeito do pH na distribuição dos metais pode ser descartado uma vez que o pH do solo durante o experimento situou-se em torno de 6,4 no T1 (solo sem aplicação de composto), 6,8 no T2 (solo com adição de composto neutro) e 6,6 no T3 (solo com adição de composto ácido) (Apêndice 4). Os metais analisados se tornam mais disponíveis em níveis de pH mais ácidos ($< 5,5$) (Melo et al., 2008).

Portanto infere-se que a aplicação de composto de dejetos de suínos não afetou a concentração total dos metais Cu, Fe, Cr, Mn e Zn no solo.

O teor de Cu na fração HCl para os três tratamentos foi máxima aos 40 dias e variou de 0,06 a 0,11 mg kg^{-1} (Tabela 5). A partir deste tempo decresceu para valores menores que 0,04 mg kg^{-1} . Já para a fração de SH o teor foi baixo em todos os tratamentos aos 40 dias e atingiu os maiores valores aos 52 dias apresentando valores de magnitude semelhante aos de Cu_{HCl} neste tempo (Tabela 5). Estes resultados parecem indicar que houve uma maior disponibilidade de Cu aos 40 dias (que se encontra na fração de HCl) e que esta forma de Cu, eventualmente se deslocou para um compartimento orgânico mais estável aos 52 dias (associado às SH).

Os teores de Cu_{SH} encontrados não foram influenciados estatisticamente ($p > 0,05$) pela aplicação dos diferentes compostos quando comparado com o T1.

Os metais Fe e Zn apresentaram comportamento semelhante ao longo do experimento com valores máximos no tempo de 40 dias nos dois compartimentos (HCl e SH) e os valores observados foram sempre inferiores aos teores totais (Tabela 5).

O teor de Fe_{HCl} variou de 10,7 a 14 mg kg^{-1} aos 40 dias e não apresentou diferença entre os tratamentos com e sem aplicação de dejetos de suínos. Comportamento contrário foi observado para a fração Zn_{HCl} em que os teores (17,79 e 20,86 mg kg^{-1}) em T2 e T3 foram superiores aos observado para T1 (6,93 mg kg^{-1}) (Tabela 5). Já para o compartimento de SH a magnitude dos valores foi semelhante para os observados no extrato com HCl, porém neste caso o Fe_{SH} de T2 e T3 diferiu de T1 (Tabela 5). O Cr na fração HCl apresentou comportamento inverso ao observado para Cu, Zn e Fe, ocorrendo o aumento de sua concentração ao longo dos 64 dias, quando atingiu valores em torno de 0,25 a 0,35 mg kg^{-1} (Tabela 5). O teor de Cr_{SH} foi da ordem de 0,01 mg kg^{-1} ao longo do experimento e não diferiu entre os tratamentos (Tabela 5). Esses resultados indicam que o Cr é preferencialmente associado a compostos de menor peso molecular, do que nas substâncias húmicas e o seu aumento ao término do experimento poderia significar um aumento da sua disponibilidade em todos os tratamentos.

O teor de Mn na fração C_{HCl} (Tabela 5) não diferiu significativamente entre os tratamentos e variou de 0,03 a 0,08 mg kg^{-1} . Na fração SH os valores de manganês aos 40 dias foram da ordem de 0,5 mg kg^{-1} e decresceram drasticamente aos 52 e 64 dias (Tabela 5).

Em geral para todos os elementos analisados não houve uma tendência clara de variação ao longo dos 64 dias e não foi observada diferença significativa entre a testemunha e os tratamentos com dejetos. Infere-se, portanto que a adição de composto de dejetos de suínos (nas condições deste experimento, sendo realizada apenas uma aplicação) não afetou a distribuição destes metais com as frações orgânicas.

Tabela 5. Teor de cobre (Cu), ferro (Fe), cromo (Cr), manganês (Mn) e zinco (Zn), no solo, na fração HCl e fração SH, em área de referência nos diferentes tratamentos em Argissolo Vermelho.

Tratamentos	Dias	Cu	Fe	Cr	Mn	Zn
Referência	0	6,04 ^{ns(4)}	585,54 ^{ns}	total(mg kg ⁻¹)		85,0Aa
T1 ⁽¹⁾		4,70Bb	1010,24 ^{ns}	14,67 ^{ns}	105,70 ^{ns}	12,0Ab
T2 ⁽²⁾	40	7,12Bb	633,73 ^{ns}	16,48 ^{ns}	75,81 ^{ns}	10,76ABb
T3 ⁽³⁾		9,81A ^{ns}	820,48 ^{ns}	22,37 ^{ns}	122,05 ^{ns}	14,09ABbc
T1		6,04Cb	882,23 ^{ns}	17,84 ^{ns}	95,38 ^{ns}	55,07Cbc
T2	52	9,72B ^{ns}	811,44 ^{ns}	25,09 ^{ns}	112,5 ^{ns}	63,46Babc
T3		16,35Aa	687,11 ^{ns}	19,65 ^{ns}	111,2 ^{ns}	72,3Aabc
T1		5,60Bb	740,66 ^{ns}	13,76 ^{ns}	88,62 ^{ns}	51,24Bbc
T2	64	11,63A ^{ns}	734,64 ^{ns}	16,03 ^{ns}	117,9 ^{ns}	70,82Aab
T3		9,72A ^{ns}	599,09 ^{ns}	18,29 ^{ns}	111,55 ^{ns}	63,17Aabc
				HCl(mg kg ⁻¹)		
Referência	0	0,02Ce	2,10Bb	0,26Ca	0,09Aa	0,021 ^{ns}
T1		0,10Aa	12,5Aa	0,01Ac	0,06Aa	6,93Bb
T2	40	0,06Bb	10,76Aa	0,02Ac	0,08Aa	20,86Aa
T3		0,08Ac	14,09Aa	0,02Ac	0,08Aa	17,79Aa
T1		0,01Be	0,01Be	0,04Bc	0,03Ab	0,01 ^{ns}
T2	52	0,01Be	0,06Ad	0,15Ab	0,02Ab	0,01 ^{ns}
T3		0,03Ad	0,08Ad	0,12Ab	0,03Ab	0,01 ^{ns}
T1		0,01Be	0,30Ac	0,28Aa	0,08Aa	0,01 ^{ns}
T2	64	0,03Ad	0,09Bd	0,25Aa	0,07Aa	0,01 ^{ns}
T3		0,02Ad	0,09Bd	0,35Aa	0,06Aa	0,00 ^{ns}
				SH (mg kg ⁻¹)		
Referência	0	0,08Aa	0,30 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03Cc	0,07 ^{ns}
T1		0,00Cd	6,93Bb	0,01 ^{ns}	0,49Aa	12,5Aa
T2	40	0,00Cd	20,86Aa	0,01 ^{ns}	0,48Aa	10,76Bb
T3		0,02Bb	17,79Aa	0,01 ^{ns}	0,54Aa	14,09Aa
T1		0,02Ab	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,18Ab	0,01 ^{ns}
T2	52	0,03Ab	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04Bc	0,06 ^{ns}
T3		0,03Ab	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,18Ab	0,08 ^{ns}
T1		0,01Ac	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03Ac	0,3 ^{ns}
T2	64	0,01Ac	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03Ac	0,09 ^{ns}
T3		0,01Ac	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,03Ac	0,09 ^{ns}

⁽¹⁾ solo sem adição de composto, ⁽²⁾ solo + composto neutro e ⁽³⁾ solo+ composto ácido. ^{ns} Não significativo a 5% médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre o mesmo tempo e tratamentos, e letras minúsculas iguais não diferem nos diferentes tempos e tratamentos, teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade

4.3.6 Teor total de metais na massa seca da planta

Os teores de metais obtidos na MSPA da alface variaram entre 5,12 e 10,21 mg kg⁻¹ para Cu; de 143 a 152 mg kg⁻¹ para Fe; de 26,62 a 57,82 mg kg⁻¹ para Cr; de 48,35 a 60,20 mg kg⁻¹ para Mn e em torno de 41 mg kg⁻¹ para Zn (Tabela 6). Para nenhum dos metais foi observada diferença significativa entre os tratamentos analisados.

Os valores observados para todos os metais estão dentro dos limites considerados como adequados para a cultura da alface (Trani & Raji, 1997; Melo et al., 1997; ANVISA, 1998).

Tabela 6. Teores de cobre (Cu), ferro (Fe), cromo (Cr), manganês (Mn) e zinco (Zn), na massa seca da parte aérea (MSPA) da alface aos 64 dias em solo sem e com aplicação de composto orgânico.

Tratamento	Cu	Fe	Cr	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
T1 ⁽¹⁾	10,21a	144a	57,82 a	60,20a	41,99a
T2 ⁽²⁾	6,06a	143a	52,83a	48,35a	40,08a
T3 ⁽³⁾	5,12a	152a	26,62a	51,42a	40,06a

⁽¹⁾ solo; ⁽²⁾ solo + composto neutro; ⁽³⁾ solo + composto ácido. Letras minúsculas iguais não diferem entre si na coluna pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade.

4.4 Conclusões

A aplicação de composto de dejetos de suínos, afetou a dinâmica da matéria orgânica do solo, favorecendo a formação de micelas húmicas de maior tamanho (AH).

A adição de composto de dejetos de suínos não afetou a concentração total dos metais Cu, Fe, Cr, Mn e Zn no solo, bem como sua distribuição nas frações húmicas.

5. ESTUDO II

EFEITO DE FERTILIZANTES DE LEONARDITA NO RENDIMENTO DE ALFACE E CEBOLINHA E NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DE UM ARGISSOLO VERMELHO

5.1 Introdução

A matéria orgânica no solo (MOS) apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, regulado pela adição de resíduos orgânicos de natureza diversificada em contínua transformação sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos (Guerra et al., 2008).

As substâncias húmicas (SH) consistem no principal componente da matéria orgânica do solo e influenciam diretamente nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Notadamente interferem em processos fisiológicos das plantas, absorção de nutrientes, crescimento radicular e da parte aérea dos vegetais (Nardi et al., 2002).

O modelo da estrutura das SHs proposto recentemente considera as mesmas como supramoléculas ou estruturas micelares formadas por moléculas menores que se posicionam hidrofóbicamente para o interior da micela e as estruturas contendo grupos hidrofílicos para a parte externa (Piccolo, 2002). Baseado nesse modelo proposto por Piccolo (2002), pode se explicar o efeito das substâncias húmicas no estímulo do crescimento de plantas. A interação planta-microrganismos pode alterar a estrutura e a conformação das substâncias húmicas. Os AH são formados por uma mistura heterogênea de

pequenas moléculas reunidas num arranjo supramolecular, estabilizado por forças relativamente fracas. Essas ligações podem ser rompidas na presença de concentrações baixas de ácidos orgânicos que são exsudados pelas raízes de diversas plantas, podendo mobilizar subunidades estruturais das SH, resultando em alterações (Nardi et al., 2000; Cozzolino et al., 2001). É possível que uma dessas subunidades apresente uma atividade hormonal, como grupamentos auxínicos. Uma vez dissociadas da molécula base de AH, poderiam acessar receptores na superfície ou no interior das células das raízes, desencadeando processos que culminariam com o estímulo do desenvolvimento em comprimento e área radicular (Façanhas et al., 2002).

A contribuição das SH na produtividade e qualidade de diversos cultivos se deve ao fato de as mesmas facilitarem a absorção de nutrientes pelas raízes, e melhorarem a estrutura do solo (Silva Filho e Silva, 2009). O efeito das substâncias húmicas extraídas de diferentes fontes orgânicas de matéria orgânica (lodo de esgoto, vermicompostagem, composto orgânico, leonardita, turfa e ácidos húmicos comerciais) no crescimento de plantas vem sendo investigadas em diversos trabalhos (Silva et al., 2000; Nardi et al., 2002; Canellas & Façanha 2004; Rodda et al., 2006; Rosa et al., 2009).

A leonardita, forma oxidada do carvão linhito, encontra-se geralmente na parte superior do perfil de depósitos de carvão. Por esta razão, os processos de diagenese que reduzem a matéria orgânica originada de plantas são menos pronunciados (Vasconcellos, 2006). Devido ao seu teor razoável de grupos oxidados, a leonardita vem sendo utilizada como fonte de substâncias húmicas, ricas em ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) (Silva Filho e Silva, 2002).

Segundo alguns autores, as SH promovem o crescimento radicular, permitindo assim, que as plantas explorem um volume maior de solo, conseqüentemente tenham uma maior absorção de nutrientes (Chen e Aviad, 1990; Nardi et al., 2002).

