

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFEITO DE ADUBAÇÕES ORGÂNICA E MINERAL ASSOCIADAS AO BIOCHAR SOBRE
PARÂMETROS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA ALFACE**

DERCIO CERI PEREIRA

Cascavel - Paraná - Brasil

Fevereiro – 2016

DERCIO CERI PEREIRA

**EFEITO DE ADUBAÇÕES ORGÂNICA E MINERAL ASOCIADAS AO BIOCHAR SOBRE
PARÂMETROS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA ALFACE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, da
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em
cumprimento parcial aos requisitos para obtenção
do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de
concentração de Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental.

Orientadora: Prof. Dr. Mônica Sarolli Silva de
Mendonça Costa

Cascavel - Paraná - Brasil
Fevereiro – 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

P49e

Pereira, Dercio Ceri

Efeito de adubações orgânica e mineral associadas ao biochar sobre parâmetros do solo e produtividade da alface/ Dercio Ceri Pereira. Cascavel, 2016.

37 p.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa

Revisão: Ana Maria Martins Alves Vasconcelos

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2016

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola

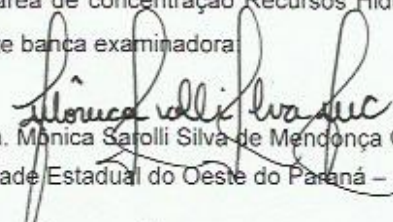
1. Composto orgânico. 2. Enzimas. 3. *Lactuca sativa*. 4. Solo - Qualidade.
I. Costa, Mônica Sarolli Silva de Mendonça. II. Vasconcelos, Ana Maria Martins Alves. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 21.ed. 631.86
CIP-NBR 12899

DERCIO CERI PEREIRA

"EFEITO DE ADUBAÇÕES ORGÂNICA E MINERAL ASSOCIADAS AO BIOCHAR SOBRE
PARÂMETROS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA ALFACE"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação "*Stricto Sensu*" em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:


Orientadora: Prof.ª Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus de Cascavel*


Prof. Dr. Carlos Alberto Casali
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/ Dois Vizinhos


Prof. Dr. Luiz Antonio de Mendonça Costa
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico -
CNPq/RHAE


Prof. Dr. Eloy Lemos de Mello
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus de Cascavel*


Prof.ª Dra. Silvia Renata Machado Coelho
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus de Cascavel*

Cascavel, 11 de fevereiro de 2016.

BIOGRAFIA

Dercio Ceri Pereira, natural de Corbélia – PR, nascido em 03/04/1977. Graduado em Agronomia pela Faculdade Assis Gurgacz - FAG (2008); Técnico em Agropecuária pelo Colégio Agrícola Senador Carlos Gomes de Oliveira (CASC GO), da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2000); e Técnico em contabilidade pelo Colégio Estadual Amâncio Moro (CEAM), Corbélia - PR (1998). Ingressou no Mestrado em Engenharia Agrícola em 2009, na área de concentração: Engenharia de Sistemas Agroindustriais Sustentáveis, orientado pelo professor Dr. Luiz Antônio de Mendonça Costa e co-orientado pela professora Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa. Ingressou no doutorado em Engenharia Agrícola em 2012, na área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental sob orientação da professora Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa. Durante o doutorado, realizou estágio no Instituto Superior de Agronomia (ISA) da Universidade Técnica de Lisboa-Portugal, orientado pela professora Dra. Amarilis de Paula Alberti Verennes e Mendonça.

“Quem para possuí-la levanta-se de madrugada, não terá trabalho, porque a encontrará sentada à sua porta”.

Livro da sabedoria

Ao senhor Deus, Senhor do universo,
Ao meu pai, Dairo Pereira, e à minha mãe,
Ilaria Ceri Pereira
Ao professor Dr. Luiz Antônio de
Mendonça Costa e à professora Dr.
Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus do universo, pela benevolência de permanecer sempre em sua morada.

À minha família, pelo incentivo, paciência e apoio nos momentos difíceis.

Aos nobres amigos, meus orientadores, professores Dr. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa e Dr. Luiz Antônio de Mendonça Costa, pela compreensão, paciência, incentivo e confiança.

À professora Dra. Amarilis de Paula Alberti Verennes e Mendonça do Instituto Superior de Agronomia (Lisboa-Portugal) pela orientação e acolhida no doutorado sanduíche.

