

MÁRCIA CRISTINA AUSINA FEBRER

APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE MATERIAL ORGÂNICO
UTILIZADO COMO FILTRO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS DA SUINOCULTURA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2000

A Deus.

Aos meus pais Teresa e Juan.

A todos os meus irmãos e sobrinhos.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela vida e acolhida nos momentos difíceis.

Aos meus pais, pela minha formação nos princípios da verdade, pela confiança que em mim depositaram e pela compreensão da minha ausência nos momentos de alegrias e de tristezas.

Aos meus irmãos e cunhados, pelo apoio e incentivo durante os longos anos de estudos.

Aos meus sobrinhos Priscila, Eric e Lídia, por aceitarem a minha ausência, retribuindo-a com alegria e riso.

A Ricardo Santos Silva Amorim, pelo carinho, pela compreensão, pela ajuda na execução das atividades, pelo estímulo, pelos incentivos e, principalmente, por compartilhar comigo todos os momentos bons e difíceis de minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos e pela oportunidade de realização do Programa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Antonio Teixeira de Matos, pela orientação valiosa, pelo incentivo, pela amizade sincera e pela confiança e dedicação demonstradas ao longo da condução deste trabalho.

À pesquisadora Maria Aparecida Nogueira Sedyama, pelas sugestões e críticas oportunas durante a realização desta pesquisa, pela amizade e pelo imenso apoio nos momentos mais difíceis deste trabalho; a ela, a minha eterna gratidão.

Ao professor Liovando Marciano da Costa, pela valiosa contribuição e ajuda durante a realização desta tese.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela colaboração na análise estatística.

Ao professor Cláudio Pereira Jordão, pela participação na banca examinadora e pelas sugestões e críticas oportunas.

Aos meus demais professores, pelo estímulo e ensinamento transmitidos no decorrer do Programa.

Aos meus colegas Viviane Brandão, Raimundo Rodrigues Gomes Filho, Paulo Gabriel e Renato Passos, pela valiosa ajuda e convivência durante a realização deste trabalho.

Aos laboratoristas Carlos Henrique, Bené, João e Francisco, do Departamento de Solos; Carlos Domingos e Itamar, do Departamento de Fitotecnia; aos funcionários Antônio Inácio e Carlos Henrique, do Laboratório de Hidráulica; e a Lucimar, do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo apoio durante a realização desta pesquisa.

Ao Fredson, pelo apoio e pela dedicação durante a condução do experimento deste trabalho.

Às demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta tese, o meu especial agradecimento.

BIOGRAFIA

MÁRCIA CRISTINA AUSINA FEBRER, filha de Juan Ausina Miralles e Teresa Assunción Febrer Anglés, nasceu a 30 de junho de 1972, em Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro.

Em agosto de 1992, iniciou o Curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo-o em agosto de 1997.

Em agosto de 1997, ingressou no Programa de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1	3
DINÂMICA DA DEGRADAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS	3
1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Águas residuárias	5
2.1.1. Águas residuárias da suinocultura	5
2.1.2. Impacto sobre o meio ambiente	6
2.1.3. Legislação ambiental	8
2.1.4. Tratamento de águas residuárias da suinocultura	10
2.2. Decomposição de resíduos orgânicos	12
2.2.1. Dinâmica de decomposição de resíduos orgânicos	15
2.2.2. Características de importância na avaliação de composto orgânico	16

	Página
4.2.4. Cálcio e magnésio	77
4.2.5. Ferro, cobre e zinco	83
4.3. Avaliações do substrato após a colheita da alface	91
4.3.1. Matéria orgânica	91
4.3.2. Condutividade elétrica	94
4.3.3. Capacidade de troca catiônica	94
4.3.4. pH	95
4.4. "Status" nutricional do solo após o cultivo da alface	96
4.4.1. Nitrogênio total e nitrato	96
4.4.2. Fósforo	99
4.4.3. Potássio e sódio	99
4.4.4. Cálcio e magnésio	100
4.4.5. Ferro, cobre e zinco	101
5. CONCLUSÕES	106
RESUMO E CONCLUSÕES	108
RECOMENDAÇÕES	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
APÊNDICES	121
APÊNDICE A	122
APÊNDICE B	124

RESUMO

AUSINA FEBRER, Márcia Cristina, M. S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2000. **Aproveitamento agrícola de material orgânico utilizado como filtro no tratamento de águas residuárias da suinocultura.** Orientador: Antonio Teixeira de Matos. Conselheiros: Liovando Marciano da Costa e Maria Aparecida Nogueira Sedyama.

Este trabalho foi realizado em duas etapas distintas. A primeira correspondeu à degradação individual dos materiais orgânicos (casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho triturado), utilizados nos filtros de tratamento de águas residuárias da suinocultura com vistas à utilização agrícola do material obtido. Esses materiais foram dispostos em medas de 60 x 35 x 20 cm e submetidos a revolvimento e umedecimento sempre que necessário. Amostras das medas foram coletadas, quinzenalmente, para determinação das concentrações de nitrogênio e carbono. Após seis meses de degradação, retiraram-se amostras para avaliação da concentração de nutrientes dos compostos orgânicos obtidos. Avaliou-se também a dinâmica do carbono, do nitrogênio e da relação C/N durante o processo de degradação. Dentre os materiais orgânicos estudados, os compostos produzidos com casca de arroz e fino de carvão não apresentaram

degradação satisfatória no período de estudo, porém ficaram enriquecidos em termos químicos. O composto produzido com bagaço de cana-de-açúcar pode ser considerado o material orgânico de mais rápida degradabilidade e o fino de carvão vegetal, o de menor degradabilidade, nas condições estudadas. Na segunda etapa, buscou-se quantificar o conteúdo de nutrientes extraídos na produção da alface, cultivar Brasil 303, em doses crescentes dos seis compostos orgânicos produzidos e o efeito residual da aplicação desses compostos no solo. O cultivo da alface foi feito em vasos, arranjados no delineamento inteiramente casualizado. O experimento foi estabelecido em esquema fatorial formado pela combinação de seis tipos de composto orgânico e três doses de adubação, com quatro repetições, além das testemunhas absoluta e química, como tratamentos adicionais. As doses de adubos orgânicos incorporados foram calculadas em termos de N total, equivalentes a uma, duas e quatro vezes à da adubação nitrogenada mineral recomendada para a cultura da alface. Os conteúdos de nutrientes na planta mostraram-se sempre menores que os encontrados na literatura. Entre os tratamentos estudados, de forma geral, os que receberam composto orgânico produzido com fino de carvão e casca de arroz foram os que apresentaram maior produção de matéria seca e maiores conteúdos de nutrientes, tanto na planta quanto no substrato, enquanto entre os substratos de mais baixas relações C/N, tal como a casca de café e o sabugo de milho triturado, foram obtidas as menores produções de matéria seca e conteúdos de nutrientes.

ABSTRACT

AUSINA FEBRER, Márcia Cristina, M. S., Universidade Federal de Viçosa, May, 2000. **Agricultural use of organic material used as filter in the treatment of residual water from pig production.** Adviser: Antonio Teixeira de Matos. Committee Members: Liovando Marciano da Costa and Maria Aparecida Nogueira Sedyama.

This work was taken out in two different stages. The first stage corresponded to the individual decomposition of the organic materials (husk of coffee, fine of vegetal cool, husk of rice, sawdust, sugar-cane trash and triturated corn spike) used in the filters for treatment of residual water from pig production aiming the agricultural use of the obtained material. Those materials were disposed in piles of 60 x 35 x 20 cm, revolved and moistened whenever necessary. Samples of the piles were collected for the determination of nitrogen and carbon concentrations once every two weeks. After six months of decomposition, samples were collected for evaluation of nutrient concentration of the organic composts. It was also evaluated the dynamics of carbon, nitrogen and of the C/N ratio during the decomposition process. Among the studied materials, the composts produced with husk of rice and fine of vegetal cool did not present adequate decomposition over the period of study, however they were

chemically enriched. In the conditions of this study, the compost produced with sugar-cane trash can be considered the organic material of faster decomposition and fine of vegetal cool, the one of slower decomposition. In the second stage, it was searched to quantify the contents of nutrients extracted in the production of lettuce, cultivar Brazil 303, with increasing doses of the six produced organic composts and the residual effect of the application of those composts in the soil. Lettuce plants were cultivated in pots, distributed in entirely randomized blocks. The experiment design was a factorial arrangement formed by the combination of six types of organic compost and three doses of fertilization, with four replications, besides the absolute and chemical controls as additional treatments. The incorporated doses of organic fertilizers were calculated in terms of total N, equivalent to one, two and four times the recommended inorganic nitrogen dose for lettuce cultivation. Plant nutrient contents were always smaller than the ones found in the literature. In general, the treatments that received organic compost produced with fine of vegetal cool and husk of rice presented larger production of dry matter and higher nutrient contents in the plant and in the substrate, while the substrates of lower C/N ratio, such as husk of coffee and trituated corn spike, gave the smallest dry matter production and nutrient contents.

INTRODUÇÃO

A poluição do ambiente por resíduos orgânicos, oriundos da exploração agropecuária ou industrial, vem colocando em risco o equilíbrio ecológico, seja pela introdução de agentes patogênicos a animais e vegetais, seja pela ruptura do equilíbrio biológico existente.

Os dejetos suínos, até a década de 70, não constituíam maiores problemas para os criadores, pois a concentração de animais nas propriedades era pequena. A intensificação da produção e o sistema de confinamento trouxeram como consequência o aumento do volume de dejetos produzidos por unidade de área. Para dar fim aos resíduos acumulados, os produtores passaram a lançá-los nos cursos d'água, sem tratamento prévio, poluindo mananciais de água, além de colocarem em risco a saúde animal e humana (PERDOMO, 1996).

A crescente preocupação da sociedade com questões ambientais, plenamente justificada ante a degradação dos recursos naturais do Planeta, vem forçando os governantes a tomar atitudes disciplinadoras e fiscalizadoras para o exercício de atividades potencialmente poluidoras. Assim, nos últimos 15 anos, muita atenção passou a ser dada à necessidade de desenvolvimento tecnológico com vistas à disposição dos resíduos gerados por animais, bem como pelas indústrias, de forma a causar o mínimo impacto sobre o meio ambiente (MATOS et al., 1997).

Uma das formas de redução da carga orgânica em suspensão de águas residuárias da suinocultura consiste no tratamento por filtração, tendo por objetivo a separação sólido-líquido. Como a filtragem de águas residuárias da suinocultura em filtros de areia convencionais proporciona rápido entupimento dos poros e colmatção do filtro, entende-se ser necessária a utilização de materiais capazes de, após reterem parte dos sólidos em suspensão, ser substituídos em intervalos definidos de tempo. Dessa maneira, o material filtrante escolhido deve ser acondicionado em estruturas que permitam a sua substituição, possibilitando, assim, a manutenção da boa eficiência de operação do sistema de tratamento.

Como no caso de materiais filtrantes alternativos, tem sido avaliado o uso de resíduos agrícolas ou agroindustriais, como casca de arroz e bagaço de cana-de-açúcar (BRANDÃO, 1999). Esses materiais, quando retirados dos filtros, constituem lotes de material que, quando decomposto aerobicamente, podem produzir, no final do período de estabilização, adubo orgânico, que se acredita ser de elevado valor fertilizante, para aproveitamento agrícola. Dessa forma, o maior custo operacional do sistema, decorrente da necessidade de substituição dos filtros periodicamente, pode ser compensado pela produção de adubos orgânicos.

O objeto de estudo deste trabalho foi a avaliação da etapa de degradação do material retirado dos filtros orgânicos, da concentração de nutrientes presentes nos adubos orgânicos produzidos e da produtividade e qualidade nutricional de plantas de alface cultivadas com esses adubos, além do efeito residual destes compostos sobre o solo após a colheita da alface.

CAPÍTULO 1

DINÂMICA DA DEGRADAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento da demanda por alimentos, notadamente os mais ricos em proteínas, tem levado à produção intensiva de animais, resultando em elevadas concentrações em pequenas áreas, e à geração de grandes quantidades de resíduos. Dentre os problemas por eles proporcionados estão incluídos produção de odores desagradáveis, emissão de gases, poluição de águas superficiais com nitrogênio e fósforo, principalmente, e contaminação de águas subterrâneas com nitrato e microrganismos. O aumento da concentração de N e P nas águas superficiais pode levar à eutrofização, afetando o crescimento e a diversidade aquática. Em Hong Kong, a disposição indiscriminada dos resíduos animais, particularmente esterco de suínos (22.000 t ano⁻¹), foi apontada como a principal fonte de poluição de corpos d'água, devido à alta carga orgânica que detêm (TIQUIA et al., 1996). A contaminação ambiental tem estimulado pesquisas para identificar tecnologias de tratamento de resíduos animais buscando sua disposição, de forma menos impactante possível, no ambiente.

A decomposição aeróbia de resíduos agrícolas e de resíduos sólidos municipais por compostagem tem sido prática comumente empregada por reciclar matéria orgânica e retorná-la ao solo, proporcionando, com isso, a sua manutenção e até o aumento de sua fertilidade (MAYNARD, 1994). O crescimento do interesse pela compostagem surgiu, recentemente, devido à necessidade de desenvolvimento de tecnologias de baixo custo para o tratamento de resíduos orgânicos. Trata-se de um processo biológico, aeróbio, no qual são utilizados microrganismos de ocorrência natural para converter matéria orgânica biodegradável em material humificado. Nesse processo, agentes patogênicos são eliminados, há a conversão de N da forma instável para formas orgânicas estáveis, além de redução do volume e melhoria nas características físicas e físico-químicas dos resíduos. Essa conversão da matéria orgânica torna o resíduo animal mais facilmente manipulável e transportável, permitindo que altas taxas desse material possam ser aplicadas no solo, por causa da liberação lenta e mais estável do nitrogênio presente no composto (IMBEAH, 1998).

A decomposição do material orgânico é diferenciada segundo suas características físicas, químicas e biológicas. Os açúcares, amidos e proteínas são decompostos primeiro; a seguir, há decomposição da proteína bruta e da hemicelulose. Outros componentes, como a celulose, a lignina e as gorduras, são mais resistentes, podendo, com o tempo, dar origem às substâncias orgânicas de estrutura química mais complexa, genericamente denominadas húmus (IGUE, 1984; MATOS et al., 1998).

Existem poucas informações sobre a taxa de decomposição de materiais orgânicos, principalmente nas condições tropicais. Essas informações se tornam necessárias para que se permita a otimização do processo de compostagem, com vistas à obtenção de rápida e eficiente estabilização dos resíduos poluentes.

O objetivo deste trabalho foi estudar a dinâmica do carbono, do nitrogênio e da relação C/N, durante o processo de decomposição de materiais orgânicos retirados de filtros de tratamento de águas residuárias da suinocultura, bem como caracterizar quimicamente e avaliar o valor fertilizante dos adubos orgânicos produzidos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Águas residuárias

As águas residuárias apresentam diferentes origens. Nos centros urbanos, muita água é utilizada em instalações sanitárias, banhos e lavagens de louças, automóveis e calçadas etc., que, após a utilização, recebe a denominação de água residuária doméstica. Grandes volumes de águas residuárias são também gerados em indústrias de papel e celulose, siderúrgicas e metalúrgicas, curtumes etc. Além dessas, devem ser destacadas as agroindústrias de beneficiamento de leite e de café "cereja", de extração de sucos e de produção de açúcar e álcool. No meio rural, volumes consideráveis de águas residuárias têm origem em criatórios de animais, como suínos e bovinos, principalmente quando criados em regime de confinamento (ITABORAHY, 1998).

2.1.1. Águas residuárias da suinocultura

Dejetos de suínos têm preocupado tanto os ambientalistas quanto os suinocultores, por serem constituídos de substâncias altamente poluentes, produzidas em grandes volumes e em propriedades que, normalmente, não possuem área suficiente para sua disposição.

OLIVEIRA e PARIZOTTO (1994) e KONZEN et al. (1995) afirmaram que as diferentes categorias de suínos produzem, diariamente, de 2,3 a 6,4 kg de esterco, ou 4,9 a 18 kg de esterco mais urina ou, em volume, 7 a 27 L de águas residuárias das lavagens das baias, sendo os limites inferiores dessas faixas correspondentes a suínos entre 25 e 100 kg e os superiores, a matrizes com leitões.

A composição das águas residuárias é dependente do sistema de manejo adotado. Águas residuárias da suinocultura podem apresentar grandes variações em sua constituição, dependendo da diluição e da maneira como são manejadas e armazenadas. As concentrações médias de NPK em amostras de águas residuárias da suinocultura, coletadas na região oeste de Santa Catarina, correspondem, em kg m^{-3} , a 4,5 de N, 4,0 de P_2O_5 e 1,6 de K_2O (EPAGRI, 1995). Para SCHERER et al. (1995), as concentrações médias de NPK, em águas residuárias coletadas na mesma região, correspondem, em kg m^{-3} , a 2,92 de N, 2,37 de P_2O_5 e 1,54 de K_2O , o que demonstra a grande variabilidade encontrada na constituição química dessas águas.

Grande parte do nitrogênio presente em águas residuárias da suinocultura encontra-se na forma amoniacal. Nesse caso, a maior preocupação para melhor aproveitamento do nitrogênio deve-se voltar para reduzir as perdas de N-NH_3 por volatilização e, após a disposição no solo, as de N-NO_3^- por lixiviação (EPAGRI, 1995).

Além dos macronutrientes essenciais, as águas residuárias da suinocultura contêm ainda, devido ao suplemento mineral oferecido aos animais, micronutrientes como Zn, Mn, Cu e Fe, os quais podem ser, quando presentes em doses elevadas, até tóxicos às plantas (EPAGRI, 1995).

2.1.2. Impacto sobre o meio ambiente

Trabalhos recentes têm evidenciado que a agropecuária é fonte de relevante importância na poluição das águas, do ar e do solo (PEREIRA NETO, 1992; HARADA et al., 1993; IMBEAH, 1998). Os dejetos animais,

independentemente de suas qualidades e dos benefícios que podem trazer, estão sendo considerados substâncias indesejáveis e de difícil manejo (SUTTON, 1994).

No que diz respeito à carga orgânica, CHIN e ONG (1993), em pesquisas desenvolvidas em sistema de tratamento de águas residuárias da suinocultura em Cingapura, para uma vazão de $350 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, observaram que 20% do volume total desse resíduo era constituído de dejetos suínos e o restante, de água. Observaram, ainda, altas concentrações, expressas em mg L^{-1} , de compostos orgânicos e nutrientes nessas águas residuárias, tal como DBO_5 (demanda bioquímica de oxigênio, após cinco dias) de 800 a 24.800, DQO (demanda química de oxigênio) de 1.830 a 45.940, nitrogênio de 770 a 4.420 e fósforo de 34 a 430. Jurkovic et al. (1996), citados por MEDRI (1997), encontraram valores médios, em mg L^{-1} , de 14.335 para DBO_5 e 36.179 para DQO, enquanto MEDRI (1997) obteve valores médios de 8.304 para DBO_5 , 15.153 para DQO, 850 para nitrogênio e 391 para fósforo.

O problema da contaminação da água por material orgânico não está no contaminante em si, mas na conseqüência da sua decomposição, afetando negativamente o balanço de oxigênio do corpo d'água. A redução nas concentrações de oxigênio dissolvido pode provocar mortandade dos organismos aeróbios (peixes, moluscos, crustáceos e vários microrganismos), solubilização de diversos compostos químicos de presença indesejável, aumento na toxicidade de vários elementos, geração de maus odores e inconvenientes estéticos (VON SPERLING, 1996).

A lixiviação de nitrato é também importante processo de contaminação de águas subterrâneas, principalmente em regiões agrícolas que apresentam solos mais permeáveis. Em meados da década de 80, já era grande a preocupação com a poluição da água subterrânea nos EUA, pois quase 50% da água potável então consumida naquele país era retirada de poços (KANWAR et al., 1985).

No Brasil, também já foram constatados problemas de contaminação por lixiviação de nitrato em águas subterrâneas de alguns solos tratados com altas

taxas de dejetos líquido de suínos ($160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), as quais tiveram seus teores de nitrato muito aumentados (OLIVEIRA, 1993; ITABORAHY, 1998).

O fósforo contido nos esterco pode difundir-se mais rapidamente nos solos, principalmente nos mais arenosos, que o contido nos fertilizantes comerciais, pois o material orgânico presente no resíduo possibilita sua maior mobilidade nesse meio (OLIVEIRA, 1993).

Os metais pesados, embora presentes nos dejetos em baixas concentrações, são também motivo de preocupação, em razão de suas elevadas toxicidades e das altas doses aplicadas no solo (MATOS e SEDIYAMA, 1995). Dentre os metais pesados, o cobre e o zinco têm sido motivo de maior preocupação, uma vez que são importantes componentes do suplemento dietético de rações e de formulações de antibióticos, aumentando os riscos de contaminação ambiental (MATOS e SEDIYAMA, 1995). Esses metais podem ser acumulados, atingindo níveis de toxicidade, principalmente quando o pH do solo for inferior a 6,0 (EVANS, 1983).

Outro problema da utilização de resíduos, sobretudo de águas residuárias, diz respeito ao risco de contaminação de homens e animais por agentes patogênicos. Organismos patogênicos são excretados por meio da urina e de fezes, e por isso são encontrados nos dejetos humanos e animais. Mesmo quando essas águas residuárias são tratadas por meio da remoção dos sólidos, da aeração ou da desidratação, a erradicação de patógenos não é conseguida.

2.1.3. Legislação ambiental

A humanidade, nos últimos anos, fundamentou seu desenvolvimento em tecnologias e sistemas de produção baseados na utilização dos recursos naturais e no despejo dos resíduos não-aproveitáveis no meio ambiente. Por vários anos, o homem não teve a preocupação em repor os recursos utilizados ou estudar processos e técnicas de disposição que facilitassem a assimilação dos resíduos pelo meio ambiente. Hoje, porém, o homem está consciente de que muitos recursos são não-renováveis e que o meio ambiente possui limitada capacidade

de assimilação de resíduos. A proteção do meio ambiente é condição necessária para continuidade do desenvolvimento socioeconômico.

À série de medidas de caracteres econômico, político e social a ser tomada e que visa ao desenvolvimento sustentável da humanidade, dá-se o nome de ações para proteção ambiental (ROCHA, 1998). Para possibilitar a necessária proteção ambiental, foram criadas diversas leis, decretos e portarias para regulamentar o assunto.

A primeira lei ambiental criada no Brasil foi o Código das Águas, Lei nº 24.043, de 10 de junho de 1934, e a mais recente, Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que regulamenta as atividades ligadas ao meio ambiente. É conveniente esclarecer que existe, em nível federal, legislação pertinente que deve ser observada, mas que em cada estado, ou município, pode existir legislação complementar (BRASIL, 1999).

A legislação ambiental vigente no Estado de Minas Gerais, Deliberação Normativa COPAM 010/86, citada por VIANNA (1997), estabeleceu que, no caso de lançamento de águas residuárias em cursos d'água, a DBO₅, a 20°C, deve ser de, no máximo, 60 mg L⁻¹. Este limite somente poderá ser ultrapassado caso a eficiência do sistema de tratamento seja maior que 85%, em termos de redução de DBO, e quando o efluente lançado não proporcionar superação dos limites estabelecidos como padrões de qualidade para a classe de enquadramento do curso d'água .

Com relação especificamente aos efluentes de suinocultura, BARACHO JÚNIOR (1995) afirmou que o Conselho Estadual de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais editou deliberação normativa que estabelece o licenciamento e o controle dessa atividade. Essa deliberação significa, na realidade, uma convocação para adequação dessas atividades às normas ambientais estaduais vigentes, em especial normas e padrões estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM 010/86.

Com o objetivo de atender às exigências legais, torna-se necessário desenvolver tecnologias para o tratamento de resíduos, minimizando, desse modo, o impacto ambiental provocado pelo seu descarte.

A reciclagem dos dejetos, realizada pela alimentação animal, adubação, produção de energia – biogás; e o tratamento dos resíduos são as formas mais comumente empregadas para solucionar o problema de destinação dos resíduos gerados pelas atividades suinícolas (LOURES, 1998).

2.1.4. Tratamento de águas residuárias da suinocultura

Os tratamentos para águas residuárias ricas em componentes orgânicos podem ser físicos ou biológicos, em que os físicos consistem na separação das fases líquida e sólida por decantação, peneiramento ou centrifugação, o que auxilia na redução de sólidos totais dissolvidos e da DBO₅. Os processos físicos, atuando de forma exclusiva, não são suficientes para que se obtenha a eficiência necessária no tratamento. Por isso, esses têm sido usados, preferencialmente, como pré-tratamento. Os processos biológicos podem promover grande redução do poder poluente, com a remoção da carga orgânica e de componentes químicos em solução, além de patógenos.

O material orgânico pode ser decomposto aeróbia ou anaerobiamente. Nos processos aeróbios, o metabolismo dos microrganismos é exotérmico, ocasionando elevação de temperatura do material em decomposição, principalmente no início do processo, quando há aumento populacional. Nessa ocasião, há liberação de gases, predominantemente do gás carbônico. Nos anaeróbios, a população microbiana é muito diferenciada e a temperatura pouco se eleva, embora o seu aumento acelere a decomposição; o meio é redutor, e os gases predominantemente emanados são o metano, o sulfídrico e os ácidos graxos voláteis e mercaptanos de cheiro desagradável. Esse processo de decomposição do material orgânico exige menor cuidado, porém a estabilização é mais demorada (KIEHL, 1985; HARADA et al., 1993).

As opções de tratamento anaeróbio são: lagoas de fermentação ou anaeróbias e a decomposição em recipientes de volume reduzido (biodigestores).

O uso de biodigestor tem sido recomendado, por alguns pesquisadores, por proporcionar a captação de metano, combustível alternativo capaz de gerar

0,9 MJ de energia elétrica/suíno/dia e por produzir, como efluente, um substrato de boa qualidade para a adubação orgânica (OLIVEIRA, 1993; VIEIRA, 1997).

Dentre os aeróbios, têm-se como opções as lagoas de estabilização aeróbias, facultativas ou com aeração artificial, além de diques de oxidação. As lagoas de estabilização demandam grandes áreas, as aeradas consomem grande quantidade de energia e os diques de oxidação são de maior custo de instalação e manutenção. No caso de material sólido, o processo aeróbio usual é, basicamente, o da compostagem, que oferece como vantagens maior simplicidade, menores custos e a geração de produto de boa qualidade, para uso na adubação orgânica de plantas (OLIVEIRA, 1993; VIEIRA, 1997).

A separação física da fração sólida de águas residuárias tem trazido vantagens para alguns produtores, principalmente quando se tem interesse no uso como adubo orgânico, uma vez que o manejo da fração sólida é mais fácil e mais barato. Essa fração é mais pobre que a líquida, em nutrientes para as culturas, porém nela está contida a maior parte do zinco e do cobre das águas residuárias (EVANS, 1983).

BRANDÃO (1999) utilizou alguns resíduos sólidos agroindustriais como meio filtrante para tratamento de águas residuárias da suinocultura, tendo obtido boa eficiência na remoção de sólidos sedimentáveis e sólidos totais e na concentração de alguns poluentes, como o cobre. Essa alternativa de se utilizarem resíduos de agroindústrias como filtro orgânico torna-se muito interessante para o pequeno produtor, uma vez que a obtenção de restos culturais é prática freqüente, de baixo custo, e esses resíduos, após sua utilização como filtros no tratamento de águas residuárias, constituem lotes de materiais orgânicos, que, quando decompostos aerobicamente, podem produzir, ao final do período de estabilização, adubos orgânicos, que podem ser utilizados na substituição de parte ou, até mesmo, de toda a adubação química de diversos cultivos agrícolas.

2.2. Decomposição de resíduos orgânicos

Em regiões tropicais e subtropicais, as condições climáticas são favoráveis, praticamente o ano inteiro, para a atividade biológica e, conseqüentemente, para a decomposição rápida e intensiva de material orgânico. A compostagem, seja ela intensiva ou não, tornou-se método prático de estabilização do material orgânico, sendo benéfica por erradicar patógenos nele presentes e produzir adubo inodoro e de fácil manipulação.

Segundo LOURES (1983), o princípio básico da compostagem está na transformação dos resíduos orgânicos da propriedade – esterco animais e restos culturais – pelos microrganismos aeróbios em material orgânico humificado. Assim, a compostagem consiste na mistura de resíduos ricos em nitrogênio com resíduos pobres desse elemento. Caso sejam fornecidas condições adequadas de umidade e aeração, a decomposição dos resíduos orgânicos pode ser rápida e sem empobrecimento do material em processamento.

A utilização de águas residuárias da suinocultura na produção de compostos orgânicos tem sido considerada técnica promissora a ser adotada em muitas propriedades agrícolas. Os resíduos culturais, como o bagaço de cana-de-açúcar, a casca de café e de arroz, o sabugo de milho e os resíduos de capineiras, dentre outros, associados às águas residuárias da suinocultura, podem produzir compostos orgânicos, para posterior aproveitamento agrícola. Essas águas residuárias, por serem ricas em nitrogênio, são excelentes meios de fermentação do material palhoso, equilibrando a relação carbono/nitrogênio (C/N) e favorecendo o processo de decomposição e a obtenção do material orgânico estabilizado (MATOS et al., 1998). O uso de águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio para compostagem de resíduos orgânicos (bagaço de cana-de-açúcar, capim-napier picado e casca de café) foi avaliado por SEDIYAMA et al. (2000), tendo proporcionado a produção de adubos de elevado valor fertilizante. Os compostos orgânicos produzidos com águas residuárias da suinocultura, quando aplicados ao solo em doses adequadas, tornaram-se

excelente opção para disposição harmônica dos resíduos da suinocultura no ambiente.

Segundo KIEHL (1998), microrganismos como as bactérias, os fungos e os actinomicetos são os principais responsáveis pela transformação do material orgânico cru em material humificado. Participam também da degradação do material orgânico outros organismos, como algas, protozoários, nematóides, vermes, insetos e suas larvas. Contribuem para a degradação do material orgânico agentes bioquímicos, como enzimas, hormônios e vírus. A natureza da comunidade microbiana, o número, as espécies e a intensidade da atividade da decomposição dependem das condições do meio.

Os microrganismos são considerados plantas inferiores não-clorofiladas que necessitam, para sua nutrição, de macro e micronutrientes. Os macronutrientes carbono e nitrogênio são consumidos em maior quantidade. O carbono é fonte de energia, quando oxidado na forma de CO_2 , e entra na composição de óleos, graxas e carboidratos; o nitrogênio é o principal componente das proteínas a serem elaboradas.

O lixo domiciliar, o lodo de esgoto, as dejeções e as camas animais e muitos outros resíduos orgânicos sólidos trazem consigo microrganismos, em quantidade e qualidade, suficientes para sua degradação. Havendo condições favoráveis no meio, os microrganismos se multiplicarão exponencialmente e se distribuirão por todo o material, o que pode ser facilitado com as operações de revolvimento. O aumento da comunidade microbiana é influenciado pelas composições física e química da matéria-prima orgânica e pelas condições de umidade e aeração do material, fundamentais para o pleno metabolismo microbiano.

Quando o lixo, ou lodo de esgoto ou esterco são misturados com restos de vegetais e dispostos em medas para se decomporem, os microrganismos presentes passam por uma fase de adaptação e proliferação para, então, atingir a máxima atividade. Nesse período, há formação de ácidos orgânicos, aumento da acidez e produção de toxinas, o que torna o material fitotóxico se aplicado ao solo como adubo junto com sementes ou mudas. Essa fitotoxicidade também

pode ser devida à alta relação C/N ou à elevada concentração de amônia (KIEHL, 1998).

Durante a decomposição, caso a temperatura das medas não se eleve acima da ambiente, problemas de anaerobiose ou falta de água nas medas podem estar ocorrendo. Sendo a compostagem um processo biológico e aeróbio, dependente da disponibilidade de água e de ar, têm-se estabelecido os limites de 40 a 60% de umidade para o material. Entretanto, valores menores podem ser atingidos ao final do período de estabilização. Para controle da temperatura, recomenda-se aerar o material das medas com revolvimentos frequentes e reposição de água, feita por irrigação, por ocasião de cada revolvimento (KIEHL, 1985).

LO et al. (1993), estudando a compostagem de dejetos de suínos prensados, relataram que os fatores que influenciaram a taxa e a eficiência do processo foram a temperatura, a umidade, a relação C/N, o pH, a taxa de aeração e a estrutura física do material orgânico.

A faixa de temperatura, associada à mais intensa decomposição do material orgânico das medas, está entre 50 e 55°C, devendo permanecer acima de 55°C por, no mínimo, três dias, para a eficaz destruição de patógenos. Alta intensidade de aeração pode provocar o resfriamento da meda. A superfície específica do material sólido pode, também, ser importante fator no isolamento térmico das medas. O composto maduro deve apresentar entre 30 e 35% de umidade (no máximo 50%), teor de matéria orgânica de pelo menos 15% e relação C/N menor que 20 (LO et al., 1993).

Em alguns países, inclusive no Brasil, vem sendo estudado o processo de compostagem “in situ”, no qual os suínos são alojados sobre cama de serragem com cerca de 40 a 80 centímetros de altura, em que se adicionam aditivos biológicos, a fim de reduzir o volume de dejetos, a exalação de maus odores e amônia. Nesses estudos, não têm sido observado qualquer efeito deletério aos animais (TIQUIA et al., 1996; IMBEAH, 1998).

A decomposição aeróbia de resíduos não só contribui para minimizar os problemas de poluição ambiental e de saúde pública causados pelos resíduos

agrícolas, como também possibilita o fornecimento de nutrientes, proteínas e matéria orgânica ao solo, contribuindo para obtenção de maior produtividade agrícola. Durante a decomposição controlada, compostos de nitrogênio instáveis, como a amônia, são volatilizados, restando formas orgânicas mais estáveis, que deverão ser decompostas por microrganismos do solo antes de estarem disponíveis para as plantas.

2.2.1. Dinâmica da decomposição de resíduos orgânicos

A quantificação das taxas de decomposição e a avaliação da maturação do material têm sido utilizadas como índice para se determinarem a eficiência e a fase em que se encontra o processo de compostagem.

O conhecimento dos padrões de decomposição dos resíduos vegetais, da biomassa do solo e do material orgânico é indispensável para estimativa da disponibilização de nutrientes nos eco e agrossistemas (PAUL e CLARK, 1989).

Os diferentes métodos de estudo da decomposição do material orgânico têm como princípio básico a avaliação das variações na massa ou na composição química do substrato ou dos produtos da decomposição, em um intervalo de tempo definido. Embora a decomposição envolva processos complexos, mediados por enzimas, o resultado global pode ser descrito pela cinética das reações.