Segundo Nardi et al. (2002), a interação entre material húmico e sistema radicular na rizosfera se verifica com a entrada das estruturas húmicas de menor tamanho (principalmente AF) no apoplasto, atingindo assim as membranas celulares. Desta forma, o metabolismo da planta é afetado, podendo ocorrer indução ou repressão da síntese proteica. Por sua vez,

frações húmicas de maior tamanho, tais como os AH, têm reconhecida bioatividade (Canellas et al., 2002).

O efeito de AH na produtividade de plantas foi observado em alguns estudos. Kazemi (2013), avaliando os efeitos da aplicação de AH com potássio (K) no crescimento vegetativo e reprodutivo e qualidade de plantas de pepino, verificaram um aumento no crescimento (altura de plantas, número de folhas), reprodução e rendimento (peso seco) das plantas.

Em estudos com adição de diferentes doses SH extraídas de carvão mineral, em plantas de feijão Rosa et al., (2009) observaram um aumento na produção de massa seca da parte aérea e as concentrações de P, K, Ca, Mg foram consideradas dentro da faixa adequada para a cultura. Resultados semelhantes foram encontrados por Bernardes et al., (2011) utilizando produto comercial a base de SH, em mudas de tomateiro.

Apesar de vários estudos realizados com a aplicação de substâncias húmicas de diferentes fontes, os efeitos das SH, bem como as doses a serem aplicadas ainda não estão bem elucidados.

O presente trabalho tem como objetivo investigar o efeito da aplicação de ácido húmico e de ácido fúlvico comercial oriundo de leonardita em combinação com adubação mineral, avaliando seu efeito nas propriedades químicas do solo e a eficiência agronômica na produção das culturas da alface e cebolinha.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Descrição e localização do experimento

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação na área experimental da Faculdade de Agronomia/ Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS (30°04'26''S e 51°08'07''W). As coletas de solo foram realizadas na área experimental do Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Rurais, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul (29°43'30'' latitudes S e 53°45'03'' W).

Foi utilizado solo da camada superficial (0-10 cm) de um Argissolo Vermelho distroférico húmbrico (EMBRAPA, 2006) de textura arenosa. O solo utilizado foi coletado aleatoriamente na mesma área do Estudo I, com o histórico da área descrita no item 4.2.1, sendo que no momento da coleta a área era cultivada com aveia e azevém. Antes da implantação do experimento foi realizada a caracterização química e física do solo e os valores obtidos foram de 210 g.kg⁻¹ de argila; pH H₂O 5,6; índice SMP 6,0; P- Mehlich 8,4 mg dm⁻³; K⁺_{troç} 110 mg dm⁻³; Ca⁺²_{troç} 7,2 cmol_c dm⁻³; Mg⁺²_{troç} 3,1 cmol_cdm⁻³; Al_{troç}⁺³ 0 cmol_c dm⁻³; H + Al 6,9 cmol_c dm⁻³; MO 32 g kg⁻¹.

5.2.2 Fertilizantes orgânicos e inorgânicos empregados

Foram testados dois fertilizantes orgânicos extraídos de leonardita e fornecidos por JDMV BRASIL. Os produtos comerciais Growmater Plant®, rico em ácidos fúlvicos (AF) (35,5% m/m), Growmater Soil® (Humic soil), rico em ácido húmico (AH) (16% m/m). Os fertilizantes inorgânicos para a composição do NPK consistiram em: ureia (42% de N), superfosfato triplo (43%P₂O₅) e cloreto de potássio (60% K₂O). As características químicas dos fertilizantes orgânicos estão descritas no Apêndice 5.

5.2.3 Instalação do experimento e delineamento experimental

O experimento foi instalado em vasos de polietileno de 2,5 dm³, onde foram utilizados 2 kg de solo como substrato para cada vaso. A umidade do solo foi corrigida para 80% da capacidade de campo e mantida nesse teor durante o experimento, monitorando-se o peso dos vasos e adicionando-se água quando necessário.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: testemunha (tratamento sem adubação), Humic Soil® (HS); Humic Soil® + NPK (HS +NPK); NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® + NPK (GP +NPK). A adubação mineral seguiu a recomendação para as culturas da alface e cebolinha (CFQS RS/SC, 2004) com base nos resultados da análise do solo. Consistiu em ureia (100 kg ha⁻¹ de N), parcelada em quatro vezes (uma

aplicação na base e as outras a cada 10 dias) superfosfato triplo (100 kg ha^{-1} de P_2O_5) e cloreto de potássio (160 kg ha^{-1} de K_2O). Para a cebolinha foi aplicado 75 kg ha^{-1} de N (uma aplicação na base e três em cobertura), 160 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 130 kg ha^{-1} de K_2O . As doses para os fertilizantes orgânicos comerciais foram de 4 L ha^{-1} , que é a dose recomendada pelo produtor do fertilizante (JVDM BRASIL). Essa solução foi preparada diluindo-se uma alíquota de 20 mL de cada produto comercial em 1 litro de água destilada. Para cada vaso foram adicionados 5 mL dessa solução, previamente ao transplante das mudas (Figura 4). Todos os adubos utilizados foram previamente incorporados ao solo.



Figura 4. Aplicação de fertilizante orgânico ao solo antes do transplante das mudas de alface e cebolinha. Fonte: Fotos da Autora, (2013).

As mudas de alface (*Lactuca sativa*) da variedade Verônica (pertencentes ao grupo de folhas crespas e soltas) ao serem transplantadas apresentavam quatro folhas definitivas. Cada vaso recebeu uma muda de alface. Para o experimento com cebolinhas (*Allium fistulosum*) transplantou-se 3 a 4 bulbos por vaso (cada bulbo corresponde a uma muda), totalizando 10 a 12 folhas (Figura 5). O experimento teve início no dia 27 de setembro de 2013 com término aos 48 dias após o transplante das mudas.

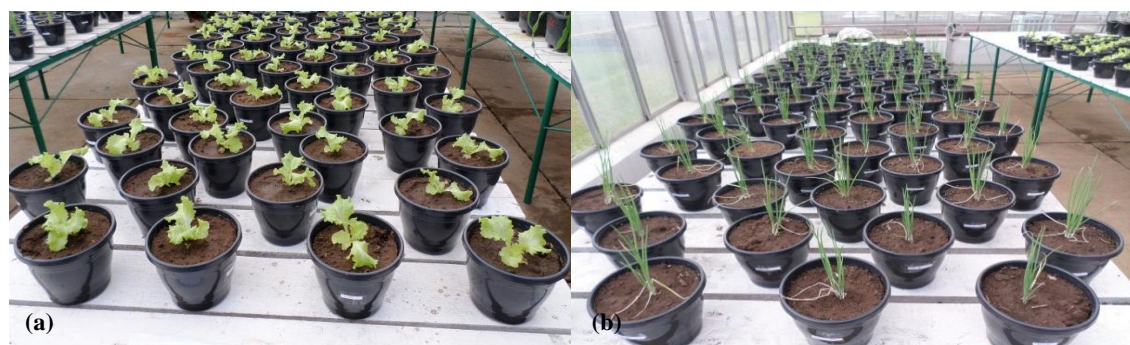


Figura 5. Bancada de cultivo da casa de vegetação, com vasos de alface (a) e cebolinha (b) após o transplante. Fonte: Fotos da Autora, (2013).

5.2.4 Características avaliadas nas plantas

As seguintes variáveis das plantas de alface e cebolinha foram avaliadas a cada sete dias após o transplante das mudas: número de folhas (NF); altura da planta e diâmetro da planta. A altura da planta foi medida, entre o colo da planta até a extremidade mais alta das folhas, com uma régua graduada em cm. O diâmetro da planta de alface também foi medido com régua graduada em cm considerando-se as extremidades da planta. Esta variável não foi avaliada na cultura da cebolinha.

Aos 21, 35 e 48 dias após o transplante das mudas foram coletadas quatro repetições de cada tratamento em cada tempo e foram determinados o comprimento da raiz (CR), a massa fresca da parte aérea (MFPA) e a massa fresca da raiz (MFR).

A parte aérea e as raízes foram separadas, lavadas com água para a retirada de solo, secas sob papel e posteriormente pesadas para obtenção da massa fresca. Após este procedimento, essas frações da planta foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de ar forçado a 65°C até peso constante, determinando-se, então, a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca da raiz (MSR). As amostras foram pesadas em balança analítica de precisão de 0,001g (Digimed – DG-500).

Para a avaliação da produtividade da alface e da cebolinha foram coletadas quatro plantas de cada tratamento, no final do ciclo. A partir dos resultados da massa fresca e da massa seca da parte aérea (MFPA e MSPA) e das raízes (MFR e MSR) foram calculados os teores de massa seca fresca total (MFT) e de massa seca total (MST) das plantas. Em amostras secas da parte aérea das plantas de alface foram determinados os teores de macronutrientes e micronutrientes, segundo metodologia descrita por Tedesco et al., (1995). Em seguida realizou-se o cálculo de acúmulo de nutrientes (Apêndice 6) realizado através do produto da massa seca (mg planta^{-1}) e o teor de nutrientes e a produtividade calculada através da massa fresca da parte aérea (g planta^{-1}) pela área do vaso.

5.2.5 Avaliações nas amostras de solo

As amostras de solos, coletadas aos 21 e aos 48 dias após transplante das mudas, foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm. Em todos os tratamentos ao final dos 48 dias foi determinado os atributos químicos, segundo metodologia descrita por Tedesco et al., (1995) (Apêndice 7). Os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo nas amostras foram determinados por combustão seca (Perkin Elmer 2400) e a partir dos resultados, foi calculada a relação C/N do solo.

5.2.6 Fracionamento e quantificação das substâncias húmicas

As substâncias húmicas foram separadas quimicamente empregando solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Dick et al., 1998). A uma massa de 1,0 g de solo foram adicionados 30 mL de HCl 0,1 mol L⁻¹ e procedeu-se à agitação (2 horas). Após centrifugação (2500rpm, 15 minutos), o extrato ácido, foi separado e o procedimento foi repetido mais duas vezes. A seguir realizaram-se as extrações com 30 mL de NaOH 0,5 mol L⁻¹ sob agitação (3 horas) até o sobrenadante ficar incolor (5 a 6 extrações). O extrato alcalino contendo as substâncias húmicas (SH) teve seu volume medido e foi retirada uma alíquota (10 mL) para análise de C. A solução alcalina foi acidificada a pH 2,0 com HCl 4 mol L⁻¹, deixada em repouso por 24 horas e, após, centrifugada para separação dos ácidos fúlvicos (AF - sobrenadante) e ácidos húmicos (AH - precipitado). O volume do extrato de AF foi medido e uma alíquota (2 mL) foi retirada para análise de C. Os teores de carbono no extrato ácido (C_{HCl}), no extrato das substâncias húmicas (C_{SH}) e no extrato de ácidos fúlvicos (C_{AF}) foram quantificados, determinando-se a absorbância em 580 nm (Shimadzu – UV-160 A) após oxidação do carbono com dicromato de potássio em meio ácido à 60°C durante 4 horas (Dick et al., 1998).

O teor de C do solo referente aos ácidos húmicos (C_{AH}) foi calculado a partir da equação: $C_{AH} = C_{SHs} - C_{AF}$. O teor de C presente na forma de huminas (C_{HU}) foi obtido por: $C_{HU} = C - (C_{SHs} + C_{HCl})$, onde C é o teor de carbono do solo. Neste cálculo, a fração leve, que foi incluída na determinação de C do solo e que é separado no tratamento com HCl, pode levar a uma superestimação de

C_{HU} . Foi calculada a distribuição de cada fração com percentual do C orgânico total e razão a C_{AH}/C_{AF} .

As amostras de AH, foram purificadas com 30 mL de solução de HF/HCl 5 % (v/v) sob agitação mecânica de 2 horas e centrifugada repetindo-se seis vezes o procedimento. A massa remanescente (AH purificado) foi lavada com água destilada por 1 hora, posteriormente foi centrifugada por 5 min a 2500 rpm, (este procedimento foi realizado cinco vezes) e seca em estufa a 60°C. (Dick et al., 2005).

5.2.7 Espectroscopia de Infravermelho (FTIR)

Os ácidos húmicos purificados foram analisados por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) (Shimadzu FTIR 8300) em pastilhas de KBr (1 mg amostra: 100 mg KBr) empregando-se 32 scans, e resolução de 4 cm^{-1} no intervalo espectral de 4000 a 400 cm^{-1}). A atribuição das bandas de absorção foi realizada segundo Tan (1996), sendo calculado o índice de aromaticidade (I_{1630}/I_{2920}) (Chefetz et al., 1996), que relaciona a intensidade de absorção em torno de 1630 cm^{-1} , atribuída aos grupos aromáticos, com aquela em 2920 cm^{-1} , que representa os grupos alifáticos. A intensidade foi obtida pelo programa do espectrômetro, após estabelecer a linha de base entre 1696 e 1530 cm^{-1} e entre 3000 e 2800 cm^{-1} , respectivamente. As intensidades relativas das principais bandas de absorção foram calculadas segundo Gerzabek et al. (2006), dividindo-se a intensidade corrigida de um dado pico (p.ex., em torno de 2920, 1720, 1630, 1540 e 1070-1030 cm^{-1}) pela soma das intensidades de todos os picos e multiplicando-se por 100%. Os limites (cm^{-1}) para determinação da base para os picos foram estabelecidos como segue (base1/pico/base2): 3000/2920/2800 1800/1720/1700; 1190/1070-1030/900.