À Paula Gonçalves, professora Dr. Cláudia Marques dos Santos Cordovil, Susana Pina, Lúcia Mesquita e Joana Sengo do Instituto Superior de Agronomia (Lisboa-Portugal) pela paciência, ensinamento e atendimento durante a estadia em Lisboa.

Ao professor Dr. João Guilherme Ferreira Batista da Universidade dos Açores (Portugal) pelo material de compostagem.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola: Dr. Lúcia Helena Pereira Nobrega e Dr. Silvia Renata Machado Coelho, por disponibilizarem os laboratórios para realização das análises.

Ao professor Dr. Décio Lopes Cardoso, por disponibilizar o laboratório.

Ao professor Dr. Helder Lopes Vasconcelos, pela paciência de ensinar e retirar dúvidas de química.

À professora Dr. Clair Aparecida Viecegli, pela disposição e esclarecimento de dúvidas metodológicas.

Ao professor Dr. Jean Pires Frigo, pela disposição e ajuda na instalação da irrigação.

Aos colegas Ms. Higor Eisten Francisconi Lorin, Leocir José Carneiro, Darci Pedro Leal Júnior, Leonardo Steimbach, Wolfgang Neitzel, pelos auxílios no laboratório e experimentos de campo.

Ao Zito Vieira e ao Paulo Sérgio Perico da Penitenciária Industrial de Cascavel (PIC), pela paciência, disposição e auxílios na horta da penitenciária.

À secretária do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Vera Celita Schmidt, pela disposição no atendimento.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel, pela oportunidade e apoio na realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela disponibilização da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	4
3.1 Alterações do solo com aplicação de composto orgânico	4
3.2 Decomposição e mineralização dos adubos orgânicos	5
3.3 Remanescente dos adubos orgânicos	7
3.4 Utilização do biochar na agricultura	8
3.5 Produtividade da alface com adubação orgânica e mineral	10
3.6 Diagnose foliar para recomendação das adubações orgânicas	11
3.7 Qualidade química e biológica do solo	12
4 MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1 Localização da área experimental	16
4.2 Amostragens de solos	16
4.3 Descrição do experimento	17
4.4 Caracterização do substrato e semeadura da alface	17
4.5 Preparo dos canteiros e espaçamento	18
4.6 Caracterização do composto orgânico e biochar	18
4.7 Preparo do material vegetal e do solo para análise	20
4.8 Avaliações da qualidade biológica do solo	21
4.9 Análises dos resultados	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 Produtividade da alface	23
5.2 Estado nutricional da alface	25
5.3 Fertilidade do solo	27
5.3.1 pH e condutividade elétrica	27
5.3.2 Carbono, Fósforo e potássio no solo	28
5.3.3 Micronutrientes no solo	32
5.4 Microbiologia	34
5.4.1 Respiração basal do solo	34
5.4.2 Atividade enzimática do solo	35
6 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS	38
ANEXOS	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise química do substrato para produção das mudas de alface	18
Tabela 2	Análise química do composto orgânico e do biochar	19
Tabela 3	Análise química do solo antes da instalação do experimento	21
Tabela 4	Massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz em função das adubações com e sem biochar nos cultivos da alface	24
Tabela 5	Diagnose foliar da alface para nitrogênio, fósforo, potássio, zinco, cobre, ferro e manganês em função das adubações com e sem biochar nos cultivos da alface	26
Tabela 6	Valores médios de pH e condutividade elétrica do solo em função das adubações com e sem biochar nos cultivos da alface	27
Tabela 7	Teores médios de carbono, fósforo e potássio no solo em função das adubações com e sem biochar nos cultivos da alface	31
Tabela 8	Teores médios de zinco no solo em função das adubações nos cultivos da alface	32
Tabela 9	Teores médios de cobre no solo em função das adubações nos cultivos da alface	32
Tabela 10	Teores médios de ferro e manganês no solo em função das adubações nos cultivos da alface	33
Tabela 11	Valores médios da respiração do solo em função das adubações	34
Tabela 13	Valores médios de urease, fosfatase ácida e alcalina conforme as adubações	35
Tabela 13	Dados meteorológicos durante os cultivos da alface	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da área experimental na Penitenciária Industrial de Cascavel (PIC)	16
Figura 2	Adubações das parcelas de cultivo da alface	19