Alguns pesquisadores têm mostrado que a decomposição do material orgânico é caracterizada pela cinética de primeira ordem (HADAS e PORTNOY, 1997; VLYSSIDÉS et al., 1997; GILMOUR et al., 1998; MATOS et al., 1998), em que a taxa de decomposição do substrato é proporcional à quantidade do substrato presente. Matematicamente, pode ser representado por um modelo não-linear do tipo exponencial simples, ou seja:

$$X=X_0.e^{-kt} \quad (1)$$

em que X corresponde à quantidade de material orgânico presente na amostra após um tempo t, X_0 é a quantidade inicial de material orgânico e k corresponde à constante de decomposição do material, que dá idéia da rapidez do processo. Os valores de k variam, segundo IGUE (1984), de $0,025 \text{ ano}^{-1}$ (vegetação de pinus em Serra Nevada, EUA) a $4,0 \text{ ano}^{-1}$ (florestas tropicais).

MATOS et al. (1998), trabalhando com bagaço de cana-de-açúcar, capim-napier picado e palha de café e utilizando água residuária da suinocultura como fonte de nitrogênio para compostagem desse material, obtiveram valores de k, expressos em dia^{-1} , de $-2,99 \times 10^{-3}$, $-3,11 \times 10^{-3}$ e $-4,05 \times 10^{-3}$, respectivamente, para a concentração de carbono, de $7,65 \times 10^{-3}$, $4,50 \times 10^{-3}$ e $4,58 \times 10^{-3}$ para a concentração de nitrogênio e de $-1,06 \times 10^{-2}$, $-7,61 \times 10^{-3}$ e $-8,63 \times 10^{-3}$ para a relação C/N, respectivamente.

2.2.2. Características de importância na avaliação de composto orgânico

A composição dos adubos orgânicos não é sempre a mesma, variando, dentre outros fatores, conforme as matérias-primas utilizadas, o grau de decomposição dos resíduos e o processo utilizado para conduzir a decomposição (RODRIGUES, 1995).

Os resíduos vegetais e animais são formados por polímeros de compostos orgânicos, que são decompostos e, posteriormente, despolimerizados, obtendo-se, como produto final, material humificado e constituintes inorgânicos. Dentre os fatores que mais influenciam a decomposição do material orgânico, destacam-se: natureza do resíduo orgânico, flutuações nas populações microbianas, níveis de umidade do solo, temperatura e pH.

Os materiais orgânicos variam grandemente em sua composição (frações de carbono), sendo a resistência à decomposição dos diversos componentes crescentes segundo a seguinte ordem: açúcares, amidos e proteínas simples; proteínas brutas; hemicelulose e partes de celulose; e lignina, gorduras, ceras e outras partes de celulose. Dessa forma, os açúcares são estruturas simples e facilmente solúveis em água, podendo ser prontamente absorvidos pelos

microrganismos; as hemiceluloses são frações mais complexas, por isso os microrganismos se utilizam de enzimas para degradá-las antes de absorvê-las e as ligninas são altamente resistentes, podendo demorar mais tempo para serem decompostos (PEIXOTO, 1988).

MARRIEL et al. (1987) propuseram que os resíduos orgânicos para serem decompostos devem apresentar conteúdo apropriado de nitrogênio e carbono para propiciarem o crescimento e a atividade dos microrganismos envolvidos no processo. A variação da relação C/N deve estar entre 30 e 50, recomendando-se o valor de 30. Quando a relação é inferior a 20 ou 25, processa-se uma amonificação, ocasionando perdas de nitrogênio no material em processamento. Relação superior a 50 provoca retardamento do início da decomposição, sendo o tempo de processamento 50% maior, resultando um produto final menos estável e de qualidade inferior.

Os microrganismos absorvem o carbono e o nitrogênio para sua nutrição sempre na relação C/N de 30 para 1, quer a matéria-prima a ser decomposta tenha relação 80/1, quer 8/1. Com o tempo de decomposição, a tendência da relação C/N é baixar, de maneira que, quando o material orgânico estiver humificado, seu valor deve estar em torno de 10/1. Se a relação C/N inicial for elevada, por exemplo 60 ou 80/1, o tempo de decomposição será maior, pois faltará nitrogênio para os microrganismos; esse elemento será reciclado entre as células microbianas até a degradação total do material orgânico, enquanto o excesso de carbono é eliminado na forma de gás carbônico. Ao contrário, se a relação C/N for baixa, 6/1 por exemplo, os microrganismos eliminarão o excesso de nitrogênio na forma de amônia até atingir a relação 30/1; posteriormente, ocorre decréscimo da relação C/N até atingir valores entre 12/1 e 10/1, no final do período de decomposição (KIEHL, 1998).

A maturidade do composto orgânico é característica importante para sua recomendação e comercialização para uso como adubo orgânico e pode ser definida como o grau de estabilidade das propriedades físicas, químicas e biológicas (HE et al., 1992).

Decretos e portarias da legislação brasileira definem como fertilizante composto o fertilizante obtido por processos bioquímico, natural ou controlado com mistura de resíduo de origem vegetal ou animal, especificando-se que material compostado, para ser considerado fertilizante composto, tem que ter, no mínimo, 40% de matéria orgânica total, 1,0% de nitrogênio total, pH mínimo de 6,0, umidade máxima de 40% e relação C/N de no máximo 18/1 (BRASIL, 19--).

Vários autores têm enfatizado a importância da capacidade de troca catiônica (CTC) do composto orgânico como parâmetro a ser utilizado como referência, para que seja avaliado o grau de maturação (HARADA e INOKO, 1980; HARADA et al., 1993; SAHARINEN, 1998). Esses autores também enfatizaram que a CTC aumenta durante a decomposição do material orgânico, o que é um aspecto muito positivo durante a incorporação do composto orgânico no solo. ROIG et al. (1988) são de opinião de que a relação CTC/C total a partir de 1,7 indica bom índice de humificação ou de maturidade do material compostado. O mesmo valor foi apresentado por HARADA e INOKO (1980) e HARADA et al. (1981). Estes autores asseguraram que essa relação é mais confiável que a relação C/N para indicar o grau de humificação de um fertilizante orgânico, pois a relação C/N pode ser afetada, por exemplo, pela maior presença de nitrogênio amoniacal, como ocorre no caso de esterco de galinha ou no lodo aditivado que possuem relação C/N baixa, independentemente de ter ocorrido maturação ou não.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição do experimento

Resíduos orgânicos utilizados como material filtrante de águas residuárias da suinocultura, produzidos por BRANDÃO (1999), foram dispostos sobre bancadas para o monitoramento da decomposição aeróbia controlada, na área experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, em local coberto e ventilado. Após a retirada dos materiais (casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho triturado) utilizados como filtros no tratamento de águas residuárias da suinocultura por BRANDÃO (1999), estes foram dispostos em pequenas medas de 60 x 35 x 20 cm, confeccionados sobre lona plástica, a fim de evitar a perda de material e solutos. Os resultados analíticos dos materiais orgânicos, logo após a retirada dos filtros de tratamento de águas residuárias, antes do início da decomposição controlada, encontram-se no Quadro 1.

O período de monitoramento das medas de decomposição foi compreendido entre os meses de novembro de 1998 e maio de 1999. A temperatura e a umidade do material presente nas medas foram monitoradas, diariamente, por termômetro de mercúrio (escala de 0 a 100°C) e por observação

Quadro 1 – Características analíticas dos materiais orgânicos após serem utilizados nos filtros de tratamento de águas residuárias da suinocultura*

Característica	Material Orgânico**					
	CC	FC	CA	SM	BC	SB
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹) ¹	95,47	99,00	79,16	98,62	95,06	99,22
Carbono total (dag kg ⁻¹) ²	53,04	55,00	43,98	54,79	52,81	55,12
N-total (dag kg ⁻¹) ³	2,49	0,34	0,48	0,58	0,55	0,45
Relação C/N	21,30	161,76	91,63	94,46	96,02	122,49
P (dag kg ⁻¹) ⁴	0,08	0,04	0,11	0,10	0,11	0,06
K (g kg ⁻¹) ⁴	10,83	3,03	1,49	1,61	1,98	2,33
Na (g kg ⁻¹) ⁴	6,32	0,93	1,64	1,32	1,55	1,84
Ca (g kg ⁻¹) ⁴	4,67	1,70	1,43	2,27	1,90	0,89
Mg (g kg ⁻¹) ⁴	0,37	0,06	0,12	0,11	0,15	0,07
Fe (mg kg ⁻¹) ⁴	507,1	122,4	415,9	515,2	981,6	173,0
Cu (mg kg ⁻¹) ⁴	24,09	5,15	11,58	30,26	29,36	13,27
Zn (mg kg ⁻¹) ⁴	16,58	10,88	32,58	46,35	45,25	56,72
CTC _{pH7} (cmol _c kg ⁻¹) ⁵	73,68	11,33	23,64	37,77	24,90	25,51

** CC, FC, CA, SM, BC e SB são, respectivamente, os resíduos orgânicos casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

* Resultados expressos em relação à matéria seca a 105°C.

¹ Determinado pelo método da perda por ignição (KIEHL, 1985).

² Matéria orgânica ÷ 1,724 (KIEHL, 1985).

³ Método Kjeldahl (ALVAREZ V., 19--).

⁴ Extrator HNO₃ / HClO₄.

⁵ Determinada conforme a metodologia de HARADA e INOKO (1980).

do comportamento físico-mecânico da massa, respectivamente. No Quadro 2, encontram-se os dados obtidos das temperaturas máxima, mínima e média mensais das medas e do ambiente, durante o período de monitoramento. Os materiais das medas foram submetidos a revolvimento, a cada dois dias, e a umedecimento, sempre que necessário. Amostras de material orgânico das medas foram coletadas, quinzenalmente, secadas em estufa com ventilação forçada a 65°C por 72 horas e moídas em moinho tipo Wiley, para determinação das concentrações de nitrogênio total e carbono total presentes nas amostras.

Durante o período de monitoramento, sempre que nas avaliações quinzenais se verificaram valores da relação C/N acima de 30/1, foram incorporadas à massa em decomposição águas residuárias da suinocultura, em quantidades calculadas com base nos requerimentos de nitrogênio. A aplicação foi dividida em doses, conforme a capacidade de retenção de umidade do material orgânico. A cada aplicação, coletou-se amostra da água residuária, de modo a avaliar quanto de nutrientes estava sendo incorporado. Essas amostras foram congeladas para serem examinadas posteriormente.

As águas residuárias aplicadas foram coletadas em um tanque de armazenamento dos efluentes brutos de uma suinocultura contendo animais em diferentes fases do desenvolvimento, em propriedade agrícola localizada no município de São Miguel do Anta, MG, sendo aplicadas sobre as medas em no máximo 24 horas após a sua coleta. Os resultados das análises químicas das águas residuárias incorporadas às medas durante o período de estudo da decomposição dos materiais estão apresentados no Quadro 3.

Ao aplicar água residuária ao resíduo orgânico, tomou-se o cuidado de abrir um buraco no centro do material, onde a água residuária foi adicionada. Posteriormente, a uniformidade da superfície era restabelecida, sendo o material revolvido apenas após 24 horas. Dessa forma, buscou-se minimizar perdas de amônia por volatilização. Após 48 horas da aplicação da água residuária, amostras dos materiais em decomposição foram coletadas, a fim de determinar as suas relações C/N.

Quadro 2 – Temperaturas máxima, mínima e média do interior das medas de material orgânico em decomposição e do ambiente, obtidas durante o período de monitoramento

		Nov./98	Dez./98	Jan./99	Fev./99	Mar./99	Abr./99	Maio/99
		Temperatura (°C)						
Ambiente	Máx	32,5	33,0	34,5	34,0	34,5	35,0	28,0
	Mín	20,0	23,5	24,0	24,5	25,0	22,0	21,5
	Média	26,6	28,5	29,9	30,4	29,3	27,7	25,2
Casca de café	Máx	37,0	34,0	34,0	32,0	30,5	29,5	25,5
	Mín	25,0	28,0	27,0	27,0	26,5	24,0	24,0
	Média	29,2	30,8	30,9	30,5	28,6	27,1	24,8
Fino de carvão	Máx	31,0	32,9	34,0	32,0	30,5	31,0	26,0
	Mín	23,0	27,0	26,8	27,0	27,0	24,0	24,5
	Média	26,8	29,4	30,0	29,8	28,2	27,2	25,3
Casca de arroz	Máx	30,0	31,9	32,0	31,5	30,0	29,5	25,5
	Mín	23,0	27,0	27,0	27,0	26,5	24,0	24,0
	Média	26,9	29,2	29,4	29,5	27,9	26,4	24,6
Serragem de madeira	Máx	30,0	34,0	33,5	32,5	30,5	29,0	25,5
	Mín	23,0	27,0	26,5	27,0	26,0	24,0	24,0
	Média	27,1	30,1	29,8	30,2	27,8	26,3	24,8
Bagaço de cana-de-açúcar	Máx	31,0	32,0	33,0	32,0	30,5	29,0	24,5
	Mín	24,0	26,0	27,0	27,0	26,5	22,5	23,5
	Média	27,4	29,6	29,9	29,7	27,6	26,1	24,1
Sabugo de milho	Máx	30,5	32,0	34,5	32,0	32,0	29,5	25,5
	Mín	23,5	27,0	27,0	27,0	26,0	24,0	24,5
	Média	27,6	29,6	29,9	29,5	27,8	26,6	25,0

Quadro 3 – Concentração, em mg L⁻¹, de macro e micronutrientes das águas residuárias da suinocultura incorporadas às medas durante o período de monitoramento da decomposição dos resíduos orgânicos

	05/Dez.	09/Dez.	19/Dez.	26/Dez.	02/Jan.	14/Jan.	23/Jan.	30/Jan.	19/Fev.	02/Mar.	17/Mar.	25/Mar.	07/Abr.	13/Abr.	30/Abr.
N-total ¹	1079,2	858,63	827,12	488,39	575,05	630,19	567,17	551,41	519,90	724,71	354,48	929,53	685,33	968,91	1.425,8
P ²	285,60	156,40	144,67	38,93	52,67	102,27	53,33	42,13	52,67	75,73	2,80	106,53	8,40	38,00	173,60
K ²	342,68	184,42	195,41	77,31	86,84	117,39	87,79	60,65	68,19	110,58	34,33	146,66	168,96	167,45	237,07
Ca ²	121,67	68,72	50,52	28,71	24,16	44,39	26,96	24,01	38,68	35,47	18,16	44,45	51,25	71,75	73,37
Mg ²	871,29	567,66	376,24	277,23	293,73	300,33	320,13	280,53	287,13	323,43	138,61	376,24	297,03	574,26	623,76
Na ²	341,35	219,07	148,01	111,66	121,57	119,92	128,18	110,01	123,23	141,40	73,65	169,49	143,06	298,39	296,73
Fe ²	10,86	4,37	7,72	1,78	1,41	3,29	2,01	0,82	1,00	2,20	0,45	2,88	1,13	2,05	5,31
Cu ²	68,84	26,48	34,04	6,98	2,77	18,01	12,97	4,48	9,48	33,93	25,16	26,58	70,25	38,76	14,35
Zn ²	14,75	5,24	9,52	2,25	1,31	4,54	1,88	0,65	0,71	1,47	0,18	8,69	2,51	3,79	7,55

¹ Método Kjeldahl (ALVAREZ V., 19--).

² Extrator HNO₃ / HClO₄.

Após o período de seis meses de monitoramento da decomposição dos materiais orgânicos, amostras foram retiradas para caracterização analítica dos compostos orgânicos produzidos.

3.2. Análises químicas

Determinou-se a CTC de cada material logo após sua retirada dos filtros, bem como de cada composto após os seis meses de decomposição. A CTC foi determinada conforme a metodologia apresentada por HARADA e INOKO (1980).

Amostras das águas residuárias incorporadas ao material durante o período de monitoramento e do material orgânico coletado foram analisadas quimicamente. A umidade residual das amostras secas foi determinada pela secagem a 105°C, por 12 horas, a fim de expressar os resultados em base de matéria seca. A determinação do nitrogênio total das amostras foi feita pelo método Kjeldahl (ALVAREZ V., 19--), utilizando-se 0,5 g de material seco e 3 mL de águas residuárias para análise. O carbono das amostras foi determinado pelo método da perda por ignição (KIEHL, 1985), para o qual se utilizaram 2 g do material. Após digestão nítrico-perclórico, as concentrações de K, Na, P, Ca, Mg, Fe, Cu e Zn foram determinadas, sendo potássio e sódio pelo método de fotometria de chama, fósforo pelo método da vitamina C – com leitura em colorímetro de fluxo contínuo – e cálcio, magnésio, ferro, cobre e zinco por espectrofotometria de absorção atômica. Todas as determinações foram feitas com três repetições.

3.3. Análise estatística

Os dados de teor de carbono, nitrogênio e da relação C/N dos materiais orgânicos, durante o período de monitoramento da decomposição, foram utilizados para ajuste de equações exponenciais e, com isso, determinação dos coeficientes de decomposição do material orgânico, da relação C/N e de acúmulo

do nitrogênio com o tempo, conforme MATOS et al. (1998). Aplicou-se o teste de igualdade de modelos às equações obtidas.

As regressões e análises estatísticas foram feitas com o uso dos programas REGREAMD1 e REGRELIN, contidos no pacote computacional SAEG (EUCLYDES, 1983).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de monitoramento da degradação dos materiais orgânicos, observaram-se duas condições, que devem ter favorecido o baixo aquecimento das medas (Quadro 2). A primeira está relacionada com as dimensões das medas, que eram reduzidas, e, dessa forma, as trocas de energia da massa com o ambiente foram favorecidas. Tal condição, que proporcionou intensa perda de energia produzida nas medas, também foi observada por LO et al. (1993). A outra condição refere-se à aplicação das águas residuárias às medas, as quais atingiam a capacidade de campo, condição que permanecia por um período de aproximadamente dois dias. Acredita-se que parte da energia liberada no processo de degradação dos resíduos orgânicos tenha sido utilizada como calor latente e de vaporização da água presente no meio.

THOMPSON et al. (1998) verificaram comportamento similar na compostagem “in situ” de serragem de madeira utilizada como “cama” em granjas avícolas. Esses autores, ao utilizarem medas de 0,25 e 0,38 m de altura, observaram que as temperaturas ficaram próximas de 45°C e, no tratamento em que a meda de resíduos era de 0,12 m, a temperatura permaneceu próxima a 30°C. Nesse caso, os referidos autores atribuíram a pequena elevação na temperatura à elevada umidade do material.

Apesar de a temperatura de 45 a 65°C ser considerada ótima para a atuação dos microrganismos decompositores, em temperaturas inferiores também se verificou a presença deles (KIEHL, 1998). As bactérias mesófilas exigem temperaturas mínimas de 15 a 25°C e, no caso das termófilas, de 25 a 45°C. Acredita-se que com o baixo aquecimento das medas não se possa considerar, nos materiais produzidos, a eliminação dos organismos patogênicos; entretanto, em medas com maiores dimensões, essa condição poderá ser obtida.

Durante todo o período de estudo, os revolvimentos nas medas foram freqüentes, e não se pressentiu emissão de gases e odores desagradáveis, o que leva a crer que, de forma geral, não houve deficiência de aeração .

À exceção da meda constituída pelo resíduo casca de café, a qual recebeu apenas uma dose adicional de água residuária durante o processo de decomposição controlada, os demais tratamentos receberam, durante quase todo o período de monitoramento, aplicações de águas residuárias. A meda com bagaço de cana-de-açúcar recebeu seis aplicações, as preparadas com filtros constituídos por sabugo de milho e serragem de madeira receberam 11 aplicações cada, a casca de arroz recebeu 14 e o fino de carvão recebeu 15 aplicações adicionais de águas residuárias de suinocultura.

Como as águas residuárias são constituídas pela mistura de fezes, urina e água de diluição (desperdiçada nos bebedouros, usadas na higienização das baias e águas pluviais), houve grande variação de suas características ao longo do experimento, conforme apresentado no Quadro 3. Apesar de essa água residuária não ter sido boa fonte de nitrogênio em comparação com dados da literatura (EPAGRI, 1995; SCHERER et al., 1995), ela proporcionou significativo enriquecimento nas medas não só com nitrogênio, mas também com vários outros elementos.

O período de monitoramento da decomposição dos materiais orgânicos foi de 152 dias, com a ressalva de que, após essa data, verificou-se, de forma geral, a ocorrência de perdas de nitrogênio nas medas.

A partir dos resultados obtidos das concentrações de carbono e de nitrogênio das amostras de material orgânico, coletadas durante o período de

monitoramento, determinou-se a taxa de decréscimo do carbono e da relação C/N e de acréscimo de nitrogênio nas medas. Os gráficos com as respectivas equações ajustadas estão apresentados nas Figuras 1, 2 e 3. Todas as curvas de concentração de carbono ao longo do período de estudo de decomposição dos resíduos foram ajustadas a modelos exponenciais, apresentando-se significâncias a 1% de probabilidade. As exponenciais decrescentes indicaram que a taxa de decomposição foi maior na fase inicial de degradação dos materiais orgânicos e decresceu com o tempo. Tais resultados, conforme PEIXOTO (1988), são justificados quando se consideram que, na fase inicial da degradação aeróbia dos resíduos orgânicos, as bactérias atuam sobre materiais de mais fácil e rápida decomposição (açúcares, amidos, proteínas simples etc.). Com o esgotamento dessas fontes, passam a atuar sobre materiais orgânicos mais complexos e de mais difícil e lenta decomposição (celulose, ligninas, gorduras etc.). A diminuição da concentração de carbono nos materiais utilizados se deve, principalmente, à liberação de CO₂ (no caso do ambiente aeróbio) como subproduto da respiração dos microrganismos.

Verificou-se que a decomposição do material orgânico foi relativamente lenta, considerando o período de tempo gasto para ocorrência de pequenos decréscimos na concentração de carbono nas medas (Figura 1). Comparando, por exemplo, a constante de decomposição obtida para o bagaço de cana-de-açúcar ($K_c = 1,42 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$), a maior dentre todas as obtidas com o valor apresentado por MATOS et al. (1998), que foi de $2,99 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$, concluiu-se que o processo de decomposição neste trabalho foi, aproximadamente, duas vezes mais lento do que o conduzido por esses autores. Acredita-se que as diferenças nas constantes de decomposição sejam devidas às diferentes condições de trabalho (tamanho das medas, a baixa temperatura interna das medas, a exposição à luz solar e a ventilação natural etc.).

As constantes de decomposição dos compostos produzidos com casca de arroz e serragem de madeira, Figura 1 (c e d), apresentaram valores similares, enquanto a do composto produzido com fino de carvão, Figura 1 (b), se apresentou bem menor que as demais ($K_c = 9,4 \times 10^{-5} \text{ d}^{-1}$). Como os valores de

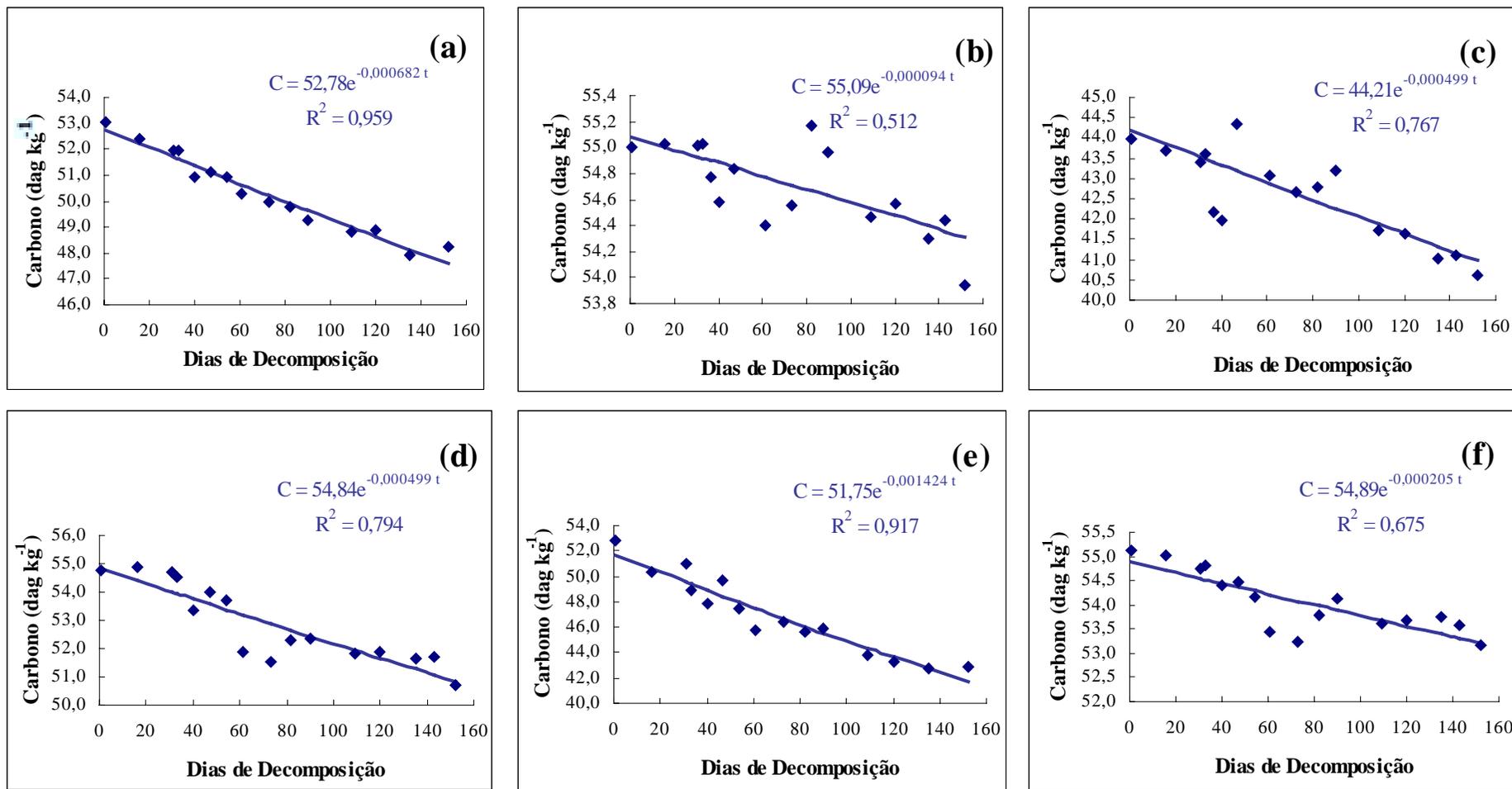


Figura 1 – Concentrações de carbono e respectivas equações de regressão dos dados obtidos durante a decomposição dos resíduos orgânicos, utilizados nos filtros de tratamento de águas residuárias da suinocultura: (a) casca de café, (b) fino de carvão, (c) casca de arroz, (d) serragem de madeira, (e) bagaço de cana-de-açúcar e (f) sabugo de milho triturado.

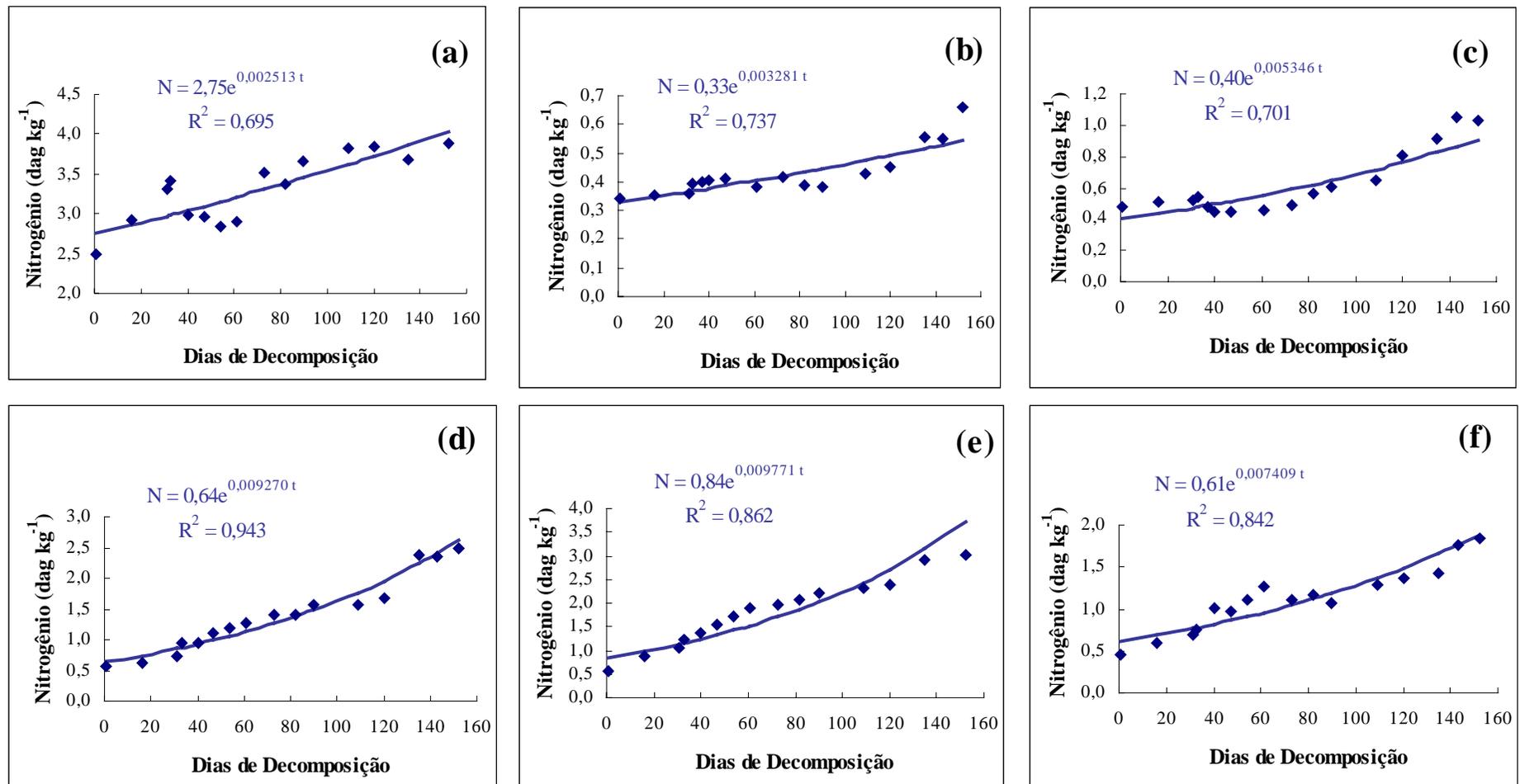


Figura 2 – Concentrações de nitrogênio e respectivas equações de regressão dos dados obtidos durante a decomposição dos resíduos orgânicos, utilizados nos filtros de tratamentos de águas residuárias da suinocultura: (a) casca de café, (b) fino de carvão, (c) casca de arroz, (d) serragem de madeira, (e) bagaço de cana-de-açúcar e (f) sabugo de milho triturado.

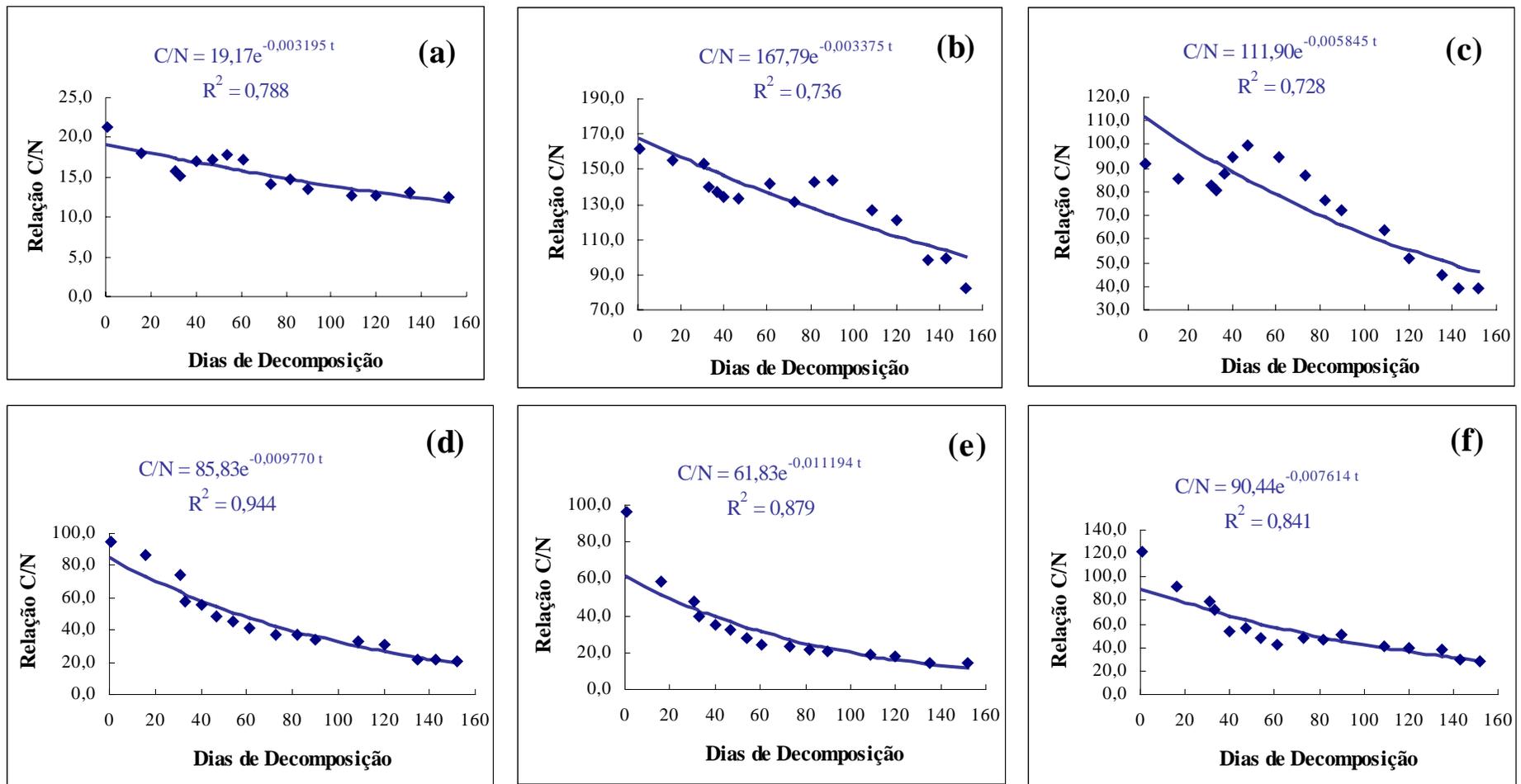


Figura 3 – Relações C/N e respectivas equações de regressão dos dados obtidos durante a decomposição dos resíduos orgânicos, utilizados nos filtros de tratamento de águas residuárias da suinocultura: (a) casca de café, (b) fino de carvão, (c) casca de arroz, (d) serragem de madeira, (e) bagaço de cana-de-açúcar e (f) sabugo de milho triturado.

K_c são indicativos da taxa na qual os materiais orgânicos são decompostos, o bagaço de cana-de-açúcar pode ser considerado o composto de mais rápida degradabilidade e o fino de carvão vegetal, o de menor degradabilidade com o tempo.