5.2.8 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância e as respectivas médias comparadas pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As

análises foram realizadas com o auxílio do programa Computacional Sistema para Análise de Variância - Sisvar (Ferreira, 2000).

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Efeito da aplicação de fertilizantes nas variáveis nas plantas de alface

Para a alface, ao longo do experimento, o número de folhas variou entre 4 e 28; o diâmetro entre 5 e 30 cm; a altura de planta entre 5 e 15 cm e o comprimento de raiz entre 9 e 28 cm (Tabela 7). Nenhum dos tratamentos testados apresentou efeito negativo nesses atributos, além disso, observa-se que o desenvolvimento das plantas de alface foram coerentes com os encontrados na literatura (Luz et al., 2010; Kano et al., 2006; Trani et al., 2006) apresentando bom potencial comercial.

Em geral o tratamento Growmater Plant® + NPK apresentou os maiores valores desses atributos de planta, diferindo da testemunha ao nível de 5%: a partir dos 14 dias, para o número de folhas, aos 21 dias para diâmetro e altura de plantas e a partir dos 35 dias para o comprimento de raiz. Ao término do experimento, as plantas do tratamento Growmater Plant® +NPK apresentaram em média 27,5 folhas, 34,7 cm de diâmetro, 15,2 cm de altura e 24,2 cm de comprimento de raiz. Para as plantas da testemunha, que não recebeu nenhum tipo de adubação, esses valores foram: 18 folhas por planta, 24,7 cm de diâmetro, 11,5 cm de altura e 16,5 cm de comprimento de raízes (Tabela 7).

O tratamento Humic Soil® +NPK foi aquele, que após o Growmater Plant® +NPK apresentou diferenças mais relevantes em relação à testemunha. Para este tratamento, valores maiores aos observados para a testemunha (ao nível de 5%) ocorreram: aos 21, 35 e 48 dias para o número de folhas; aos 14 e a partir dos 28 dias para diâmetro; entre 21 e 42 dias para altura de planta, e em todos os tempos avaliados para o comprimento de raiz (Tabela 7). Para a altura de planta e para o comprimento de raiz, Growmater Plant® +NPK e Humic Soil® +NPK tenderam a apresentar os mesmos valores.

Quando utilizado isoladamente, o fertilizante Growmater Plant® diferiu da testemunha no número de folhas aos 48 dias; no diâmetro de planta aos 42 e 48 dias; na altura aos 35 dias e no comprimento de raiz aos 48 dias (Tabela

7). Para o uso isolado do fertilizante Humic Soil®, comportamento semelhante foi observado, com exceção do diâmetro de planta, em que Humic Soil® apresentou valores maiores do que os observados para a testemunha dos 28 aos 48 dias. Porém, apenas para comprimento de raiz aos 48 dias, Growmater Plant® e Humic Soil® produziram comprimento de raiz comparável aos observados para Growmater Plant®+NPK e Humic Soil® +NPK.

Em geral, os tratamentos com adição de AF e AH proporcionaram semelhante desenvolvimento da planta em relação aos parâmetros estudados quando comparado com o tratamento com adubação mineral. Segundo alguns estudos, o crescimento e o metabolismo das plantas são alterados com a presença de ácidos fúlvicos e húmicos em solução (Varanini et al., 1993; Nardi et al., 2002; Bernardes et al., 2011). Outros estudos demonstraram que produtos a base de substâncias húmicas podem estimular a absorção de nutrientes das plantas como também o desenvolvimento radicular devido ao efeito estimulante semelhante aos hormônios vegetais (Façanhas et al., 2002).

Para o fertilizante mineral NPK o número de folhas diferiu da testemunha aos 48 dias, não diferindo dos valores apresentados por Growmater Plant® e Humic Soil® isoladamente (Tabela 7). Para o diâmetro de planta, o tratamento com NPK diferiu da testemunha dos 21 aos 48 dias, superando os valores obtidos para Growmater Plant® e Humic Soil® apenas nos tempos de 21 dias. Para a altura de plantas, NPK diferiu da testemunha dos 28 aos 42 dias e para comprimento de raiz apenas aos 48 dias.

Tahir et al. (2011), avaliando o crescimento em altura no trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado em vasos em casa de vegetação em solo sem e com aplicação de substâncias húmicas de linhito, observaram efeitos positivos no crescimento da cultura com aplicação de SH.

O efeito estimulante das substâncias húmicas sobre o desenvolvimento e crescimento vegetal foi verificado por Benites et al. (2006) que relataram que a aplicação de substâncias húmicas no estágio de V4 da soja, proporcionam ganhos de até 26% de produtividade em relação a controle (sem aplicação). Também Baldotto et al., (2009) notaram que a aplicação de SH oriundas de vermicomposto e torta de filtro proporcionou incrementos de 10,12% no número de folhas em abacaxizeiro. Rodda et al., (2006), em estudos com humatos extraídos de vermicomposto adicionados em plântulas de alface verificaram

maior desenvolvimento de raízes com aplicação de substâncias húmicas, corroborando com os resultados obtidos por Canellas et al., (2002), em estudos com aplicação de AH extraídos de vermicomposto, em plântulas de milho.

Façanha et al, (2002) atribuem a influência positiva das substâncias húmicas no sistema radicular, à estimulação da atividade e promoção da síntese das enzimas H^+ - ATPases da membrana plasmática (Canellas & Façanha, 2004), num efeito tipicamente auxínico, promovendo a expansão radicular. Este crescimento radicular faz com que a planta tenha maior capacidade de explorar um volume maior de solo (Silva et al., 2011), proporcionando uma vantagem aos tratamentos com substâncias húmicas (Rima et al., 2011). O aumento do crescimento radicular contribui para uma melhor adaptação das plantas ao ambiente do solo sob várias condições adversas, bem como para o aumento da absorção de nutrientes (Nibau et al., 2008). Os trabalhos apontam para os ácidos fúlvicos (fração de baixo peso molecular), como moléculas mais bioativas, por serem absorvidas pelas plantas podendo acessar mais facilmente a parede e membrana plasmática (Vaughan et al., 1985; Nardi et al., 2002).

Façanha et al. (2002) demonstraram que as SH de massa molecular relativamente elevada, ácidos húmicos extraídas de vermicomposto e de lodo obtido de estação de tratamento de esgoto, promoveram o desenvolvimento radicular de plântulas de milho e café e a ativação da H^+ -ATPase de membrana plasmática, comprovando sua bioatividade. De maneira geral os resultados das variáveis analisadas na cultura da alface, obtidos no tratamento Growmater Plant[®] +NPK foram superiores em relação aos demais tratamentos, inclusive em relação aos tratamentos que utilizam esses adubos isoladamente. Infere-se, portanto que nesse tratamento ocorre um efeito sinérgico dos dois fertilizantes potencializando seus respectivos efeitos no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Tabela 7. Número de folhas, diâmetro e altura de plantas e comprimento de raiz (cm) nos diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS)+NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura da alface.

Dias	Testemunha	HS	HS+NPK	NPK	GP	GP+NPK
Nº de folha						
0	4 ^{ns}	4 ^{ns}	4 ^{ns}	4 ^{ns}	4 ^{ns}	4 ^{ns}
7	5,5a	5a	5,5a	4,5a	5,2a	5,7a
14	5,7d	7,2bc	7,3bc	6,1bc	6,0bc	8,2a
21	8,5ab	9ab	10,2ab	9,75ab	9ab	10,7a
28	11,5b	11,2b	13,7b	14b	11,2b	19,5a
35	15,7bc	13,2c	15,7bc	18,5ab	12,7c	22,2a
42	17,5b	18,3b	20,7b	21b	17,2b	26,2a
48	18,2c	20,7bc	22,2b	24ab	22,5b	27,5a
Diâmetro de planta						
(cm)						
0	5 ^{ns}	5 ^{ns}	5 ^{ns}	5 ^{ns}	5 ^{ns}	5 ^{ns}
7	9,8a	8,8a	8,8a	8,8a	10a	10,3a
14	13,5b	12,3b	16,6a	13,8ab	12,2b	15,ab
21	16,3b	15,1b	16,1b	23,5a	14,8b	24,1a
28	17,2c	21,5b	24,5ab	22,5b	15,8c	27,2a
35	20,5c	27,1b	25,5b	26,1b	23,8bc	33,3a
42	24,5d	28,8bc	30,5b	26,2cd	26,7cd	34,2a
48	24,7c	30,5b	29,2b	28,7b	29,7b	34,7a
Altura de planta						
(cm)						
0	5 ^{ns}	5 ^{ns}	5 ^{ns}	5 ^{ns}	5 ^{ns}	5 ^{ns}
7	6,7a	5,1a	4,7a	4,6a	4,3a	6,3a
14	6,7a	5,2a	6,7a	5,8a	6,1a	7,3a
21	7,1b	7,6b	11,0a	9,1ab	7,7b	10,7a
28	7,5b	8b	12,1a	12,2a	9,5b	12,2a
35	8,5d	11c	13,5a	13,2ab	11,5bc	14,7a
42	11,3c	11,2c	12,3bc	13,2b	12,5bc	15,2a
48	11,5b	12,2b	13,5ab	13,7ab	13,7ab	15,2a
Comprimento de raiz						
(cm)						
21	9,7b	10,1b	15,0a	14,0ab	11,7ab	13,5ab
35	15,7b	18,2ab	22,0a	20,2ab	18,2ab	22,2a
48	16,5c	24,2ab	27,0a	22,2b	21,2b	24,2ab

^{ns} não significativo. Médias seguidas da mesma letra minúsculas na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.3.2 Produtividade avaliada pela massa fresca e massa seca das plantas de alface

A massa fresca da parte aérea (MFPA) das plantas de alface nos tratamentos Humic Soil® +NK, Growmater Plant® +NPK e NPK apresentou valores maiores em relação aos demais tratamentos aos 21 dias (Tabela 8). No entanto, quanto à raiz, os tipos de adubação não influenciaram na produção de MSR e MFR nesse tempo.

Aos 35 dias, apenas Growmater Plant®+NPK incrementou a produção de MSPA, enquanto para a MFPA os quatro tratamentos contendo os fertilizantes orgânicos diferiram do valor observado para a testemunha e para NPK (Tabela 8). Aos 48 dias, ao término do experimento, todos os tratamentos testados produziram mais MFPA e, com exceção de Humic Soil®, maiores valores de MSPA.

Quanto aos parâmetros de raiz aos 35 e aos 48 dias, os tratamentos combinados Humic Soil®+NPK e Growmater Plant®+NPK apresentaram os maiores valores de MFR e de MSR, sugerindo um efeito sinérgico destes dois tipos de adubo no crescimento da raiz, conforme já havia sido sugerido na discussão do comprimento de raiz.

A produção de MFPA ao final do experimento seguiu a ordem decrescente, Growmater Plant®+NPK > NPK > Humic Soil®+NK > Humic Soil® > Growmater Plant® > testemunha (Tabela 8). Já para a MSPA, a maior produtividade foi observada para os tratamentos combinados Humic Soil® +NPK e Growmater Plant® +NPK, seguidos dos tratamentos NPK e Growmater Plant® (Tabela 8).

Em relação à massa total, o comportamento apresentado aos 35 e 48 dias foi semelhante ao verificado para MFPA e MSPA, respectivamente. Ao final do experimento, os tratamentos combinados apresentaram os maiores valores de produtividade de massa seca. Esses resultados sinalizam para o efeito potencializado dos fertilizantes testados quando aplicados conjuntamente.

Rosa et al. (2009), em experimento conduzido no laboratório avaliando o efeito da adição de substâncias húmicas (extraídas de carvão mineral de minas), em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) em diferentes doses (0;

2,5; 5; 10; e 20 mg L⁻¹ de C) de SH, encontraram maior produtividade da biomassa seca da parte aérea para as maiores doses de SH. Também em experimento em casa de vegetação, com aveia preta, foi observado um aumento na produção de matéria seca da parte aérea após a adição de substâncias húmicas oriundas de carvão (Silva et al., 2000).