RESUMO

EFEITO DE ADUBAÇÕES ORGÂNICA E MINERAL ASSOCIADAS AO BIOCHAR SOBRE PARÂMETROS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA ALFACE

Aplicações de adubo mineral, adubo mineral com biochar, composto orgânico e composto orgânico com biochar foram avaliadas por diagnose foliar para avaliação do desempenho das adubações associadas ou não ao biochar na cultura da alface. Os resultados demonstraram que o composto orgânico e a adubação mineral atendem à demanda nutricional da alface. A utilização do biochar nas adubações não interfere na produtividade da alface nem nas propriedades do solo. O composto orgânico aumenta a produtividade da cultura da alface a partir do sexto cultivo. Os remanescentes do composto orgânico no solo elevam o pH, a condutividade elétrica, carbono e apresentam acúmulos de fósforo, potássio, cobre, zinco, ferro e manganês, além de melhorarem a qualidade do solo. O composto orgânico proporciona estabilidade na respiração do solo e nas atividades das enzimas fosfatase ácida, fosfatase alcalina, e urease.

PALAVRAS-CHAVE: composto orgânico, enzimas, *Lactuca sativa*, qualidade do solo.

ABSTRACT

EFFECT OF ORGANIC AND MINERAL FERTILIZING COMBINED WITH BIOCHAR ON PARAMETERS OF SOIL AND LETTUCE PRODUCTIVITY

Applications of mineral fertilizer, mineral fertilizer with biochar, organic compost and organic compost with biochar were evaluated by leaf analysis to evaluate the performance of fertilizers associated or not to the biochar on lettuce. The results showed that the organic compost and mineral fertilizer meet the nutritional demands of lettuce. The use of biochar in fertilization does not affect lettuce productivity nor soil properties. The organic compost increases lettuce crop yield from the sixth cropping. The residual of the organic compound in the soil increased pH, electrical conductivity, carbon results. They have also shown accumulations of phosphorus potassium, copper, zinc, iron and manganese, as well as improved soil quality. The organic compost provides stability on soil respiration and activities of enzymes such as acid phosphatase, alkaline phosphatase and urease.

KEYWORDS: organic compost, enzymes, *Lactuca sativa*, soil quality

1. INTRODUÇÃO

A restituição da matéria orgânica nos sistemas de cultivo é essencial para manutenção dos agroecossistemas. Níveis adequados de matéria orgânica nos solos contribuem para manutenção da produtividade das culturas. No entanto, o solo não é um sistema estático e os fertilizantes podem ser influenciados pela temperatura, umidade, pelos microrganismos e manejo das áreas de cultivo durante o crescimento dos vegetais. O composto orgânico utilizado nos cultivos possui composição variada e liberação gradual de nutrientes, pois as formas orgânicas sofrem mineralização com o decorrer do tempo.

O conhecimento dos efeitos dos compostos orgânicos aplicados no solo é essencial para o manejo das áreas cultivadas. No caso da aplicação de adubo orgânico ou mineral em baixa quantidade pode haver deficiência nutricional, ocasionar baixa produtividade e redução de ganho econômico. De outro modo, o impacto da aplicação excessiva de adubo orgânico ou mineral provoca a poluição do solo e da água, danos econômicos e sociais, além da redução de produtividade dos vegetais. Isso demonstra que impactos sazonais devem ser considerados na recomendação de adubação.

Nos cultivos de culturas de ciclo curto podem sobrar nutrientes no solo, uma vez que não foram totalmente aproveitados durante o desenvolvimento dos vegetais. Assim, para que se minimizem os efeitos do meio sobre o composto orgânico e o fertilizante mineral, misturas dos fertilizantes com biochar podem ser necessárias para manutenção dos nutrientes nos cultivos subsequentes. O biochar auxilia na manutenção dos nutrientes na região de atuação das raízes, pois possui poros que fazem a retenção e a liberação de nutrientes no solo. Além disso, aplicações de composto orgânico misturado com biochar melhoram a qualidade química e biológica do solo.