Apesar de os compostos produzidos com casca de arroz e serragem de madeira terem apresentado valores idênticos de K_c , pelo teste de igualdade dos modelos, as equações obtidas para estimar a variação da concentração de carbono em relação ao tempo de decomposição mostraram-se diferentes, a 1% de probabilidade. Comportamento similar foi observado em todas as outras equações ajustadas (Quadro 4). Essas diferenças nas equações estão associadas às concentrações iniciais de carbono nas medas, que condicionaram à obtenção de diferentes constantes.

Quadro 4 – Análise de variância para testar a igualdade dos modelos ajustados para estimativa da concentração de carbono (C), nitrogênio (N) e relação C/N das medas dos resíduos orgânicos em decomposição

Fonte de Variação	GL	QM _(C)	QM _(N)	QM _(C/N)
Parâmetros	12			
Redução (b)	2			
Redução (H ₀)	10	0,078979 *	4,481543 *	4,601062 *
Resíduo	82	0,000137	0,018817	0,020209
Total	94			

* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

No que se refere ao ajuste das equações, foi verificado que os maiores coeficientes de determinação foram obtidos da decomposição da casca de café ($R^2 = 0,959$) e do bagaço de cana-de-açúcar ($R^2 = 0,917$), coincidentemente com os materiais orgânicos que receberam menor volume de águas residuárias durante o período de monitoramento. Isso levou a crer que a instabilidade na concentração de C em algumas medas esteja associada à freqüente incorporação de águas residuárias, o que proporcionou alterações esporádicas nos valores de

concentração de C, as quais não puderam ser facilmente representadas por modelos matemáticos. A decomposição desses resíduos ocorreu normalmente, apresentando certa constância na taxa de decréscimo da concentração de carbono no material, conforme se pôde verificar pela análise das curvas obtidas. No caso dos demais resíduos, naqueles que receberam, por várias vezes, aplicações de águas residuárias da suinocultura houve maior instabilidade nas taxas de decomposição. Porém, apesar de se obterem coeficientes de determinação relativamente baixos, ainda assim os dados de concentração de carbono nesses resíduos se ajustaram melhor às curvas de modelo exponencial.

Na Figura 2 estão apresentadas as curvas referentes às concentrações de nitrogênio de cada composto produzido e as respectivas equações ajustadas. Verificou-se ajuste de equações também exponenciais, porém ao contrário do obtido da concentração de carbono, de natureza crescente.

O aumento na concentração de nitrogênio nas medas se deve, além da incorporação de águas residuárias da suinocultura, à sua concentração relativa em vista da redução da massa de material, notadamente carbono, liberado nos processos metabólicos dos microrganismos.

A curva ajustada para os dados de concentração de nitrogênio no composto orgânico produzido com casca de café, Figura 2 (a), apresentou o mais baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,695$). A instabilidade observada na concentração de nitrogênio nas medas de casca de café não deve, entretanto, estar associada à instabilidade na decomposição do material, Figura 1 (a), o que poderia proporcionar alterações na sua concentração, em virtude da eliminação de CO_2 e de outros gases do material. Esse composto recebeu apenas uma aplicação adicional de água residuária, visto que, após retirado do filtro de águas residuárias da suinocultura, já apresentava relação C/N baixa ($C/N = 15,75$). Conforme KIEHL (1998), quando a relação C/N é baixa no início do processo de compostagem, os microrganismos eliminam o excesso de N na forma de amônia. Esse fato deve ter ocorrido nesse composto, uma vez que, quando se aplicou água residuária aos 33 dias, houve pequeno aumento na concentração de nitrogênio, seguido de decréscimos nos posteriores 20 dias. A oscilação na concentração de

nitrogênio provocada por essa aplicação foi, provavelmente, o que propiciou a obtenção de baixo valor de R^2 na equação de regressão. Nos demais materiais, talvez por apresentarem mais baixas concentrações de nitrogênio, as taxas de acúmulo se tornaram mais constantes, o que proporcionou a obtenção de maiores valores de R^2 .

As tendências de redução na concentração de nitrogênio nas medas, verificadas durante o período de monitoramento, principalmente nos compostos produzidos com fino de carvão, casca de arroz e sabugo de milho, Figuras 2 (b), 2 (c) e 2 (f), podem estar associados a perdas por volatilização da amônia. Essa pode ter ocorrido em razão da manutenção de grande quantidade e por longo tempo de água residuária, reconhecidamente rica em nitrogênio, dentre os poros dos materiais orgânicos, em que o pH era neutro a levemente básico.

Os maiores valores da constante de acúmulo de nitrogênio nas medas (K_N) foram obtidos dos compostos produzidos com bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira ($9,77 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ e $9,27 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$, respectivamente). A maior capacidade de sorção de líquidos, que possibilitou maior impregnação nesses materiais, pode ser uma das razões para justificar esses resultados.

A casca de café, Figura 2 (a), apesar de ter apresentado o mais baixo valor de K_N , proporcionou significativo acúmulo de nitrogênio nas medas, valor comparativamente maior ao obtido na meda com fino de carvão. Curvas também exponenciais foram ajustadas por MATOS et al. (1998), tendo sido obtidos valores de K_N de $7,65 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ em bagaço de cana-de-açúcar e de $4,58 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$ em casca de café; em ambos os materiais orgânicos, utilizou-se água residuária da suinocultura como fonte de nitrogênio.

Na Figura 3 estão apresentadas as curvas exponenciais e as respectivas equações ajustadas para a relação C/N em função do tempo de monitoramento da decomposição. A tendência de decréscimo na relação C/N ao longo do tempo se deve, principalmente, ao decréscimo na concentração de carbono, em razão da sua liberação como subproduto final de processos metabólicos dos microrganismos.

Como pode ser observado na Figura 3 (c), houve pequena elevação nos valores da relação C/N, após a primeira aplicação de água residuária da suinocultura, que ocorreu aos 33 dias. A diminuição da concentração de nitrogênio ocorrida no mesmo período se deve, possivelmente, às já citadas perdas por volatilização.

O efeito do tipo de material no desempenho da decomposição, avaliado por testes de igualdades das equações ajustadas da relação C/N, está representado no Quadro 4, no qual se verifica que as equações se mostraram diferentes entre si, a 1% de probabilidade, no teste de igualdades. Com isso, pode-se concluir que os materiais utilizados neste experimento podem produzir adubos orgânicos de distinta qualidade como fertilizante.

No Quadro 5, encontram-se os dados das características analíticas dos compostos orgânicos produzidos com os diferentes materiais utilizados nos filtros de tratamento de águas residuárias da suinocultura.

Apesar de se observar decréscimo da relação C/N no período de estudo (Quadros 1 e 5), os compostos orgânicos produzidos apresentaram alta relação C/N, tendo em vista a sua utilização como fertilizante composto, à exceção dos compostos produzidos com casca de café e bagaço de cana-de-açúcar, conforme especificações de decretos e portarias da legislação brasileira (BRASIL, 19--).

Comparando os valores de CTC antes (Quadro 1) e depois da degradação (Quadro 5), verificou-se que houve aumento expressivo dessa característica em todo o material orgânico utilizado. Considerando a sugestão apresentada por ROIG et al. (1988), que recomendaram o uso da razão CTC/C total como índice indicativo do grau de humificação do material, a partir de 1,7, observou-se que apenas os compostos produzidos com casca de café e bagaço de cana-de-açúcar atingiram tal índice (2,94 e 1,91, respectivamente), embora o valor obtido no composto produzido com serragem de madeira não tenha sido muito menor (1,68). Numa situação intermediária, encontram-se as razões obtidas nos compostos produzidos com sabugo de milho e casca de arroz, que foram, respectivamente, 1,11 e 1,04. A situação menos satisfatória, segundo esse critério de avaliação, foi a do composto produzido com fino de carvão vegetal, no qual se obteve o valor de 0,25.

Quadro 5 – Características analíticas dos compostos produzidos com materiais orgânicos utilizados nos filtros de tratamento de águas residuárias da suinocultura*

Característica	Material Orgânico**					
	CCC	CFC	CCA	CSM	CBC	CSB
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹) ¹	90,05	97,66	72,69	92,51	78,21	97,48
Carbono total (dag kg ⁻¹) ²	50,03	54,26	40,38	51,39	43,45	54,15
N-total (dag kg ⁻¹) ³	4,06	0,46	0,83	1,80	2,41	1,39
Relação C/N	12,32	117,44	48,55	28,52	18,00	38,96
P (dag kg ⁻¹) ⁴	0,25	0,26	0,39	0,88	0,90	0,36
K (g kg ⁻¹) ⁴	36,89	5,72	7,95	18,65	21,09	10,73
Na (g kg ⁻¹) ⁴	8,39	1,10	2,61	2,90	5,79	2,77
Ca (g kg ⁻¹) ⁴	20,29	5,74	8,43	16,01	13,39	5,46
Mg (g kg ⁻¹) ⁴	5,56	1,01	2,28	3,62	3,76	2,08
Fe (mg kg ⁻¹) ⁴	1964,6	1675,1	2671,4	3603,4	9369,4	1437,1
Cu (mg kg ⁻¹) ⁴	165,99	111,95	208,57	446,69	357,09	133,38
Zn (mg kg ⁻¹) ⁴	193,39	179,82	299,01	665,91	338,88	327,32
CTC _{pH7} (cmol _c kg ⁻¹) ⁵	147,28	13,20	42,00	86,31	83,03	60,38
pH ⁶	6,87	6,90	8,11	6,51	6,37	7,17

** CCC, CFC, CCA, CSM, CBC e CSB são os compostos orgânicos produzidos, respectivamente, com casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

* Resultados expressos em relação à matéria seca a 105°C.

¹ Determinado pelo método da perda por ignição (KIEHL, 1985).

² Matéria orgânica ÷ 1,724 (KIEHL, 1985).

³ Método Kjeldahl (ALVAREZ V., 19--).

⁴ Extrator HNO₃/HClO₄.

⁵ Determinada conforme metodologia de HARADA e INOKO (1980).

⁶ pH em água, 1:2,5 .

Avaliando os valores da relação C/N em conjunto com os de CTC de cada composto (Quadros 1 e 5), observou-se que o composto produzido com bagaço de cana-de-açúcar foi o que apresentou a maior redução na relação C/N (81,25%) e o maior aumento na CTC (233,45%). No caso do composto produzido com fino de carvão, verificou-se redução de apenas 27,40% na relação C/N e 16,50% de aumento na CTC. Esses dados estão de acordo com os de HARADA e INOKO (1980), HARADA et al. (1993) e SAHARINEN (1998), que correlacionaram o grau de maturidade de compostos não só com a relação C/N, como também com o aumento da CTC.

Embora o composto produzido com casca de café, a princípio, pareça ser o material com maior grau de maturação, pois apresentou a maior relação CTC/C total, ele apresentou aumentos menos expressivos na CTC que o bagaço de cana-de-açúcar, a serragem de madeira e o sabugo de milho triturado, que foram, respectivamente (em %), 233,45; 128,51; e 136,69, sendo o da casca de café de apenas 99,89. Esses resultados estão, provavelmente, associados às características físico-químicas de cada material, ou seja, a casca de café, após sair das colunas de filtragem, já apresentavam valores mais elevados de CTC (Quadro 1).

As concentrações de N encontradas nos materiais analisados após a degradação (Quadro 5), com exceção do fino de carvão, foram relativamente altas, embora se saiba que a maior parte desse nutriente se encontra na forma orgânica, havendo necessidade de sua mineralização para que possa ser disponibilizado às plantas (OLIVEIRA, 1993).

Comparando os valores do Quadro 1 com os do Quadro 5, pôde-se verificar que, dentre os elementos analisados, o que apresentou, de forma geral, maior percentagem de aumento foi o magnésio, tendo observado aumento de até 3.200% no composto produzido com serragem de madeira.

Apesar de observar enriquecimento químico de todos os materiais orgânicos, verificou-se grande diferença no tipo de nutriente enriquecido. O fino de carvão, por exemplo, apresentou maior aumento da concentração de micro (Cu, Fe e Zn) e de alguns macronutrientes (Mg e P). Acredita-se que a baixa

capacidade de absorção de água pelo fino de carvão tenha prejudicado a retenção dos outros nutrientes, principalmente os mais solúveis. Como o número de aplicações de águas residuárias foi maior, pode ter havido lixiviação dos íons mais móveis no fundo das medas, ficando retidos no plástico, visto que não havia nenhum tipo de dreno nas medas.

A serragem de madeira teve as concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumentadas de forma mais significativa, enquanto o composto produzido com bagaço de cana-de-açúcar apresentou maior retenção de nitrogênio e sódio. Apesar disso, os compostos orgânicos produzidos com serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar apresentaram algumas características químicas muito semelhantes.

De forma geral, grande enriquecimento ocorreu nos compostos orgânicos com os micronutrientes Cu e Zn. Essa constatação requer maior cuidado na determinação das doses de compostos orgânicos produzidos com águas residuárias da suinocultura, a serem utilizados para fins agrícolas. Considerando que os limites máximos apresentados na literatura para a concentração de Cu e Zn em compostos orgânicos são, respectivamente, de 750 mg kg⁻¹ e 1.400 mg kg⁻¹ (WA DOE "Interim Guidelines for Compost Quality", citado por BEAVER, 1994) e que as concentrações máximas de Cu e Zn foram, respectivamente, de 446,69 e 665,91 mg kg⁻¹, na matéria seca a 105°C, entende-se que as concentrações desses metais se situam dentro de padrões muito seguros para utilização desses compostos orgânicos na agricultura.

De acordo com decretos e portarias da legislação brasileira (BRASIL, 19--), apenas os compostos produzidos com casca de café e bagaço de cana-de-açúcar apresentam as especificações determinadas para comercialização como fertilizante composto. Porém, o composto orgânico produzido com sabugo de milho e serragem de madeira só não se enquadra como fertilizante composto no que diz respeito à relação C/N. Na verdade, esse parâmetro deveria ser reavaliado, pois, conforme discutido anteriormente, outras variáveis também deveriam ser consideradas para indicação do potencial fertilizante de um composto orgânico. Os compostos orgânicos produzidos com casca de arroz e

fino de carvão, ao contrário, além de não possuírem adequadas relações C/N, também não apresentaram o mínimo necessário de nitrogênio total, o que os tornam inadequados para comercialização como fertilizante composto.

O composto orgânico produzido com casca de café foi o que apresentou menor alteração na relação C/N, entretanto atingiu condições mais adequadas para ser considerado fertilizante composto, segundo a legislação brasileira. O composto orgânico produzido com fino de carvão, ao contrário, apresentou brusco decréscimo na relação C/N, porém, aos 152 dias de decomposição, ainda apresentava valores muito altos para C/N, não podendo ser comercializado como fertilizante composto. Desempenhos muito satisfatórios foram obtidos com o uso da serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar. Esses materiais apresentaram, ao final do período de 152 dias, valores de relação C/N próximos de 20 e possibilitaram o acúmulo de quantidade considerável de nitrogênio. Por essa razão, entende-se que, dentre os materiais orgânicos utilizados como filtro no tratamento de águas residuárias da suinocultura, a casca de café, o bagaço de cana-de-açúcar e a serragem de madeira (ainda que o último não tenha alcançado a relação C/N exigida por lei) são os que melhores condições apresentaram, do ponto de vista de posterior aproveitamento agrícola. Acredita-se que esses materiais sejam de maior higroscopicidade, daí a possibilidade de sorverem maior quantidade de nutrientes das águas residuárias.

5. CONCLUSÕES

Tendo por base os resultados alcançados e considerando as condições em que o estudo foi realizado, pode-se concluir que:

- As constantes de decomposição do material orgânico, como redução do carbono, acúmulo do nitrogênio e redução da relação C/N, foram diferenciadas nos materiais orgânicos utilizados.

- Como os valores de K_c são indicativos da taxa na qual os materiais orgânicos são decompostos, o bagaço de cana-de-açúcar pode ser considerado o material orgânico de mais rápida degradabilidade e o fino de carvão vegetal, o de menor degradabilidade com o tempo.

- Os compostos orgânicos produzidos com casca de arroz e fino de carvão não alcançaram maturidade no período de 152 dias, porém ficaram enriquecidos, quimicamente, após sucessivas aplicações de águas residuárias da suinocultura.

- Apesar de a água residuária da suinocultura ser relativamente rica em metais pesados, como cobre e zinco, as concentrações totais desses metais nos compostos orgânicos produzidos situavam-se dentro dos padrões de segurança para utilização na adubação de culturas agrícolas.

- De acordo com a legislação brasileira, referente à comercialização de fertilizantes, apenas os compostos produzidos com casca de café e bagaço de cana-de-açúcar apresentaram as especificações determinadas para comercialização como fertilizante composto.

- O sabugo de milho e a serragem de madeira apresentaram bom potencial para uso na compostagem e produção de fertilizantes orgânicos. Os compostos produzidos com casca de arroz e fino de carvão, além de não possuírem adequada relação C/N, também não apresentaram o mínimo exigido de nitrogênio total para comercialização.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DO VALOR FERTILIZANTE DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS NA PRODUÇÃO DE ALFACE

1. INTRODUÇÃO

A utilização de adubos orgânicos na agricultura brasileira é prática antiga, mas a intensidade de utilização foi relativamente pequena, no período 1950-80, devido à intensificação da adubação mineral. O aumento das pesquisas com fertilizantes minerais, cujos efeitos imediatos sobre a produtividade eram marcantes, reduziu consideravelmente os trabalhos com adubação orgânica (IGUE e PAVAN, 1984). A crise do petróleo e a recessão econômica mundial renovaram, entretanto, o interesse pelo assunto, como forma alternativa de substituir insumos agrícolas cada vez mais caros. Trabalhos com lodos de esgoto, lixo urbano compostado e resíduos agroindustriais, como a vinhaça, tomaram impulso em razão da necessidade de minimizar os problemas ambientais causados e em consideração ao valor fertilizante que esses resíduos contêm.

Nos últimos anos, a preocupação pelo uso e pela reciclagem de resíduos orgânicos para produção de biomassa e energia tem crescido em nível mundial, razão por que surgiram inúmeros estudos sobre o assunto. Os defensores da

chamada agricultura “orgânica”, “biológica” ou “ecológica” vêm crescendo no país e no mundo.

O uso agrícola de resíduos urbanos e agroindustriais tem sido experimentado, e várias pesquisas revelaram técnicas de tratamento, além de vantagens e desvantagens de seu aproveitamento. A matéria orgânica e os nutrientes presentes nesses resíduos podem incrementar a produção agrícola, além de constituir um meio de lhes proporcionar destinação final. Entretanto, não se conhecem a quantidade e a frequência com que os resíduos orgânicos devem ser aplicados ao solo, a fim de não haver comprometimento ambiental e proporcionar bons rendimentos e qualidade dos vegetais. As doses de compostos orgânicos a serem incorporadas variam com tipo de solo, composição dos resíduos, condições climáticas e espécies vegetais cultivadas, entre outros (FREITAS et al., 1995).

No Brasil, ainda são escassos dados experimentais a respeito da composição química desses resíduos, da frequência de aplicação, do potencial de veiculação e da acumulação de metais pesados no ambiente, o que permitiria estabelecer limites seguros para seu uso na adubação de culturas agrícolas.

Como toda olerícola, a alface é muito exigente quanto à qualidade do solo, tanto em relação às características químicas quanto físicas. Nesse sentido, a fertilização constitui, sem dúvida, a prática agrícola mais cara e, ao mesmo tempo, de maior retorno econômico, visto que permite, além de maiores rendimentos, a obtenção de um produto com aspecto melhor, mais uniforme e, conseqüentemente, de maior valor comercial.

Não obstante às adubações maciças que costumam ser realizadas, a alface pode apresentar sintomas de deficiência ou de toxicidade, causados por desequilíbrios nutricionais. A utilização de adubos orgânicos pode reduzir as quantidades de fertilizantes minerais a serem aplicadas. Entretanto, apesar dos efeitos benéficos dos compostos orgânicos como corretivos e fertilizantes de solos, a sua aplicação agrícola sem critério deve ser evitada devido aos problemas de aumento da salinidade dos solos, imobilização do nitrogênio, disseminação de organismos causadores de doenças e componentes orgânicos

tóxicos e riscos potenciais proporcionados pela incorporação de metais pesados no meio, dentre outros (BRITO, 1995). Assim, a crescente utilização de compostos e materiais orgânicos na agricultura determina que se quantifiquem o valor fertilizante e os riscos ecológicos da utilização desse material.

No presente trabalho, buscou-se avaliar o valor fertilizante e a possível contaminação do solo e das plantas da alface com cobre e zinco, cultivadas com doses crescentes dos compostos orgânicos produzidos a partir do material utilizado na filtração de águas residuárias da suinocultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Adubos orgânicos

Adubo orgânico pode ser definido como todo produto de origem vegetal ou animal que, quando aplicado ao solo em quantidades, épocas e de forma adequada, proporciona melhorias de suas qualidades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas, causando atenuação de toxicidade e fornecendo nutrientes suficientes para produzir colheitas compensadoras, o que resultou na obtenção de produtos de boa qualidade, sem causar danos ao solo, à planta ou ao ambiente (KIEHL, 1985).

Diversos autores têm sustentado que os solos bem supridos de matéria orgânica tornam-se mais férteis que os tratados com adubos minerais (STEVENSON, 1982; MELLO, 1983; KHATOUNIAN, 1994). O uso de fertilizantes minerais tem sido questionado, já que, muitas vezes, estes podem interferir, de forma negativa, nos processos naturais dos ecossistemas, resultando na contaminação de águas superficiais, como é o caso de excessos de adubos nitrogenados. Além disso, aspectos qualitativos importantes da produção vegetal passaram a ser desconsiderados com o uso intensivo de adubos minerais. Por essas razões, retornou-se o interesse pela adubação orgânica, porque se

reconheceu a sua participação na melhoria das qualidades do solo e da planta (QUIJANO, 1999).

Na maioria dos trabalhos, tem-se buscado verificar o efeito dos adubos orgânicos sobre a produtividade, geralmente comparando com adubação mineral (NPK), completa ou incompleta, e incluindo corretivos de solo. A maioria dos estudos contempla a avaliação dos efeitos da adubação, tanto mineral como orgânica, em relação à testemunha, sendo, entretanto, as diferenças obtidas variáveis conforme as características do solo, das plantas e do local de estudo. Como grande parte dos estudos foi conduzida isoladamente, para testar diferentes fontes e por faltarem, em muitos casos, informações complementares sobre o conteúdo de matéria orgânica no solo, teores de nutrientes da fonte utilizada e a sua equivalência em relação aos adubos minerais, tornam-se difíceis a interpretação e a generalização dos resultados (IGUE e PAVAN, 1984).

São vários os adubos orgânicos que podem ser utilizados na agricultura como fonte de nutrientes. O principal material orgânico disponível nas propriedades agrícolas são os esterco de animais e os resíduos de culturas. Em geral, os esterco são constituídos de fezes e urina de animais, às vezes em mistura com maravalha, palha ou outros resíduos usados como “cama”.

Para uma mesma quantidade de nutrientes requerida pelas plantas, necessita-se aplicar maior volume de adubo orgânico em relação ao adubo mineral, devido à menor concentração de nutrientes e à necessidade de mineralização do material orgânico para sua disponibilização.

2.1.1. Efeitos dos fertilizantes orgânicos sobre solos e plantas

Toda fonte de matéria orgânica, incorporada ou não, provoca mudanças nas características físicas, químicas e biológicas do solo, ao longo do tempo.

Segundo SCHERER et al. (1984), os adubos orgânicos apresentam, em geral, maior efeito residual no solo que os de origem mineral. Isso é explicável pela lenta mineralização dos compostos, tornando os nutrientes disponíveis em maior espaço de tempo. MUZILLI (1986) relatou que os materiais de relação

C/N mais ampla permitem maior efeito agregante devido à decomposição mais lenta e à formação de maior quantidade de compostos intermediários.

ERNANI (1984), citando vários autores, relatou que alguns nutrientes contidos em materiais orgânicos se tornam disponíveis mais rapidamente que outros, pois as frações orgânicas oferecem diferentes resistências à decomposição. A fração nitrogenada é das primeiras a ser decomposta, e sua taxa de mineralização varia com a natureza dos materiais, com o tipo de solo, com a temperatura e com a atividade microbiana.

Os fertilizantes orgânicos constituem fonte de energia e nutrientes para os microrganismos, mantendo o solo em constante dinamismo, o que tende a melhorá-lo fisicamente e, por conseqüência, favorecer o desenvolvimento vegetal. Daí, a matéria orgânica ser denominada de condicionadora do solo (KIEHL, 1985; RICCI, 1993).

Do ponto de vista físico, os fertilizantes orgânicos proporcionam diminuição da plasticidade e coesão do solo, favorecendo a formação de agregados e diminuição da densidade do solo, com aumento da macroporosidade e da porosidade total. Com isso, promovem maior infiltração, retenção de água e condições mais favoráveis à aeração, proporcionando maior penetração e distribuição do sistema radicular no horizonte B (KIEHL, 1985; RICCI, 1993; SHARMA et al., 1988).

Os resíduos orgânicos atuam como reservas de macro e micronutrientes que, após a mineralização do material orgânico, tornam-se disponíveis para absorção pelas raízes. A propriedade da fração húmica de complexar elementos tóxicos às plantas, como alumínio, manganês e metais pesados, permite que, durante o período da mineralização, sejam diminuídos os efeitos fitotóxicos desses elementos (RODRIGUES, 1990; BRACCINI et al., 1995).

A disponibilidade de vários nutrientes é também melhorada pelas alterações que os adubos orgânicos promovem no pH do solo. Entretanto, apesar de evidentes, as relações entre a matéria orgânica e a acidez dos solos são ainda muito questionadas. MAZUR et al. (1983) observaram que a aplicação de 30 t ha⁻¹ de composto de lixo urbano elevou o pH de 5,2 para 5,7 e reduziu a concentração

média de alumínio trocável de 0,55 para 0,12 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Estudos realizados por CLARK et al. (1967) relataram que o pH, dependendo da capacidade de troca de cátions do solo, esteve altamente correlacionado com a quantidade de matéria orgânica em decomposição. EIRA e CARVALHO (1970) verificaram que diferentes fontes de carbono, quando adicionadas separadamente ao solo, alteraram significativamente o seu pH inicial; entretanto, também foram observadas, com o decorrer do tempo, variações do pH, devido à decomposição dessas fontes pela microbiota do solo. Além disso, estes autores observaram que, dependendo do resíduo aplicado, pode ocorrer aumento ou redução na acidez do solo (BRACCINI et al., 1995).

As hortaliças pertencem ao grupo de culturas que mais respondem à adubação orgânica, tanto na produtividade quanto na qualidade do produto colhido. Os efeitos benéficos da adição de resíduos orgânicos ao solo são observáveis desde o início do crescimento das culturas (FREITAS et al., 1995).

Quanto aos aspectos qualitativos dos vegetais, os fertilizantes orgânicos são muito importantes. Aumentos nas concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn foram observados nas folhas de alface adubadas com resíduos orgânicos (NAKAGAWA et al., 1992; VIDIGAL et al., 1995). BAKR e GAWISH (1997) observaram que alface cultivada com esterco de animal apresentou maior teor de vitaminas e concentração de minerais e menor teor de nitrato.

2.1.1.1. Desequilíbrios entre nutrientes causados pelos adubos orgânicos

Os adubos orgânicos, além de possuírem concentrações de nutrientes menores que as presentes em adubos minerais, dependem da mineralização para se tornarem disponíveis às plantas, sendo, por isso, utilizados em doses bem maiores. Entretanto, doses excessivamente altas podem provocar desequilíbrios nas concentrações de certos nutrientes do solo, prejudicando a nutrição de plantas.

Segundo RODRIGUES (1995), a imobilização, ou insuficiência, de N inorgânico pode ocorrer quando um fertilizante orgânico, com alta relação C/N, é

aplicado ao solo. Os microrganismos, além de reciclarem o N das frações microbianas mortas, retiram N do solo, podendo imobilizar a fração inorgânica ou o N liberado com a decomposição da matéria orgânica nativa do solo. De modo geral, se a relação C/N do adubo orgânico for maior que 30/1, ocorrerá imobilização e, se for menor que 20/1, mineralização do N.

Plantas cultivadas em solos salinos estão submetidas a duas condições que lhes são desfavoráveis: alta pressão osmótica provocada pelos sais, o que promove baixo potencial hídrico e altas concentrações de íons potencialmente tóxicos. Resíduos orgânicos constituídos de esterco de aves, de suínos e de bovinos, principalmente aqueles mantidos em sistemas confinados de criação e alimentados com rações concentradas, tendem a possuir maiores concentrações de sódio e potássio e, por isso, podem, quando aplicados em doses elevadas, provocar aumentos de salinidade no solo (RODRIGUES, 1995).

Os adubos orgânicos podem promover desequilíbrios nas relações entre K, Na e Ca, tornando-se inadequados como fertilizante para as plantas. Segundo MARSCHNER (1986), o cálcio pode ser substituído por outros cátions nos sítios de absorção da membrana plasmática, em células radiculares. RODRIGUES (1990) observou que doses de adubos orgânicos que proporcionaram condutividades elétricas superiores a 4 dS m^{-1} no solo promoveram competição de K e Na com o Ca em relação à absorção pelas plantas de alface.

2.2. A cultura da alface

A alface pertence à família botânica Cichoriacea, da ordem Asterales e da classe Magnoliatae, sendo o nome da espécie cultivada *Lactuca sativa* L. (SONNENBERG, 1985). Planta herbácea, anual e muito delicada possui raízes do tipo pivotante, com abundantes ramificações. O caule é diminuto, não-ramificado, ao qual se fixam as folhas. Estas são grandes, lisas ou crespas, fechando-se, ou não, na forma de uma cabeça. A coloração varia da verde-amarelada à verde-escura, mas alguns cultivares apresentam as margens arroxeadas (FERNANDES e MARTINS, 1999).

A alface é a mais popular das hortaliças, sendo cultivada em quase todas as regiões do globo terrestre (GARCIA et al., 1982a; FERREIRA et al., 1993; VIDIGAL et al., 1997). Em nível econômico, ocupa o décimo lugar entre as hortaliças (CAMARGO, 1984) e se destaca por ser a folhosa de maior aceitação pelos consumidores. Por apresentar ciclo curto, a alface é considerada exigente em nutrientes e, por ser uma hortaliça de produção de folhas, responde preferencialmente ao fornecimento de nitrogênio. Geralmente, elevadas produtividades de alface têm sido obtidas com aplicação no solo de 80 a 160 kg ha⁻¹ de N, 100 a 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 75 a 150 kg ha⁻¹ de K₂O (NICOULAUD et al., 1990).

HAWORTH e CLEAVER (1967), comparando a ausência e a presença de 50 t ha⁻¹ de esterco bovino associada à adubação mineral com NPK, observaram que a adubação com esterco bovino promoveu aumentos no peso das plantas de alface, na uniformidade do "stand" e nas concentrações de fósforo e potássio nas plantas. As concentrações de cálcio e nitrogênio nas folhas não estiveram diferentes, enquanto a de magnésio decresceu. Na presença de esterco bovino, as plantas atingiram o tamanho adequado para comercialização de cerca de oito dias antes das que não receberam esterco. Blanc et al. (1983), citados por RODRIGUES (1990) e VIDIGAL et al. (1995), comparando níveis equivalentes de fertilizantes minerais e de esterco de curral, observaram que a aplicação de esterco bovino proporcionou aumento no tamanho das plantas de alface, no conteúdo de matéria seca, e nos teores de Ca, Mg e B. Avaliando o efeito residual de doses de composto orgânico (0, 40, 80, 160 e 200 m³ ha⁻¹, correspondentes a 0,00; 7,39; 14,78; 29,56; e 36,95 t ha⁻¹ de matéria seca, respectivamente), VIDIGAL et al. (1995) verificaram aumentos lineares dos pesos médios da matéria fresca, da matéria seca e do diâmetro da cabeça da alface. As concentrações foliares de nitrogênio, fósforo e potássio aumentaram, e a de cálcio diminuiu com a elevação das doses aplicadas.

A liberação de nitrogênio de compostos orgânicos pela atividade microbiana é relativamente lenta, reduzindo as perdas potenciais por lixiviação, uma vez que as plantas são capazes de absorvê-lo à medida que é disponibilizado

no solo. Maynard (1993), citado por MAYNARD (1994), encontrou concentrações de quase 15 mg kg^{-1} de nitrato (NO_3^-) na solução do solo, quando adubados com fertilizante NPK nas doses recomendadas para a cultura. Em canteiros adubados com 112 t ha^{-1} de composto orgânico, preparado com resíduos da produção de cogumelos ou composto de adubo de galinha, aquele mesmo autor encontrou, em solução, concentrações de apenas $5\text{-}6 \text{ mg kg}^{-1}$ de nitrato.

O alto conteúdo de nitrato em produtos alimentares é considerado risco em potencial à saúde do consumidor. Segundo DELISTOIANOV (1997), o efeito mais significativo causado pela ingestão do nitrato é a metaemoglobinemia. Esta ocorre quando o nitrato é reduzido a nitrito no trato digestivo. O nitrito, uma vez na corrente sanguínea, pode oxidar íons ferrosos da hemoglobina, convertendo-a em metaemoglobina, a qual é incapaz de transportar oxigênio aos tecidos para a respiração celular normal. Essa doença é mais comum em recém-nascidos.

Como efeito indireto, o nitrito produzido no estômago pode reagir com aminas secundárias, em condição de baixo pH, formando compostos nitrosos, como as nitrosaminas, os quais têm se mostrado carcinogênicos.

Em alguns países como a Alemanha e a Grã-Bretanha, têm-se verificado que 70% do nitrato ingerido pela população origina-se de hortaliças. Por essa razão, alguns países europeus têm estabelecido limites para as concentrações de nitrato em produtos agrícolas “in natura”, destinados ao consumo humano (DELISTOIANOV, 1997). Na Alemanha, a concentração máxima de nitrato permitida é de 3.000 mg kg^{-1} de matéria fresca, enquanto na Suíça pode chegar a 4.500 mg kg^{-1} (FERREIRA et al., 1993). No Brasil, não se tem conhecimento da existência de uma legislação limitando a concentração de nitrato em produtos olerícolas comercializados (DELISTOIANOV, 1997).

O acúmulo de nitrato nas plantas, segundo DELISTOIANOV (1997), é resultado de excesso de absorção em relação à redução e à assimilação. Vários fatores influenciam a concentração de nitrato nos tecidos vegetais, como espécie, variedade, estado nutricional da planta, luz, temperatura, horário da colheita e, principalmente, concentração de nitrato no meio de crescimento.