Tabela 8. Massa fresca e massa seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz em plantas de alface em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS)+NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias	MFPA	MSPA	g planta ⁻¹			
				MFR	MSR	MFT	MST
Testemunha		22,2 b	1,6c	12 ^{ns}	0,8 ^{ns}	34,2ab	2,49c
HS		18,5b	1,7bc	10,5 ^{ns}	0,8 ^{ns}	29,2b	2,65c
HS+NPK	21	32,0a	3,8a	15,5 ^{ns}	2,6 ^{ns}	47,5ab	6,5a
NPK		33,7a	3,6ab	15,5 ^{ns}	2,2 ^{ns}	49,2a	5,9ab
GP		18,5b	1,9abc	14,5 ^{ns}	1,8 ^{ns}	33ab	3,8bc
GP+NPK		33,0a	2,7abc	13 ^{ns}	1,6 ^{ns}	46ab	4,3abc
Testemunha		100,2c	4,61b	46,5c	1,0b	146,7d	5,66b
HS		176,0a	5,74ab	52,5bc	1,56ab	228,5bc	7,23ab
HS+NPK	35	145,0ab	6,25ab	75,0a	1,99a	220bc	8,24ab
NPK		132,5ab	6,7ab	56,2bc	1,59ab	188,7c	8,35ab
GP		145ab	5,9ab	51,7bc	1,32ab	196,8bc	7,23ab
GP+NPK		166,0a	8,63a	64,7a	1,76a	230,7ab	10,4a
Testemunha		135,3c	5,1e	51,2c	1,1b	186,6e	6,2e
HS		215,0b	5,7de	54,7bc	1,8ab	262,9d	7,5de
HS+NPK	48	218,3b	9,0a	76,1a	1,9a	269,8d	10,9ab
NPK		265,5a	8,0bc	57,2bc	1,7ab	294,4c	9,7bc
GP		206,7b	6,6cd	56,2bc	1,5ab	322,7b	8,2cd
GP+NPK		291,6a	9,8a	66,8ab	1,9a	358,5a	11,8a

MFR- massa fresca raiz; MSR- massa seca raiz; MFPA- massa fresca da parte aérea; MSPA- massa seca da parte aérea; MFT- massa fresca total, MST- massa seca total. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade. ^{ns}=não significativo.

Façanha et al. (2002) propuseram uma explicação para o efeito estimulador das substâncias húmicas no crescimento vegetal. Ao entrarem em contato com a planta, os ácidos húmicos e, principalmente, os ácidos fúlvicos, promovem o aumento do gradiente eletroquímico gerado pela H⁺- ATPase da

membrana plasmática, aumentando assim, sua plasticidade. Desta forma a membrana plasmática é aumentada, promovendo o crescimento vegetal. Segundo Muscolo et al. (2007), a interação entre a matéria húmica e o sistema radicular é possível na rizosfera quando os compostos húmicos em solução têm tamanho suficiente para permitir seu fluxo no apoplasto e atingir as membranas celulares. Alguns estudos realizados (Nardi et al., 2002; Muscolo et al., 2007; Nardi et al., 2007) consideraram os ácidos fúlvicos como a fração de SH de maior bioatividade, entretanto outros autores, tais como Aguiar et al., (2009); Canellas et al., (2010) e Silva et al., (2011), consideram os AH como a fração mais bioativa.

O possível efeito sinérgico de SH e NPK, constatado em nosso estudo, foi observado anteriormente por Abdelhamid et al. (2011), ao avaliar os efeitos da adubação mineral (50 e 100% de NPK) associada às substâncias húmicas e biofertilizante no crescimento de plantas em feijão caupí, os autores verificaram que o melhor tratamento correspondeu à metade da dose de NPK juntamente com substâncias húmicas e biofertilizante comparado aos demais tratamentos.

5.3.3 Efeito da aplicação de fertilizantes nas variáveis das plantas de cebolinha

Para a cultura da cebolinha, os valores das variáveis avaliadas variaram: de 12 a 32 folhas por planta, de 14 a 53 cm de altura de planta, e de 10 a 26 cm de comprimento de raiz (Tabela 9). O efeito dos fertilizantes testados foi, no entanto, menos pronunciado do que os observados para a alface.

Para a variável número de folhas os tratamentos NPK e Growmater Plant®+NPK apresentaram, em geral, valores maiores do que a testemunha aos 21, 35, 42 e 48 dias (Tabela 9). Já para a altura o efeito desses tratamentos foi observado aos 14, 21, 28 e 48 dias. O tratamento Humic Soil®+NPK diferiu da testemunha aos 42 e 48 dias para o número de folhas e aos 21, 28 e 48 dias para a altura de planta. Nesses casos, os efeitos dos tratamentos combinados (Growmater Plant® +NPK e Humic Soil® +NPK) não superaram o efeito observado para o adubo mineral usado isoladamente. O tratamento Growmater Plant® não diferiu em nenhum tempo dos dados obtidos com a testemunha para estas duas variáveis e o tratamento Humic Soil® diferiu apenas aos 28 e aos 48 dias para a altura de planta.

Esses resultados sugerem que para a cebolinha, o adubo mineral foi o que mais estimulou o número de folhas e a altura de plantas. Os adubos orgânicos não exerceram efeito significativo nessas variáveis e o efeito sinérgico observado para a alface não se verificou para a cebolinha.

Para a variável comprimento de raiz, os tratamentos Humic Soil®+ NPK e Humic Soil® diferiram dos demais tratamentos aos 48 dias, enquanto Humic Soil® e Growmater Plant® +NPK estimularam o crescimento comparativamente à testemunha aos 35 dias. Portanto, diferentemente ao verificado com as outras duas variáveis, o fertilizante orgânico Humic Soil® apresentou um efeito mais positivo no crescimento de raiz do que os outros fertilizantes testados.

O efeito não significativo das substâncias húmicas na cultura da cebolinha pode estar relacionado com a dose e ou cultura utilizada. Alguns autores (Pinton et al., 1992; Silva et al., 1999) relatam que respostas das plantas para os ácidos húmicos e fúlvicos dependem da espécie de planta, do grau de purificação do material, da concentração e condições ambientais.

5.3.4 Produtividade avaliada pela massa fresca e massa seca das plantas de cebolinha.

Para a cebolinha, o comportamento dos tratamentos foi em geral semelhante ao observado para a alface (Tabela 10).

As 21 dias, os tratamentos NPK e Humic Soil®+NPK se destacaram pelos maiores valores de MSF e MST. Aos 35 dias, os tratamentos combinados Humic Soil®+NPK e Growmater Plant® +NPK apresentaram os maiores valores para MFF, MSF, MFT e MST, seguidos de NPK e Growmater Plant® (Tabela 10). Ao término do experimento (48 dias) os tratamentos Growmater Plant® +NPK e NPK não diferiram quanto à produção de MFR e MSR, e, portanto, para a cebolinha o fertilizante mineral foi o que mais se destacou na produção de massa de raízes. A maior produção de massa fresca total (66,4 g planta⁻¹), massa seca total (4,1g planta⁻¹) ao final do experimento foram obtidas pelo tratamento Growmater Plant® +NPK variando significativamente ($p < 0,05$) em relação aos demais tratamentos (Tabela10).

Tabela 9. Número de folhas, altura de plantas e comprimento de raiz (cm) nos diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil ®(HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura da cebolinha.

Dias	Testemunha	HS	HS+NPK	NPK	GP	GP+NPK
Nº folha						
0	12 ^{ns}	12 ^{ns}	10 ^{ns}	11 ^{ns}	12 ^{ns}	12 ^{ns}
7	12,5 ^{ns}	12,2 ^{ns}	10,5 ^{ns}	12,2 ^{ns}	11,0 ^{ns}	10,7 ^{ns}
14	12,5 ^{ns}	13 ^{ns}	12,5 ^{ns}	15 ^{ns}	11,2 ^{ns}	11,5 ^{ns}
21	13,5bc	14,2abc	17,2ab	18,2a	12,5c	15,5abc
28	15,5b	18,75ab	18,75ab	21,75a	16b	21,5a
35	17,2b	22ab	20,2b	27,5a	18b	27,5a
42	17,2c	22,5abc	25,5ab	28,5ab	22,2bc	30,2a
48	17,2c	22,5bc	27ab	29ab	24bc	31,5a
Altura da planta						
(cm)						
0	14 ^{ns}	14 ^{ns}	14 ^{ns}	14 ^{ns}	14 ^{ns}	14 ^{ns}
7	15,5ab	19,3a	19,3a	20,2a	13,8b	17ab
14	16,2bc	19,5bc	21ab	24,7a	15,7c	19bc
21	19,2b	20b	25a	24,7a	18,7b	24,2a
28	21,7b	31,2a	30,7b	29,7b	25,7ab	29,2ab
35	30,5 ^{ns}	34,7 ^{ns}	37,5 ^{ns}	37 ^{ns}	33,2 ^{ns}	37,2 ^{ns}
42	42,7abc	44abc	47,2ab	41,2bc	40,2c	48a
48	43,7b	49,0ab	51,5a	47,7ab	49,2ab	53a
Comprimento raiz						
(cm)						
21	10,7b	10,7b	15,0a	14ab	11,7ab	13,5ab
35	15,7b	18,2ab	22,7a	20,5ab	18,2ab	22,5a
48	19,2cb	24,5a	24,6a	22,5b	22,5b	22,1b

Médias seguidas da mesma letra minúsculas não diferem entre si na linha pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 10. Massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz da cultura da cebolinha em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias	MFPA	MSPA	g planta ⁻¹			
				MFR	MSR	MFT	MST
Testemunha	21	3,0b	0,1c	2,8 ^{ns}	0,2b	5,8a	0,3c
HS		3,8ab	0,1c	2,7 ^{ns}	0,3ab	6,4a	0,4bc
HS+NPK		4,2ab	0,2ab	3,4 ^{ns}	0,5a	7,6a	0,7a
NPK		4,8a	0,3a	2,9 ^{ns}	0,3ab	7,8a	0,6ab
GP		3,5ab	0,1c	2,8 ^{ns}	0,2b	6,3a	0,3c
GP+NPK		3,9ab	0,1bc	2,8 ^{ns}	0,2ab	6,8a	0,4bc
Testemunha	35	9,0d	0,3c	9,5c	0,2b	18,5c	0,6d
HS		14,2	0,4bc	11,3bc	0,4ab	25,6b	0,8cd
HS+NPK		17,4	0,7a	13,8ab	0,4ab	31,3a	1,1ab
NPK		16,9	0,6ab	14,0ab	0,4a	30,9a	1,0bc
GP		13,8	0,6ab	11,8abc	0,4ab	25,6b	1,0bc
GP+NPK		17,4a	0,8a	14,8a	0,5a	32,1a	1,3a
Testemunha	48	25,1c	1,1a	12,8c	0,6b	37,9d	1,6c
HS		25,2c	0,8a	16,7b	0,5b	41,9cd	1,3c
HS+NPK		29,6c	1,9a	14,8b	0,4b	44,6c	2,4b
NPK		34,8b	1,9a	22,5a	1,4a	57,3b	3,3b
GP		29,1c	2,7a	15,0b	0,5b	44,3c	3,1b
GP+NPK		42,8a	2,5a	23,7a	1,6a	66,4a	4,1a

MFR- massa fresca raiz; MSR- massa seca raiz; MFPA- massa fresca da parte aérea; MSPA- massa seca da parte aérea; MFT- massa fresca total, MST- massa seca total. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível 5% de probabilidade. ^{ns}=não significativo.

5.3.5 Teores de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea das plantas de alface.

Para os teores de nitrogênio, fósforo e cálcio na massa seca da parte aérea da alface, não foi observado diferenças significativas, entre os diferentes tratamentos. Os maiores valores de K no tecido da parte aérea de alface foram observados para os tratamentos com aplicação de Humic Soil®+NPK e Growmater Plant® +NPK (Tabela 11) (Apêndice 6).

A concentração de Mg nos tratamentos Humic Soil® e Growmater Plant® (Tabela 11), foram significativamente diferentes dos demais tratamentos. Todos os tratamentos, de maneira geral, apresentaram teores de Mg adequados para a cultura da alface, (Trani e Raij, 1997), que recomendam teores entre 4,0 g kg⁻¹ e 6,0 g kg⁻¹.

Os teores de S, Cu, Zn e B na MSPA mantiveram-se dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura da alface, segundo Trani e Raij, (1997), em todos os tratamentos, independente do tipo de adubação utilizada (mineral ou orgânica).