Por outro lado, a adubação orgânica é continuamente utilizada nos sistemas agroecológicos, além de ser considerada a principal fonte de fertilizante para produção de alimentos saudáveis. Tal produção de alimentos deve ser conduzida sem contaminação ambiental pelas adubações. Uma vez realizada a adubação orgânica, é necessário o monitoramento dos cultivos subsequentes para sustentação da qualidade do solo e do ambiente. Entretanto, a adubação orgânica não se resume apenas em atender às questões do ambiente e da qualidade do solo. O uso de adubo orgânico deve proporcionar produção vegetal de qualidade, sem danos à saúde do consumidor por elementos tóxicos. O cultivo de hortaliças exige aporte constante de adubação. Assim, o uso de adubação orgânica deve promover a renovação dos nutrientes de forma gradual na solução do solo, proporcionar teores nutricionais adequados no tecido foliar da cultura e promover a manutenção da produção vegetal.

Normalmente, nos sistemas de cultivos, as recomendações de adubações são baseadas na análise de solo. No entanto, as análises de solo não consideram as variações dos nutrientes sofridas durante o desenvolvimento das culturas. Dessa forma, na utilização de composto orgânico ou fertilizante mineral, o vegetal responderá se as adubações estão adequadas ou não ao solo. Assim, a diagnose foliar serve para recomendação de adubação e para verificar as variações no solo. Desse modo, mediante as adubações, o vegetal será considerado a solução extratora no solo. Entretanto, nem sempre a diagnose foliar é utilizada para a recomendação de adubação. Além disso, a diagnose foliar satisfaz às necessidades da agricultura convencional e não se estende à agroecologia, a qual demanda estudos com fertilizantes orgânicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho das adubações orgânica e mineral, associadas ou não ao biochar na cultura da alface.

2.2 Objetivos específicos

- verificar se as adubações associadas ou não ao biochar atendem à demanda nutricional da alface considerando-se também o remanescente dos adubos após os cultivos sucessivos.
- avaliar a produtividade da alface mediante as adubações orgânica e mineral com ou sem biochar.
- verificar a qualidade química e biológica do solo a partir das adubações com ou sem biochar.
- avaliar o impacto no meio provocado pelas adubações.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Alterações do solo com aplicação de composto orgânico

As atividades agropecuária e agroindustrial promovem a geração de resíduos orgânicos. Esses possuem elementos essenciais aos vegetais em quantidades não balanceadas de nutrientes (PETERSEN; SOMMER, 2011). Na reciclagem biológica dos resíduos orgânicos ocorrem a concentração de nutrientes e a otimização de materiais antes considerados poluentes (DE GUARDIA *et al.*, 2012). Ao serem devolvidos ao meio, os materiais orgânicos apresentam vantagens físicas, químicas e biológicas ao solo e aos vegetais (ESCUDERO *et al.*, 2012).

A aplicação de composto orgânico ou em mistura com biochar promove melhorias nas propriedades químicas do solo. O pH do solo, mediante aplicação de composto orgânico e biochar, pode aumentar em 0,4 e 1,4 unidades de pH, respectivamente (STERRETT *et al.*, 1996; GIANNAKIS *et al.*, 2014; KIM *et al.*, 2015). No caso da condutividade elétrica, os aumentos no solo podem ser atribuídos aos sais solúveis. Além disso, a condutividade elétrica sofre aumentos em função da decomposição do composto orgânico e pelas quantidades de composto orgânico aplicadas no solo (CHANG *et al.*, 2008).

A matéria orgânica do solo é essencial para os sistemas de cultivos agrícolas. Os solos argilosos conservam por mais tempo o conteúdo de carbono orgânico em relação aos solos arenosos. No entanto, reduções dos níveis de matéria orgânica são indícios de degradação da qualidade do solo. Carbono orgânico inferior a 2 % indica declínio da qualidade do solo (CANDEMIR; GÜLSER, 2010). Embora o solo tenha perdas de matéria orgânica ou movimentação para outras camadas, as perdas com a aplicação de 100 t ha⁻¹ de composto orgânico pode ser de 1,4 a 1,7 % e com 50 t ha⁻¹ de composto orgânico, as perdas pode variar de 0,9 a 0,7 % (GIANNAKIS *et al.*, 2014). No entanto, o composto orgânico e a mistura de composto orgânico com biochar, além de aumentar o conteúdo de carbono do solo, são fontes de nutrientes de liberação gradual importante para sustentabilidade dos agroecossistemas.