Gysi et al. (1986), citados por RODRIGUES (1990), mencionaram que a elevação dos níveis de nitrato em folhas de alface está relacionada, principalmente, com a diminuição da fonte luminosa e com aumentos na disponibilidade de nitrogênio solúvel no solo. Aqueles autores, comparando adubação mineral com orgânica, observaram que, nos tratamentos com adubação mineral, as concentrações de nitrato no tecido vegetal da alface foram menores no verão e maiores no inverno. Nos cultivos em que foi aplicado adubo orgânico, as plantas acumularam menos nitrato no tecido vegetal do que quando foi utilizada adubação mineral. No verão, não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos.

2.2.1. Exigências nutricionais

O acúmulo de nutrientes em alface é lento até cerca de 30 dias após a emergência, aumentando rapidamente após esse período (PARENTE FILHO et al., 1993).

A necessidade de nutrientes difere entre as cultivares. Segundo GARCIA et al. (1982a e b), as cultivares Brasil 48 e Clause's Aurélia apresentam diferença no acúmulo de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, sendo a cultivar Brasil 48 a mais exigente em nitrogênio, potássio e micronutrientes. FERNANDES et al. (1971) observaram que uma planta de alface, cultivar Vitória de Santo Antão, com peso de matéria seca de 10,20 g planta⁻¹ aos 65 dias, contém 536 mg de potássio, 224 mg de nitrogênio, 140 mg de cálcio, 46 mg de magnésio e 32 mg de enxofre. KATAYAMA (1993) comentou que as extrações de NPK, em kg ha⁻¹, podem chegar a 106,4 de N, 30,2 de P e 233 de K.

Sendo a alface planta constituída basicamente de folhas, a cultura responde mais ao fornecimento de nitrogênio. Por ser o nitrogênio muito suscetível à lixiviação e pelo fato de a cultura absorver cerca de 80% do total extraído nas últimas quatro semanas do ciclo (KATAYAMA, 1993), a adubação nitrogenada da alface deve ser feita com cuidado e precisão. A deficiência de N

em alface retarda o crescimento da planta e induz a ausência ou a malformação da cabeça, e as folhas mais velhas tornam-se amareladas e desprendem-se da planta com facilidade (GARCIA et al., 1982a). A adubação fosfatada também proporciona aumento da produtividade da alface, porém o seu efeito é menor (FILGUEIRA, 1982). Com relação ao cálcio, sua deficiência causa a queima-das-pontas em folhas novas e lesões necróticas nos ápices das folhas mais novas (GARCIA et al., 1988). Dados médios das concentrações de nutrientes nas folhas têm apontado valores, em dag kg^{-1} , de 4,0 a 5,0 de N; 0,4 a 0,6 de P; 6,0 a 7,0 de K; 1,28 a 3,50 de Ca; e 0,2 a 0,8 de Mg, enquanto a concentração de micronutrientes, em mg kg^{-1} , foi de 8,0 a 25 de Cu; 50 a 820 de Fe; e 25 a 250 de Zn (FURLANI et al., 1978; NAKAGAWA et al., 1989; JONES JÚNIOR et al., 1991).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição do experimento

O experimento foi conduzido com a cultura da alface, cultivar Brasil 303, em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, no período de 12 de maio a 24 de julho de 1999.

Foram utilizados vasos de polietileno rígido, com capacidade de 5 dm³ e materiais de solo, coletado do horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo das imediações do "Tiro-de-Guerra", em Viçosa, MG. O solo foi secado ao ar e passado em peneira de 4 mm de malha. Algumas características físicas e químicas desse solo estão apresentadas no Quadro 6.

Amostras do solo, retiradas à profundidade de 0-20 cm, foram submetidas a tensões de 100 kPa para determinação da capacidade de campo, necessária para se estabelecer a lâmina d'água a ser aplicada em cada vaso no momento da irrigação.

Os vasos foram preenchidos com 4,5 dm³ de solo, e o pH foi corrigido, vaso a vaso, com carbonato de cálcio p.a., em todos os tratamentos para elevar o pH a 6,5. Para isso, utilizou-se a curva de neutralização do pH ajustada para esse solo, representada pela equação de regressão: $y = 0,00153 X^3 - 0,0414 X^2 + 0,46564 X + 4,57318$, obtida por MATOS (1995), em que y corresponde à dose

Quadro 6 – Características químicas, físicas e físico-químicas do solo utilizado como substrato

Características	Valor
pH em água ¹	4,2
P disponível (mg dm ⁻³) ²	2,70
K trocável (mg dm ⁻³) ²	6,00
Na trocável (mg dm ⁻³) ²	5,70
Zn trocável (mg dm ⁻³) ²	0,85
Fe trocável (mg dm ⁻³) ²	235,90
Cu trocável (mg dm ⁻³) ²	0,34
Ca trocável (cmol _c dm ⁻³) ³	0,10
Mg trocável (cmol _c dm ⁻³) ³	0,00
Al trocável (cmol _c dm ⁻³) ³	1,50
H + Al (cmol _c dm ⁻³) ⁴	10,90
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	0,50
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	2,00
CTC a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	11,40
Saturação de alumínio (%)	92,60
Carbono orgânico (dag kg ⁻¹) ⁵	2,69
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹) ⁶	4,26
Massa específica (kg dm ⁻³) ⁷	1,06
Areia grossa (dag kg ⁻¹) ⁸	20
Areia fina (dag kg ⁻¹) ⁸	11
Silte (dag kg ⁻¹) ⁹	7
Argila (dag kg ⁻¹) ⁹	62
Classe textural	Muito argiloso

¹ pH em água - Relação 1:2,5 (EMBRAPA/CNPS, 1997).

² Extraídos com o extrator: Mehlich 1 e determinados conforme o método descrito por DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

³ Extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados conforme DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

⁴ Extraído com acetato de cálcio 1 mol L⁻¹, pH 7,0 (EMBRAPA/CNPS, 1997).

⁵ Determinado pelo método de YEOMANS e BREMNER (1988).

⁶ Matéria orgânica- Corg x 1,724.

⁷ Determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA/CNPS, 1997).

⁸ Determinada por tamização (EMBRAPA/CNPS, 1997).

⁹ Método da pipeta, após dispersão com NaOH 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA/CNPS, 1997).

de carbonato de cálcio ($t\ ha^{-1}$) e X corresponde ao pH desejado. Os corretivos foram misturados ao solo 30 dias antes do transplântio das mudas.

As características dos compostos orgânicos, produzidos com materiais utilizados dos filtros de tratamento de águas residuárias da suinocultura, estão apresentadas no Quadro 5, enquanto as doses de compostos orgânicos incorporadas aos vasos estão apresentadas no Quadro 7. As doses de compostos orgânicos foram calculadas com base na massa seca ($105^{\circ}C$), em termos de N total, equivalentes a uma, duas e quatro vezes à da adubação nitrogenada mineral recomendada pela COMISSÃO...- CFSMG (1989) para a cultura da alface ($120\ kg\ ha^{-1}$). A incorporação dos compostos ao solo foi feita manual e individualmente, para garantir melhor homogeneização, sendo, então, a mistura colocada nos vasos 21 dias antes do transplântio, a fim de proporcionar maior adaptação dos microrganismos. Além dos tratamentos com os compostos orgânicos produzidos, foram inseridos dois tratamentos adicionais: um na ausência de adubação, que foi denominado testemunha absoluta (TA), e outro de adubação mineral convencional, denominado testemunha química (TQ).

Quadro 7 – Doses dos fertilizantes orgânicos, em base seca ($105^{\circ}C$), incorporados ao solo para o cultivo da alface

Composto orgânico	Dose 1	Dose 2	Dose 4
	----- $t\ ha^{-1}$ -----		
CCC	2,96	5,92	11,84
CFC	26,04	52,08	104,16
CCA	14,46	28,92	57,84
CSM	6,68	13,36	26,72
CBC	4,98	9,96	19,92
CSB	8,66	17,32	34,64

Em que CCC, CFC, CCA, CSM, CBC e CSB são os compostos orgânicos produzidos, respectivamente, com casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

A semeadura da alface foi realizada em 12.05.1999, em bandejas de isopor contendo vermiculita. Semearam-se duas a três sementes por célula, e o desbaste foi realizado sete dias após a semeadura, deixando-se uma planta por célula. As bandejas foram irrigadas com solução nutritiva, constituída de 750 mg de nitrato de cálcio, 500 mg de nitrato de potássio, 150 mg de monoamôniofosfato, 400 mg de sulfato de magnésio, 40 mg de tenso-Fe, 1,5 mg de sulfato de manganês, 1,5 mg de ácido bórico, 0,5 mg de sulfato de zinco, 0,15 mg de sulfato de cobre e 0,15 mg de molibdato de sódio para cada dm^3 de água. O transplântio foi feito 27 dias após a semeadura, com uma muda por vaso.

Os vasos foram arranjados no delineamento inteiramente casualizado, sobre bancadas, em casa de vegetação. O experimento foi estabelecido em esquema fatorial, formado pela combinação de seis tipos de compostos orgânicos e três doses de adubação, além da testemunha absoluta e da adubação mineral convencional, com quatro repetições para cada tratamento.

Durante todo o experimento, a temperatura da casa de vegetação foi monitorada por meio de leituras diárias, em termômetros de máxima e mínima, sendo essas plotadas em um gráfico apresentado na Figura 4. Os níveis de umidade do solo foram mantidos próximos à capacidade de campo. Colocaram-se pratos coletores sob os vasos, e a irrigação foi feita com água destilada, por capilaridade, a fim de evitar possíveis perdas de nutrientes por lixiviação.

Para testemunha com adubação mineral, utilizaram-se o equivalente a 750 kg ha^{-1} de 4-14-8 (375 mg dm^{-3} de 4-14-8), aplicados um dia antes do transplântio das mudas, e duas adubações de cobertura de 30 kg ha^{-1} de N (15 mg dm^{-3} de N) cada, aplicadas 15 e 30 dias após o transplântio. A fonte de N para adubação de cobertura foi o sulfato de amônio ($70,75 \text{ mg dm}^{-3}$).

3.2. Avaliação da produção de alface

A colheita foi realizada, nas primeiras horas da manhã, aos 46 dias após o transplântio. As plantas foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com ventilação forçada a 65°C , durante 72 horas, para determinação da matéria seca.

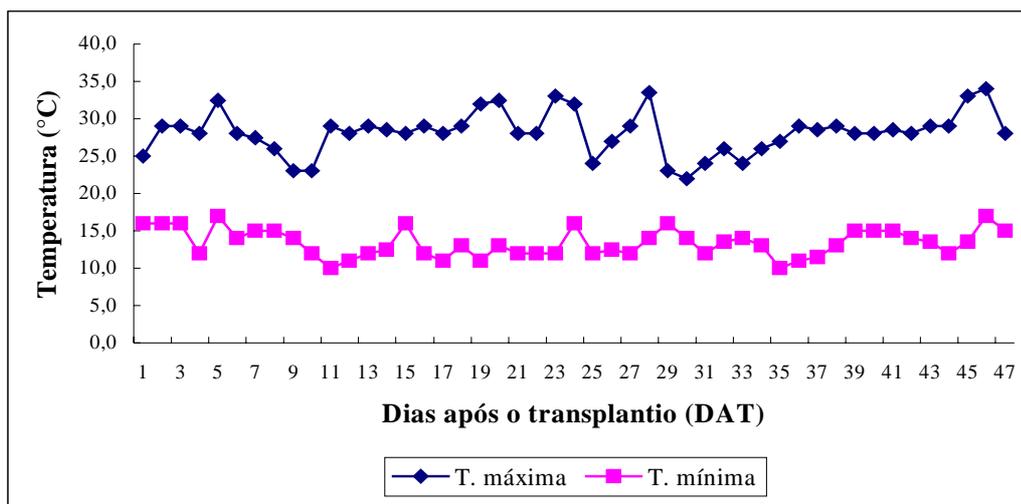


Figura 4 – Temperaturas máxima e mínima diárias, obtidas durante o período de cultivo da alface, no interior da casa de vegetação.

As raízes foram separadas do substrato por peneiramento, cuidadosamente lavadas com água corrente e, posteriormente, enxaguadas com água destilada. Essas raízes foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com ventilação forçada a 65°C, por 72 horas, para determinação da matéria seca.

A produção de matéria seca da alface foi avaliada pela soma da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular.

3.3. Análises químicas

3.3.1. Análises na planta

As análises químicas da parte aérea e do sistema radicular foram feitas separadamente, e as avaliações foram realizadas a partir de sua soma, ou seja, da planta como um todo. Os materiais secos da parte aérea e do sistema radicular foram moídos em moinho tipo Wiley para, após digestão nítrico-perclórica, a determinação das concentrações de P, K, Na, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn. O fósforo foi determinado pelo método do ácido ascórbico, com leitura em colorímetro de

fluxo contínuo; o potássio e o sódio, por fotometria de chama; o cálcio, magnésio, cobre, ferro e zinco, por espectrofotometria de absorção atômica; e o nitrato foi determinado por colorimetria, segundo a metodologia de CATALDO et al. (1975) e, após a digestão sulfúrica, o N-total foi determinado pelo método Kjeldahl (ALVAREZ V., 19--).

As concentrações dos nutrientes foram expressas em conteúdo na matéria seca. As concentrações de NO_3^- , Cu e Zn da parte aérea foram, também, calculadas em relação à matéria fresca, com o propósito de compará-las com os limites de tolerância permissíveis nos alimentos.

3.3.2. Análises no substrato

Após a coleta da planta, foram retiradas amostras homogêneas do substrato, em cada unidade experimental, as quais foram separadas em duas porções, com o propósito de se verificar o efeito residual das doses dos compostos utilizados. Uma parte foi congelada para posterior análise da concentração de nitrato e nitrogênio total, enquanto a outra porção foi secada ao ar, triturada em almofariz e passada em peneira de malha de 2 mm de diâmetro, para posterior análise química.

A determinação do nitrogênio total das amostras foi feita, utilizando-se o método Kjeldahl (ALVAREZ V., 19--), e o nitrato pelo método espectrofotométrico foi determinado por GINÉ et al. (1980). Para padronização dos resultados das análises de NO_3^- e N-total, no que se refere à umidade do substrato, determinou-se a umidade de cada amostra (método-padrão de estufa: secagem a 105°C por 48 horas), possibilitando, dessa forma, a conversão de todos os resultados de NO_3^- e N-total para a base seca. Os demais resultados das análises do solo estão expressos em terra fina secada ao ar.

O pH do substrato foi determinado em água, pelo método potenciométrico (EMBRAPA/CNPS, 1997); potássio, sódio, ferro, cobre e zinco trocáveis e fósforo disponível foram determinados com o uso do extrator duplo ácido Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981); o carbono orgânico, pelo método de oxidação por dicromato (YEOMANS e BREMNER, 1988); e o cálcio

e magnésio trocáveis, pelo extrator KCl 1 mol L⁻¹ (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

A CTC do substrato foi calculada pelo método da soma de bases, seguindo-se a metodologia de EMBRAPA/CNPS (1997), e a condutividade elétrica o foi, utilizando-se condutivímetro (RICHARDS, 1954).

3.4. Análise estatística

A produção da matéria seca e os conteúdos de N, NO₃⁻, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu e Zn na planta (parte aérea + raiz), como função das doses de composto orgânico utilizadas, foram submetidos a análises de variância e de regressão, e os efeitos do tipo de composto orgânico na produção de alface foram comparados entre médias, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para comparar as médias de cada composto com as médias dos tratamentos adicionais (testemunha e adubação química), utilizou-se o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

O efeito residual do composto aplicado no solo foi avaliado por análise de variância e por teste de médias dos valores do teor de matéria orgânica, CE, CTC_{efetiva} e concentrações de N-total, NO₃⁻, P, K, Na, Cu, Ca, Mg, Fe e Zn no solo após o plantio. Os efeitos do tipo de composto orgânico na produção de alface, dentro de cada dose, foram avaliados por comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; para comparação das médias de cada composto com as médias dos tratamentos adicionais (testemunha e adubação química), utilizou-se o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas por intermédio dos programas ANOVAG, REGREAMD1, REGRELIN e TESTEMD, contidos no pacote computacional SAEG (EUCLYDES, 1983), e pelo teste de Dunnett (BANZATTO e KRONKA, 1992).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Matéria seca total

Nos Quadros 8 e 9 estão apresentados, respectivamente, os resultados da análise de variância da produção de matéria seca total (MST) da planta e a média da produção de matéria seca total dos diferentes tratamentos utilizados.

Pôde-se observar que os substratos que receberam adubação orgânica proporcionaram produções de matéria seca superiores à obtida no tratamento que não recebeu qualquer adubação (TA). O fornecimento de nutrientes via composto orgânico pode ter sido o principal responsável por esses resultados.

A produção de matéria seca na testemunha química (TQ) não diferiu das obtidas nos tratamentos de adubação orgânica. Isso demonstrou que a testemunha química (TQ) foi tão eficiente na produção de matéria seca quanto algumas doses de alguns compostos orgânicos.

Estudando o efeito de dose dentro de cada composto, os tratamentos de forma geral não diferiram entre si, com exceção do tratamento de adubação com composto orgânico produzido com fino de carvão (Quadro 8).

A produção de matéria seca entre a testemunha absoluta e a química foram diferentes ($P \leq 0,05$). Entretanto, no caso dos substratos com compostos orgânicos, os tratamentos não diferiram entre si, nas doses correspondentes a

Quadro 8 – Resumo da análise de variância da produção de matéria seca total de plantas de alface, cultivar Brasil 303, adubadas com diferentes compostos, aplicados em três doses (uma, duas e quatro vezes a adubação nitrogenada recomendada para a cultura)

Fonte de Variação ⁽¹⁾	GL	Quadrado Médio
TA vs. demais	1	129,5343 *
TQ vs. compostos	1	7,2624 ^{ns}
Compostos	5	54,6009 *
Dose dentro do trat. SCC	2	10,7289 ^{ns}
Dose dentro do trat. SFC	2	47,9800 *
Dose dentro do trat. SCA	2	8,3164 ^{ns}
Dose dentro do trat. SSM	2	31,0731 ^{ns}
Dose dentro do trat. SBC	2	8,5246 ^{ns}
Dose dentro do trat. SSB	2	12,9259 ^{ns}
Resíduo	60	10,9629
Total	79	
CV (%)		30,36

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

* e ^{ns} significativo e não-significativo pelo teste F a 5% de probabilidade, respectivamente.

uma e duas vezes a adubação nitrogenada recomendada para o cultivo de alface (Quadro 9). Na dose 4, observou-se diferença apenas entre os substratos com composto de sabugo de milho triturado (SSB) e composto de fino de carvão (SFC), sendo observado menor produção de matéria seca no primeiro substrato.

Comparando a matéria seca total das plantas de alface cultivadas nos substratos contendo compostos orgânicos e as obtidas nos tratamentos adicionais (TA e TQ), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade (Quadro 9), observou-se que, na dose 1, apenas o substrato com composto de casca de arroz (SCA) diferiu de TA, apresentando maior produção de matéria seca. Na dose 2, a produção de matéria seca da alface, obtida nos substratos com fino de carvão (SFC) e com bagaço de cana-de-açúcar (SBC), foi maior que a obtida na TA. Na dose 4, à exceção da matéria seca produzida nos substratos contendo composto de casca de café (SCC) e sabugo de milho (SSB), os demais tratamentos apresentaram produção de matéria seca superior à obtida na TA.

Acredita-se que esses resultados estejam associados, em grande parte, à influência das condições de aeração, proporcionadas pelos compostos produzidos com casca de arroz (SCA) e fino de carvão (SFC). Como esses materiais foram incorporados ao solo em maior quantidade, em razão da baixa concentração de nitrogênio que apresentavam, eles proporcionaram condições mais favoráveis à formação de macroporos no substrato. A maior macroporosidade do meio proporcionou maior aeração na zona radicular, o que é fundamental para possibilitar melhor absorção de nutrientes pelas plantas. No entanto, por apresentarem esses materiais estrutura rígida, a impregnação do material com nutrientes da água residuária pode ter sido menor, possibilitando mais fácil e menos dependência da mineralização do material à disponibilização de nutrientes superficialmente. Além disso, em razão de suas elevadas relações C/N iniciais, o fino de carvão e a casca de arroz foram os materiais que, durante o período de estudo da decomposição, receberam maiores quantidades de água residuária da suinocultura, o que possibilitou seu enriquecimento com macro e micronutrientes.

Quadro 9 – Matéria seca total de plantas de alface, cultivar Brasil 303, adubadas com diferentes compostos, aplicados em três doses (uma, duas e quatro vezes a adubação nitrogenada recomendada para a cultura)

Tratamento ⁽¹⁾	Matéria Seca Total (g)
	----- g planta ⁻¹ -----
TA	5,36 a
TQ	12,51 b
Dose 1	
SCC	10,17 a
SFC	10,72 a
SCA	12,85 a *
SSM	7,87 a
SBC	9,74 a
SSB	6,53 a
Dose 2	
SCC	7,57 a
SFC	14,44 a *
SCA	11,01 a
SSM	10,89 a
SBC	12,44 a *
SSB	10,12 a
Dose 4	
SCC	10,60 ab
SFC	17,64 a *
SCA	13,85 ab *
SSM	13,44 ab *
SBC	12,05 ab *
SSB	8,36 b

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro da mesma dose, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

* e + indicam que a média do tratamento difere da média da testemunha absoluta e da testemunha química, respectivamente, pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

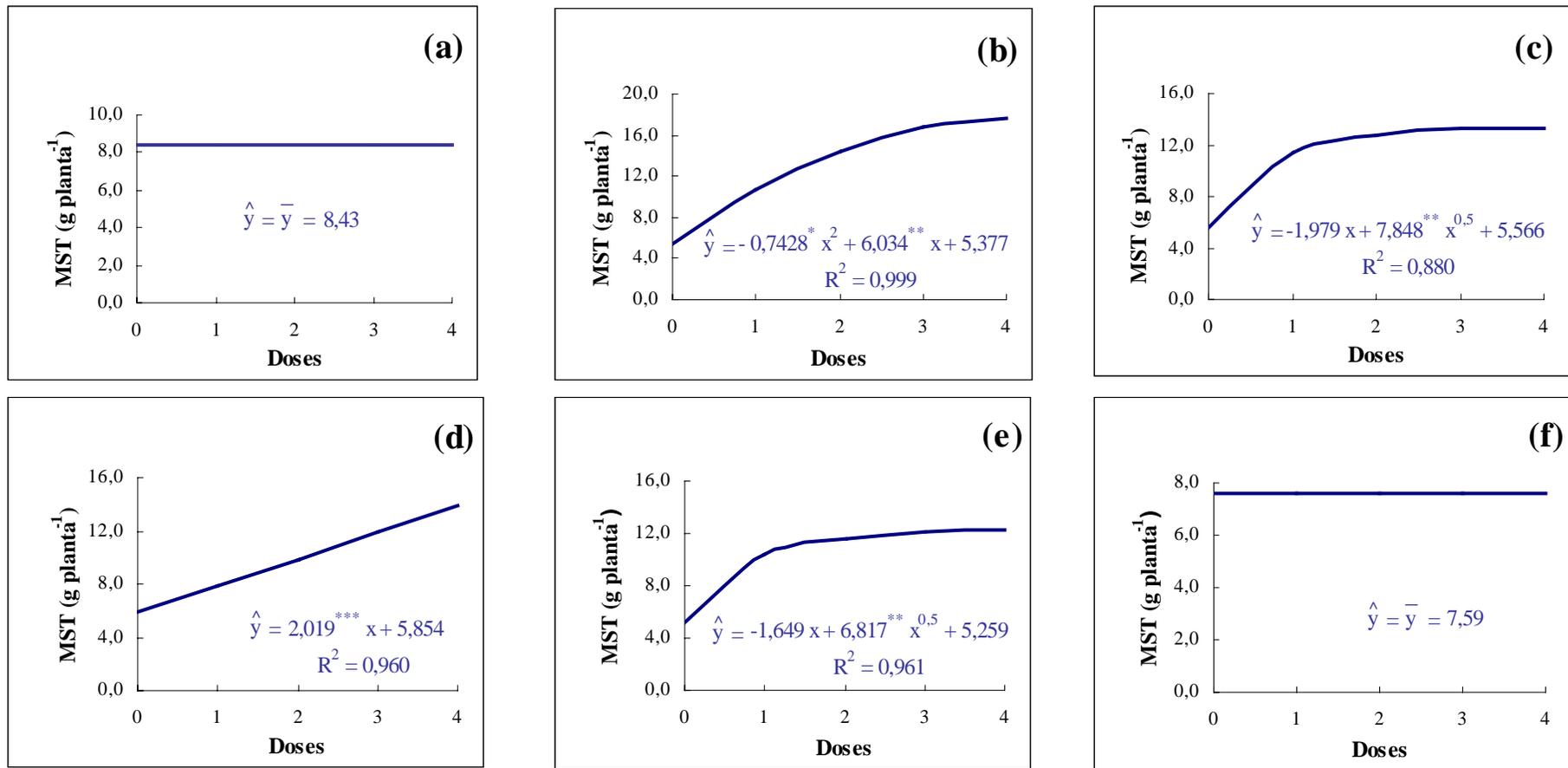
Os tratamentos com compostos produzidos com casca de café e sabugo de milho pouco diferiram das testemunhas química e absoluta, em todas as doses aplicadas. Acredita-se que, além dos problemas de deficiência de aeração na zona radicular, esses materiais talvez não tenham sofrido a completa mineralização no solo, não sendo possível a disponibilização dos nutrientes para a planta e, dessa forma, não refletindo no incremento da matéria seca total.

Observou-se certa instabilidade no comportamento da produção de MST, em função da dose de composto orgânico aplicada, e, por isso, optou-se por ajustar equações de regressão, as quais estão apresentadas na Figura 5.

Para plantas cultivadas no substrato com SCC e SSB, Figura 5 (a e f), não foi possível ajustar nenhuma equação em que suas doses pudessem diferir a 1%, 5% ou 10% de significância, evidenciando que, nas condições deste trabalho, para esses dois compostos as doses aplicadas não influenciaram a produção de massa seca total.

No tratamento com o SSM, Figura 5 (d), houve aumento linear da produção de matéria seca com a dose. Dessa forma, podem ser esperadas maiores produções da alface com o uso de doses maiores do que as avaliadas.

Nos tratamentos SFC, SCA e SBC, Figura 5 (b, c e e, respectivamente), observou-se tendência de incremento da produção de matéria seca com o aumento da dose de composto até a obtenção de um ponto de máxima, ocorrendo, a partir daí, decréscimo na produção. Isso possibilitou a estimativa da produção máxima da alface a partir de suas equações ajustadas, as quais corresponderam a 4,06; 3,93; e 4,27 vezes a dose recomendada para adubação nitrogenada, utilizando-se os compostos CFC, CCA e CBC, respectivamente. Assim, se esses resultados pudessem ser transferidos para condições de campo e, ainda, utilizando-se compostos orgânicos como os produzidos neste trabalho, seria recomendável a incorporação ao solo, até 20 cm de profundidade, de cerca de 105,72; 56,83; e 21,26 t ha⁻¹ de composto orgânico produzido com fino de carvão, casca de arroz e bagaço de cana-de-açúcar, respectivamente, a fim de obter a produção máxima. Da mesma forma, considerando-se o efeito das doses estudadas, a aplicação de 26,72 t ha⁻¹ de composto orgânico produzido com serragem de madeira seria recomendável.



*, ** e *** equações ajustadas, respectivamente, em níveis de 10%, 5% e 1% de significância, pelo teste t

Figura 5 – Estimativa da produção de matéria seca total (MST) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos se referem a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.

4.2. Conteúdo de nutrientes nas plantas

Nos Quadros 10 e 11 estão apresentados o resumo da análise de variância e os conteúdos médios de N-total, NO_3^- , P, K, Na, Ca e Mg na matéria seca das plantas de alface adubadas com diferentes compostos, nas diferentes doses utilizadas.

4.2.1. Nitrogênio total e nitrato

Observou-se que houve diferenças significativas nos conteúdos de N-total e nitrato nas plantas de alface adubadas com os compostos estudados em relação a TA e TQ (Quadro 10).

Nos tratamentos com compostos orgânicos e adubação mineral, os conteúdos de N-total foram maiores que o obtido na TA, enquanto nos tratamentos que receberam compostos orgânicos as concentrações ficaram menores do que TQ (Quadros 10 e 11). Os resultados indicaram que, apesar de terem os compostos orgânicos fornecido maiores quantidades de N-total às plantas, principalmente nas maiores doses dos compostos aplicadas, a absorção de nitrogênio foi inferior à obtida na TQ. Acredita-se que maior disponibilização de nitrogênio nos substratos que receberam compostos orgânicos só deverá ocorrer após a mineralização do material orgânico, o que, provavelmente, demanda maior tempo que o transcorrido desde sua incorporação ao solo até a colheita das plantas. De acordo com ERNANI (1984), a mineralização do material orgânico varia em função do tipo de solo, do material utilizado e da atividade microbiana.

Ao avaliar as médias de N-total obtidas entre os compostos, observou-se que os conteúdos nas doses 1 e 2 apresentaram-se estatisticamente iguais, enquanto na dose 4 apenas o tratamento SFC proporcionou maior conteúdo em relação aos demais substratos.

De forma geral, comparando os conteúdos de N-total da planta nos tratamentos pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, verificou-se que os

Quadro 10 – Resumo da análise de variância dos conteúdos de macronutrientes na matéria seca total de plantas de alface, cultivar Brasil 303, adubadas com diferentes compostos, aplicados em três doses (uma, duas e quatro vezes a adubação nitrogenada recomendada para a cultura)

Fonte de Variação ⁽¹⁾	GL	Quadrados Médios						
		N-total	NO ₃ ⁻	P	K	Na	Ca	Mg
TA vs. demais	1	13.176,90 *	14.579,73 *	891,47 *	219.090,00 *	24.238,20 *	6.154,87 *	459,24 ^{ns}
TQ vs. compostos	1	45.330,60 *	7.904,32 *	58,71 ^{ns}	115.094,00 *	17.186,70 *	796,91 ^{ns}	21,02 ^{ns}
Compostos	5	8.491,05 *	2.184,35 ^{ns}	984,95 *	52.497,99 *	7.442,44 *	10.131,22 *	852,46 *
Dose dentro do trat. SCC	2	3.264,49 ^{ns}	344,24 ^{ns}	72,35 ^{ns}	8.812,87 ^{ns}	1.030,79 ^{ns}	1.734,18 ^{ns}	286,27 ^{ns}
Dose dentro do trat. SFC	2	22.760,26 *	2.930,11 ^{ns}	1.530,86 *	137.937,00 *	16.522,13 *	11.110,16 *	573,97 ^{ns}
Dose dentro do trat. SCA	2	2.320,96 ^{ns}	3.063,68 ^{ns}	330,41 ^{ns}	40.335,78 *	3.342,85 *	1.297,05 ^{ns}	199,40 ^{ns}
Dose dentro do trat. SSM	2	6.124,00 *	702,52 ^{ns}	293,48 ^{ns}	60.702,30 *	6.769,23 *	3.359,39 ^{ns}	355,55 ^{ns}
Dose dentro do trat. SBC	2	1.481,04 ^{ns}	67,78 ^{ns}	152,60 ^{ns}	40.451,80 *	4.906,54 *	982,74 ^{ns}	50,47 ^{ns}
Dose dentro do trat. SSB	2	865,66 ^{ns}	1.128,88 ^{ns}	84,26 ^{ns}	28.655,92 *	2.634,26 *	1.480,98 ^{ns}	144,15 ^{ns}
Resíduo	60	1.835,13	1.632,83	125,39	4.566,07	619,73	1459,15	192,76
Total	79							
CV (%)		27,17	38,26	50,52	24,95	26,53	33,88	36,56

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

* e ^{ns} significativo e não-significativo pelo teste F a 5% de probabilidade, respectivamente.