Com relação ao Fe observou-se que os tratamentos com adubação mineral e adição de Growmater Plant® e Humic Soil® apresentaram teores acima da faixa considerada adequada 50 a 150 mg kg⁻¹ (CFQS RS/SC, 2004) na MSPA, variando entre 566 mg kg⁻¹ a 671 mg kg⁻¹, mas sem ocorrer sintomas de toxidez nas plantas (Apêndice 8, 9 e 10). Alguns experimentos tem comprovado o efeito das substâncias húmicas na absorção de Fe na parte aérea das plantas. Silva et al., (2000), em estudos com aveia preta, obtiveram aumento na concentração de ferro na parte aérea após adição de SH. Segundo Silva (2001), as substâncias húmicas estimulam o processo de absorção de Fe, devido às ligações dos complexos de Fe ao plasmalema, seguido da quebra dos mesmos e conseqüente absorção do elemento. Maiores teores de Fe nas folhas podem contribuir para a síntese de clorofila e um maior teor de nitrogênio nos tecidos vegetais (Silva, 2001). O teor de Mn foi elevado para os tratamentos Humic Soil®+NPK® e Growmater Plant® e Growmater Plant®+NPK.

5.3.6 Características químicas do solo após cultivo da alface

O pH do solo variou entre 5.3 e 5.6 para os tratamentos com NPK e Humic Soil® e para a testemunha e referência (Apêndice 7). Para os tratamentos com produto comercial a base de ácidos fúlvicos, o pH foi mais ácido ao final do experimento (4,9 e 5,0). Os valores encontrados para o alumínio trocável em todos os tratamentos estão em nível que varia de baixo a muito baixo. No caso específico dos tratamentos Growmater Plant® e Growmater Plant® +NPK, esse resultado indica que adição de substâncias

húmicas, mesmo em níveis de pH baixo, não promoveu aumento dessa forma de Al no solo.

Tabela 11. Teores de macronutrientes e micronutrientes da massa seca da parte aérea (MSPA) da cultura da alface, nos diferentes tratamentos aos 48 dias.

	Testemunha	HS	HS+NPK	NPK	GP	GP+NPK
	g kg^{-1}					
N	19 ^{ns}	23 ^{ns}	17 ^{ns}	19 ^{ns}	21 ^{ns}	17 ^{ns}
P	2 ^{ns}	3 ^{ns}	3 ^{ns}	3 ^{ns}	3 ^{ns}	3 ^{ns}
K	19b	21b	27ab	22b	26ab	35a
Ca	9 ^{ns}	8 ^{ns}	8 ^{ns}	8 ^{ns}	9 ^{ns}	10 ^{ns}
Mg	4ab	5a	3b	3b	5a	4ab
S	2a	2a	1b	2a	2a	1b
	mg kg^{-1}					
Cu	5ab	7ab	4b	4b	7a	4b
Zn	35 ^{ns}	29 ^{ns}	39 ^{ns}	30 ^{ns}	28 ^{ns}	44 ^{ns}
Mn	113c	116bc	183ab	139abc	182ab	198a
Fe	208c	246c	671a	329bc	343bc	566b
B	34 ^{ns}	34 ^{ns}	32 ^{ns}	32 ^{ns}	33 ^{ns}	34 ^{ns}

^{ns} não significativo. Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% probabilidade.

Os tratamentos com adição do produto comercial a base de ácido fúlvico apresentaram os maiores valores para K trocável e estes são considerados elevados (CFQS RS/SC, 2004). Já para os tratamentos com adição de produto comercial a base de ácidos húmicos (Humic Soil® e Humic Soil®+NPK) os teores de potássio encontram-se em níveis considerados médios (CFQS RS/SC, 2004). Costa (2001) observou maior absorção de K, em tratamentos com adição de substâncias húmicas (oriundas de vermicomposto comercial), com predominios de ácidos fúlvicos, atribuindo os resultados à mudança no balanço de cargas dentro da célula, pressupondo que moléculas de SH, com carácter predominantemente aniônico foram absorvidas, aumentando o número de cargas negativas no citoplasma, favorecendo a absorção de cátions.

A CTC do solo aumentou para os tratamentos exceto para o tratamento Humic Soil®+NPK, quando comparado com a testemunha. O teor de P variou de 15 a 25 mg dm³ nos tratamentos avaliados e os maiores valores foram observados nos tratamentos Growmater Plant® +NPK (25 mg dm³) e Humic

Soil®+NPK (20 mg dm³). O teor de Ca trocável no tratamento Growmater Plant® +NPK foi maior ao final do experimento em relação aos demais tratamentos (Apêndice 7).

O teor de Mn trocável nos diferentes tratamentos foi maior quando comparado à testemunha. A aplicação de substâncias húmicas não influenciou os teores de S extraível e de Zn que foram menores em relação a testemunha (Apêndice 7).

5.3.7 Teores de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo e sua distribuição em compartimentos químicos

O teor de carbono orgânico no solo (C) nos tratamentos analisados variou de 17,8 a 18,4 g kg⁻¹ e não diferiu significativamente entre os mesmos nos tempos de 21 e 48 dias do experimento (Tabela 12) avaliados e em relação à testemunha.

Tabela 12. Teor de C e N e relação C/N em Argissolo Vermelho nos diferentes tipos de adubação: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil ®(HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK ao longo do ciclo da cultura da alface.

TRATAMENTOS	DIAS	C	N	C/N
		----- g kg ⁻¹ -----		
Testemunha		17,2 ^{ns}	1,2 ^{ns}	13 ^{ns}
HS		17,8 ^{ns}	1,3 ^{ns}	13 ^{ns}
HS+NPK	21	17,4 ^{ns}	1,3 ^{ns}	13 ^{ns}
NPK		17,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	13 ^{ns}
AF		17,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	13 ^{ns}
AF+NPK		17,3 ^{ns}	1,2 ^{ns}	13 ^{ns}
Testemunha		18,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	13 ^{ns}
HS		18,4 ^{ns}	1,4 ^{ns}	13 ^{ns}
HS+NPK	48	17,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	13 ^{ns}
NPK		18,2 ^{ns}	1,4 ^{ns}	12 ^{ns}
AF		17,7 ^{ns}	1,3 ^{ns}	12 ^{ns}
AF+NPK		18,2 ^{ns}	1,3 ^{ns}	13 ^{ns}

^{ns} = não significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

O teor de nitrogênio variou de 1,2 a 1,4 g kg⁻¹ e a relação C/N de 12 a 13 (Tabela 12). Os dois parâmetros não foram afetados pelo tipo de fertilizante adicionado ao solo.

O teor de C_{HCl} variou entre 0,45 a 2,95 g kg⁻¹ (Tabela 13) entre os tratamentos e contribuiu com 2,7 a 9,4 % do carbono total do solo (Figura 6a) ao longo do tempo. Os compostos orgânicos solúveis nessa fração são em geral considerados como oriundos da ação microbiana e exsudação de raízes (Potes et al., 2010).

Aos 21 dias, o teor de C_{HCl} foi menor do que na testemunha nos tratamentos Humic Soil®+NPK, NPK, Growmater Plant® e Growmater Plant® +NPK, indicando uma depleção de compostos hidrofílicos mais lábeis (Potes et al., 2010), e portanto, uma atividade microbiana menos intensa (Kalbitz et al., 2000). Porém aos 48 dias essa situação se reverte e os tratamentos Growmater Plant® e Humic Soil®+NPK apresentam os maiores valores observados. Nesses dois tratamentos, a proporção (C_{HCl}/C) atingiu valores em torno de 9 %, ao término do experimento, enquanto para os outros tratamentos essa razão ≤ 5% (Figura 6).

Para os teores de C_{SH}, é possível distinguir dois grupos em função dos resultados (Figura 6b). Para os tratamentos Humic Soil® (6,7 a 12,9 g kg⁻¹) e Humic Soil®+NPK (5,5 a 8,24 g kg⁻¹) os teores de C_{SH} aumentaram ao longo do tempo, contribuindo com 35% e 70% e 32 e 46% respectivamente do C do solo (Tabela 13, Figura 6b). Como esperado a fração humina nesses dois tratamentos diminuiu ao longo do tempo e a proporção C_{HU}/C baixou de 58 e 60% para 24 e 44%, respectivamente (Tabela 13 e Figura 6e).

O segundo grupo é composto pelos tratamentos NPK, Growmater Plant® e Growmater Plant® +NPK em que C_{SH} (10 a 11,3 g kg⁻¹) é maior do que na testemunha aos 21 dias e decresce para valores comparáveis ou menores do que o da testemunha aos 48 dias. A proporção C_{SH}/C, que oscila em torno de 60 a 70% aos 21 dias, cai para 30 a 40% aos 48 dias (Figura 6b). Conseqüentemente, nos tratamentos NPK, Growmater Plant® +NPK e Growmater Plant® ocorreu um incremento na fração HU (Tabela 13). A contribuição de C_{HU} para o C do solo variou de 31% a 50% para NPK, entre 34% a 66% em Growmater Plant® +NPK. Comportamento inverso ocorreu com

Growmater Plant, que decresceu de 63% a 48% (C_{HU}/C) (Figura 6e). O teor de C_{HU} no tratamento Growmater Plant® +NPK foi significativamente diferente dos demais tratamentos aos 48 dias.

Nos tratamentos Humic Soil® e Humic Soil® +NPK, a fração C_{AF} apresentou médias maiores ($4,01 \text{ g kg}^{-1}$ e $3,33 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente) que a fração C_{AH} ($2,72 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,16 \text{ g kg}^{-1}$) aos 21 dias. Comportamento inverso ocorreu aos 48 dias, com predomínio de AH ($8,7 \text{ g kg}^{-1}$) para Humic Soil® e ($5,05 \text{ g kg}^{-1}$) para Humic Soil® +NPK em relação a AF ($7,17 \text{ g kg}^{-1}$) para Humic Soil® e ($4,65 \text{ g kg}^{-1}$) para Humic Soil® +NPK. Esse comportamento se refletiu na relação C_{AH}/C_{AF} dos tratamentos (Tabela 13), que apresentou um caráter mais fúlvico ($AF > AH$) aos 21 dias e um caráter mais húmico ($AH > AF$) aos 48 dias. O aumento do teor de micelas húmicas de maior tamanho (C_{AH}) pode ser indicativo de maior estabilização do material humificado. A distribuição nos compartimentos húmicos seguiu o mesmo comportamento: C_{AF}/C variou de 25% a 39% em Humic Soil® e de 19% a 25% para Humic Soil® + NPK, e a razão C_{AH}/C variou de 12 a 47% em Humic Soil® e de 12 a 28% em Humic Soil® + NPK (Figura 6c e d, respectivamente). Observa-se que a testemunha teve comportamento semelhante ao Humic Soil® e Humic Soil® +NPK na proporção C_{AF}/C e C_{AH}/C , mas com valores inferiores a estes tratamentos.

O tratamento NPK apresentou em média teor de C_{AF} inferior quando comparado com a testemunha, Humic Soil®, Humic Soil®+NPK, Growmater Plant® e Growmater Plant®+NPK (Tabela 13), e sua proporção (C_{AF}/C) diminuiu de 19% para 2% (Figura 6c) e para C_{AH}/C diminuiu de 46% a 37% aos 48 dias. Comportamento semelhante foi verificado nos tratamentos Growmater Plant®, Growmater Plant® +NPK (Figura 6d), porém com valores superiores aos observados ao NPK. O teor de C_{AH} foi maior que o teor de C_{AF} para todos os tratamentos aos 48 dias e o enriquecimento da fração C_{AH} se reflete na razão C_{AH}/C_{AF} com valores maiores que 1 (Tabela 13).

Tabela 13. Distribuição dos compartimentos químicos do carbono em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK aos 21 e 48 dias.

Tratamentos	Dias	C _{HCl}	C _{SH}	C _{AF}	C _{AH}	C _{HU}	C _{AH/C_{AF}}
		g kg ⁻¹ solo					
Testemunha		2,0a	5,8 c	2,0b	3,8c	9,8a	1,8a
HS		2,9a	6,7bc	4,0a	2,7b	8,0a	0,6b
HS+NPK	21	0,6b	5,5bc	3,3a	2,1b	10,8a	0,6b
NPK		0,4b	11,3a	3,4a	7,9a	5,5b	2,3a
GP		0,8b	10,0a	3,0a	7,0 a	5,9b	2,3a
GP+NPK		1,2b	10,2a	2,2ab	8,0a	6,2b	3,7a
Testemunha		0,8b	8,0c	4,05b	8,3a	6,6bd	2b
HS		0,9b	12,9a	7,17a	8,7a	4,5d	1,2b
HS+NPK	48	1,4a	9,0b	4,65b	5,0b	8,0bc	1,0b
NPK		0,6c	7,3c	0,53d	6,8b	10,2b	12 a
GP		1,2a	9,5b	1,51c	8,0b	8,2bc	5,2b
GP+NPK		0,9b	4,8d	1,76c	3,1c	11,5a	1,7b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% probabilidade.