Nos cultivos, o composto orgânico pode mineralizar gradualmente 15 % de nitrogênio no primeiro ano de aplicação. Com isso, as plantas absorvem os nutrientes na forma iônica da solução do solo. No caso do nitrogênio, as plantas absorvem como amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) (MILLER; CRAMER, 2004; RICHARDSON *et al.*, 2009; HAWKESFORD *et al.*, 2012), que representam 70 % dos cátions ou ânions absorvidos (BEUSICHEM *et al.*, 1988). Entretanto, a capacidade de retenção de nutriente dos adubos no solo é distinta. O composto orgânico misturado com biochar possui melhor retenção de amônio em

comparação ao composto orgânico puro, pois apresenta alta capacidade de troca de cátion em curto prazo (CLOUGH; CONDRON, 2010; NOVAK *et al.* 2010; SCHULZ; GLASER, 2012).

O fósforo é outro nutriente importante para as plantas, o qual é disponibilizado no solo a partir do composto orgânico. Nas aplicações de 0, 10, 20, 30 e 40 t ha⁻¹ de composto de resíduos municipais no solo, foi verificado que a maior dose disponibilizou 89,20 mg kg⁻¹ de fósforo aos 150 dias. O composto orgânico aplicado no solo melhora a disponibilidade de fósforo, pois ocorre a diminuição da sorção do nutriente no solo devido à competição entre o íon fosfato e os compostos orgânicos, tais como os grupos fenólicos e carboxílicos para retenção de fósforo (STEVENSON, 1994; HOSSEINPUR; KIANI; HALVAEI, 2012).

O composto orgânico é um fertilizante orgânico que contém todos os nutrientes essenciais aos vegetais, no entanto, o composto orgânico é um fertilizante diluído de liberação lenta de nutrientes. No solo, o composto orgânico eleva os níveis de potássio dos 3 aos 35 dias com liberações graduais (PEREIRA, 2011; KONGTHOD *et al.*, 2015). Assim, os materiais compostados e esterco disponibilizam todo o potássio no solo (BARRAL *et al.*, 2011; FAGERIA, 2012). A disponibilidade de potássio com composto de resíduos sólidos municipal varia entre 150 a 200 mg kg⁻¹ de solo. Para o cálcio, os incrementos do composto orgânico no solo variam entre 700 e 1500 mg kg⁻¹ de solo (BARRAL *et al.*, 2011). Assim, apesar da disponibilidade completa de potássio pelo composto orgânico ser uma característica interessante dos fertilizantes orgânicos, o excesso de potássio no solo pode inibir a absorção de cálcio e magnésio pelos vegetais (FAGERIA, 2015).

3.2 Decomposição e mineralização dos adubos orgânicos

A distribuição dos adubos orgânicos no solo é comumente realizada antes do plantio dos vegetais para que sejam iniciadas a decomposição e a liberação de nutrientes (CHACÓN *et al.*, 2011). No solo, a matéria orgânica proveniente da reciclagem biológica dos resíduos passa novamente a sofrer decomposição, mas, de modo gradual (PRIMO *et al.*, 2010). O composto orgânico e o vermicomposto compreendem compartimentos passíveis da ação de organismos decompositores (CANELLAS *et al.*, 2001; PEREIRA, 2011). A decomposição das frações orgânicas pelos organismos é importante para fragmentação do material orgânico, formação de novas substâncias, formação de complexos resistentes e disponibilidade de nutrientes às plantas (ARANDA *et al.*, 2011; BARRAL *et al.*, 2011).

Os materiais orgânicos possuem nutrientes prontamente disponíveis, mas durante a decomposição ocorre a imobilização pelos microrganismos. A imobilização dos nutrientes depende da relação carbono/nitrogênio. Em relações carbono/nitrogênio acima de 30/1

ocorre a reciclagem dos nutrientes no solo para continuidade da decomposição em detrimento a nutrição do vegetal (BALKCOM; BLACKMER; HANSEN, 2009). Os nutrientes imobilizados ou assimilados pelos organismos passam a ser disponíveis às plantas com a morte microbiana. No entanto, a mineralização dos nutrientes depende de temperatura, umidade, características do solo, tipo de fertilizante e da atividade microbiana (WATTS; TORBERT; PRIOR, 2010). Tais fatores influenciam a disponibilidade de nutrientes com a fertilização orgânica.