Quadro 11 – Conteúdos médios de macronutrientes na matéria seca total de plantas de alface, cultivar Brasil 303, adubadas com diferentes compostos, aplicados em três doses (uma, duas e quatro vezes a adubação nitrogenada recomendada para a cultura)

Tratamentos ⁽¹⁾	N-total	NO ₃ ⁻	P	K	Na	Ca	Mg
----- mg planta ⁻¹ -----							
TA	101,74 a	46,76 a	7,61 a	42,68 a	17,95 a	74,50 a	27,53 a
TQ	264,24 b	151,97 b	19,20 b	117,70 b	34,01 b	128,48 b	40,76 a
Dose 1							
SCC	166,61 a ⁺	105,00 a	17,27 a	164,48 a	54,06 a	106,37 a	40,83 a
SFC	134,52 a ⁺	87,99 a	16,91 a	196,48 a*	66,04 a*	108,83 a	38,83 a
SCA	165,56 a ⁺	147,48 a*	32,77 a*	253,42 a* ⁺	99,07 a* ⁺	145,77 a	52,61 a
SSM	106,42 a ⁺	89,14 a	10,41 a	202,73 a*	69,00 a*	96,46 a	27,13 a
SBC	141,38 a ⁺	119,83 a	14,70 a	160,90 a	51,92 a	91,61 a	37,40 a
SSB	108,29 a ⁺	77,88 a	12,28 a	133,51 a	51,41 a	74,49 a	25,77 a
Dose 2							
SCC	113,72 a ⁺	89,42 a	9,22 a	198,37 b*	67,29 b*	64,97 a	24,20 a
SFC	180,99 a ⁺	119,92 a	29,07 a*	356,38 a* ⁺	131,88 a* ⁺	146,47 a	48,03 a
SCA	133,33 a ⁺	93,43 a	27,25 a	329,59ab* ⁺	122,37 a* ⁺	113,33 a	39,10 a
SSM	141,28 a ⁺	101,87 a	16,39 a	319,80ab* ⁺	109,20 ab* ⁺	120,91 a	36,73 a
SBC	179,79 a ⁺	113,21 a	24,07 a	300,37ab* ⁺	103,43ab* ⁺	119,66 a	40,10 a
SSB	135,39 a ⁺	102,94 a	21,31 a	268,37ab* ⁺	94,25 ab* ⁺	103,07 a	35,34 a
Dose 4							
SCC	158,87 a ⁺	105,94 a	15,61 c	257,24 c* ⁺	86,01 d* ⁺	89,56 bc	29,82 b
SFC	282,06 b*	141,81 a*	55,19 a* ⁺	566,73 a* ⁺	194,56 a* ⁺	212,92 a* ⁺	62,58 a*
SCA	180,46 a ⁺	110,13 a	45,01 ab* ⁺	452,44ab* ⁺	156,54ab* ⁺	143,08abc	49,40 ab
SSM	184,52 a*	115,64 a	27,30 bc	449,01ab* ⁺	151,27abc* ⁺	154,19ab* ⁺	45,99 ab
SBC	162,62 a ⁺	120,76 a	26,35 bc	356,13bc* ⁺	118,79bcd* ⁺	93,52 bc	33,06 b
SSB	111,92 a ⁺	71,03 a ⁺	15,38 c	289,56 c* ⁺	97,30 cd* ⁺	66,46 c	24,28 b

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro da mesma dose, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

* e ⁺ indicam que a média do tratamento difere da média da testemunha absoluta e da testemunha química, respectivamente, pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

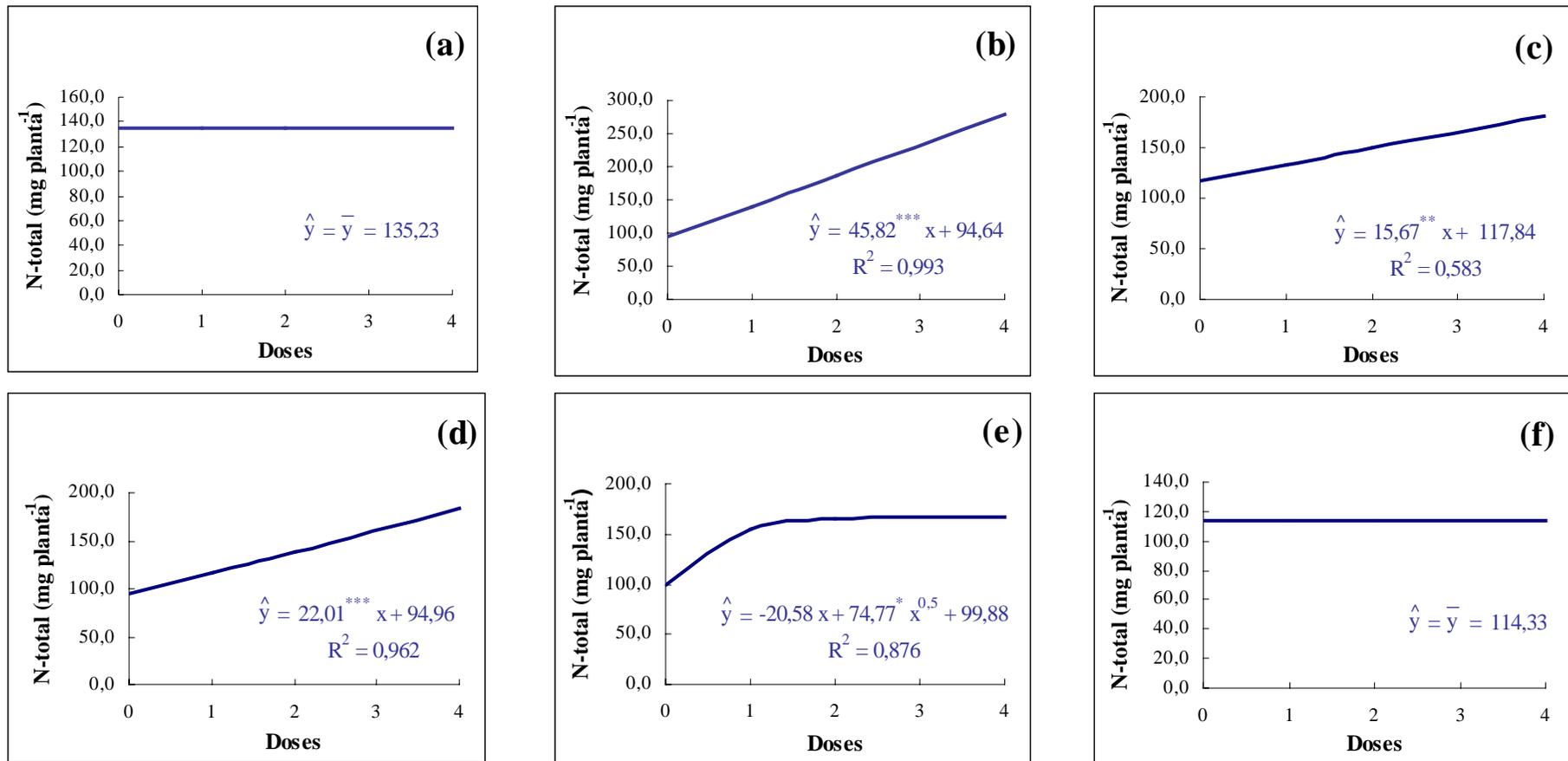
compostos e as doses avaliados diferiram significativamente da TQ, apresentando menores conteúdos de nitrogênio, com exceção dos tratamentos com SFC e SSM, na dose 4, os quais apresentaram conteúdos de N-total similares aos obtidos na TQ (Quadro 11).

Embora o SFC tenha sido o substrato que apresentou a maior relação C/N (117,44) no final do período de 152 dias de decomposição aeróbia, ele foi o que proporcionou maior absorção de N-total pelas plantas, na dose 4. Esses resultados podem ser atribuídos às melhores condições físicas proporcionadas ao substrato, conforme referido anteriormente. Apesar de a relação C/N do composto produzido com fino de carvão estar muito alta, este possui maior quantidade de carbono estável, de difícil decomposição. Como o carbono determinado foi o carbono total e não o biologicamente disponível e considerando que o período de avaliação foi relativamente curto, acredita-se que a quantidade de carbono biologicamente disponível neste período foi bem menor do que a do carbono total e, dessa forma, a relação C/N não constituiu maiores problemas para a cultura nem para o solo; porém, períodos maiores de tempo podem reverter essa situação.

Na Figura 6, encontram-se as equações ajustadas de conteúdo de N-total em função da dose aplicada e suas representações gráficas de todos os tratamentos utilizados.

Observou-se que em tratamentos com SCC e SSB não foi possível ajustar a equação significativa, podendo inferir-se, dessa forma, que a aplicação desses compostos não influenciou a absorção de nitrogênio pelas plantas. Os tratamentos com SFC, SCA e SSM apresentaram aumento linear da concentração de N-total na matéria seca em função das doses aplicadas. Já no tratamento com SBC, o conteúdo de N-total na planta aumentou com a dose aplicada até, aproximadamente, 3,3 vezes a dose de N recomendada e, a partir desta, o conteúdo de N-total na planta passou a não responder ao aumento da dose (Figura 6).

Utilizando-se as doses para obtenção da produção máxima de matéria seca total (4,06, 3,93, 4,27) nas equações de N-total, foram obtidos valores de



*, ** e *** equações ajustadas, respectivamente, em níveis de 10%, 5% e 1% de significância, pelo teste t

Figura 6 – Estimativa dos conteúdos de nitrogênio total (N- total) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.

conteúdo de N-total nas plantas orrespondentes a 280,67; 179,42; e 166,61 mg planta⁻¹ quando produzidas em SFC, SCA e SBC, respectivamente. No caso do tratamento SSM, o qual teve aumento linear na produção máxima de matéria seca total, trabalhando-se com quatro vezes a dose recomendada, foram obtidos valores de 183,00 mg planta⁻¹ de conteúdo de N-total.

Utilizando os conteúdos médios dos valores de N-total da parte aérea de cada tratamento e convertendo-os para concentração de N-total, observou-se que, de forma geral, estes se apresentaram na faixa de 1,2 a 2,3 dag kg⁻¹. Tais valores estão abaixo dos níveis críticos apresentados por FURLANI et al. (1978) e JONES JÚNIOR et al. (1991), que apresentaram valores para alface de 4,0 a 5,0 dag kg⁻¹, permitindo constatar-se que a planta não absorveu quantidades suficientes de N-total para que alcançasse seu pleno potencial de produção. Acredita-se que a deficiência na aeração do sistema radicular tenha impedido a planta de absorver as quantidades necessárias de nutrientes. Isso ocorreu, inclusive, no tratamento que recebeu adubação mineral (TQ), na dose recomendada para o plantio de alface.

Da mesma forma que o conteúdo de N-total, o conteúdo de nitrato nos tratamentos com adubações orgânica e mineral se apresentou maior que os obtidos na TA. Os conteúdos de nitrato (Quadro 11) não apresentaram diferença significativa entre compostos, nas doses 1, 2 e 4. Comparando os compostos com os tratamentos adicionais, observou-se que SCA na dose 1 e SFC na dose 4 apresentaram conteúdos de nitrato maiores que os obtidos na TA. Quando se fez a comparação com TQ, apenas SSB apresentou menor conteúdo, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

As concentrações médias de nitrato da parte aérea da alface, de todos os tratamentos avaliados, encontraram-se na faixa de 812 a 1.775 mg kg⁻¹ de matéria fresca, indicando que todos os valores se apresentaram inferiores aos das concentrações máximas aceitáveis para nitrato nas folhas de alface, ou seja, 3.000 a 4.500 mg kg⁻¹ de matéria fresca, segundo dados fornecidos por FERREIRA et al. (1993).

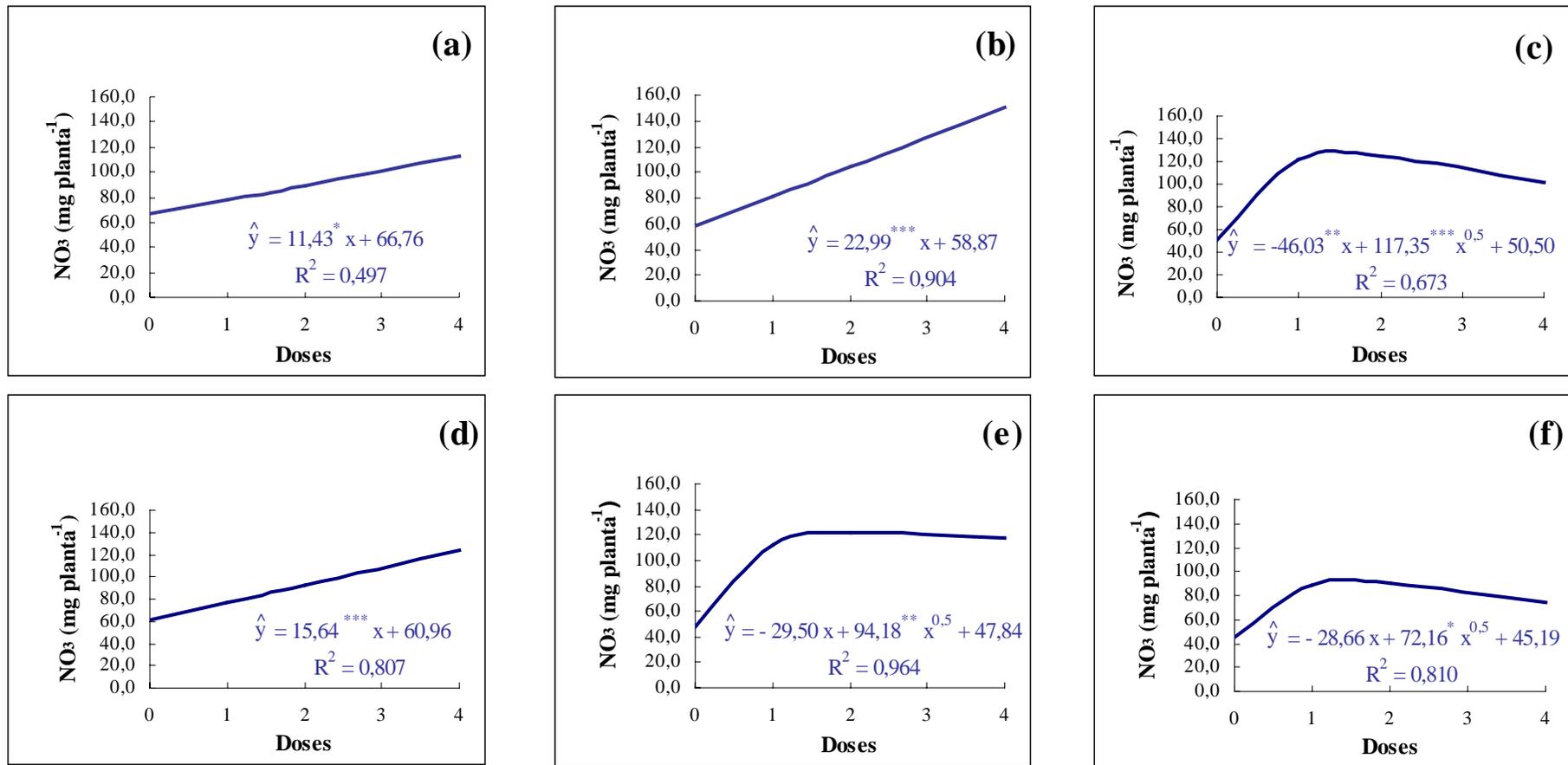
Com relação às equações ajustadas para conteúdos de nitrato na planta em função das doses de compostos (Figura 7), pôde-se observar que os tratamentos com SCC, SFC e SSM apresentaram aumento linear, enquanto nos tratamentos com SCA, SBC e SSB houve aumento do nitrato nas plantas com a elevação da dose de composto orgânico aplicada até ser atingido um ponto de máxima e, em seguida, redução deste.

4.2.2. Fósforo

Na análise de variância apresentada no Quadro 10, verificou-se que o conteúdo de P na matéria seca das plantas de alface foi maior ($P < 0,05$) nos tratamentos que receberam adubação orgânica ou mineral. Não ocorreu diferença no conteúdo de P na matéria seca entre os tratamentos de adubação com compostos orgânicos e a TQ. Em relação à dose aplicada, verificou-se a existência de diferença significativa apenas dentro do tratamento com SFC.

De forma geral, não houve diferenças significativas entre os tratamentos adubados com compostos orgânicos e a TQ (Quadro 11), pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, excetuando-se apenas os tratamentos com SFC e SCA, na dose 4, que apresentaram maiores conteúdos de fósforo na matéria seca do que a TQ. Apenas na dose 4 foram verificadas diferenças significativas (Tukey a 5% de probabilidade) no conteúdo de P das plantas, entre os compostos estudados. O tratamento com SFC foi o que proporcionou maiores conteúdos de P, apresentando valores médios de $55,19 \text{ mg planta}^{-1}$, e os menores valores foram encontrados com os tratamentos dos SSB e SCC, nos quais foram obtidos $15,38$ e $15,61 \text{ mg planta}^{-1}$, respectivamente.

Ao converter o conteúdo de fósforo da parte aérea para concentração de P, observou-se que, de forma geral, esses valores se apresentaram na faixa de $0,12$ a $0,32 \text{ dag kg}^{-1}$, sendo a menor concentração obtida no tratamento com SCC e, a maior, com SFC e SCA. Tais valores foram inferiores aos dos níveis críticos para a cultura de alface que variam de $0,4$ a $0,6 \text{ dag kg}^{-1}$, conforme NAKAGAWA et al. (1989) e JONES JÚNIOR et al. (1991). Essa deficiente absorção de P, possivelmente, proporcionou problemas nutricionais às plantas, comprometendo a absorção de todos os outros nutrientes, notadamente do N.



*, ** e *** equações ajustadas, respectivamente, em níveis de 10%, 5% e 1% de significância, pelo teste t

Figura 7 – Estimativa dos conteúdos de nitrato (NO₃⁻) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.

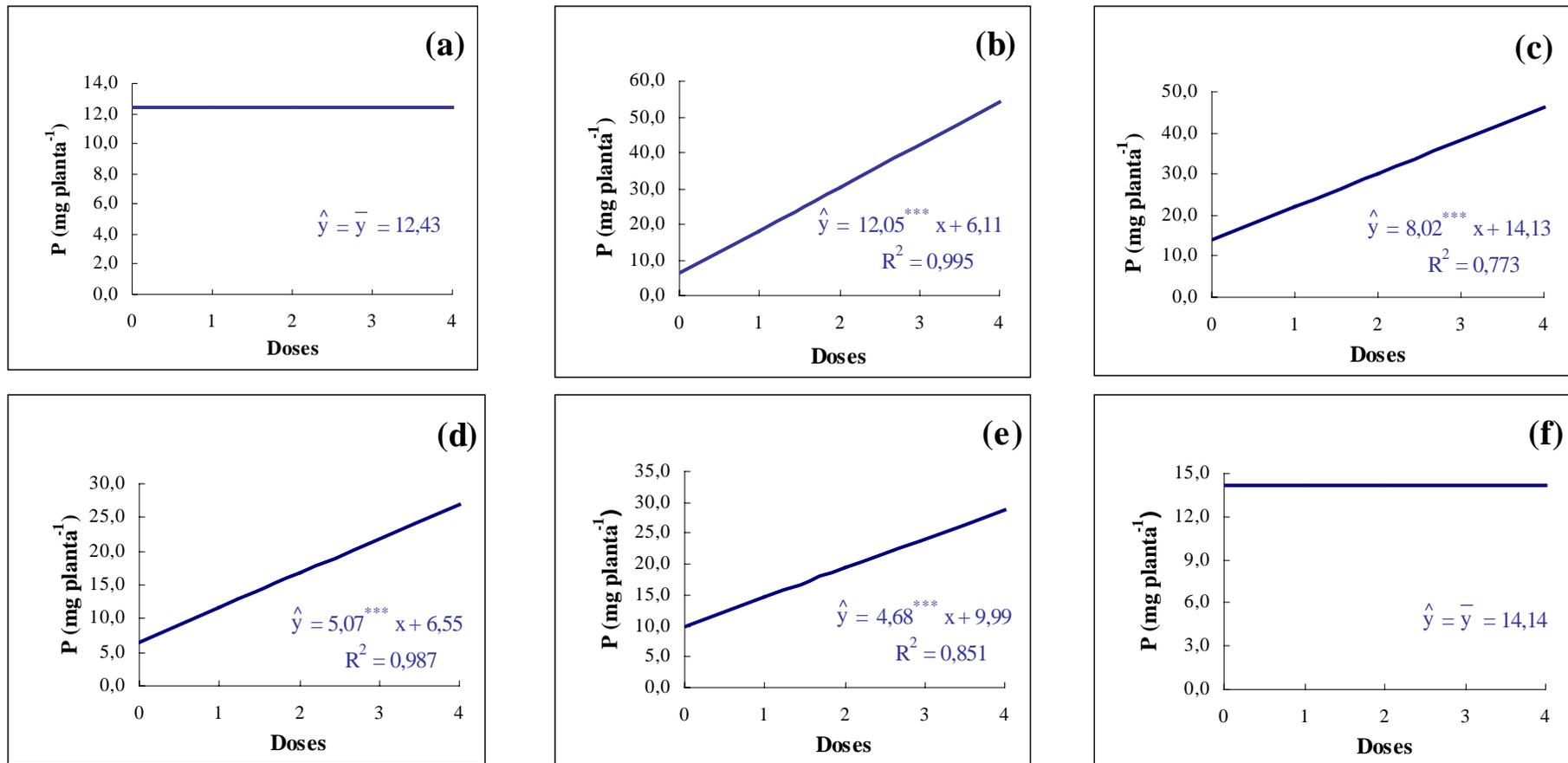
O conteúdo de fósforo na matéria seca das plantas em função das doses aplicadas de cada composto está apresentado na Figura 8. Nos tratamentos com SFC, SCA, SSM e SBC, Figura 8 (b, c, d e e, respectivamente), observou-se que o conteúdo de P na planta cresceu linearmente com o aumento da dose aplicada, enquanto nos tratamentos com SCC e SSB não foi possível ajustar equação para o conteúdo de fósforo em relação às doses aplicadas, em níveis de 1%, 5% ou 10% de probabilidade.

Em vista do comportamento linear crescente da concentração de P na planta com o aumento da dose, evidenciado na maioria dos tratamentos, acredita-se que as plantas poderiam apresentar maiores produções se tivessem maior suprimento desse elemento. O fósforo foi, seguramente, um dos nutrientes que mais limitou o desenvolvimento das plantas de alface.

4.2.3. Potássio e sódio

Os conteúdos de potássio e sódio nas plantas de alface com adubações orgânica e mineral foram semelhantes aos outros nutrientes, ou seja, maiores ($P < 0,05$) que o das plantas da TA (Quadros 10 e 11). As plantas adubadas com compostos orgânicos apresentaram maiores concentrações de K e Na que as plantas da TQ. Desdobrando a interação dose vs. composto, verificou-se que apenas dentro do tratamento SCC não houve efeito da dose na concentração de K e Na nas plantas.

Os conteúdos de K e Na nas plantas, na dose 1, não foram diferentes entre os compostos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto nas doses 2 e 4 houve diferença significativa, tanto no conteúdo de potássio quanto no de sódio (Quadro 11). Na dose 2, as plantas no tratamento com SCC apresentaram conteúdos de K e Na inferiores ao das plantas dos tratamentos com SFC e SFC e SCA, respectivamente. Já na dose 4, o conteúdo de K nas plantas dos tratamentos com SCC e SSB foram inferiores aos obtidos nos tratamentos com SFC, SCA e SSM. O conteúdo de Na foi menor nos tratamentos com SCC e SSB do que nos tratamentos SFC e SCA. Os resultados obtidos podem ser



*** equações ajustadas, em nível de 1% de significância, pelo teste t

Figura 8 – Estimativa dos conteúdos de fósforo (P) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.

explicados pela aplicação de maiores quantidades dos compostos de fino de carvão e casca de arroz, a fim de atender ao fornecimento de N às plantas, justificando-se, dessa forma, os maiores conteúdos de K e Na nesses tratamentos, já que tais elementos estão, em grande parte, disponíveis.

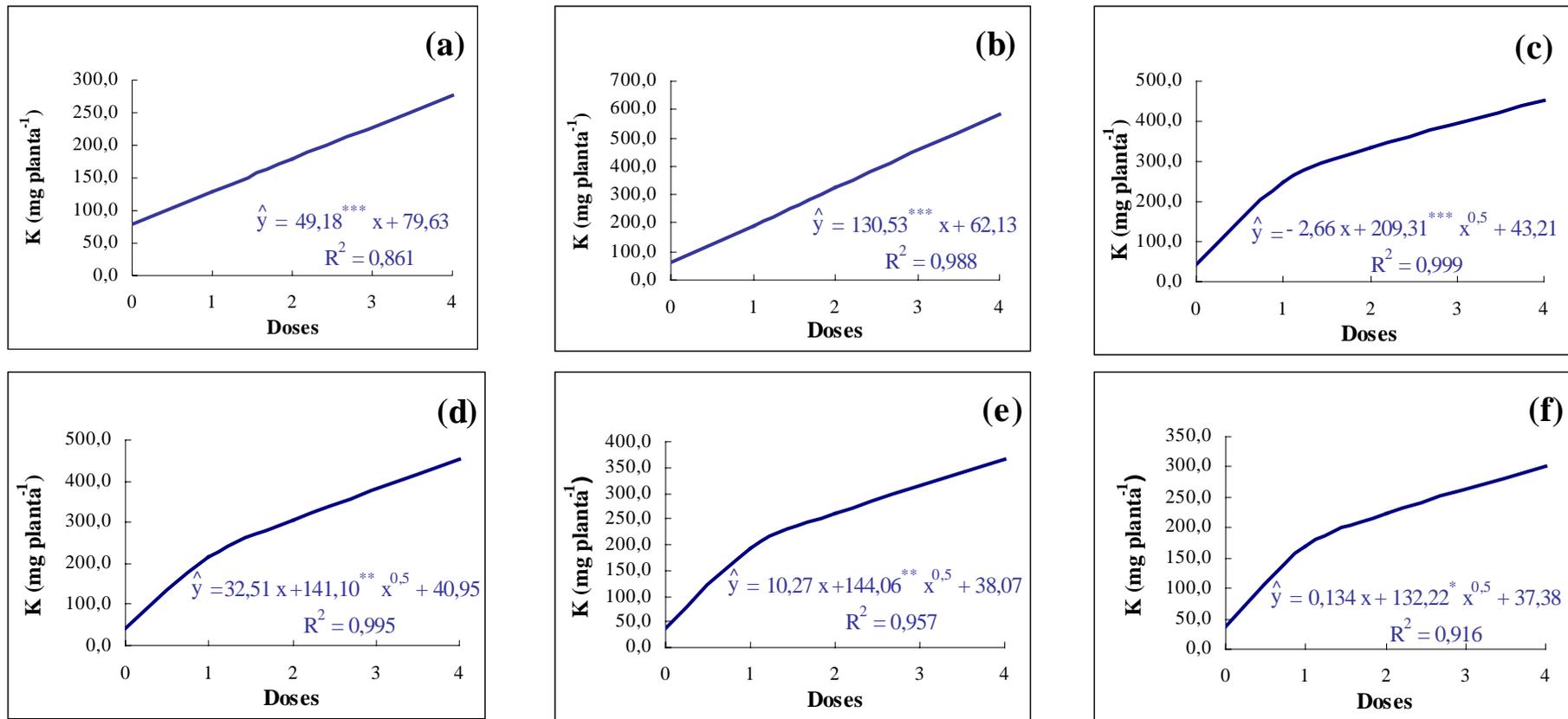
Ainda no Quadro 11, observa-se que os conteúdos de K e Na nas alfaces cultivadas com SFC, SCA e SSM, na dose 1, apresentaram-se superiores à TA, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, e as plantas de alface produzidas com SCA também exibiram conteúdo de K e Na superiores aos obtidos em TQ. Já nas doses 2 e 4, todos os tratamentos se mostraram estatisticamente superiores a TA e TQ, com exceção do tratamento com SCC, na dose 2, o qual não diferiu estatisticamente da TQ.

Com a análise de regressão, foram obtidas equações dos conteúdos de K e Na nas plantas em função da dose de composto orgânico aplicada, as quais estão representadas nas Figuras 9 e 10. Na Figura 9, observa-se que o conteúdo de K nos tratamentos SCC e SFC cresceu linearmente com aumento da dose aplicada, enquanto nos tratamentos SCA, SSM, SBC e SSB ocorreu aumento não-linear do conteúdo de K com a elevação da dose, ocorrendo redução na taxa em doses maiores que, aproximadamente, 1,2 vez a adubação nitrogenada recomendada.

Na Figura 10, observa-se que o conteúdo de sódio na planta apresentou comportamento semelhante ao do potássio, apresentado crescimento linear com o aumento da dose aplicada nos tratamentos SCC, SFC, SSM e SBC e não-linear nos tratamentos SCA e SSB, os quais apresentaram redução na taxa de aumento de conteúdo de Na nas doses maiores que, aproximadamente, 1,4 vez a adubação nitrogenada recomendada para a cultura.

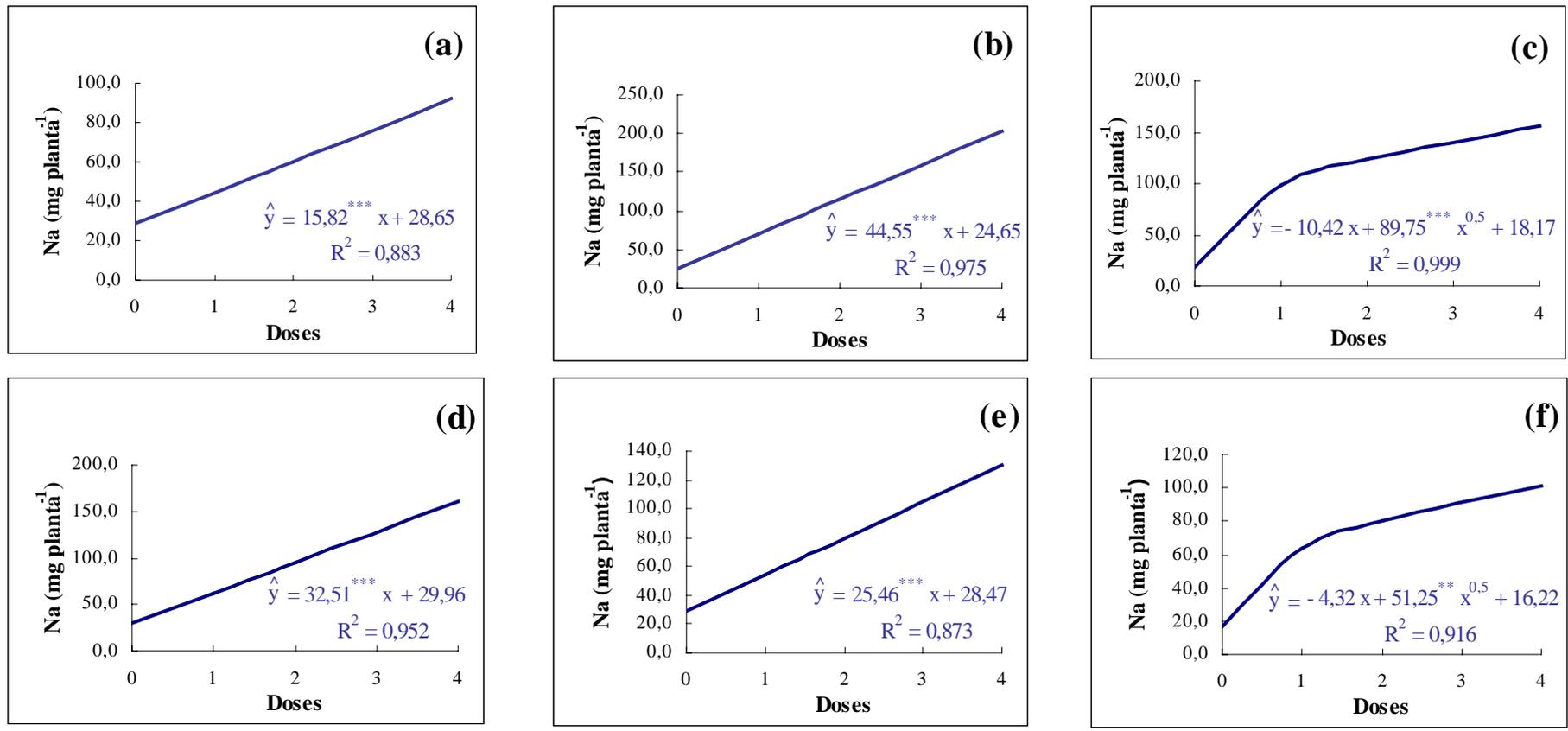
4.2.4. Cálcio e magnésio

Pela análise de variância apresentada no Quadro 10 e pelos conteúdos médios apresentados no Quadro 11, pode-se verificar que o conteúdo de Ca foi maior nas plantas que receberam adubação orgânica ou mineral, não ocorrendo o



*, ** e *** equações ajustadas, respectivamente, em níveis de 10%, 5% e 1% de significância, pelo teste t

Figura 9 – Estimativa dos conteúdos de potássio (K) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.



*, ** e *** equações ajustadas, respectivamente, em níveis de 10%, 5% e 1% de significância, pelo teste t

Figura 10 – Estimativa dos conteúdos de sódio (Na) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.

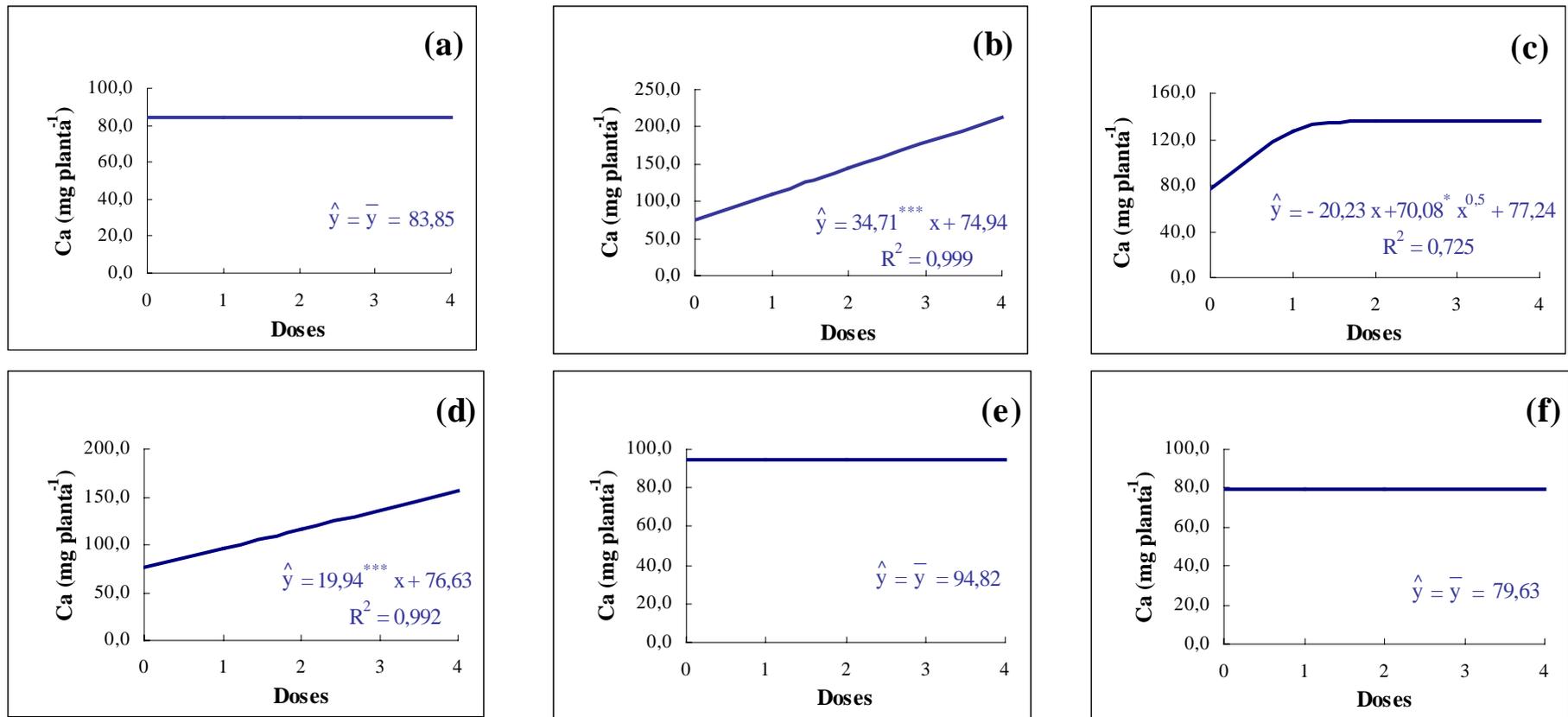
mesmo em relação ao Mg. Pelo Quadro 10, observa-se que o conteúdo de Ca e Mg não foi diferente daqueles encontrados nas plantas que receberam adubação mineral (TQ). Verificou-se a ocorrência de efeitos significativos entre compostos e da dose dentro do tratamento SFC no conteúdo de Ca, enquanto no conteúdo de Mg houve efeito significativo apenas entre compostos.

No Quadro 11, observa-se que os conteúdos de Ca dos compostos dentro de cada dose só diferiram, na dose 4, na qual as plantas do tratamento com SFC apresentaram maiores conteúdos de cálcio, em comparação com os tratamentos com SCC, SBC e SSB. No teste de Dunnett a 5% de probabilidade, apenas nos tratamentos com SFC e SSM as plantas apresentaram maior conteúdo de Ca do que nas submetidas aos tratamentos TA e TQ.

Os valores de Ca encontrados nas plantas variaram de 0,87 a 1,67 dag kg⁻¹, valores esses não muito abaixo dos relatados na literatura (1,28 a 3,50 dag kg⁻¹) (FURLANI et al., 1978; NAKAGAWA et al., 1989; JONES JÚNIOR et al., 1991). Apesar disso, certa deficiência foi observada, de forma geral, antes da colheita das plantas, pois, em pelo menos uma das repetições de cada tratamento, foi constatada a presença de queima nos bordos das folhas novas, com lesões necróticas nos ápices das folhas mais internas. Castellane (1991), citado por KATAYAMA (1993), verificou que, mesmo em solos com elevada disponibilidade de cálcio, esse distúrbio pode ocorrer, constatando que diferentes fatores podem afetar a absorção e a distribuição deste nutriente no interior das plantas.