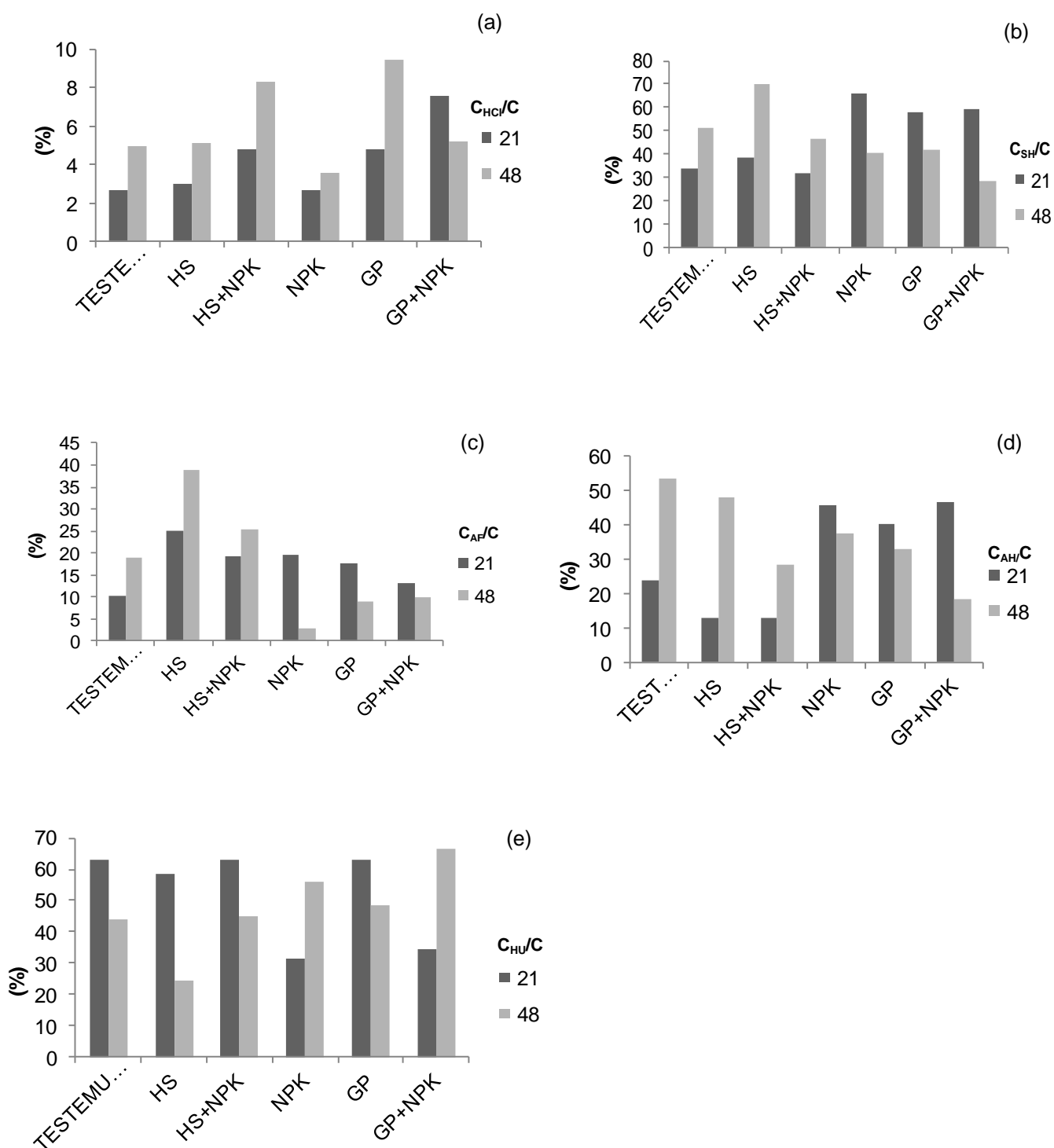


Figura 6. Proporção dos compartimentos químicos do carbono (C) do solo em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil®(HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant®(GP)+NPK aos 21 e 48 dias.

5.3.7 Comportamento espectral dos ácidos húmicos (AH)

Os espectros de FTIR de AH dos tratamentos analisados apresentaram o mesmo padrão aos 21 e 48 dias (Figura 7). As principais bandas identificadas e respectivas atribuições foram: região de 3.283 cm^{-1} atribuída ao grupamento OH, bandas na região de $2.916 - 2.844\text{ cm}^{-1}$ devido ao estiramento C-H alifático; banda em torno de $1.726 - 1.705\text{ cm}^{-1}$ referente ao estiramento C=O do grupo carboxílico; banda na região em $1.627 - 1.613\text{ cm}^{-1}$ atribuída ao estiramento C=C de aromático; bandas em torno de $1.459 - 1.413\text{ cm}^{-1}$ devido deformação C-H alifático; banda na região $1.265 - 1.211\text{ cm}^{-1}$ atribuída ao estiramento C-O e à deformação OH do grupo carboxílico e pico em $1.079 - 1.022\text{ cm}^{-1}$ correspondente aos estiramentos C-O de polissacarídeos. A presença de fração inorgânica na amostra Humic Soil® +NPK (21 dias), mesmo após sua purificação, interferiu nas absorbâncias, inviabilizando a análise das intensidades relativas (Tabela 14).

As intensidades relativas dos AH dos tratamentos com adição de substâncias húmicas e adubação mineral aos 21 dias apresentaram valores semelhantes à testemunha (Tabela 14). Já aos 48 dias os tratamentos NPK e Humic Soil® +NPK diferiram da testemunha e de Growmater Plant® +NPK e Humic Soil® pelos maiores valores de IR_{2921} e menor índice de aromaticidade (Tabela 16). Os AH dos tratamentos Humic Soil®, NPK e testemunha tenderam a um aumento em IR_{1726} aos 48 dias, indicando aumento da proporção de grupos carboxílicos. Já os AH de Growmater Plant® +NPK e Humic Soil® +NPK apresentaram menores valores de IR_{1726} em relação aos demais tratamentos (Tabela 14).

O AH do tratamento com NPK diferiu dos demais por apresentar menor valor de IR_{1640} , indicando menor proporção de estruturas aromáticas aos 48 dias refletindo-se em um menor I_{1640}/I_{2921} (2,9). Observa-se que os AH de todos os tratamentos ao longo do tempo apresentaram menores valores de IR_{1640} aos 48 dias quando comparado aos 21 dias. (Tabela 14). Já o AH do tratamento com Growmater Plant® +NPK o valor de IR_{1640} foi maior em relação aos demais tratamentos, indicando maior abundância de estruturas aromáticas.

Infere-se que o AH do tratamento com adubação mineral e com adição de ácido fúlvico tende a ser menos carboxilado e mais aromático que o AH dos demais tratamentos.

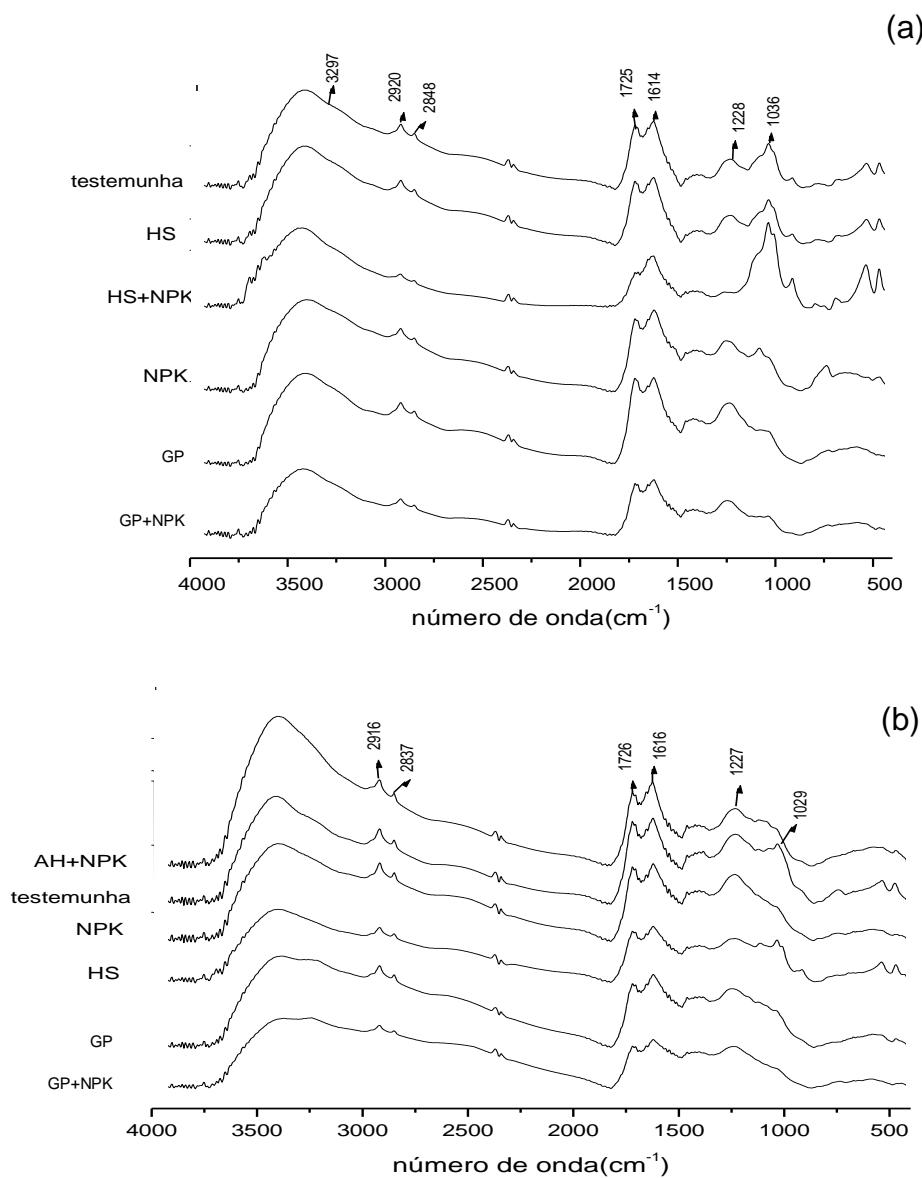


Figura 7. Espectros de FTIR na fração ácido húmico (AH) do solo em diferentes tratamentos: testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK aos 21 dias (a) e 48dias (b).

Tabela 14. Intensidades relativas e índice de aromaticidade (FTIR) de ácidos húmicos (AH), nos diferentes tratamentos testemunha (sem adubação); Humic Soil® (HS); Humic Soil® (HS) +NPK; NPK; Growmater Plant® (GP) e Growmater Plant® (GP) +NPK aos 21 e 48 dias.

Tratamentos	Dias	IR (%)			
		IR ₂₉₂₁	IR ₁₇₂₆	IR ₁₆₄₀	I ₁₆₃₀ /I ₂₉₂₀
Testemunha		10,1	44,0	45,7	4,5
HS		10,0	42,0	47,8	4,8
NPK	21	10,1	44,5	45,3	4,5
GP		10,2	46,9	42,8	4,2
GP+NPK		10,5	44,3	45,1	4,3
Testemunha		12,7	45,8	41,3	3,2
HS		12,0	45,1	42,7	3,5
HS+NPK	48	14,8	42,5	42,5	2,9
NPK		13,8	45,9	40,1	2,9
GP		13,1	45,0	41,7	3,2
GP+NPK		11,8	43,0	45,1	3,8

5.4 Conclusões

A adição de substâncias húmicas oriundas de leonardita favoreceu o desenvolvimento das plantas de alface e cebolinha nas variáveis avaliadas: altura, número de folhas, diâmetro comprimento de raiz.

O tratamento com adição do produto comercial Growmater Plant® apresentou a maior produção comercial de massa fresca da parte aérea para as plantas de alface e cebolinha aos 48 dias.

A adição de fertilizantes comerciais afetou a dinâmica da MOS do solo promovendo maior proporção de substâncias húmicas e ácidos húmicos aos 21 dias e aumento da fração humina ao término do experimento.

5.4.1 Considerações finais

O uso de produtos a base de substâncias húmicas na agricultura tem crescido no Brasil. Os efeitos positivos propiciados pelas substâncias húmicas, (oriundas de diversas fontes: vermicomposto, composto orgânico, leonardita, turfas) são muitos, com destaque para os ácidos húmicos. Com o trabalho realizado, observou-se, que há poucos estudos voltados na aplicação de substâncias húmicas no solo, e em experimentos a campo, que expliquem o efeito hormonal, no metabolismo enzimático, na disponibilidade de nutrientes e nas doses a serem aplicadas.

Neste estudo, verificou-se que a utilização de substâncias húmicas (de fontes alternativas), afetou a dinâmica da matéria orgânica do solo, bem como favoreceram o desenvolvimento das plantas de alface e cebolinha. Entretanto o efeito sinérgico que ocorreu entre as substâncias húmicas e as plantas de alface não foram observados nas plantas de cebolinha.