A mineralização de adubos orgânicos de natureza distinta proporciona quantidades semelhantes de nitrogênio ao solo, mas alterna os períodos de disponibilidade do nutriente (CITAK; SONMEZ, 2010). Segundo Cordovil *et al.* (2005), o composto de resíduos sólidos urbanos aumentou a disponibilidade de nitrogênio no solo até os 175 dias, enquanto no composto de esterco de suíno, a mineralização foi até os 35 dias. Nos materiais orgânicos compostados a taxa de mineralização no solo, entre 10 a 30 dias, é de 0,3 % por dia. Taxa de mineralização acima de 1 % é observada para materiais sem tratamento (GALE *et al.*, 2006; DELIN *et al.*, 2012). A mineralização do composto orgânico no solo pode oscilar entre 0, 28 e 34 % dependendo da matéria-prima (EGHBALL, 2000; SIKORA; SZMIDT, 2001; MORAL *et al.*, 2009).

A disponibilidade dos nutrientes difere para cada nutriente e tipo de adubo orgânico, pois a disponibilidade depende da origem do material orgânico. A mineralização do nitrogênio orgânico é baixa para esterco compostado (18 %), enquanto para esterco de suínos e aves, sem reciclagem biológica, pode chegar a 55 % (PEREIRA, 2011). A maioria dos adubos orgânicos apresentam disponibilidade de fósforo acima de 70 % e como a maior parte do fósforo é inorgânica, torna-se disponível aos vegetais. No entanto, para que as plantas tenham benefícios imediatos da disponibilidade de fósforo, a mineralização deve ser próxima às raízes. O potássio e os micronutrientes (zinco, ferro, manganês, cobre, enxofre e boro) apresentam mineralização de 100 e 40 %, respectivamente (EGHBALL *et al.*, 2002; PREUSCH *et al.*, 2002; RICHARDSON *et al.*, 2005).

A dinâmica da mineralização do nitrogênio varia entre amostras e difere entre os adubos orgânicos. Esterco de galinha seco apresenta de 15 a 18 % de mineralização em 56 dias. O contrário é verificado para esterco de bovino confinado, que imobiliza nitrogênio por 28 dias e não mineraliza consideráveis quantidades de nitrogênio de 56 a 84 dias no solo (HARTZ; MITCHELL; GIANNINI, 2000; AZEEZ; AVERBEKE, 2010). Composto de esterco de galinha e de resíduos do cultivo de vegetais imobiliza o nitrogênio no solo, enquanto o composto de esterco de galinha com 3,8 % de nitrogênio total, 3,6 % de nitrogênio orgânico e relação C/N de 5,7 apresenta rápida e adequada mineralização durante 84 dias (HARTZ; MITCHELL; GIANNINI, 2000).

Variações na decomposição e mineralização dos adubos orgânicos podem ser observadas durante os anos em razão das mudanças de condições de solo. A

decomposição do material orgânico no solo {a temperatura de 25 °C é 3,7 vezes maior em relação à temperatura de 15 °C. Na temperatura de 15 °C, a decomposição pode ser 13 vezes maior em relação à temperatura de 5 °C (VIGIL; KISSEL, 1995). O comportamento dos nutrientes pode ser modificado no solo, sobretudo o nitrogênio, devido às alterações de temperatura e ciclos de umedecimento e secagem. Os ciclos de umedecimento e secagem no solo são importantes para romper as ligações químicas do material orgânico no solo e aumentar a atividade dos microrganismos (STEVENSON, 1994).

3.3 Remanescente dos adubos orgânicos

Os adubos orgânicos apresentam taxas variáveis de mineralização ou índice de conversão variável, de acordo com a matéria-prima de origem. Na aplicação de material orgânico no solo, como fonte de nutriente para atender à demanda nutricional dos vegetais, uma parte dos nutrientes é mineralizada, outra permanece como residual (PEREIRA, 2011).

O efeito dos remanescentes das aplicações de esterco ou composto orgânico no cultivo dos vegetais e nas propriedades do solo pode continuar por vários anos (EGHBALL; GINTING; GILLEY, 2004; LIMA *et al.*, 2009). Aplicação anual de composto orgânico no solo pode proporcionar 85 % de residual, mas as quantidades remanescentes podem variar conforme o grau de estabilidade do adubo aplicado (PEREIRA, 2011). No entanto, a estabilidade do composto orgânico aplicado é importante para evitar danos aos vegetais e ao solo (MORAL *et al.*, 2009).