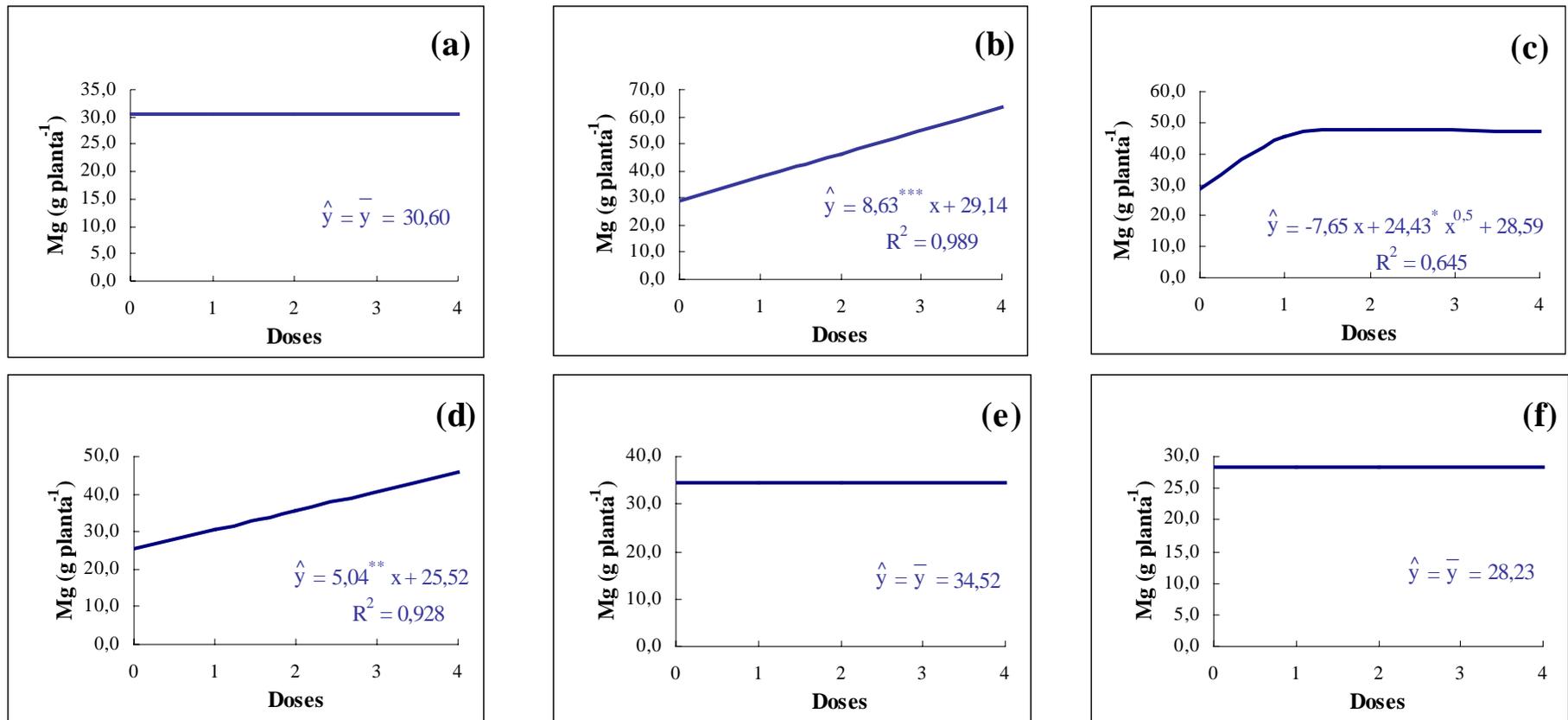
O conteúdo de magnésio na planta de alface teve comportamento similar ao conteúdo de cálcio, tendo sido observadas diferenças significativas entre os compostos apenas na dose 4, na qual o tratamento com SFC apresentou maior conteúdo de magnésio, em comparação com os tratamentos SCC, SBC e SSB. O conteúdo de magnésio, nas plantas cultivadas no SFC, foi o único que superou os valores encontrados na TA, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Os conteúdos de Ca e Mg nas plantas, em função das doses, estão representados nas Figuras 11 e 12, respectivamente, nas quais se podem observar comportamentos similares das variáveis. Nos tratamentos SCC, SBC e SSB, não



* e *** equações ajustadas, respectivamente, em níveis de 10% e 1% de significância, pelo teste t

Figura 11 – Estimativa dos conteúdos de cálcio (Ca) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.



*, ** e *** equações ajustadas, respectivamente, em níveis de 10%, 5% e 1% de significância, pelo teste t.

Figura 12 – Estimativa dos conteúdos de magnésio (Mg) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.

se observou efeito de doses dos compostos aplicados no conteúdo de cálcio, nem de magnésio nas plantas de alface; já com os tratamentos com SFC, SCA e SSM houve resposta. Os conteúdos de Ca e Mg nas plantas cultivadas com SFC e SSM cresceram linearmente com o aumento da dose aplicada, enquanto no SCA se observou aumento com a dose aplicada, atingindo um ponto de máxima extração e, posteriormente, seguido de redução.

4.2.5. Ferro, cobre e zinco

Nos Quadros 12 e 13 estão apresentados, respectivamente, o resumo da análise de variância dos conteúdos de Fe, Cu e Zn na matéria seca de plantas de alface e os conteúdos médios desses metais encontrados na matéria seca, em função da aplicação dos diferentes compostos e das doses utilizadas.

Os conteúdos de Fe, Cu e Zn foram maiores nas plantas submetidas à adubação orgânica ou mineral do que nas plantas que não receberam qualquer adubação (TA).

O resumo da análise de variância do conteúdo de Fe (Quadro 12), com base nos conteúdos médios na matéria seca (Quadro 13), indicou que o conteúdo de Fe foi maior nas plantas que receberam adubação mineral (TQ) do que nas que receberam compostos orgânicos.

Observou-se que apenas na dose 4 de adubação com SFC o conteúdo de ferro na alface apresentou-se maior que o obtido nas plantas cultivadas nos demais substratos, havendo tendência de maior acúmulo desse elemento nas plantas adubadas com SFC (Quadro 13). A maior quantidade de adubo orgânico aplicado no tratamento SFC proporcionou, também, maior disponibilização de Fe no meio, podendo ser a explicação viável para os resultados encontrados.

Nas Figuras 13, 14 e 15 estão apresentados os conteúdos de Fe, Cu e Zn, respectivamente, em função de doses dos diversos compostos orgânicos utilizados. Observou-se que, nos tratamentos SCC, SCA e SSM e SSB, o conteúdo de Fe não foi afetado pelas doses aplicadas, enquanto nos tratamentos SFC e SBC ocorreu aumento linear do conteúdo de ferro com a elevação da dose aplicada (Figura 13).

Quadro 12 – Resumo da análise de variância dos conteúdos de micronutrientes na matéria seca total de plantas de alface, cultivar Brasil 303, adubadas com diferentes compostos, aplicados em três doses (uma, duas e quatro vezes a adubação nitrogenada recomendada para a cultura)

Fonte de Variação ⁽¹⁾	GL	Quadrados Médios		
		Fe	Cu	Zn
TA vs. demais	1	33.593.800,00 *	2.475,41 *	158.061,00 *
TQ vs. compostos	1	823.882.700,00 *	399,19 ^{ns}	56.818,00 ^{ns}
Compostos	5	51.192.620,00 *	905,23 *	244.988,50 *
Dose dentro do trat. SCC	2	3.366.443,00 ^{ns}	131,21 ^{ns}	3.278,19 ^{ns}
Dose dentro do trat. SFC	2	3 9.390.900,00 *	1.995,44 *	184.523,60 *
Dose dentro do trat. SCA	2	698.255,40 ^{ns}	1.033,80 *	56.416,18 ^{ns}
Dose dentro do trat. SSM	2	1.585.694,00 ^{ns}	582,73 *	94.155,54 ^{ns}
Dose dentro do trat. SBC	2	20.304.320,00 ^{ns}	531,24 *	24.316,85 ^{ns}
Dose dentro do trat. SSB	2	10.839.480,00 ^{ns}	129,38 ^{ns}	288,38 ^{ns}
Resíduo	60	7.485.886,66	150,94	35.544,29
Total	79			
CV (%)		42,46	31,46	52,73

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

* e ^{ns} significativo e não-significativo, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

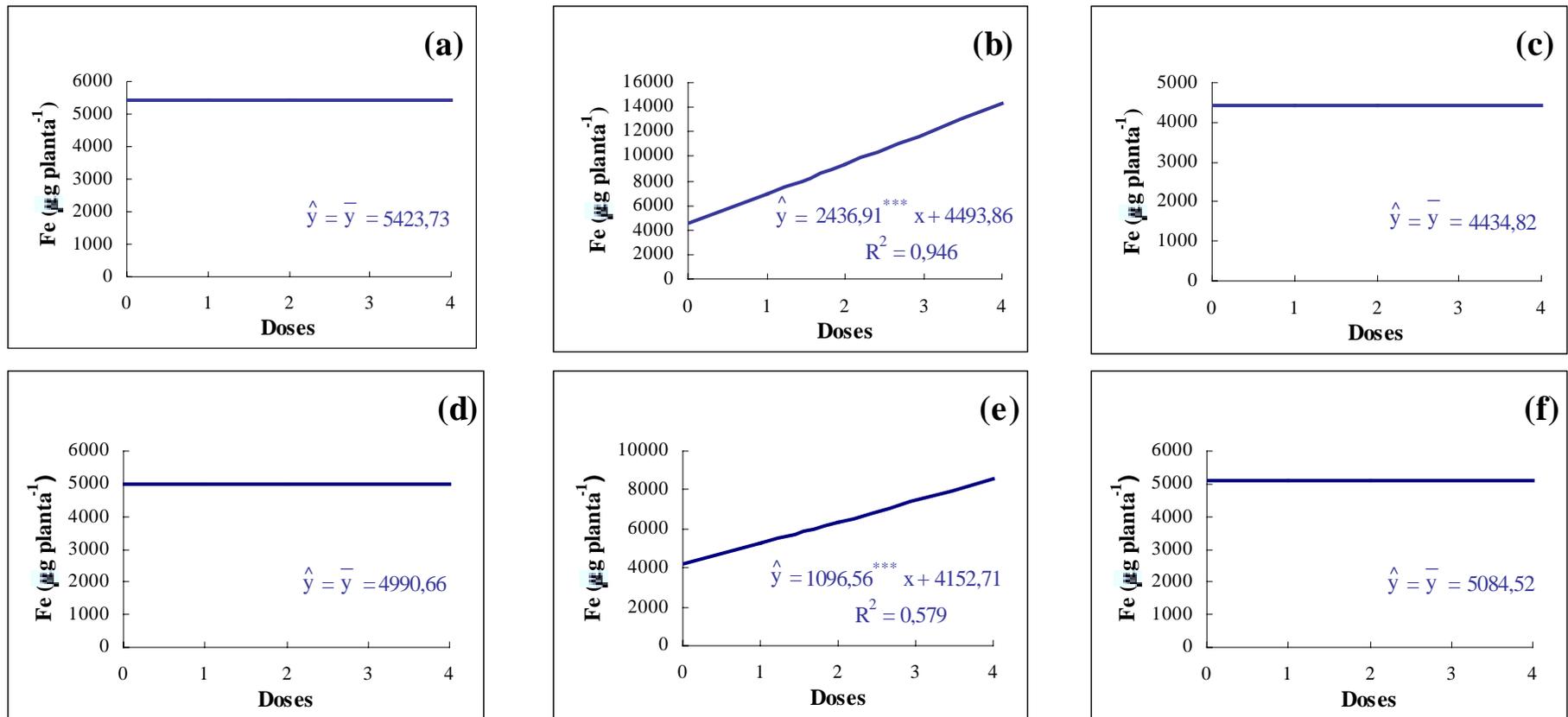
Quadro 13 – Conteúdos médios de micronutrientes na matéria seca de plantas de alface, cultivar Brasil 303, adubadas com diferentes compostos, aplicados em três doses (uma, duas e quatro vezes a adubação nitrogenada recomendada para a cultura)

Tratamentos ⁽¹⁾	Fe	Cu	Zn
	----- $\mu\text{g planta}^{-1}$ -----		
TA	3.618,49 a	14,80 a	163,76 a
TQ	7.899,12 a	30,60 b	251,71 b
Dose 1			
SCC	6.362,08 a	31,57 a	171,49 b
SFC	8.352,08 a	27,56 a	316,40 ab
SCA	4.403,42 a	38,76 a *	658,55 a * ⁺
SSM	4.778,88 a	28,44 a	227,00 b
SBCA	4.375,18 a	30,43 a	221,17 b
SSB	3.986,46 a	21,26 a	294,20 ab
Dose 2			
SCC	4.987,33 a	30,91 a	159,89 a
SFC	8.986,44 a *	45,44 a *	463,26 a
SCA	4.533,90 a	44,97 a *	433,85 a
SSM	5.536,49 a	44,61 a *	380,09 a
SBCA	8.725,38 a	42,37 a *	320,44 a
SSB	7.272,97 a	32,33 a	302,01 a
Dose 4			
SCC	6.727,02 a	41,14 b *	214,25 b
SFC	14.076,70 b * ⁺	71,95 a * ⁺	739,43 a * ⁺
SCA	5.183,45 a	69,19 a * ⁺	612,85 ab * ⁺
SSM	6.028,77 a	52,05 ab *	533,85 ab *
SBCA	7.567,68 a	53,48 ab *	374,90 ab
SSB	5.460,14 a	29,06 b	311,16 b

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

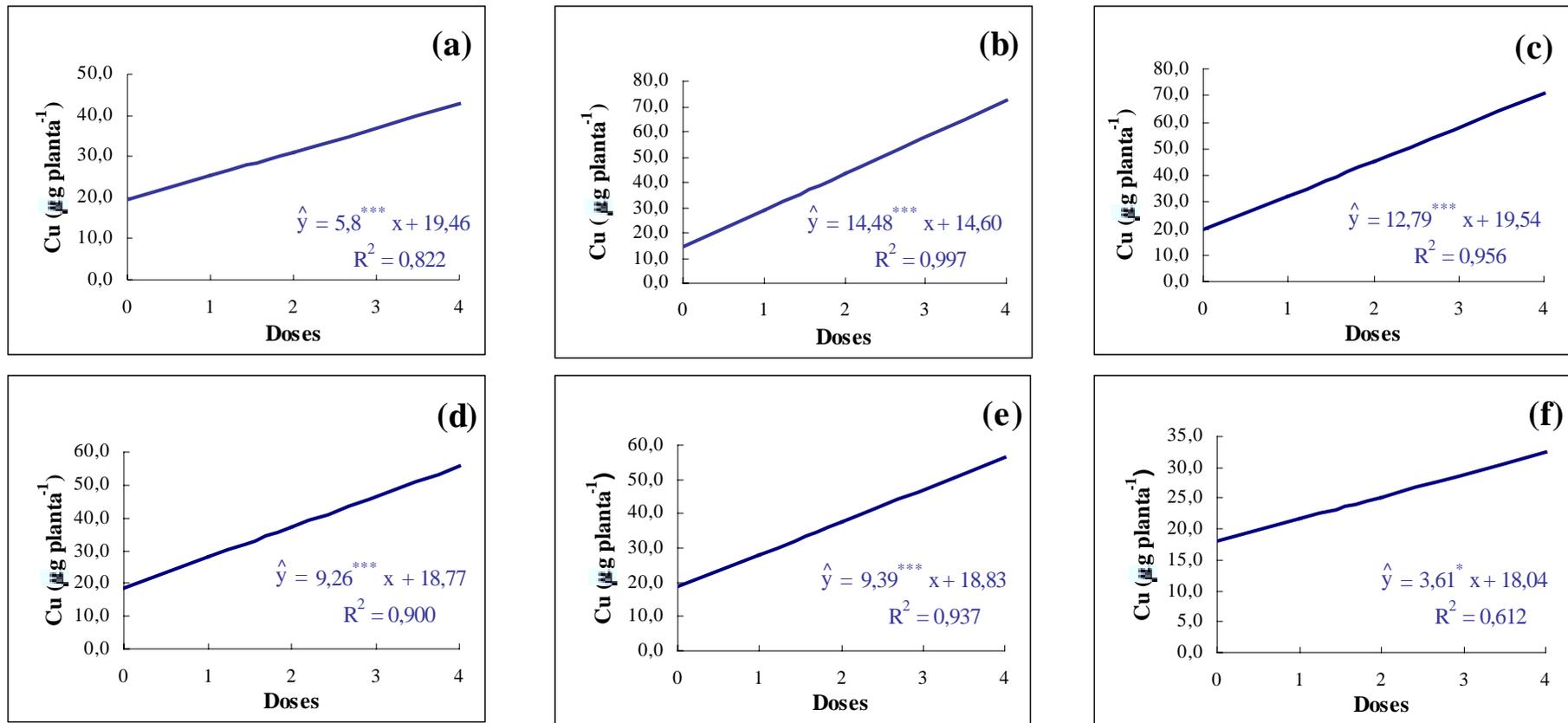
Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro da mesma dose, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

* e ⁺ indicam que a média do tratamento difere da média da testemunha absoluta e da testemunha química, respectivamente, pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).



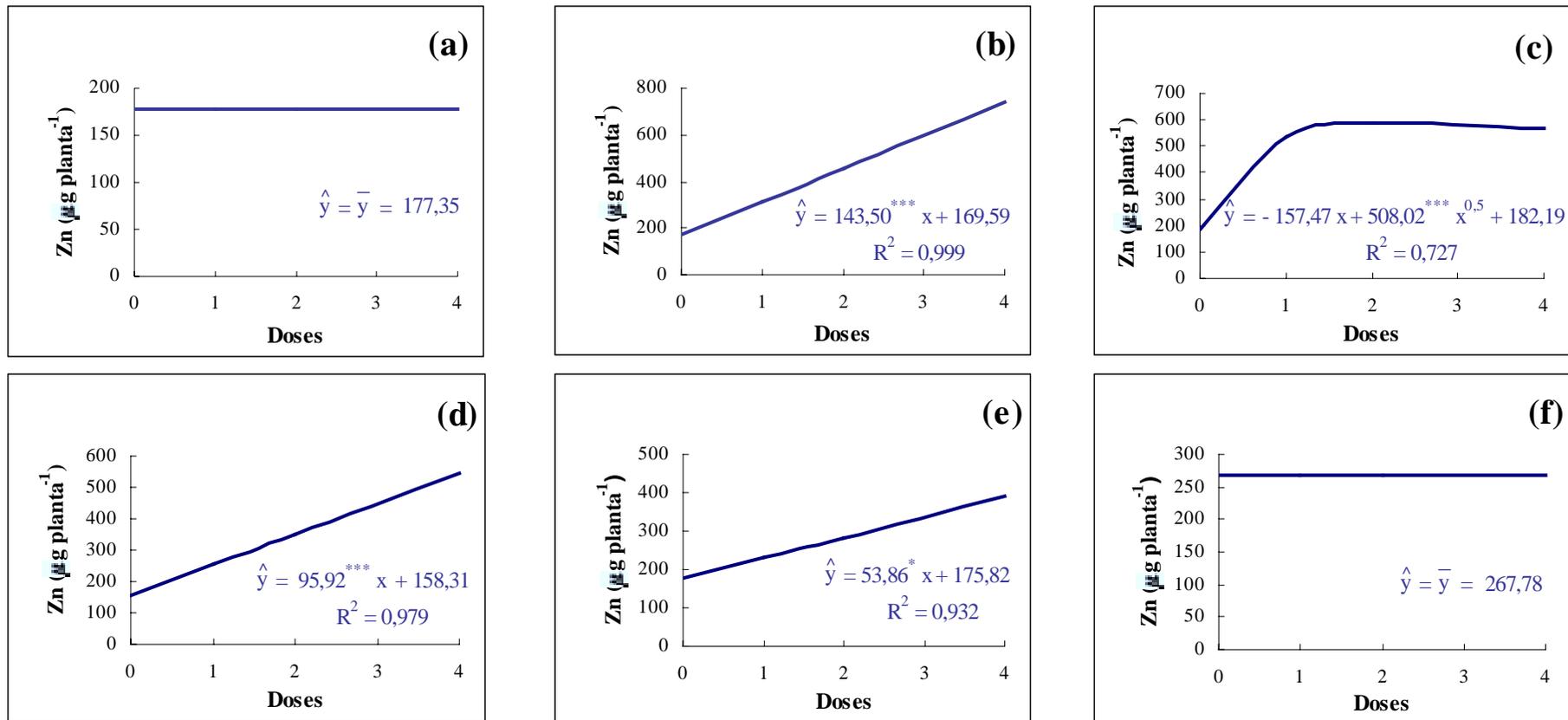
*** equações ajustadas, em nível de 1% de significância, pelo teste t

Figura 13 – Estimativa dos conteúdos de ferro (Fe) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.



* e *** equações ajustadas, respectivamente, em níveis de 10% e 1% de significância, pelo teste t

Figura 14 – Estimativa dos conteúdos de cobre (Cu) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.



* e *** equações ajustadas, respectivamente, em níveis de 10% e 1% de significância, pelo teste t

Figura 15 – Estimativa dos conteúdos de zinco (Zn) em plantas de alface, cultivar Brasil 303, em função da dose de composto orgânico aplicado. Os gráficos referem-se a: (a) composto de casca de café, (b) composto de fino de carvão, (c) composto de casca de arroz, (d) composto de serragem de madeira, (e) composto de bagaço de cana-de-açúcar e (f) composto de sabugo de milho triturado.

No cobre, observou-se que SFC e SCA, na dose 4 (Quadro 13), apresentaram conteúdos na planta superiores aos obtidos com TQ. Como esses tratamentos receberam maiores quantidades de compostos orgânicos, tornou-se evidente a razão desses resultados.

A alface cultivada no substrato SCA, mesmo na dose 1, proporcionou maior acúmulo de Cu nas plantas que em TA. Na dose 4, com exceção do SSB, todos os demais tratamentos proporcionaram maior acúmulo de Cu nas plantas que a TA.

As concentrações médias de cobre da parte aérea da alface, de todos os tratamentos estudados, encontraram-se na faixa de 0,27 a 0,53 $\mu\text{g g}^{-1}$ de matéria fresca. Comparando esses valores com os admissíveis na legislação de alimentos para consumo humano, que são de 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Cu na matéria fresca, conforme ASSOCIAÇÃO...– ABIA (1985), observou-se que os valores estimados eram muito inferiores aos limites apresentados.

Na Figura 14, verificou-se que o conteúdo de Cu aumentou linearmente com a elevação da dose aplicada em todos os compostos utilizados.

De forma semelhante ao que foi observado no cobre (Quadro 13), o Zn acumulou-se mais nas plantas cultivadas nos tratamentos com SCA e SFC. A explicação para esse fato foi o maior fornecimento do metal em função da maior quantidade de composto aplicada.

Os conteúdos de Zn nos tratamentos com SCC e SSB não foram influenciados pelas doses aplicadas (Figura 15), semelhantemente ao que ocorreu com o Fe. Nos tratamentos com SFC, SSM e SBC, o conteúdo de Zn aumentou linearmente com a elevação da dose aplicada, enquanto no tratamento com SCA o conteúdo de Zn aumentou com as doses aplicadas até atingir um ponto máximo, passando, então, a decrescer.

As concentrações médias de zinco na parte aérea da alface, de todos os tratamentos avaliados, encontravam-se na faixa de 1,55 a 8,16 $\mu\text{g g}^{-1}$ de matéria fresca. Comparando esses valores com o admissível pela legislação para o consumo humano (50 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Zn na matéria fresca), conforme

ASSOCIAÇÃO...– ABIA (1985), observou-se que os valores encontrados foram muito inferiores aos limites apresentados.

Analisando o comportamento das plantas como um todo, observou-se que os conteúdos de nutrientes absorvidos mostraram-se sempre abaixo dos encontrados por SANTOS (1995). A produção de matéria seca total (MST) da alface, inclusive das plantas que receberam adubação mineral (TQ) convencional, apresentou-se baixa. Acredita-se, em razão disso, que algum problema associado às condições físicas do solo ou climáticas, não controladas, tenha sido responsável por esses resultados. Das condições físicas do solo, suspeita-se de deficiência de aeração na zona radicular, uma vez que, por ocasião da colheita das plantas de alface, verificou-se que, em todos os tratamentos, o sistema radicular da planta não se desenvolveu muito e ficou restrito à camada mais superficial de solo, no vaso. Talvez, o solo muito argiloso, tendo sua estrutura alterada, tenha dificultado as trocas gasosas. Das condições climatológicas, acredita-se que a temperatura alta e a baixa ventilação no interior da casa de vegetação possam ter prejudicado o crescimento das plantas e, inclusive, favorecido a ocorrência de queima de bordos das folhas.

Os compostos produzidos com casca de arroz, na menor dose, e com fino de carvão, nas duas maiores doses, foram os tratamentos que proporcionaram maiores produções e maior conteúdo de nutrientes nas plantas de alface. No entanto, as plantas de alface adubadas com compostos produzidos com casca de café e sabugo de milho, em todas as doses utilizadas, pouco diferiram das testemunhas química (TQ) e absoluta (TA).

Acredita-se que, além dos problemas de deficiência de aeração na zona radicular, esses materiais não tenham sofrido suficiente mineralização no solo, não sendo, dessa forma, possível a disponibilização dos nutrientes para as plantas. Como o conteúdo de N-total nas plantas de alface foi inferior aos obtidos com a adubação mineral, em todos os tratamentos e doses, acredita-se que tenha havido pouco tempo para mineralização significativa dos compostos orgânicos no solo.

Os conteúdos de nitrato e dos metais pesados Cu e Zn, mesmo na maior dose de compostos orgânicos aplicada, podem ser considerados baixos, sem risco para a saúde, no caso do consumo “in natura” das plantas de alface cultivadas nessas condições.

4.3. Avaliações do substrato após a colheita da alface

Nos Quadros 14 e 15 estão apresentados o resumo da análise de variância e os teores médios de matéria orgânica (MO), condutividade elétrica (CE) e capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva, determinados nos diferentes substratos após a colheita da alface.

Não houve diferença no teor de matéria orgânica e no valor de CTC efetiva dos substratos, entre os tratamentos adubados com compostos orgânicos e TQ, enquanto a CE foi, na maioria dos casos, diferente ($P \leq 0,05$).

4.3.1. Matéria orgânica

Os teores de matéria orgânica dos substratos utilizados neste trabalho, tanto antes quanto depois da aplicação dos compostos ($> 4,0 \text{ dag kg}^{-1}$), podem ser considerados altos (Quadros 6 e 15), em comparação com os mencionados por TOMÉ JÚNIOR (1997), que argumentou que, em condições de clima tropical, devido às altas velocidades de mineralização do material orgânico, os teores de matéria orgânica no solo tendem a ser mais baixos. Assim, em solos argilosos, após alguns anos de cultivo, dificilmente se obtêm teores elevados de matéria orgânica, que devem estabilizar-se em torno de 2,5 a 3,0 dag dm^{-3} .

Apenas no tratamento com SFC houve aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo, mesmo após o cultivo da alface, tomando-se por base os valores apresentados em TA e TQ (Quadro 15).

Observando os resultados da matéria orgânica (MO) apresentados no Quadro 15, verificou-se a ocorrência de valores similares nas doses 1 e 4, em que o SFC apresentou teores de MO superiores aos obtidos nos demais tratamentos.

Quadro 14 – Resumo da análise de variância dos teores de matéria orgânica (MO), condutividade elétrica (CE) e CTC efetiva nos diferentes substratos, após a colheita da alfaca

Fonte de Variação ⁽¹⁾	GL	Quadrados Médios		
		MO	CE	CTC _{efetiva}
TA vs. demais	1	2,78 E-01 ^{ns}	1,03 E-01 ^{ns}	2,43 E-01 ^{ns}
TQ vs. compostos	1	4,62 E-01 ^{ns}	3,01 E-01 *	1,55 E-03 ^{ns}
Compostos	5	4,94 *	3,46 E-01 *	1,49 *
Dose dentro do trat. SCC	2	1,46 E-01 ^{ns}	3,63 E-01 *	1,98 E-01 ^{ns}
Dose dentro do trat. SFC	2	2,67 *	6,45 E-02 ^{ns}	8,44 E-02 ^{ns}
Dose dentro do trat. SCA	2	6,44 E-01 *	8,98 E-01 *	1,70 *
Dose dentro do trat. SSM	2	6,31 E-01 *	3,11 E-01 *	5,90 E-01 *
Dose dentro do trat. SBC	2	8,61 E-02 ^{ns}	4,31 E-01 *	7,24 E-01 *
Dose dentro do trat. SSB	2	1,35 E-01 ^{ns}	1,30 E-01 ^{ns}	2,12 E-01 ^{ns}
Resíduo	60	1,54 E-01	5,69 E-02	9,28 E-02
Total	79			
CV (%)		7,82	20,52	4,97

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

* e ^{ns} significativo e não-significativo, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Quadro 15 – Teores médios de matéria orgânica (MO), valores de condutividade elétrica (CE), CTC efetiva do solo e pH, nos diferentes substratos, após a colheita da alface

Tratamentos ⁽¹⁾	MO --- dag kg ⁻¹ ---	CE ---- dS m ⁻¹ ----	CTC _{efetiva} -- cmol _c kg ⁻¹ --	pH
TA	4,77 a	1,00 a	5,88 a	5,85
TQ	4,71 a	1,44 b	6,15 a	5,89
Dose 1				
SCC	5,05 b	0,73 b ⁺	5,76 abc	6,01
SFC	5,97 a* ⁺	1,44 a	6,28 a	5,88
SCA	4,72 b	0,83 b ⁺	6,12 ab	5,97
SSM	4,34 b	1,02 ab	5,69 abc	5,98
SBC	4,55 b	0,77 b ⁺	5,47 c ⁺	5,99
SSB	4,85 b	0,85 b ⁺	5,66 bc	6,03
Dose 2				
SCC	4,79 bc	0,88 a ⁺	6,02 b	5,92
SFC	5,71 a* ⁺	1,19 a	6,34 ab	5,99
SCA	5,44 ab	1,26 a	6,63 a*	5,99
SSM	4,53 c	1,32 a	5,95 b	5,92
SBC	4,84 bc	1,32 a	6,19 ab	5,92
SSB	4,49 c	0,85 a ⁺	5,99 b	6,08
Dose 4				
SCC	4,68 b	1,31 ab	5,58 c	5,94
SFC	7,24 a* ⁺	1,32 ab	6,56 b*	5,82
SCA	5,32 b	1,78 a*	7,41 a* ⁺	6,14
SSM	5,10 b	1,58 ab*	6,45 b*	6,01
SBC	4,68 b	1,42 ab	6,21 b	5,95
SSB	4,71 b	1,16 b	6,10 bc	5,88

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro da mesma dose, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

* e ⁺ indicam que a média do tratamento difere da média da testemunha absoluta e da testemunha química, respectivamente, pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Essa superioridade ocorreu devido à maior quantidade de composto orgânico incorporada ao solo em relação aos demais, pois o composto produzido com fino de carvão apresentava menor concentração de nitrogênio entre os compostos estudados.

4.3.2. Condutividade elétrica

Quanto à CE, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos adicionais TA e TQ (Quadro 15). Entre os tratamentos estudados, observou-se que, na dose 1, o SFC foi o que apresentou maior condutividade elétrica residual. Na dose 2, o comportamento das CE residuais foram estatisticamente semelhantes. Na dose 4, os tratamentos com SCA e SSB exibiram a maior e a menor CE, respectivamente.

Os baixos valores de CE encontrados, a despeito das grandes doses utilizadas, podem ser explicados por se encontrar parte dos íons do composto orgânico complexada por moléculas orgânicas. Além disso, como a mineralização dos compostos orgânicos no período de experimentação não foi, aparentemente, suficiente para obtenção da produção potencial da alface, a disponibilidade desses íons no solo após o cultivo foi, também, deficitária. Na testemunha química (TQ), como os adubos foram aplicados na forma mineral, observaram-se maiores valores de CE, particularmente quando foram comparadas a dose 1 dos compostos SCC, SCA, SBC e SSB e a dose 2 dos compostos SCC e SBC. Na dose 4, os tratamentos SCA e SSM apresentaram maior CE que a TA, indicando possível acúmulo de sais no solo quando as plantas foram adubadas nesses níveis.

4.3.3. Capacidade de troca catiônica

Pelos valores de CTC efetiva apresentados no Quadro 15, pôde-se observar que os compostos que possuíam menor valor de CTC, após 152 dias de decomposição (fino de carvão e casca de arroz), foram os que, de modo geral,

proporcionaram maior CTC efetiva residual ao substrato. Esse comportamento, provavelmente, deveu-se ao fato de que os substratos com compostos orgânicos de maior relação C/N foram os que receberam a maior quantidade de composto orgânico, condição necessária para que fosse atingida a dose de N desejada. O maior volume de composto orgânico incorporado contribuiu para obtenção de maior valor de CTC efetiva do solo.

Analisando a CTC efetiva dos compostos em relação a TA e TQ, pôde-se observar que somente o tratamento com SBC, na dose 1, foi estatisticamente inferior à TQ. Na dose 2, o valor de CTC efetiva do solo, após o cultivo da alface com o SCA, apresentou-se maior que o obtido na TA. Os tratamentos com SFC, SCA e SSM, na dose 4, apresentaram maiores valores de CTC efetiva que a TA, enquanto o com SCA superou também a TQ. Como a CTC efetiva do solo foi determinada pelo método de soma de bases, acredita-se que os maiores valores obtidos nos tratamentos, em relação a TA e TQ, deveram-se à maior quantidade de cátions trocáveis incorporados ao substrato.

4.3.4. pH

No Quadro 15 estão apresentados os valores de pH, onde se pode verificar que, de forma geral, não houve grande variação entre os substratos, estando estes na faixa de 5,82 a 6,14.

O pH dos substratos que receberam compostos orgânicos apresentaram pequena elevação, em comparação com os valores obtidos nas testemunhas absoluta e química. A baixa taxa de mineralização do material orgânico, prejudicada pela deficiente aeração no solo, pode ter dificultado a disponibilização de bases que, hidrolisando a água, poderiam provocar elevação do pH. Além disso, a acidificação do meio, provocada pela introdução de CO₂ produzido na respiração das raízes e dos microrganismos, pode ter tamponado possíveis tendências de elevação do pH no solo.

4.4. "Status" nutricional do solo após o cultivo da alface

Nos Quadros 16 e 17 estão apresentados o resumo de análise de variância e as concentrações médias residuais de nitrogênio total, nitrato, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio encontradas nos diferentes substratos, após a colheita da alface.