Estudos voltados para elucidar melhor as interações das espécies vegetais com as substâncias húmicas e seus efeitos nas raízes e no crescimento, tornam-se essencial, deste modo, teremos respostas mais contundentes para a recomendação das mesmas para o sua utilização na agricultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELHAMID, M.T.; SELIM, E. M.; EL- GHAMIRY, A. M. Integrated effects of bio and mineral fertilizers and humic substances on growth, yield and nutrients contents of fertigated cowpea (*Vigna unguiculata* L.) grown on Sandy Soils. **Journal of Agronomy**, Faisalabad, v. 10, p. 34-39, 2011.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 42, p. 95-102, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Portaria nº685, de 27 de agosto de 1998. Aprova o Regulamento Técnico: "Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos" e seu Anexo: "Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos". **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 ago. 1998. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/8c494f804745801a8c00dc3fbc4c6735/PORTARIA+N+%C2%BA+685,+DE+27+DE+AGOSTO+DE+1998.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 04 de abril, 2014.

BALDOTTO, L. E. B. et al. Desempenho do abacaxizeiro 'Vitória' em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 979-990, 2009.

BASSO, C. J. et al. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.4, abr, 2012.

BASTOS, R.S et al. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 21-31, 2005.

BATISTA, M.A.V.et al. Efeito de diferentes fontes de adubação sobre a produção de alface no município de Iguatu-Ce. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 8-11, jul-set., 2012.

BENITES, V. M. et al. **Aplicação foliar de fertilizante orgânico mineral e solução de ácido húmico em soja sob plantio direto**. Rio de Janeiro : EMBRAPA, 2006. (Circular Técnica, 35)

BERNARDES, J.M.; REIS, J. M. R.; RODRIGUES, J. F. Efeito da aplicação de substância húmica em mudas de tomateiro. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 4, n. 3, p.92 – 99, 2011.

BRUNETTI, G. et al. Compositional and functional features of humic acids from organic amendments and amended soils in Minnesota, USA. **Soil Biology and Biochemistry**, Emsford, v.39, n.6, 1355-1365, 2007.

BUSATO, C. C. M. et al. Dicloroisocianurato na prevenção do entupimento devido ao uso de águas ferruginosas em sistemas de irrigação por gotejamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.1, p.49-52, 2012.

CANELLAS et al. Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos de origem urbana: i. métodos espectroscópicos (UV-VIS, IV, RMN¹³C-CP/MAS) e microscopia eletrônica de varredura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. 24:741-750, 2000.

CANELLAS ,et al. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, dez. 2001.

CANELLAS, L.P. et al. Humic Acids Isoleted from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. **Plant Physiology**, Minneapolis, p.1951-1957, 2002.

CANELLAS, L. P, et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. 27: 935-944, 2003.

CANELLAS, L.C.; FAÇANHA, A.R. Relationship between natures of soil humifield fractions and their bioactivity, **Pesquisa Agropecuária Brasileira** Brasília, v. 39, p.233-240, 2004.

CANELLAS, L.P., ARAÚJO, G.S. **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes-RJ: Canellas & Santos Ed., 2005. 309p.

CANELLAS, L.P. et al. Efeitos fisiológicos de substâncias húmicas - o estímulo às H⁺-ATPases. In: NUTRIÇÃO mineral de plantas. Viçosa: SBCS, 2006. Cap.2, p.175-200.

CANELLAS, L.P. ; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p 27, 2008.

CARDOSO, A. I. I et al. Alterações em propriedades do solo adubado com composto orgânico e efeito na qualidade das sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.29, p.594-599, 2011.

CHEFETZ, B. et al. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 25, p.776-785, 1996.

CHEN, Y.; AVIAD, T. Effects of humic substances on plant growth. In: **Humic substances in soil and crop sciences: selected readings**. Chicago: CAB, 1990, p.161-187.

CHEN, Y.; MAGEN, H.; CLAPP, C. E. The effect of humic substances on plant growth and their impact on organic agriculture. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 4., 2001, Viçosa, MG. **Resumo de palestras e trabalhos apresentados**. Viçosa: Dep. de Solos UFV, 2001. p.36-37.

CHEN, Y. et al. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: the role organo-iron complexes. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.50, n.7, p.1089-1095, Dec. 2004.

CERETTA, C.A. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.729-735, 2003.

CERETTA, C. A. et al. Dejeito líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p.1296-1304, 2005.

CERETTA, C.A. et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.593-602, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. **Manual de recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, SBCS/NRS, 2004. 400p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília : Conab, 2013. v.1 p. 1-154. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 maio 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE–CONAMA BRASIL- **Resolução 420 de 28 de dezembro de 2009**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 12 dez. 2013.

CORDOVIL, A. M. J et al. Estimating short- and medium-term availability to cereals of nitrogen from organic residues. **Journal of plant nutrition**, Lages, v. 35,p. 366-383, ed. 3, 2012.

COSTA, C.N. **Efeito das substâncias húmicas no desenvolvimento radicular da cebola, *Allium cepa* L., e na cinética de absorção de fósforo e potássio.** 2001. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pelotas.

COSTA, A.M. et al. Estabilidade de agregados de um latossolo vermelho tratado com cama de peru. **Revista Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 32, p73-79, 2008.

COUTO, M. A. L., CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Quantificação de vitamina C e capacidade antioxidante de variedades cítricas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.30, Supl.1, p.15-19, maio 2010.

COZZOLINO, A.; CONTE, P.; PICCOLO, A. Conformational changes of humic substances induced by some hydroxy-, keto-, and sulfonic acids. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 33, p. 563-571, 2001.

DICK, D. P.; GOMES, J.; ROSINHA, P. B. Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 603-611, 1998.

DICK, D. P. et al. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. **Geoderma** Amsterdam, v.124, p.319-333, 2005.

DICK, D.P. et al. Química da matéria orgânica do solo In: QUÍMICA e mineralogia do solo, parte II. Aplicações. Viçosa: SBCS, 2009. Cap. 1, p. 1-68.

DICK, D. P. et al. Estudo comparativo da matéria orgânica de diferentes classes de solos de altitude do Sul do Brasil por técnicas convencionais e espectroscópicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2289-2296, 2008.

DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECKOW, J. & BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F., eds. Química e mineralogia do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.1-67.

DORTZBACH, D. **Dinâmica de atributos físicos e químicos em solo sob plantio direto adubado com dejetos suínos e uréia.** 2009. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

FAÇANHA, A. R. et al. Bioatividade de ácidos húmicos: efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.9, p.1301-1310, 2002.

FERNANDES, S.A.P.; BETTIOL, W.; CERRI, C. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied soil ecology : a section of Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v.30, p.65-77, 2005.

FERREIRA, D.F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

FERRI, M.V.W. et al. Sorção do herbicida acetochlor em amostras de solo, ácidos húmicos e huminas de Argissolo submetido à semeadura direta e ao preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p.705-714, 2005.

GATIBONI, L. C. et al. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1753-1761, 2008.

GERZABEK, M. H. et al. How are soil use and management reflected by soil organic matter characteristics: a spectroscopic approach. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 57, n. 4, p. 485-494, 2006.

GIACOMINI, S.J; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 195-205, 2008.

GIROTTO, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.34, n.3, p.955-965, 2010a.

GIROTTO, E. et al. Formas de perdas de cobre e fósforo em água de escoamento superficial e percolação em solo sob aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.9, p.1860-1866, 2010b.

GUERRA, J.G.M. et al. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: FUNDAMENTOS da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.27.

GRÄBER, I. et al. Accumulation of Copper and Zinc in Danish Agricultural Soils in Intensive Pig Production Areas. **Danish Journal of Geography**, Kjobenhavn, v. 105, n. 2, p. 15- 22, 2005.

GOMES, T. C. de A. **Resíduos orgânicos no processo de compostagem e sua influência sobre a matéria orgânica do solo em cultivo de cana-de-açúcar**. 2011. 118f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.

HELMKE, P.A.; SPARKS, D.L. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. In: METHODS of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.551-574

HENZ GP; ALCÂNTARA FA; RESENDE FV. **Produção orgânica de hortaliças**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 308p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006** - Resultados preliminares. Disponível em: <[http:// www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 04 abr. 2014.

HSU, J.H.; LO, S.L. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. **Environmental Pollution**, Barking, v.104, p 189-196, 1999.

JINDO, K. et al. Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 353, n.1-2, p. 209-220, 2011.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 534p.

KALBITZ, K. et. Al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review. **Soil Science**, Baltimore, v. 165, p. 277-304, 2000.

KANO,C. et al. Doses de potássio na produção e qualidade de sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 356-359, 2006.

KAZEMI, MOHSEN. Effect of Foliar Application of Humic Acid and Potassium Nitrate on Cucumber Growth. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 2, n.11, p. 3-6, 2013.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: [s.n.], 1998. 171p.

KONZEN, E.A. Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos suínos e cama de aves. In: SEMINÁRIO TÉCNICO DA CULTURA DO MILHO, 5., 2003, Videira. **Anais**... p. 78-81, Videira, SC, 2003.

LIMA, A. A. et al. Concentração foliar de nutrientes e produtividade de tomateiro cultivado sob diferentes substratos e doses de ácidos húmicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília. v. 29, n.2, p 63-66, 2011.

LUZ, J.M.Q. et al. Aplicação foliar de fertilizantes organominerais em cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília. v. 28, n.3, p.373-377, 2010.

MacCALLISTER, D. L.; CHUIEN, W. L. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 31, p. 465-479, 2000.

MATOS, de A.T. et al . Demanda de potência do ventilador para aeração de material em compostagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.542-551, maio/jun. 2012.

MELO, L. C.A.; SILVA, C. A.; DIAS B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 32. p.101-110, 2008.

MELO, V.P. et al. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.67-72, 2004.

MELO, W.J. et al. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DECIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

MUSCOLO, A. et al. The auxin-like activity of humic substances is related to membrane interactions in carrot cell cultures. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v.33, p.115-129, 2007.

NARDI, S. et al. Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and Krebs cycle in maize seedlings. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.704, p.3138-3146, 2007.

NARDI, S. et al. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.34, p.1527-1536, 2002.

NARDI, S. et al. N.Chemical and biochemical properties of humic substances isolated from forest soils and plant growth. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p. 639–64, 2000.

NIBAU, C. et al. Branching out in new directions: the control of root architecture by lateral root formation. **New Phytologist**, Cambridge, v.179, p.595-614, 2008.

OLIVEIRA, E. Q. et al. Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.28, p.36-40, 2010.

OLIVEIRA, P. A; DAÍ PRA, M. A; KONZEN, E. A. Unidade de transformação dos dejetos líquidos em composto orgânico. In: TECNOLOGIAS para o manejo de resíduos na produção de suínos – manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. p. 43-55

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109 p. (PNMA, II)

PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C. M. Produção orgânica de alface e atributos de solo pela aplicação de composto de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v.4, p.195-199, 2009.

PASSOS, R. R. et al. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p.1119-1129, 2007.

PICCOLO, A.; NARDI, S.; CONCHERI, G. Macromolecular changes of humic substances induced by interaction with organic acids. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.319-328, 1996.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implication in soil science. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.75, p.57-134, 2002.

PIMENTEL, M. S.; DE-POLLI, H.; LANA, Â. M. Q. Atributos químicos do solo utilizando composto orgânico em consórcio de alface-cenoura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, p.225-232, 2009.

PINTON, R. et al. Soil humic substances affect transport properties of tonoplast vesicles isolated from oat roots. **Plant and Soil**, The Hague, v.142, p.203-210, 1992.

POTES, M. L. et al. Matéria orgânica em Neossolos de altitude: influência da queima da pastagem e do tipo de vegetação na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.1, p. 23-32, 2010.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). Sistema informatizado de recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo - Fundação IAC, 1997.

RIMA et al. Adição de ácido cítrico potencializa a ação de ácidos húmicos e altera o perfil protéico da membrana plasmática em raízes de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.4, p.614-620, abr, 2011.

RIVERO, C. et al. Influence of compost on organic soil matter quality under tropical conditions. **Geoderma**, Amsterdam, v.123, p.355-361, 2004.

ROCHA, G.N.; GONÇALVES, J.L.M.; MOURA, I.M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.623-639, 2004.

RODDA, M.R.C. et al. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. I - Efeito da concentração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.649-656, 2006.

ROSA, C.M. et al. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V.33, p.959-967, 2009.

SANTANA et al. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa. v. 35, p. 461-472, 2011.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênese. 491p.1999.

SANTOS, A. et al. Interaction between Humic Substances and Metallic Ions: a Selectivity Study of Humic Substances and their Possible Therapeutic Application. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 18, n. 4, 2007.

SEGANFREDO, M. A. **Análise dos riscos de poluição do ambiente, quanto se usa dejetos de suínos como adubo do solo**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. (Circular Técnica, 206).