A aplicação de composto orgânico no solo é importante para estabilidade e aumento da matéria orgânica em regiões quentes, uma vez que ocorre a degradação acelerada da matéria orgânica com os ciclos de umedecimento e secagem, e nas áreas de horticultura a intensidade e frequência de cultivo são elevadas (FAGNANO *et al.*, 2011). A permanência do material orgânico no solo por longo período ocorre em função da lenta decomposição, pois composto orgânico maduro pode possuir quantidades elevadas de carbono recalcitrante e oferecer resistência à decomposição microbiana (RIBEIRO *et al.*, 2010).

O residual em decomposição possui capacidade de fornecimento de carbono, macro e micronutrientes às plantas (WATTS *et al.*, 2010). Os nutrientes do adubo orgânico, com o tempo, podem diminuir, mas podem permanecer outros elementos com valores altos no solo (INDRARATNE *et al.*, 2009). A partir de 63 dias o carbono orgânico total, nitrogênio total e disponível, fósforo total apresentaram diminuições nas concentrações com a aplicação de composto de esterco bovino e resíduo sólido urbano no solo (DUONG *et al.*, 2013). Entretanto, é verificado aumento na disponibilidade de fósforo lábil e carbono orgânico

dissolvido conforme o tamanho das partículas que integra o composto orgânico (DUONG; PENFOLD; MARSCHNER, 2012).

Dessa forma, seguidas aplicações de composto orgânico em culturas de ciclo curto podem aumentar os níveis de fósforo no solo e provocar poluição. Valores de fósforo disponível entre 90 e 100 mg kg⁻¹ de solo tornam o ambiente vulnerável à poluição (SHARPLEY *et al.*, 2003; BAI *et al.*, 2013). No solo, à medida que os valores de fósforo disponível ultrapassam os limites máximos exigidos pelas culturas, não há resposta do vegetal pelo excesso de nutriente (SHARPLEY *et al.*, 1994).

O remanescente das doses (0,0; 22.800; 45.600; 68.400; 91.200 kg ha⁻¹) de composto de resíduos vegetais e cama de frango, no segundo cultivo da alface, aumentou a produção de massa da matéria fresca até 27.367 kg ha⁻¹ com a maior dose. A produção da alface foi obtida entre 80 e 110 dias após a aplicação do composto no solo. As altas produções da alface no remanescente das doses crescentes podem ser atribuídas às melhores condições químicas e físicas do solo. Entretanto, no final do segundo, com a dose de 45.600 kg ha⁻¹ de composto orgânico, o remanescente de fósforo disponível foi acima de 200 mg dm⁻³ de solo (SANTOS *et al.*, 2001).

3.4 Utilização do biochar na agricultura

A queima incompleta da madeira em caldeiras pela agroindústria favorece a produção de carvão. A geração de carvão ocorre pela liberação de partículas durante a decomposição térmica da madeira. Estas partículas são arrastadas pela exaustão dos gases por multiciclones e, desse modo, torna-se um resíduo (BERNARDI, 2011).

O carvão formado não é utilizado pela agroindústria, mas, pode ser utilizado na agricultura e passa a ser denominado de biochar. Biochar é rico em carbono, produzido a partir da madeira, esterco ou folhas (FORNES; BELDA; LIDÓN, 2015). Para obtenção do biochar, os materiais orgânicos são submetidos à decomposição térmica em fornos com fornecimento limitado de oxigênio e a temperaturas relativamente baixas (<700 °C) (LEHMANN; JOSEPH, 2015).

Por outro lado, a manutenção dos níveis de matéria orgânica do solo é fundamental para o manejo em regiões tropicais (GOYAL *et al.*, 1999). Desse modo, o biochar pode ser misturado com composto orgânico ou esterco e aplicado nos cultivos para melhorar e manter a fertilidade dos solos (OGAWA, M.; OKIMORI, 2010; LEHMANN; JOSEPH, 2015). A estrutura porosa e a elevada superfície específica dos biochars indicam que são bons adsorventes para uma variedade de substâncias. O biochar pode possuir propriedades

hidrofílicas, hidrofóbicas, ácidas e básicas, no entanto, todas reagem com as substâncias da solução do solo (ATKINSON; FITZGERALD; HIPPS, 2010).