4.4.1. Nitrogênio total e nitrato

Observou-se que, na concentração de nitrogênio residual no substrato dos tratamentos adicionais, TA foi maior que TQ e que apenas o tratamento com SBC, na dose 1, apresentou maior concentração de N-total quando comparado com os demais compostos ($P \leq 0,05$), sendo, também, superior a TA e TQ (Quadro 17).

O menor resíduo de N-total no tratamento que recebeu adubação mineral nitrogenada foi associado à maior absorção desse nutriente, mais disponível que nos tratamentos com a adubação orgânica.

Em relação à concentração residual de nitrato no substrato, não houve diferença significativa entre TA e TQ. Na dose 1, o tratamento SFC apresentou maior concentração de nitrato que os demais tratamentos, além de ter apresentado, também, concentração de nitrato superior à da TQ, pelo teste de Dunnett.

De forma geral, observou-se que a concentração residual de nitrato no SFC, em todas as doses estudadas, tendeu a apresentar valores maiores que os demais compostos. Acredita-se que esse efeito foi correlacionado com a maior aeração existente nesse substrato, o que proporcionou maior concentração desse elemento nos substratos.

Quadro 16 – Resumo da análise de variância das concentrações de N-total e das concentrações de nitrato, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio nos diferentes substratos, após a colheita da alface

Fonte de Variação ⁽¹⁾	GL	Quadrados Médios						
		N-total	NO ₃ ⁻	P	K	Na	Ca	Mg
TA vs. demais	1	3,33 E-04 ^{ns}	11.171,60 ^{ns}	390,88 ^{ns}	4.946,08 *	1.435,21 *	8,0 E-02 ^{ns}	1,86 E-01 ^{ns}
TQ vs. compostos	1	2,07 E-03 ^{ns}	2.675,94 ^{ns}	3,57 ^{ns}	5.047,48 *	1.434,80 *	12,8 E-01 *	6,20 E-01 *
Compostos	5	1,08 E-03 ^{ns}	55.479,26 *	1.530,71 *	2.791,48 *	698,02 *	10,1 E-01 *	8,06 E-02 ^{ns}
Dose dentro do trat. SCC	2	9,94 E-04 ^{ns}	11.410,93 ^{ns}	47,12 ^{ns}	4.677,61 *	1.134,08 *	3,74 E-02 ^{ns}	3,46 E-02 ^{ns}
Dose dentro do trat. SFC	2	7,49 E-05 ^{ns}	18.801,63 ^{ns}	561,91 ^{ns}	802,61 *	230,58 *	1,54 E-02 ^{ns}	2,11 E-02 ^{ns}
Dose dentro do trat. SCA	2	5,70 E-05 ^{ns}	20.343,91 ^{ns}	374,83 ^{ns}	13.522,71 *	2.560,08 *	1,38 E-01 ^{ns}	1,53 E-01 ^{ns}
Dose dentro do trat. SSM	2	1,23 E-03 ^{ns}	304,04 ^{ns}	23,38 ^{ns}	8.866,16 *	2.110,33 *	6,5 E-03 ^{ns}	7,36 E-02 ^{ns}
Dose dentro do trat. SBC	2	5,40 E-03 *	437,92 ^{ns}	8,81 ^{ns}	2.500,09 *	721,33 *	3,70 E-01 *	2,90 E-02 ^{ns}
Dose dentro do trat. SSB	2	2,20 E-04 ^{ns}	9.204,67 ^{ns}	104,22 ^{ns}	8.139,10 *	1.679,08 *	1,21 E-01 ^{ns}	4,50 E-02 ^{ns}
Resíduo	60	6,08 E-04	8.729,70	208,39	178,05	37,46	10,05 E-02	6,92 E-02
Total	79							
CV (%)		12,22	81,78	93,45	30,81	29,00	5,99	14,71

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

* e ^{ns} significativo e não-significativo, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Quadro 17 – Concentrações médias residuais de N-total, nitrato, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio encontradas nos diferentes substratos, após a colheita da alface

Tratamentos ⁽¹⁾	N-total - dag kg ⁻¹ -	NO ₃ ⁻ - mg kg ⁻¹ -	P ----- mg dm ⁻³ -----	K ----- mg dm ⁻³ -----	Na ----- mg dm ⁻³ -----	Ca ----- cmol _c dm ⁻³ -----	Mg
TA	0,21 a	165,75 a	5,81 b	9,04 a	3,17 a	5,43 a	0,35 a
TQ	0,18 b	136,71 a	16,87 a	10,54 a	4,17 a	5,83 a	0,19 a
Dose 1							
SCC	0,18 b	28,95 b	9,41 ab	18,55 a	8,67 a	5,10 ab ⁺	0,43 b
SFC	0,20 b	321,27 a ⁺	10,26 ab	17,05 a	7,67 a	5,56 a	0,56 a
SCA	0,20 b	45,20 b	36,71 a *	14,54 a	9,92 a	5,43 ab	0,55 a
SSM	0,19 b	85,40 b	3,38 b	18,55 a	10,92 a	5,04 ab ⁺	0,52 ab
SBC	0,26 a * ⁺	95,12 b	20,21 ab	11,04 a	6,67 a	4,88 b ⁺	0,48 ab
SSB	0,19 b	109,60 b	11,65 ab	22,05 a	10,17 a	4,92 b ⁺	0,47 ab
Dose 2							
SCC	0,21 a	92,21 a	2,68 a	47,09 ab * ⁺	20,67 abc* ⁺	4,95 b ⁺	0,52 b
SFC	0,19 a	226,96 a	17,10 a	25,06 b	11,92 c	5,66 a	0,48 b
SCA	0,21 a	182,31 a	24,36 a	55,10 a * ⁺	29,92 a * ⁺	5,56 a	0,75 a ⁺
SSM	0,19 a	97,04 a	3,74 a	45,59 ab * ⁺	25,42 ab * ⁺	5,09 ab ⁺	0,58 b
SBC	0,19 a	84,64 a	19,31 a	18,55 b	10,67 c	5,49 ab	0,55 b
SSB	0,20 a	38,37 a	15,41 a	24,06 b	13,42 bc	5,21 ab ⁺	0,56 b
Dose 4							
SCC	0,21 a	135,13 a	4,87 b	86,65 bc * ⁺	41,92 bc * ⁺	4,92 c ⁺	0,62 c
SFC	0,19 a	187,92 a	33,34 ab *	44,59 d * ⁺	22,42 d * ⁺	5,66 ab	0,62 c
SCA	0,21 a	79,75 a	43,45 a *	129,21 a * ⁺	60,17 a * ⁺	5,80 a	0,95 a * ⁺
SSM	0,22 a	79,97 a	7,74 b	110,18 ab* ⁺	55,92 a * ⁺	5,11 bc ⁺	0,78 b ⁺
SBC	0,20 a	74,20 a	17,31 ab	57,60 cd * ⁺	31,67 cd * ⁺	5,22 abc ⁺	0,65 c
SSB	0,18 a	18,33 a	5,31 b	101,17 ab* ⁺	47,17 ab * ⁺	4,89 c ⁺	0,68 bc ⁺

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro da mesma dose, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05).

* e ⁺ indicam que a média do tratamento difere da média da testemunha absoluta e da testemunha química, respectivamente, pelo teste de Dunnett (P ≤ 0,05).

4.4.2. Fósforo

Observou-se que, na dose 1, o SCA apresentou maior concentração de fósforo quando comparado com o SSM. Na dose 2, os substratos se equipararam estatisticamente, enquanto na dose 4 se observou superioridade do SCA em relação a SCC, SSM e SSB. Verificou-se maior concentração residual de P no substrato da TQ em relação aos da TA, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Quadro 17).

Fazendo a comparação dos substratos com compostos orgânicos em relação aos tratamentos adicionais pelo teste de Dunnett, verificou-se que, na dose 1, apenas o SCA apresentou concentração de fósforo maior que a TA. Na dose 2, todos os substratos com compostos apresentaram-se estatisticamente iguais à TA; na dose 4, SCA e SFC apresentaram concentrações de P maiores que a TA. Em relação à TQ, todos os substratos, nas três doses avaliadas, apresentaram-se estatisticamente iguais à TQ (Quadro 17).

De forma geral, observou-se que as concentrações de fósforo nos substratos, após o cultivo da alface, tenderam a aumentar com a dose aplicada. Entretanto, o alto coeficiente de variação e a instabilidade observada nos resultados obtidos com uso de alguns substratos impediram que se obtivessem diferenças significativas entre as médias.

Entre os substratos estudados, observou-se que, com base nos Quadros 11 e 17, o SCA apresentou boa resposta à concentração de P, tanto na planta como no substrato após o cultivo.

4.4.3. Potássio e sódio

Pelo Quadro 17, as concentrações de potássio e sódio na TA não diferiram das obtidas na TQ, embora adubação potássica tenha sido utilizada na última. Na dose 1, não houve diferença entre as concentrações residuais de K e Na nos substratos; na dose 2, o SCA apresentou maior concentração de K e Na

residuais que os SFC, SBC e SSB. Já na dose 4, as concentrações de K e Na no SCA foram maiores que as obtidas no SCC, SFC e SBC.

Ao realizar o teste de médias das concentrações de K e Na para comparar cada substrato que contém composto com os substratos dos tratamentos adicionais TA e TQ, observou-se que, na dose 1, todos os substratos com compostos orgânicos apresentaram-se estatisticamente iguais aos substratos das testemunhas absoluta e química. Na dose 2, os tratamentos SCC, SCA e SSM apresentaram maiores concentrações de K e Na que TA e TQ. Na dose 4, observou-se que todos os substratos com composto apresentaram maior concentração de K e Na que TA e TQ.

De forma geral, verificou-se que as concentrações de potássio e de sódio residuais foram superiores nos substratos que receberam compostos orgânicos.

4.4.4. Cálcio e magnésio

Verificou-se que a testemunha absoluta não diferiu da química para concentrações de Ca e Mg, uma vez que a fonte de Ca e Mg foi a mesma (calcário dolomítico) e na mesma dose de aplicação. Entre os substratos, verificou-se a existência de diferenças nas concentrações de Ca e Mg residuais (Quadro 17). Na dose 1, as concentrações de Ca diferiram estatisticamente, e o SFC apresentou maior concentração que o SBC e o SSB. Na dose 2, as concentrações residuais de Ca nos substratos SFC e SCA foram superiores às obtidas no SCC. Na dose 4, o SCA teve a concentração de cálcio residual estatisticamente maior que SSM, SCC e SSB e semelhantes aos substratos SFC e SBC.

Ainda no Quadro 17, comparando cada tratamento com adubação orgânica com os tratamentos adicionais TA e TQ, verifica-se que, na concentração de Ca, na dose 1, com exceção dos tratamentos SFC e SCA, todos os demais se apresentaram estatisticamente inferiores a TQ. Nas doses 2 e 4, observou-se que os tratamentos SCC, SSM e SSB indicaram menores concentrações de Ca residual, em comparação com TQ; na dose 4, também se

verificou menor concentração de Ca no tratamento SBC em comparação com TQ.

Nas concentrações residuais de Mg, observou-se que, na dose 1 do SFC e SCA, as concentrações foram superiores às do SCC e semelhantes às demais. Nas doses 2 e 4, as concentrações residuais de Mg foram superiores no substrato SCA, que foi o que mais se destacou entre todos.

Analisando cada composto com os tratamentos adicionais, TA e TQ, na concentração de Mg dos substratos, observou-se que, na dose 1, todos os tratamentos apresentaram-se estatisticamente iguais a TA e TQ. Na dose 2, apenas o SCA exibiu maior concentração de magnésio residual que a testemunha química; na dose 4, o SCA apresentou maior concentração de Mg que TA e TQ. Os tratamentos SSM e SSB tiveram maiores valores de Mg residual que TQ.

4.4.5. Ferro, cobre e zinco

Nos Quadros 18 e 19 estão apresentados, respectivamente, o resumo de análise de variância e as concentrações médias de ferro, cobre e zinco encontradas no substrato, após a colheita da alface.

No Quadro 19, pode-se verificar que, entre os tratamentos TA e TQ, as concentrações de micronutrientes Fe, Cu e Zn não apresentaram diferenças, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, o que é plenamente justificável, já que a adubação química consistiu na aplicação de NPK apenas.

As concentrações médias de ferro encontradas nos substratos com compostos orgânicos, na dose 1, não diferiram estatisticamente. Já na dose 2, observou-se que SFC apresentou maior concentração de Fe quando comparado com SSM. Na dose 4, o SFC apresentou também maior concentração de Fe, em comparação com o SCC.

Ainda no Quadro 19, analisando os tratamentos adicionais em relação aos substratos com compostos na concentração de Fe, verificou-se que apenas o tratamento do SSM, na dose 2, apresentou, pelo teste de Dunnett, menor concentração quando comparado com TQ.

Quadro 18 – Resumo da análise de variância das concentrações de ferro, cobre e zinco residuais nos diferentes substratos, após a colheita da alface

Fonte de Variação ⁽¹⁾	GL	Quadrados Médios		
		Fe	Cu	Zn
TA vs. demais	1	555,84 ^{ns}	6,44 E-01 *	12,32 *
TQ vs. compostos	1	1.716,76 ^{ns}	5,99 E-01 *	18,14 *
Compostos	5	4.568,90 *	13,51 E-01 *	25,46 *
Dose dentro do trat. SCC	2	396,54 ^{ns}	2,70 E-03 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Dose dentro do trat. SFC	2	1.020,80 ^{ns}	6,19 E-01 *	14,32 *
Dose dentro do trat. SCA	2	9,47 ^{ns}	11,30 E-01 *	33,83 *
Dose dentro do trat. SSM	2	1.140,73 ^{ns}	19,10 E-01 *	16,34 *
Dose dentro do trat. SBC	2	1.030,80 ^{ns}	3,78 E-01 *	2,76 *
Dose dentro do trat. SSB	2	23,21 ^{ns}	1,03 E-01 ^{ns}	6,05 *
Resíduo	60	796,57	5,08 E-02	8,42 E-02
Total	79			
CV (%)		12,34	36,29	10,59

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

* e ^{ns} significativo e não-significativo, respectivamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Quadro 19 – Concentrações trocáveis médias de ferro, cobre e zinco residuais nos diferentes substratos, após a colheita da alface

Tratamentos ⁽¹⁾	Fe	Cu	Zn
	----- mg dm ⁻³ -----		
TA	240,28 a	0,23 a	1,03 a
TQ	248,35 a	0,26 a	0,76 a
Dose 1			
SCC	213,43 a	0,25 a	0,85 d
SFC	237,97 a	0,43 a	1,96 b * +
SCA	232,24 a	0,60 a	2,68 a * +
SSM	200,13 a	0,36 a	1,61 bc * +
SBC	255,28 a	0,27 a	1,34 cd +
SSB	218,17 a	0,22 a	1,39 bcd +
Dose 2			
SCC	214,15 ab	0,25 c	0,94 d
SFC	267,65 a	0,64 abc	3,03 b * +
SCA	233,22 ab	1,06 a * +	4,64 a * +
SSM	192,64 b +	0,82 ab * +	2,92 b * +
SBC	241,95 ab	0,45 bc	1,96 c * +
SSB	219,52 ab	0,31 c	2,08 c * +
Dose 4			
SCC	196,54 b	0,29 e	1,20 e
SFC	263,06 a	1,19 bc * +	5,64 b * +
SCA	230,20 ab	1,66 ab * +	8,40 a * +
SSM	224,91 ab	1,72 a * +	5,58 b * +
SBC	223,32 ab	0,87 cd * +	2,99 d * +
SSB	222,85 ab	0,53 de	3,78 c * +

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química. SCC, SFC, SCA, SSM, SBC e SSB são, respectivamente, substratos com composto de casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho.

Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro da mesma dose, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

* e + indicam que a média do tratamento difere da média da testemunha absoluta e da testemunha química, respectivamente, pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

O aumento da dose aplicada de composto orgânico promoveu incremento na concentração residual de Cu e Zn (Quadro 19). Em relação às concentrações médias de Cu residual, observou-se que, na dose 1, os compostos orgânicos apresentaram-se, estatisticamente, semelhantes; entretanto, na dose 2, diferiram entre si, com a ressalva de que o SCA apresentou maior concentração de Cu que SBC, SSB e SCC. Já na dose 4, os valores de Cu residual no SSM foram superiores aos encontrados em SFC, SBC, SSB e SCC.

Os tratamentos no SCA e no SSM, nas doses 2 e 4, e os no SFC e SBC, na dose 4, apresentaram efeitos residuais de Cu maiores que TA e TQ. A concentração residual máxima de Cu encontrada nos substratos ocorreu no SSM, na dose 4, correspondente a $1,72 \text{ mg dm}^{-3}$. Segundo MALAVOLTA (1994), nos solos brasileiros, as concentrações de Cu disponível normalmente encontradas variam de 0,1 a 10 mg dm^{-3} e que a concentração de Cu total considerado excessivo, do ponto de vista fitotóxico, varia de 60 a 125 mg dm^{-3} . Diante disso, pode-se considerar de pequeno risco o acúmulo de Cu em solos adubados com os compostos orgânicos utilizados neste trabalho.

Nas concentrações médias de Zn, verificou-se a ocorrência de respostas diferenciadas entre os substratos, em todas as doses, sendo o SCA, em todas as doses, o substrato que apresentou a maior concentração de Zn, em comparação com os demais. Nas doses 2 e 4, o SCC foi o substrato que apresentou a menor concentração de Zn.

Comparando as concentrações de Zn nos substratos que receberam compostos orgânicos com TQ, verificou-se que, em todas as doses estudadas, apenas o tratamento SCC não diferiu significativamente de TQ. Ao analisar os substratos com compostos orgânicos, observou-se que as concentrações residuais de Zn de SFC, SCA e SSM, em todas as doses, mostraram-se maiores quando comparadas com TA; nas doses 2 e 4, verificou-se superioridade também dos tratamentos SBC e SSB em relação à TA.

Em relação ao Zn, observou-se que o substrato detentor da maior concentração residual foi o SCA, nas três doses utilizadas, tendo sido obtida na dose 4 uma concentração de $8,40 \text{ mg dm}^{-3}$. Este valor, conforme informações

apresentadas por MALAVOLTA (1994), ficou dentro da faixa das concentrações de Zn normalmente encontrada nos solos brasileiros, que variou de 0,2 a 13 mg dm⁻³ e foi bem abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas, que são de 70 a 400 mg dm⁻³. Dessa forma, observou-se que, ao utilizar esses compostos, o risco de contaminação do solo foi pequeno; porém, deve-se estudar seu efeito sobre doses maiores, sobretudo, do SCA, substrato no qual o composto orgânico incorporado proporcionou maiores incrementos na concentração residual de Zn, com o aumento da dose aplicada. O Zn mostrou-se mais disponível no meio que o Cu.

O efeito residual de Cu e Zn no substrato poderia ser esperado, visto que os compostos orgânicos utilizados apresentavam quantidades relativamente altas desses metais (Quadro 5). O expressivo aumento de sua concentração trocável residual nos substratos com o aumento da dose aplicada é indicativo de que esta tenha permanecido fracamente associada à fração orgânica do solo (Quadro 19).

Os resultados das análises do solo confirmaram os obtidos nas análises da planta, pois se verificou que, de forma geral, os tratamentos que proporcionaram maiores efeitos residuais no substrato, após a colheita da alface, foram os que receberam maiores quantidades de composto orgânico (SFC e SCA).

5. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos, concluiu-se que:

- O uso de compostos orgânicos de alta relação C/N não influenciou a produção de matéria seca e o conteúdo de nitrogênio nas plantas.

- Nos tratamentos adubados com compostos orgânicos produzidos com fino de carvão e casca de arroz ocorreu maior produção de matéria seca, enquanto os adubados com compostos produzidos com casca de café e sabugo de milho triturado foram os que proporcionaram menores produções de matéria seca em plantas de alface.

- O conteúdo de nutrientes absorvidos pelas plantas esteve, em geral, abaixo dos limites encontrados na literatura.

- Os compostos produzidos com casca de arroz e fino de carvão foram os que proporcionaram maior produção de matéria seca em plantas de alface e maior teor residual de matéria orgânica no substrato.

- O conteúdo de N-total encontrado nas plantas que receberam adubação orgânica esteve abaixo dos encontrados nas plantas que receberam adubação mineral.

- Os conteúdos de nitrato e dos metais pesados Cu e Zn nas plantas de alface podem ser considerados baixos quando comparados com os níveis

recomendados, para consumo humano, pela Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação.

- O composto produzido com casca de arroz foi, de forma geral, o que proporcionou maiores incrementos de Fe, Cu e Zn no substrato; entretanto, as concentrações residuais de Cu e Zn nas doses estudadas estiveram bem abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas às plantas.

RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de estudar a decomposição aeróbia e o aproveitamento, como fertilizante, dos materiais utilizados como filtros orgânicos no tratamento de águas residuárias da suinocultura, foi conduzido, em casa de vegetação, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, um experimento constituído de duas etapas: monitoramento e avaliação da decomposição aeróbia dos diferentes materiais orgânicos (casca de café, fino de carvão, casca de arroz, serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho triturado) enriquecidos com águas residuárias da suinocultura; e avaliação do valor fertilizante dos compostos orgânicos produzidos na cultura da alface.

Na primeira etapa, foi estudada a dinâmica do carbono, do nitrogênio e da relação C/N das medas em decomposição, constituídas pelos materiais retirados dos filtros. Após 152 dias de decomposição, os materiais foram analisados quanto às suas características analíticas. Na segunda etapa, buscou-se avaliar o valor fertilizante dos compostos orgânicos produzidos, cultivando, em vasos, alface, cultivar Brasil 303, e aplicando doses correspondentes a uma, duas e quatro vezes à adubação nitrogenada recomendada para essa cultura, além de duas testemunhas: uma com adubação mineral recomendada para a referida cultura e outra sem adubação. O efeito residual nos substratos também foi avaliado.

Dos dados obtidos, concluiu-se que:

- Entre os materiais orgânicos estudados, o bagaço de cana-de-açúcar pode ser considerado o de mais rápida degradabilidade e o fino de carvão vegetal, o de menor degradabilidade com o tempo.

- Os compostos orgânicos produzidos com casca de arroz e fino de carvão não alcançaram a maturidade no período de monitoramento, após sucessivas aplicações de águas residuárias da suinocultura.

- Apenas os compostos produzidos com casca de café e bagaço de cana-de-açúcar apresentaram as especificações determinadas para comercialização como fertilizante composto.

- Apesar de ser a água residuária da suinocultura relativamente rica em metais pesados como cobre e zinco, a concentração total desses metais nos compostos orgânicos produzidos pode ser considerada baixa, do ponto de vista de seu uso na adubação de culturas agrícolas.

- O uso de compostos de alta relação C/N não foi fator de influência sobre a produção de matéria seca e o conteúdo de nitrogênio nas plantas.

- Nos substratos com casca de arroz e fino de carvão, em que foram incorporadas maiores quantidades de compostos orgânicos, houve melhoria nas condições físicas do solo, proporcionando maiores produções de matéria seca e maiores conteúdos de nutrientes em plantas de alface.

- Os compostos produzidos com casca de café e sabugo de milho triturado foram os tratamentos que proporcionaram menores produções de matéria seca.

- O conteúdo de N-total encontrado nas plantas que receberam adubação orgânica esteve abaixo dos encontrados nas plantas com adubação mineral.

- Os conteúdos de nitrato e dos metais pesados Cu e Zn nas plantas de alface podem ser considerados baixos quando comparados com os níveis recomendados, para consumo humano, pela Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação.

- As concentrações residuais de Cu e Zn nos substratos, nas doses estudadas, estiveram abaixo das concentrações consideradas potencialmente tóxicas às plantas.

RECOMENDAÇÕES

Em face das condições experimentais específicas da presente pesquisa, recomenda-se que estudos complementares sejam efetuados com a repetição do citado processo, a fim de poder utilizar os materiais orgânicos produzidos na fertilização de culturas agrícolas. Assim, sugere-se observar os seguintes tópicos:

- Repetir o experimento com maior volume de material, para que se tenham reações termofílicas de degradação.
- Avaliar o desenvolvimento do processo sem a adição continuada de água residuária da suinocultura.
- Efetuar estudos e monitoramento da fase de maturação do material antes de ser utilizado para fins agrícolas.
- Realizar análises microbiológicas durante o monitoramento de todo o processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V. H. **Caracterização química do solo**. Viçosa, MG: UFV, [19--]. 77p. (Mimeografado).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO – ABIA. **Compêndio da legislação dos alimentos**. São Paulo: ABIA, 1985. 185p.
- BANZATTO, D. A., KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNESP, 1992. 247p.
- BAKR, A. A., GAWISH, R. A. Trials to reduce nitrate and oxalate content in some leafy vegetables. 2. Interactive effects of the manipulating of the soil nutrient supply, different blanching media and preservation methods followed by cooking process. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.73, n.2, p.169-178, 1997.
- BARACHO JÚNIOR, J. A. O. O licenciamento e controle ambiental da atividade de suinocultura. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1, 1995, Ponte Nova. **Anais...** Ponte Nova: EPAMIG; CRZM, 1996. p.1-7.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Legislação fertilizantes, corretivos e inoculantes**. Brasília, DF: MARA, [19--]. 143p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Lei da vida. A lei dos crimes ambientais**. Brasília: MMA, 1999. 38p.

- BEAVER, T. Pilot study of coal ash compost. **Compost Science & Utilization**, v.2, n.3, p.18-21, 1994.
- BRANDÃO, V. S. **Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando-se filtros orgânicos**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- BRACCINI, A. L., BRITO, C. H., PÔNZIO, J. B., MORETTI, C. L., LOURES, E. G. Efeito da aplicação de resíduos orgânicos com diferentes relações C/N sobre algumas características químicas de um latossolo vermelho-escuro. **Revista Ceres**, v.42, n.244, p.671-684, 1995.
- BRITO, L. M. C. M., SANTOS, J. Q. As lamas celulósicas e os lixos urbanos como corretivos orgânicos do solo: estudos quantitativos sobre os seus efeitos na alface (*Lactuca sativa* L.) e na couve repolho (*Brassica oleracea* var. capitata). **Revista de Ciências Agrícolas**, v.18, n.3, p.65-78, 1995.
- CAMARGO, L. S. **As hortaliças e seu cultivo**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargil, 1984. 448p.
- CATALDO, D. A., HARDON, M., SCHRADER, M., YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Commun in Soil Sci. Plant Anal.**, v.6, n.1, p.71-81, 1975.
- CHIN, K. K., ONG, S. L. A wastewater treatment system for an industrialized pig farm. **Water Science Technology**, v. 28, n. 7, p. 217-222, 1993.
- CLARK, J. S., GREEN, J. A., NICHOL, W. E. Cation exchange and associated properties of some soils from Vancouver Island. British Columbia. **Can. J. Soil Sci.**, v.47, n.2, p.187-202, 1967.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFMSG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**; 4^a Aproximação. Lavras, MG: UFLA, 1989. 176p.
- DEFELIPO, B. V., RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo (metodologia)**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 17p.
- DELISTOIANOV, F. **Produção, teores de nitrato e capacidade de rebrota de cultivares de alface, sob estufa, em hidroponia e solo, no verão e outono**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 76p. (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

- EIRA, A. F., CARVALHO, P. C. T. A decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos do solo e sua influência nas variações do pH. **Revista de Agricultura**, v.45, n.1, p.15-21, 1970
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS – EMBRAPA-CNPS. **Manual de método de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENÇÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI. **Aspectos práticos do manejo de dejetos suínos**. Florianópolis: EPAGRI, 1995. 106p.
- ERNANI, P. R. Necessidade da adição de nitrogênio para o milho em solo fertilizado com esterco de suíno, cama de aves e adubos minerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, n.1, p. 313-317, 1984
- EUCLYDES, R. F. **Sistemas para análises estatísticas e genéticas (SAEG)**. Manual provisório. Viçosa, MG: UFV, 1983. 74p. (Apostila).
- EVANS, M. R. Treatment of pig slurry. **Pig News and Information**, v.4, n.2, p.135-140, 1983
- FERNANDES, H. S., MARTINS, S. R. Cultivo de alface em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, v.20, n.200/201, p. 56-63, 1999.
- FERNANDES, P. D., OLIVEIRA, G. D., HAAG, H. P. Nutrição mineral de hortaliças. XIV. Absorção de macronutrientes pela cultura da alface. **O Solo**, v.63, n.2, p.7-10, 1971.
- FERREIRA, M. E., CASTELLANE, P. D., CRUZ, M. C. P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1993. 487p.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura, cultura e comercialização de hortaliças**. 2. ed. São Paulo: Agr. Ceres, 1982. v.2, 357p.
- FREITAS, S. P., SEDIYAMA, T., SEDIYAMA, M. A. N., VIDIGAL, S. M., SILVA, A. A. Respostas de algumas hortaliças à adubação com compostos orgânicos ou dejetos líquidos de suínos. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1, 1995, Ponte Nova. **Anais...** Ponte Nova: EPAMIG; CRZM, 1996. p.55-67.
- FURLANI, A. M. C., FURLANI, P. R., BATAGLIA, O. C. Composição mineral de diversas hortaliças. **Bragantia**, v.37, n.5, p. 33-44, 1978.

- GARCIA, L. L. C., HAAG, H. P., MINAMI, K., DECHEN, A. R. Nutrição mineral de hortaliças. XLIX. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz"**, v.39, n.1, p.455-484, 1982a.
- GARCIA, L. L. C., HAAG, H. P., MINAMI, K., DECHEN, A. R. Nutrição mineral de hortaliças. XL. Concentração e acúmulo de micronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz"**, v.39, n.1, p.485-504, 1982b.
- GARCIA, L. L. C., HAAG, H. P., NETO, W. D. Nutrição mineral de hortaliças. Deficiências de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.), cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. In: HAAG, P., MINAMI, K. **Nutrição mineral de hortaliças. Deficiências de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.), cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia.** 2. ed. Campinas: Fundação Cargil, 1988. p.77-101
- GILMOUR, J. T., MAUROMOUSTAKOS, A., GALE, P. M., NORMAN, R. J. Kinetics of crop residue decomposition: variability among crops and years **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.62, n.3, p.750-755, 1998
- GINÉ, M. F., BERGAMIN, H., ZAGATTO, E. A. G., REIS, B. F. Simultaneous determination of nitrate and nitrite by flow injection analysis. **Anal. Chim. Acta**, v.114, n.2, p.191-197, 1980
- HADAS, A., PORTNOY, R. Rates of decomposition in soil and release of available nitrogen from cattle manure and municipal waste composts. **Compost Science & Utilization**, v.5, n.3, p.48-54, 1997.
- HARADA, Y., INOKO, A. The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v.26, n.1, p.127-134, 1980.
- HARADA, Y., INOKO, A., TADAKI, M., IZAWA, T. Maturing process of city refuse compost during piling. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v.27, n.3, p.357 - 364, 1981.
- HARADA, Y., HAGA, K., OSADA, T., KOSHINO, M. Quality of compost from animal wates. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v.26, n.4, p.238-246, 1993.
- HAWORTH, F., CLEAVER, T. J. The effects of different treatments on the yield and mineral composition of winter lettuce. **Journal of Hort. Sci.**, v.42, n.1, p.23-9, 1967.
- HE, X., TRAINA, S. J., LOGAN, T. J. Chemical properties of municipal solid waste composts. **Journ. Environ. Qual.**, v.21, n.1, p.318-29, 1992.

- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1983, Rio de Janeiro. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.232-67.
- IGUE, K. PAVAN, M. A. Uso eficiente de adubos orgânicos In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB, 1984. p.383-418.
- IMBEAH, M. Composting piggery waste:a review. **Bioresource Technology**, v.63, n.3, p.197-203, 1998.
- ITABORAHY, C. R. **Desempenho de sistemas estático e dinâmico com aguapé (*Eichhornia crassipes*) no tratamento de águas residuárias da suinocultura.** Viçosa, MG: UFV, 1998. 177p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- JONES JÚNIOR, J. B., WOLF, B., MILLS, H. A. **Plant analysis handbook.** Athens: Micro-Macro, 1991. 213p.
- KANWAR, R. S., BAKER, J. L., LAFLEN, J. M. Nitrate movement through the soil profile in relation to tillage system and fertilizer application method. **Trans. of the ASAE**, v.28, n.6, p.1802-1807, 1985.
- KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão. In: FERREIRA, M. E., CASTELHANE, P. D., CRUZ, M. C. P. (Eds.). **Nutrição e adubação de hortaliças.** Piracicaba, SP: Potafos, 1993. p.141-148.
- KHATOUNIAN, C. A. Algumas considerações sobre a olericultura orgânica. **Horticultura Brasileira**, v.12, n.2, p.256-258, 1994.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Agr. Ceres, 1985. 492p.
- KIEHL, E. J. Papel dos microrganismos na compostagem. **Ação Ambiental**, v.1, n.1, p.17-20, 1998.
- KONZEN, E. A., PEREIRA FILHO, I. A., BAHIA FILHO, A. F. C., PEREIRA, F. A. Utilização do esterco líquido de suínos na adubação do milho. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1, 1995, Ponte Nova, MG. **Anais...** Ponte Nova, MG: EPAMIG; CRZM, 1995. p.88-110.
- LO, K. V., LAU, A. K., LIAO, P. H. Composting of separated solid swine wastes **J. Agric. Engng. Res.**, v.54, n.4, p. 307-317, 1993.
- LOURES E. G. **Produção de composto no meio rural.** 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 1983. 12p. (Informe Técnico, 17).

- LOURES, E. G. Manejo de dejetos suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998. Poços de Caldas, MG: [s.n.], 1998. Separata.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados**. Piracicaba, SP: Produquímica, 1994. 153p.
- MARRIEL, I. E., KONZEN, E. A., ALVARENGA, R. C., SANTOS, H. L. dos. Tratamento e utilização de resíduos orgânicos. **Informe Agropecuário**, v.13, n.147, p. 24-36, 1987.
- MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674p.
- MATOS, A. T. **Fatores de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa - MG**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 110p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- MATOS, A. T., SEDIYAMA, M. A. N. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquidos de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1, 1995, Ponte Nova. **Anais...** Ponte Nova: EPAMIG; CRZM, 1996. p.24-34.
- MATOS, A. T., SEDIYAMA, M. A. N., FREITAS, S. P., VIDIGAL, S. M., GARCIA, N. C. P. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Ceres**, v.44, n.254, p.399-410, 1997.
- MATOS, A. T., VIDIGAL S. M., SEDIYAMA, M. A. N., GARCIA, N. C. P., RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.2, p.199-203, 1998.
- MAYNARD, A. A. Sustained vegetable production for three years using composted animal manures. **Compost Science & Utilization**, v.2, n.1, p.88-96, 1994
- MAZUR, N., VELLOSO, A. C. X., SANTOS, G. A. Efeito do composto de resíduo urbano no pH e alumínio trocável em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.1, p.157-159, 1983.

- MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos**. Florianópolis: UFSC, 1997. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
- MELLO, F. A. F., BRASIL SOBRINHO, M. O. C., ARZOLLA, S., SILVEIRA, R. I., COBRA NETO, A., KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.
- MUZILLI, O. **A adubação verde como alternativa para a melhoria da fertilidade do solo e racionalização do uso de fertilizantes**. Londrina: IAPAR, 1986. 14p. (IAPAR. Informe da Pesquisa, 68).
- NAKAGAWA, J., PROCHONOW, L. I., BÜLL, L. T., Efeito de compostos orgânicos, obtidos de bagaço de cana fermentado com dois biofertilizantes, na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). **Revista de Agricultura**, v.64, n.3, p.255-262, 1989.
- NAKAGAWA, J., PROCHONOW, L. I., BÜLL, L. T., VILLAS BOAS, R. L. Efeitos de compostos orgânicos na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). Serie I. **Científica**, v.20, n.1, p.173-180, 1992.
- NICOULAUD, B. A. L., MEURER, E. J., ANGHINONI, I. I - Rendimento e absorção de nutrientes por alface em função de calagem e adubação mineral e orgânica em solo "areia quartzosa hidromórfica". **Horticultura Brasileira**, v.8, n.2, p.6-9, 1990.
- OLIVEIRA, P. A. V. (coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA; CNPSA, 1993. 188p. (EMBRAPA-CNPS, Documentos, 27).
- OLIVEIRA, E., PARIZOTTO, M. L. V. **Características e uso de fertilizantes do esterco de suíno**. Londrina, PR: IAPAR, 1994. 24p. (Circular, 83).
- PARENTE FILHO, E. G., SILVA, K. M., LUCENA, E. M. P., CARVALHO, J. C., MACHADO, F. L. C., SANTOS, R. A. Nutrição mineral da alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Babá I-Macronutrientes. **Horticultura Brasileira**, v.11, n.4, p.88, 1993.
- PAUL, E. A., CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 273p.
- PEREIRA NETO, J. T. Tratamento, reciclagem e impacto ambiental de dejetos agrícolas. In: CONFERÊNCIA SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, 1992, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: NEPEMA; UFV, 1992. p.61-71.

- PEIXOTO, R. T. G. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo.** Londrina: IAPAR, 1988. 48p. (IAPAR. Circular, 57).
- PERDOMO, C. C. Uso racional da água no manejo de dejetos suínos. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 1, 1995, Ponte Nova. **Anais...** Ponte Nova: EPAMIG; CRZM, 1996. p.8-23.
- QUIJANO, F. G. **Uso de vermicompostos na nutrição e produção de duas cultivares de alface em ambiente protegido.** Pelotas: UFPe, 1999. 76p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, 1999.
- RICCI, M. S. F. **Crescimento e teores de nutrientes em cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) adubados com vermicomposto.** Viçosa, MG: UFV, 1993. 101p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- RICHARDS, L. A. **Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos.** México: Centro Regional de Ajuda Técnica, 1954. 172p.
- ROCHA, M. T. **Utilização de lodo de esgoto na agricultura: um estudo de caso para as bacias hidrográficas dos rios piracicaba, capivari e jundiáí.** Piracicaba, SP: ESALQ, 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, 1998... <http://cepea.esalq.usp.br/~marcelo/tese/capa.html>
- RODRIGUES, E. T. **Efeitos das adubações orgânica e mineral sobre o acúmulo de nutrientes e sobre o crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.).** Viçosa, MG: UFV, 1990. 60p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- RODRIGUES, E. T. **Seleção de cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) para cultivo com composto orgânico.** Viçosa, MG: UFV, 1995. 164p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- ROIG, A., LAX, A., CEGARRA, J., COSTA, F., HERNANDEZ, M. T. Cation exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. **Soil Science**, v.146, n.5, p.311-316, 1988
- SAHARINEN, M. H. Evaluation of changes in CEC during composting. **Compost Science & Utilization**, v.6, n.4, p.29-37, 1998.

- SANTOS, I. C. dos. **Conteúdo de metais pesados, potássio e sódio e produção de cultivares de alface adubados com composto orgânico de lixo urbano.** Viçosa, MG: UFV, 1995. 89p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- SCHERER, E. E., CASTILHOS, E. G., JUCKSCH, I., NADAL, R. **Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho.** Florianópolis: EMPASC, 1984. 26p. (EMPASC. Boletim Técnico, 24)
- SCHERER, E. E., BALDISSERA, I. T., DIAS, L. F. X. Potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense. **Agropecuária Catarinense**, v.8, n.2, p. 35-39, 1995.
- SEDIYAMA, M. A. N., GARCIA, N. C. P., VIDIGAL, S. M., MATOS, A. T. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. **Scientia Agricola**, v.57, n.1, p.185-189, 2000.
- SHARMA, S. K., SHARMA, C. M., CHAKOR, I. S. Effect of industrial organic wastes and Lantana incorporation on soil properties and yield of rice. **Ind. J. Agron.**, v.33, n.2, p.225-26, 1988.
- SONNENBERG, P. E. (Ed.). **Olericultura especial. Primeira parte.** 5. ed. Goiânia: UFG, 1985. 189p.
- STEVENSON, F. J. **Humus chemistry. Genesis, composition, reactions.** New York: John Wiley & Sons, 1982. 443p.
- SUTTON, A. L. Proper animal manure utilization. **Journal of soil and water conservation**, v.49, n.2, p.65-70, 1994.
- TIQUIA, S. M., TAM, N. F. Y., HODGKISS I. J. Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents. **Bioresource Technology**, v.55, n.3, p.201-206, 1996.
- THOMPSON, S. A., MERKA, W. C., WEBSTER, A. B. Testing of in-house layer manure composting under field conditions. **ASAE Anual International Meeting**, Orlando, Florida, July 11-16, paper nº 984113, 1998.
- TOMÉ JÚNIOR., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo.** [s.l.]: Ed. Agropecuária, 1997. 245p.
- VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água.** 3. ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 1997. 576p.

- VIEIRA, M. L. **Produção de minhocas sobre dejetos suínos para a alimentação de suínos.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 59p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- VIDIGAL, S. M., RIBEIRO, A. C., CASALI, V. W. D., FONTES, L. E. F. Resposta da alface (*Lactuca sativa L.*) ao efeito residual da adubação orgânica. I - Ensaio de campo. **Revista Ceres**, v.42, n.239, p.80-88, 1995.
- VIDIGAL, S. M., SEDIYAMA, M. A. N., GARCIA, N. C. P., MATOS, A. T. Produção de alface cultivada com diferentes compostos orgânicos e dejetos suínos. **Horticultura Brasileira**, v.15, n.1, p.35-39, 1997.
- VON SPERLING, M. **Tratamento e destinação de efluentes líquidos da agroindústria.** Brasília, DF: ABEAS; Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1996. 92 p.
- VLYSSIDÉS, A. G., BOURANIS, D. L., LOIZIDOU, M. A mathematical approach for the evaluation of nutrient elution kinetics from organic soil conditioners, **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.28, n.6-8, p.509-520, 1997.
- YEOMANS, J. C., BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun in Soil Sci. Plant Anal.**, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1A – Concentração média de carbono (dag.kg⁻¹) de amostras de material retirado das medas durante o período de decomposição

Data de aplicação	Casca de arroz	Fino de carvão	Casca de café	Bagaço de cana-de-açúcar	Serragem de madeira	Sabugo de milho
05/Nov.	43,98	55,00	53,04	52,81	54,79	55,12
20/Nov.	43,69	55,02	52,39	50,35	54,90	55,00
05/Dez.	43,39	55,01	51,98	51,01	54,71	54,76
07/Dez.	43,59	55,03	51,93	48,93	54,54	54,80
14/Dez.	41,97	54,58	50,91	47,87	53,35	54,41
21/Dez.	44,36	54,84	51,09	49,63	53,99	54,48
28/Dez.	-	-	50,91	47,48	53,69	54,16
04/Jan.	43,06	54,40	50,26	45,81	51,89	53,43
16/Jan.	42,65	54,56	49,97	46,41	51,52	53,24
25/Jan.	42,80	55,16	49,75	45,58	52,29	53,77
02/Fev.	43,18	54,96	49,29	45,94	52,36	54,11
11/Fev.	42,17	54,77	-	-	-	-
21/Fev.	41,72	54,46	48,83	43,74	51,80	53,62
04/Mar.	41,62	54,56	48,85	43,29	51,90	53,70
19/Mar.	41,04	54,30	47,93	42,75	51,66	53,75
27/Mar.	41,09	54,44	-	-	51,73	53,58
05/Abr.	40,62	53,95	48,21	42,87	50,71	53,15
09/Abr.	-	54,17	-	-	-	-
15/Abr.	40,44	54,29	-	-	50,43	53,31
21/Abr.	40,30	54,11	47,87	42,16	49,97	52,54
02/Maio	39,75	53,99	-	-	50,10	52,79
06/Maio	39,47	53,79	47,74	42,03	49,60	52,83

Quadro 2A – Concentração média de nitrogênio total (dag kg⁻¹) de amostras de material retirado das medas durante o período de decomposição

Data de aplicação	Casca de arroz	Fino de carvão	Casca de café	Bagaço de cana-de-açúcar	Serragem de madeira	Sabugo de milho
05/Nov.	0,48	0,34	2,49	0,55	0,58	0,45
20/Nov.	0,51	0,35	2,92	0,86	0,63	0,60
05/Dez.	0,52	0,36	3,30	1,07	0,74	0,69
07/Dez.	0,54	0,39	3,42	1,23	0,95	0,76
14/Dez.	0,44	0,41	2,98	1,36	0,96	1,01
21/Dez.	0,44	0,41	2,96	1,54	1,12	0,96
28/Dez.	-	-	2,85	1,72	1,19	1,11
04/Jan.	0,45	0,38	2,91	1,89	1,26	1,26
16/Jan.	0,49	0,42	3,52	1,96	1,40	1,12
25/Jan.	0,56	0,39	3,37	2,08	1,40	1,16
02/Fev.	0,60	0,38	3,65	2,20	1,56	1,08
11/Fev.	0,48	0,40	-	-	-	-
21/Fev.	0,65	0,43	3,82	2,31	1,56	1,29
04/Mar.	0,80	0,45	3,85	2,40	1,67	1,37
19/Mar.	0,92	0,55	3,68	2,92	2,38	1,42
27/Mar.	1,05	0,55	-	-	2,36	1,77
05/Abr.	1,04	0,66	3,88	3,02	2,49	1,85
09/Abr.	-	0,39	-	-	-	-
15/Abr.	0,73	0,45	-	-	1,77	1,72
21/Abr.	0,84	0,45	3,76	2,33	1,73	1,74
02/Maio	0,74	0,45	-	-	1,85	1,49
06/Maio	0,81	0,46	3,88	2,33	1,74	1,36

APÊNDICE B

Quadro 1B – Valores médios de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e conteúdo de nutrientes obtidos na parte aérea e nas raízes das plantas de alface, secadas a 65°C, referentes aos tratamentos adicionais ⁽¹⁾

Parte Aérea														
Trat	Dose	Rep	MF	MS	N-tot	NO ₃	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn
			----- g -----		----- mg parte aérea ⁻¹ -----							----- µg parte aérea ⁻¹ -----		
TA	0	1	21,52	3,06	60,68	34,57	3,71	55,44	22,72	35,79	16,34	411,88	7,04	69,16
TA	0	2	36,49	5,89	123,05	51,66	9,01	98,13	17,39	39,60	22,28	836,97	14,73	63,61
TA	0	3	25,75	3,18	79,95	18,03	5,82	56,95	24,19	36,56	16,82	423,89	9,86	76,32
TA	0	4	28,95	3,98	76,10	31,21	5,29	56,35	27,91	37,44	11,06	386,46	6,77	73,63
TQ	1	1	60,33	6,54	162,10	79,38	10,29	98,07	16,47	92,74	26,06	1.006,51	32,05	88,94
TQ	1	2	85,76	10,45	234,96	155,55	14,50	127,48	21,78	95,15	25,40	1.402,39	8,36	99,28
TQ	1	3	86,91	10,57	226,43	148,90	17,19	98,17	44,35	118,35	32,57	1.269,46	21,14	157,49
TQ	1	4	102,98	11,50	270,79	102,91	20,54	116,64	50,37	95,61	25,04	1.726,15	21,85	181,70
Raiz														
			----- g -----		----- mg raiz ⁻¹ -----							----- µg raiz ⁻¹ -----		
TA	0	1	10,59	1,16	15,61	11,82	1,35	5,9	4,75	5,95	1,42	2.282,42	4,29	95,12
TA	0	2	13,84	1,71	22,40	15,68	2,41	12,5	3,71	6,74	1,66	4.144,53	7,18	140,39
TA	0	3	7,61	0,53	7,32	2,11	0,78	3,1	2,19	2,40	0,81	912,87	2,39	30,10
TA	0	4	11,28	1,93	21,87	21,97	2,09	9,7	7,27	6,26	1,39	5.074,94	6,95	106,73
TQ	1	1	15,52	2,61	42,51	24,97	3,63	18,1	5,00	21,44	8,43	4.310,68	8,61	105,18
TQ	1	2	18,08	3,87	54,81	44,57	4,56	31,5	7,97	26,40	9,98	11.913,41	15,09	208,21
TQ	1	3	15,61	2,3	34,20	30,16	3,05	13,2	9,07	11,35	4,55	5.553,81	7,59	89,70
TQ	1	4	14,70	2,2	31,16	21,44	3,05	10,7	8,01	9,76	4,02	4.414,08	7,70	76,34

⁽¹⁾ TA: testemunha absoluta e TQ: testemunha química.

Quadro 2B – Valores médios de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e conteúdo de nutrientes obtidos na parte aérea e nas raízes das plantas de alface, secadas a 65°C, referentes aos tratamentos do substrato com casca de café (SCC)

	Dose	Rep	MF	MS	N-tot	NO ₃	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn
			g		mg parte aérea ⁻¹					μg parte aérea ⁻¹				
Parte Aérea	1	1	5,46	0,86	24,67	9,02	0,52	10,33	2,90	16,97	4,95	90,56	3,35	18,92
	1	2	81,09	10,82	181,98	106,41	19,84	112,05	39,68	189,87	56,77	1.092,82	29,21	147,15
	1	3	71,36	8,06	178,37	49,99	19,13	101,08	29,94	151,03	45,54	922,06	25,79	148,30
	1	4	64,38	9,17	146,11	141,37	12,49	99,98	27,60	177,32	51,79	872,07	22,01	122,88
	2	1	12,28	1,96	52,75	31,08	1,66	22,21	6,43	76,18	24,65	166,21	8,62	58,41
	2	2	69,59	8,99	127,33	90,80	12,21	80,26	23,59	229,27	69,73	1.068,91	25,17	186,99
	2	3	23,82	2,94	64,02	40,24	3,09	30,59	7,97	79,65	24,58	271,36	12,64	70,27
	2	4	45,30	5,62	81,59	51,29	7,45	55,04	13,79	167,91	50,93	846,93	23,04	106,22
	4	1	75,48	9,06	136,34	65,02	13,86	95,75	29,19	245,45	75,75	1.122,53	31,71	212,00
	4	2	19,12	2,29	51,49	34,80	2,26	22,83	6,89	42,00	12,25	264,72	12,60	61,60
	4	3	82,91	9,87	162,51	89,20	15,34	85,17	25,05	179,04	52,80	1.441,02	34,55	192,47
	4	4	55,18	7,11	123,36	76,22	13,42	70,10	17,75	206,74	63,74	694,65	26,31	118,03
Raiz			g		mg raiz ⁻¹					μg raiz ⁻¹				
	1	1	2,84	1,05	24,17	10,06	0,45	5,8	5,86	33,10	12,70	1.301,37	2,63	9,14
	1	2	33,27	3,57	37,92	32,58	6,35	36,2	18,46	27,15	12,63	7.322,43	14,64	83,90
	1	3	26,28	3,24	33,27	28,71	5,38	26,3	14,31	25,93	13,42	6.952,39	12,31	79,06
	1	4	37,17	3,89	39,94	41,88	4,93	33,8	24,57	36,55	18,46	6.894,64	16,34	76,63
	2	1	11,01	1,53	31,96	58,29	1,19	8,8	5,46	36,89	14,63	1.263,47	8,26	22,19
	2	2	30,05	4,12	36,47	31,21	5,23	32,2	20,49	71,48	32,37	8.914,03	21,42	89,40
	2	3	17,12	2,12	33,03	30,24	2,31	12,1	7,57	55,34	21,34	3.279,64	11,24	41,98
	2	4	27,05	3,01	27,71	24,54	3,74	18,6	11,51	76,77	30,91	4.138,75	13,24	64,11
	4	1	43,47	4,66	52,80	50,99	5,09	26,6	12,68	106,81	43,63	4.970,36	18,17	83,88
	4	2	13,07	1,71	30,88	45,30	1,74	9,6	5,11	56,54	21,34	3.874,69	10,26	37,11
	4	3	42,36	4,62	40,90	35,82	6,01	29,3	14,40	103,13	40,94	9.100,48	20,79	84,55
4	4	28,32	3,09	37,20	26,42	4,73	18,8	8,22	89,26	33,59	5.439,64	10,20	67,36	

Quadro 3B – Valores médios de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e conteúdo de nutrientes obtidos na parte aérea e nas raízes das plantas de alface, secadas a 65°C, referentes aos tratamentos do substrato com fino de carvão (SFC)

	Dose	Rep	MF	MS	N-tot	NO ₃	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn
			g		mg parte aérea ⁻¹					µg parte aérea ⁻¹				
Parte Aérea	1	1	43,11	5,69	70,52	39,07	9,42	60,37	17,00	141,71	42,99	912,11	9,67	132,58
	1	2	51,00	6,43	95,63	43,30	9,46	79,40	21,82	181,88	55,69	1.851,20	16,08	213,48
	1	3	80,38	10,40	162,03	88,46	18,68	122,93	41,98	192,84	58,73	1.543,36	17,68	240,24
	1	4	51,93	6,89	84,17	68,68	15,41	93,90	21,94	170,23	67,98	994,23	17,23	132,98
	2	1	104,24	13,66	181,38	109,53	35,90	163,22	47,39	375,47	143,04	2.032,61	36,88	398,87
	2	2	97,27	11,77	168,79	83,95	22,55	127,99	44,90	337,60	127,96	3.153,18	34,13	308,37
	2	3	48,35	6,20	85,62	68,94	13,62	74,20	14,43	233,32	86,08	1.483,04	17,98	190,34
	2	4	77,21	10,33	137,17	110,74	21,16	108,76	31,61	298,34	93,62	1.267,49	22,73	241,72
	4	1	115,70	12,35	214,28	106,14	33,10	175,38	43,85	432,46	131,94	1.377,03	22,23	548,34
	4	2	106,30	10,65	214,95	104,27	26,80	130,85	39,66	531,75	154,43	2.951,12	39,41	367,43
	4	3	94,48	9,95	186,73	82,43	28,97	123,29	31,84	415,66	144,31	1.495,49	20,90	354,22
	4	4	167,33	16,14	285,75	115,12	76,05	245,72	61,72	574,84	209,68	5.352,02	71,02	535,85
Raiz			g		mg raiz ⁻¹					µg raiz ⁻¹				
	1	1	25,41	3,21	21,03	23,32	3,09	18,0	12,96	28,24	12,33	6.127,25	11,88	154,40
	1	2	27,28	3,57	31,60	39,38	3,26	20,8	15,04	29,99	11,56	5.941,91	11,78	126,74
	1	3	35,41	4,06	41,69	34,17	4,89	29,9	16,43	21,18	8,25	12.097,18	17,05	187,98
	1	4	22,51	2,61	31,42	15,61	3,41	10,1	8,14	19,84	6,62	3.941,10	8,87	77,26
	2	1	31,94	4,18	44,40	21,30	7,64	26,9	15,60	43,42	18,99	6.841,82	20,48	191,86
	2	2	36,36	4,29	42,53	42,95	6,07	27,7	17,59	42,00	18,21	8.764,47	21,02	158,73
	2	3	21,42	3,08	29,45	21,01	4,24	26,1	6,59	50,37	19,87	3.855,54	7,70	101,33
	2	4	35,28	4,25	34,61	21,28	5,12	31,1	14,03	44,99	19,74	8.547,60	20,83	261,80
	4	1	62,69	6,17	56,80	31,98	10,64	52,9	21,60	100,92	44,14	21.624,62	37,64	362,18
	4	2	46,85	4,28	48,50	41,33	5,89	31,3	12,81	73,40	31,49	10.369,58	27,82	246,96
	4	3	34,96	3,13	48,76	31,61	6,81	22,4	12,59	59,28	23,34	6.282,54	24,73	183,11
4	4	82,57	7,87	72,45	54,39	32,52	69,9	26,27	78,63	38,92	6.854,77	44,07	359,66	

Quadro 4B - Valores médios de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e conteúdo de nutrientes obtidos na parte aérea e nas raízes das plantas de alface, secadas a 65°C, referentes aos tratamentos do substrato com casca de arroz (SCA)

	Dose	Rep	MF	MS	N-tot	NO ₃	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn
			g		mg parte aérea ⁻¹					µg parte aérea ⁻¹				
Parte Aérea	1	1	90,62	8,86	172,55	80,85	29,03	150,43	47,21	248,85	101,65	2387,77	23,04	190,49
	1	2	97,87	12,35	177,11	260,42	34,14	152,08	52,09	253,54	108,21	1827,80	29,64	229,71
	1	3	57,27	7,54	81,43	67,81	21,14	93,06	24,34	177,27	68,34	903,29	21,11	177,19
	1	4	62,77	7,94	108,24	52,41	13,59	81,97	26,77	218,25	68,77	836,08	15,88	1576,09
	2	1	40,57	4,44	61,31	45,04	13,62	59,47	13,52	85,85	26,42	649,57	15,10	131,87
	2	2	85,62	10,49	143,00	71,56	25,01	105,97	36,11	342,59	126,68	1222,09	30,42	415,40
	2	3	57,52	6,37	82,33	63,78	16,21	79,70	22,70	235,91	87,80	787,97	21,66	268,81
	2	4	90,49	7,90	131,47	57,40	20,48	126,67	41,46	356,79	128,83	1514,43	33,97	314,42
	4	1	102,91	8,70	167,89	81,71	31,70	140,07	43,27	347,87	130,54	1409,40	40,89	477,63
	4	2	98,80	11,38	143,05	109,40	34,55	137,52	49,62	314,72	97,61	1205,14	38,69	348,23
	4	3	100,69	10,02	152,56	72,80	29,06	124,37	39,30	390,69	125,18	1223,44	37,07	501,00
	4	4	62,36	6,28	91,17	38,95	20,55	84,13	25,27	253,61	83,50	707,76	27,00	219,80
Raiz	1	1	30,62	3,19	36,15	24,59	9,37	23,4	12,93	26,80	11,93	2422,81	16,91	111,33
	1	2	44,53	4,83	41,05	25,03	11,51	38,3	19,88	27,12	10,79	3391,14	18,35	156,01
	1	3	32,86	3,57	21,49	38,59	8,51	22,1	14,21	26,43	11,21	2007,05	16,42	101,03
	1	4	28,44	3,11	24,23	40,23	3,81	21,8	13,01	35,40	15,38	3837,74	13,68	92,37
	2	1	23,48	2,81	24,87	18,30	9,39	12,6	5,18	72,23	24,62	1479,18	11,52	93,85
	2	2	42,95	4,41	37,48	53,92	8,08	26,0	13,57	81,78	35,54	3256,34	21,61	157,44
	2	3	33,92	3,45	21,99	34,69	8,89	16,4	8,47	72,88	27,81	2592,68	18,63	165,60
	2	4	20,25	4,15	30,86	29,05	7,34	26,5	15,38	70,35	31,78	6633,36	26,98	188,00
	4	1	25,24	4,13	46,80	23,60	14,50	14,5	7,20	121,74	46,15	4121,33	37,17	244,08
	4	2	38,95	5,84	53,76	35,70	22,19	30,4	14,56	146,62	55,27	4451,25	36,79	266,89
	4	3	50,64	5,43	42,30	24,78	11,86	25,0	11,27	139,56	53,03	4775,14	34,21	235,66
	4	4	38,28	3,61	24,29	53,57	15,62	16,3	7,12	94,93	34,90	2840,35	24,91	158,12

Quadro 5B – Valores médios de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e conteúdo de nutrientes obtidos na parte aérea e nas raízes das plantas de alface, secadas a 65°C, referentes aos tratamentos do substrato com serragem de madeira (SSM)

	Dose	rep	MF	MS	N-tot	NO ₃	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn
			g		mg parte aérea ⁻¹					µg parte aérea ⁻¹				
Parte Aérea	1	1	47,96	5,88	95,77	72,68	9,93	77,93	20,73	102,00	30,26	1.274,20	10,00	141,12
	1	2	46,58	6,86	80,16	127,94	9,63	117,09	13,62	199,49	61,48	731,28	17,84	190,71
	1	3	37,14	4,10	82,02	40,69	5,02	57,00	15,73	159,05	48,34	465,35	5,74	121,36
	1	4	31,96	4,08	59,23	54,77	4,99	63,15	15,18	153,42	44,81	574,06	11,02	156,67
	2	1	44,67	5,97	78,21	75,90	13,09	81,01	19,99	174,78	55,92	569,54	12,54	154,62
	2	2	65,74	8,42	134,16	104,81	11,18	121,43	30,19	271,62	86,48	858,84	20,21	348,59
	2	3	58,76	7,49	116,69	67,36	9,86	102,97	26,13	262,48	82,93	899,55	21,72	277,13
	2	4	61,29	7,51	106,37	69,87	12,92	97,95	27,67	252,72	80,15	1.148,28	26,29	238,82
	4	1	57,97	6,31	108,36	57,30	14,18	92,78	24,12	247,30	78,19	768,56	21,45	230,95
	4	2	75,56	9,30	120,20	103,00	18,79	145,06	36,32	370,06	116,15	910,47	25,11	334,80
	4	3	95,05	10,66	162,31	100,59	18,93	137,86	39,34	394,48	121,37	1.548,90	40,51	346,45
	4	4	105,27	9,79	176,79	77,63	26,08	142,85	39,29	269,11	90,70	1.192,42	35,24	423,91
Raiz	1	1	17,15	2,67	32,14	17,98	3,75	16,7	10,72	53,23	23,66	3.953,20	14,42	81,44
	1	2	22,39	3,22	27,36	13,12	3,44	24,4	13,84	46,26	21,42	4.842,24	20,61	94,67
	1	3	18,65	2,5	28,33	21,15	2,82	14,4	9,48	51,83	23,66	4.008,00	19,25	74,75
	1	4	17,82	2,16	20,65	8,23	2,06	15,2	9,23	45,64	22,39	3.267,22	14,90	47,30
	2	1	26,27	2,98	29,55	17,16	5,53	16,5	7,81	77,78	28,80	3.851,95	19,67	86,72
	2	2	30,76	4,07	34,59	23,62	4,59	23,7	13,38	86,00	38,52	5.855,10	30,93	145,71
	2	3	32,95	3,34	30,75	30,33	4,09	18,9	10,66	73,22	30,94	5.036,05	24,05	123,25
	2	4	36,12	3,78	34,80	18,42	4,32	21,2	11,08	80,61	33,13	3.926,66	23,06	145,53
	4	1	38,36	3,61	34,51	22,55	5,96	18,5	7,58	112,16	41,42	3.664,15	16,97	168,95
	4	2	44,20	4,78	38,99	39,39	8,09	24,3	10,90	127,61	49,08	4.885,16	21,51	173,99
	4	3	46,29	4,76	48,88	39,01	8,55	26,5	12,34	151,70	58,91	5.677,73	24,75	200,87
	4	4	49,57	4,53	48,12	23,08	8,63	29,0	14,07	123,62	49,26	5.467,71	22,65	255,49

Quadro 6B – Valores médios de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e conteúdo de nutrientes obtidos na parte aérea e nas raízes das plantas de alface, secadas a 65°C, referentes aos tratamentos do substrato com bagaço de cana-de-açúcar (SBC)

	Dose	Rep	MF	MS	N-tot	NO ₃	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn
			g		mg parte aérea ⁻¹					µg parte aérea ⁻¹				
Parte Aérea	1	1	59,59	7,89	125,72	101,36	11,44	86,29	26,03	166,69	48,53	454,46	17,36	139,65
	1	2	63,68	10,22	133,90	138,99	19,60	78,96	29,44	152,91	42,34	505,89	28,62	174,76
	1	3	23,70	3,04	73,74	39,32	3,05	36,41	11,46	74,49	22,67	217,66	8,51	83,90
	1	4	62,96	8,02	122,11	98,06	10,79	86,59	30,22	150,29	45,31	982,45	21,65	156,39
	2	1	61,88	6,64	117,56	51,77	10,45	77,48	21,50	174,59	52,86	879,14	20,58	233,73
	2	2	68,40	8,87	136,62	102,56	23,70	94,67	24,01	254,41	78,62	514,46	23,95	158,77
	2	3	77,05	10,76	152,40	112,97	18,40	88,59	30,58	306,51	96,44	1.122,27	23,67	229,19
	2	4	63,04	7,54	133,49	59,46	15,74	92,98	23,39	238,75	74,41	720,82	24,13	170,40
	4	1	70,88	8,83	132,88	68,45	19,60	77,63	23,28	344,32	103,21	688,74	29,14	206,62
	4	2	75,81	9,70	147,69	136,65	22,00	78,28	24,54	351,52	109,35	747,87	29,10	322,04
	4	3	56,57	7,53	97,32	108,75	20,65	59,36	18,41	177,05	55,39	509,03	24,85	194,27
	4	4	61,45	5,89	114,61	37,80	10,38	59,60	18,76	164,11	52,16	590,85	30,60	192,44
Raiz			g		mg raiz ⁻¹					µg raiz ⁻¹				
	1	1	25,71	2,76	27,36	28,24	3,59	25,4	15,17	22,63	11,99	3.903,74	11,59	88,32
	1	2	20,71	2,35	29,96	13,22	4,99	18,1	10,09	21,61	9,97	3.589,86	10,34	95,88
	1	3	6,18	1,61	25,65	30,95	1,65	9,6	6,17	30,50	13,30	2.430,46	8,05	42,02
	1	4	27,81	3,06	27,09	29,14	3,69	25,1	21,01	24,49	13,60	5.416,20	15,61	103,73
	2	1	16,36	2,98	31,66	32,34	3,68	22,0	11,07	55,85	26,71	6.401,93	14,30	95,66
	2	2	25,60	3,95	48,95	14,70	11,08	30,3	15,47	57,53	27,07	6.719,74	18,57	127,59
	2	3	27,79	5,32	48,98	39,59	7,12	42,0	19,85	59,51	31,65	10.709,16	26,60	146,83
	2	4	26,39	3,68	49,52	39,45	6,12	30,5	14,53	54,33	25,97	7.833,98	17,66	119,60
	4	1	20,04	3,87	46,59	25,37	7,18	22,7	10,30	107,17	42,46	4.315,05	23,61	131,19
	4	2	35,81	4,39	40,42	41,81	8,63	31,1	13,63	94,48	38,49	7.876,54	27,66	164,63
	4	3	36,68	4,66	33,00	39,43	11,55	25,8	12,41	98,45	38,04	7.758,90	25,16	151,92
4	4	26,21	3,35	37,96	24,78	5,43	19,7	10,91	87,44	36,08	7.783,73	23,79	136,68	

Quadro 7B – Valores médios de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e conteúdo de nutrientes obtidos na parte aérea e nas raízes das plantas de alface, secadas a 65°C, referentes aos tratamentos do substrato com sabugo de milho (SSB)

	Dose	Rep	MF	MS	N-tot	NO ₃	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Zn	
			g		mg parte aérea ⁻¹					μg parte aérea ⁻¹					
Parte Aérea	1	1	11,61	1,61	34,49	18,62	1,35	21,55	5,74	59,90	21,24	143,29	5,47	43,47	
	1	2	54,53	5,08	124,12	51,54	8,04	54,34	16,46	154,63	55,82	779,78	19,30	420,12	
	1	3	71,64	9,66	124,85	136,94	25,37	142,92	41,06	171,16	66,32	1.058,74	23,18	397,99	
	1	4	13,08	1,82	47,37	21,85	1,67	21,98	6,02	56,85	20,18	166,17	5,82	48,96	
	2	1	48,21	5,88	99,94	44,28	8,91	71,28	18,60	187,20	70,49	643,27	21,17	201,10	
	2	2	67,25	7,78	123,97	84,10	23,26	104,14	31,46	236,83	70,63	829,35	16,34	164,16	
	2	3	44,21	4,99	72,44	69,63	10,18	53,96	16,84	193,65	62,83	526,45	10,98	118,26	
	2	4	66,93	8,22	114,97	97,23	19,40	90,39	25,96	238,80	72,14	690,48	18,91	256,46	
	4	1	49,87	5,88	83,28	57,83	15,37	59,54	19,31	232,87	75,81	744,41	14,70	207,56	
	4	2	55,08	6,06	89,05	57,18	11,49	53,74	18,35	225,47	72,05	813,86	12,12	163,62	
	4	3	41,23	4,71	79,22	37,35	7,44	39,91	12,67	186,53	58,36	542,12	14,60	218,54	
	4	4	44,63	4,60	81,44	24,66	8,59	49,80	15,61	200,44	65,31	1.204,74	16,10	185,38	
	Raiz			g		mg raiz ⁻¹					μg raiz ⁻¹				
		1	1	8,03	1,02	19,50	15,59	0,84	6,0	5,02	27,56	10,45	997,76	2,04	15,71
		1	2	22,98	2,28	29,06	15,25	2,88	15,4	10,32	23,23	13,34	5.575,97	12,08	84,13
		1	3	33,20	3,6	33,14	35,25	8,04	29,9	13,66	18,07	9,13	5.822,64	12,96	144,36
1		4	9,20	1,04	20,62	16,49	0,95	5,8	4,80	22,66	9,14	1.401,50	4,16	22,05	
2		1	34,35	3,26	31,17	24,98	4,11	21,2	13,48	63,04	28,56	10.186,85	16,95	100,08	
2		2	38,12	3,93	40,35	25,42	8,62	24,8	12,92	59,59	28,51	5.763,74	17,69	126,55	
2		3	22,22	2,6	22,09	19,47	3,55	13,8	7,17	47,69	19,91	4.136,08	11,96	87,10	
2		4	37,87	3,83	36,62	46,66	7,21	32,7	14,94	46,65	23,94	6.315,67	15,32	154,35	
4		1	31,35	3,45	31,76	33,32	6,90	16,8	8,68	89,35	33,70	4.792,05	13,46	116,27	
4		2	26,45	2,61	23,10	18,85	3,65	13,9	6,68	67,07	25,24	4.367,05	12,01	104,66	
4		3	20,74	3,02	28,87	27,16	3,63	16,3	7,82	79,41	29,20	4.387,46	13,29	114,76	
4		4	23,01	3,12	30,93	27,78	4,46	15,9	7,99	77,08	29,54	4.988,88	19,97	133,85	