SENESI, N.; MIANO, T.M.; BRUNETI, G. Humic-like substances in organic amendments and effects on native soil humic substances. In: HUMIC substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam: Elsevier, 1996. p.531-595.

SENESI, N. et al. A comparative survey of recente results on humic-like fractions in organic amendments and effects on native soil humic substances. **Soil Biology & Biochemistry**, Emsford, v.39, p.1244–1262, 2007.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 123-131, 2007.

SCHERER, E.E; NESI, C.N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos de suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. vol. 34, n.4, p 1375-1383.2010.

SILVA, R.M. et al. Crescimento da parte aérea e do sistema radicular do milho cultivado em solução nutritiva adicionada de substâncias húmicas. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.5, p.101-110, 1999.

SILVA, R.M. et al. Desenvolvimento das raízes de azevém cultivado em solução nutritiva completa, adicionada de substâncias húmicas, sob condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa. v.29,p.101-110, 2000.

SILVA EC; MIRANDA JRP; ALVARENGA MAR. Concentração de nutrientes e produção do tomateiro podado e adensado em função do uso de fósforo, de gesso e de fontes de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, p.64-69, 2001.

SILVA, I.R.; SÁ MENDONÇA, E. Matéria orgânica do solo. In: FERTILIDADE do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, E. M. N. C. P. et al. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.29, p.242-245, 2011.

SILVA FILHO, A. V.; SILVA, M. I. V. **Importância das substâncias húmicas para a Agricultura**, 2009. Disponível em: <<http://www.emepa.org.br/anais/volume2/av209.pdf>>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2013.

SILVA, A. C. et al. Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1609-1617, 2011.

SILVA, R. M. da. **Produção e qualidade da alface hidropônica cultivada com adição de substâncias húmicas**. 2001. 166 f.Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação e Engenharia de Minas, Metalúrgicas e de Materiais-PPGM, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, PortoAlegre, RS, 2001.

SANTI, A et al. Ação de material orgânico sobre a produção e características comerciais de cultivares de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.28, n.1, p. 87-90, 2010.

SHARIF, M.; KHATTAK, R.A.; SARIR, M.S. Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.33, n.19/20, p.3567-3580, 2002.

SIMIONI, J. **Avaliação dos riscos ambientais pela acumulação de Cu e Zn nos solos fertilizados com dejetos de suínos**. 2001. 139 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SOUZA, P.A. et al. Características químicas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n.3, p. 754-757. 2005.

STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry**. Genesis, Composition, Reaction. 2.ed. New York: John Wiley, 1994. 443p.

TAHIR, M. M. et al. Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. **Pedosphere**, Beijing, v. 21, p. 124-131, 2011.

TAN, K.H. Infrared spectroscopy. In: SOIL sampling, preparation and analysis. New York: Marcel Dekker, 1996. p.278-298.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Dep. de Solos da UFRGS, 1995.174 p. (Boletim Técnico, 5).

TRANI, P.E.; RAIJ, B. van. **Hortaliças**. In: RECOMENDAÇÕES de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, IAC, 1997. p. 30-60. (Boletim Técnico, 100).

TRANI, P.E. et al. Desempenho de cultivares de alface sob cultivo protegido. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.3, p.441-445, 2006.

VARANINI, Z. et al. Low molecular weight humic substances stimulated H⁺-ATPase activity of plasma membrane vesicles isolated from oat (*Avena sativa* L.) roots. **Plant and Soil**, The Hague, v.153, p.61-69, 1993.

VASCONCELOS, A.C.F. **Uso de biofertilizantes nas culturas de milho e de soja**. 2006. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Esa de Queiros, Piracicaba, 2006.

VAUGHAN, D.; MALCOM, R.E.; ORD, B.G. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. In: **SOIL organic matter and biological activit**. Dordrecht: Martinus Nijhoff/Junk W., 1985. p. 77-108.

ZANDONADI D.B et al. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.32, p.14-20, 2014.

ZANDONADI, D. B. et al. Plant physiology as affected by humified organic matter. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v.25, p.12-25, 2013.

ZANDONADI, D.B.; CANELLAS, L.P.; FAÇANHA, A. R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. **Planta**, Berlin, v.225, p.1583-1595, 2007.

WU, L.; MA, Q.C. Relationship between compost stability and extractable organic carbon. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 31 n. 4, p.1323-1328, 2002.

Apêndice 1. Períodos de ocorrências de chuvas durante o experimento a campo de maio/agosto de 2012. (Cantú, R.R., 2012 n.p.)

Data	Chuvas	Dias
29/mai	145 mm	2
10/jun	3 mm	14
17/jun	35 mm	21
03/jul	8 mm	37
06/jul	56 mm	40
23/jul	2 mm	57
28/jul	8 mm	62
31/jul	32 mm	64

Apêndice 2. Características químicas dos compostos neutro e ácido, estudados (Cantú, R.R., 2012 n.p.).

	Composto neutro	Composto ácido
N-total (g kg ⁻¹)	27,95	21,37
P (g kg ⁻¹)	13,79	12,75
K (g kg ⁻¹)	36,89	30,48
C (g kg ⁻¹)	410,9	423,3
MS (%)	24,7	25,4
C/N	14,68	20,75
pH H ₂ O	7,2	5,0

Apêndice 3 . Produção de massa verde em plantas de alface ao final do ciclo (64dias) Santa Maria – RS UFSM, 2012. (Cantú, R.R., 2012, n.p).

Tratamentos	Dias		
	40	52	64
	g planta ⁻¹		
T1 ⁽¹⁾	3,19b	20,3b	61,1b
T2 ⁽²⁾	5,0a	49,6a	167,1a
T3 ⁽³⁾	6,9a	65,1a	200,5a

⁽¹⁾solo; ⁽²⁾solo + composto neutro; ⁽³⁾solo + composto ácido. Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem os tratamentos teste de Tukey a nível 5% de probabilidade

Apêndice 4. Valores de pH ao longo do experimento.

Tratamentos	40	52	64
		pH	
T1 ⁽¹⁾	6,2	6,4	6,4
T2 ⁽²⁾	6,4	6,5	6,8
T3 ⁽³⁾	6,4	6,0	6,6

⁽¹⁾solo; ⁽²⁾solo + composto neutro; ⁽³⁾solo + composto ácido. Médias das repetições.

Apêndice 5. Propriedades químicas dos fertilizantes orgânicos estudados.

	Growmater Plant	Growmater Soil
CO(g kg ⁻¹)	310	398
N -total (g kg ⁻¹)	9,7	9,7
P (g kg ⁻¹)	52,1	54,5
K (g kg ⁻¹)	1,3	5,9
Ca (g kg ⁻¹)	0,3	0,3
Mg (g kg ⁻¹)	6,4	7,1
Cu (mg kg ⁻¹)	0,01	0,01
Mn (mg kg ⁻¹)	0,01	0,01
Fe (mg kg ⁻¹)	246,4	47,38
Zn (mg kg ⁻¹)	23,78	26,99
pH H ₂ O	6,6	6,6

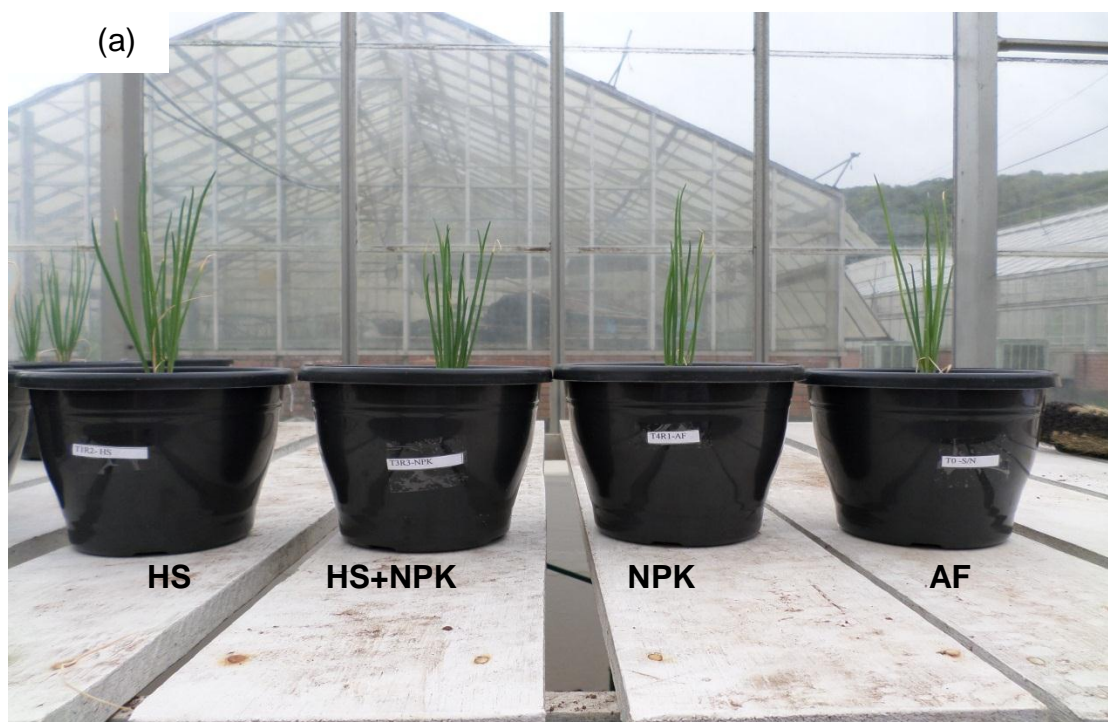
Apêndice 6. Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na massa seca da parte aérea da alface aos 48 dias.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
	mg planta ¹										
Testemunha	121,1b	15,0d	116,4c	59,7d	29,6c	13,6c	0,03b	0,22 ^{ns}	1,29b	0,70d	0,21e
HS	177,3a	22,8cd	158,4c	66,9cd	38,7bc	16,6bc	0,05ab	0,22 ^{ns}	1,86b	0,88cd	0,26de
HS+NPK	189,9a	33,5ab	302,2b	89,8b	41,7ab	16,7abc	0,05ab	0,43 ^{ns}	7,37a	2,01ab	0,35ab
NPK	187,8a	31,4abc	214,6bc	82,4bc	38,7bc	20,2a	0,06a	0,29 ^{ns}	3,21b	1,36bcd	0,33bc
GP	176,4a	25,6bc	213,4bc	78,3bcd	41,6ab	19,2ab	0,06a	0,23 ^{ns}	2,82b	1,50bc	0,28bc
GP+NPK	201,1a	39,5a	415,8a	120,5a	49,6a	19,3ab	0,05ab	0,52 ^{ns}	6,73a	2,36a	0,38a

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas não diferem os tratamentos teste de Tukey a nível 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo.

Apêndice 7 . Características do solo da referência (antes do início do experimento) e aos 48 dias (término do experimento) na cultura da alface, em Argissolo Vermelho.

Tratamentos	Argila	pH	índice	M.O.	CTC	V	P	K	Al _{troc}	Ca _{troc}	Mg _{troc}	Zn	Cu	Mn	S
	%	H ₂ O	SMP	%	cmolc/dm ³	(%)	mg/dm ³	mg/dm ³			-----	cmolc/dm ³	-----		
Referência	21	5,6	6,0	3,2	15,0	71	8,4	110	0,0	7,2	3,1	1,9	1,2	15	14
Testemunha	22	5,4	6,0	3,6	13,7	68	18	93	0,1	6,3	2,8	2,9	1,4	19	39
HS	22	5,5	5,9	3,2	14,2	65	15	66	0,0	6,2	2,9	2,3	1,2	21	21
HS+NPK	21	5,3	5,9	3,4	13,2	63	20	54	0,2	5,7	2,4	2,5	1,2	26	20
NPK	22	5,4	5,8	3,2	14,6	62	14	96	0,2	6,0	2,8	2,2	1,1	21	23
GP	21	4,9	5,8	3,1	14,5	62	16	108	0,2	5,9	2,8	2,4	1,1	24	20
GP+NPK	22	5,0	5,7	3,3	16,1	61	25	153	0,2	6,6	2,9	2,6	1,2	26	24



Apêndice 8. Plantas de cebolinha 7 dias após o transplante(a) e aos 35 dias (b). Fonte: autora/2013.



Testemunha



Humic Soil®



Humic Soil® +NPK



Growmater Plant®+NPK

Apêndice 9. Plantas de alface, nos diferentes tratamentos ao final do experimento. Fonte: fotos da autora (2013).



Growmater Plant®



NPK

Apêndice 9. Plantas de alface, nos diferentes tratamentos ao final do experimento. Fonte: fotos da autora (2013).



S/N

HS

HS+ NPK

NPK

GP

GP+NPK

Apêndice 10. Plantas de alface ao final do experimento. Fonte: fotos da autora (2013).