A adição de biochar no solo aumenta o pH, a capacidade de troca de cátion e a retenção de água e nutrientes. O composto orgânico por meio da mineralização disponibiliza nutrientes bem como a aplicação de fertilizantes prontamente solúveis no solo. A mistura do biochar com composto orgânico no solo auxilia na retenção de amônio, pois a presença de água nas partículas auxilia na adsorção do íon amônio. Ainda, a presença de enxofre, metais alcalinos terrosos e outros metais arrastados para o interior dos poros das partículas contribuem para retenção de amônia (SPOKAS; NOVAK; VENTEREA, 2012).

As aplicações de biochar ou em mistura com fertilizantes promovem melhorias na qualidade química do solo, pois proporciona aumentos dos níveis de fósforo em função da capacidade de absorção do biochar. Porém, a sorção de fósforo e sua disponibilidade pode ser influenciada pelo pH do solo, óxidos metálicos e carbonatos. No entanto, com a aplicação de biochar, o pH do solo aumenta devido às reações de consumo de prótons, tais como ligações de troca entre grupos funcionais do biochar com ânions de alumínio e ferro, e pela descarboxilação durante a decomposição parcial da matéria orgânica do biochar (CHINTALA *et al.*, 2014).

Os nutrientes dos fertilizantes podem apresentar variação no solo em curtos períodos e não serem aproveitados por culturas de ciclo curto. Dessa forma, o biochar promove o uso eficiente dos nutrientes e a manutenção dos teores de fósforo na região de atuação das raízes e minimiza impactos no meio. O biochar no solo pode ser uma fonte de fósforo, cálcio e magnésio para os vegetais. As melhorias obtidas na mistura de biochar com composto orgânico são: aumento da matéria orgânica do solo e redução da fração de fósforo prontamente disponível (VANDECASTEELE *et al.*, 2016). Entretanto, na mistura 4% de biochar de Pinus (*Pinus ponderosa*) com solo alcalino houve sorção de 56 % de fósforo (CHINTALA *et al.*, 2014).

O biochar pode ser adicionado no solo para melhorar a qualidade biológica e sequestrar carbono. A utilização do biochar serve como habitat para os microrganismos e melhora a atividade microbiana no solo, pois pode apresentar poros maiores que os ocupados por bactérias ($>0,6 \mu\text{m}$) (STEINER *et al.*, 2004; DEMPSTER *et al.*, 2012). Entretanto, o biochar de madeira aumenta pouco a respiração do solo, pois a aplicação de $100.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de biochar de madeira proporcionou emissão de 5 % de CO_2 após 600 dias (20 meses) (HANSEN *et al.*, 2016).

A aplicação de biochar no solo é uma forma de reestabelecer a qualidade biológica de áreas degradadas, pois aumenta a atividade microbiana e enzimática. A urease, fosfatase ácida e alcalina podem ser utilizadas como indicadores de qualidade do solo, pois são sensíveis às mudanças de manejo das áreas agrícolas (PAZ-FERREIRO *et al.*, 2015). Experimento com utilização de biochar de madeira (10.000 , 20.000 e $40.000 \text{ kg ha}^{-1}$) em

mistura com solo apresentou aumentos dos níveis de urease em relação ao controle em função da maior biomassa microbiana presente no biochar (DEMISIE; LIU; ZHANG, 2014).

No caso das enzimas envolvidas na ciclagem de fósforo, a adição de biochar no solo favorece os aumentos da fosfatase ácida e alcalina, pois o biochar melhora o pH do solo e contribui para manutenção da comunidade de microrganismos. No entanto, com os aumentos do pH do solo, pode ocorrer redução da atividade da fosfatase ácida (YANG *et al.*, 2015). Porém, a aplicação de biochar de acácia com pH 6,35 ($47.000 \text{ kg ha}^{-1}$) diminui o pH do solo, mas a fosfatase ácida apresentou níveis semelhantes ao controle. Apesar do decréscimo de pH do solo com o biochar de acácia, os níveis de fosfatase alcalina foram maiores em relação ao controle (ABUJABHAH *et al.*, 2016).

3.5 Produtividade da alface com adubação orgânica e mineral

Nos sistemas de cultivos, a diferença de rendimento entre cultivo orgânico e o convencional pode ser maior que 20% (PONTI; RIJK; VAN ITTERSUM, 2012). No entanto, os resultados das fertilizações orgânicas na produção vegetal são dependentes das aplicações sucessivas de composto orgânico e do tempo. Aumentos na produtividade dos vegetais, mediante aplicações de composto orgânico, podem ser observadas seis meses após a aplicação do composto orgânico no solo (IGLESIAS-JIMÉNEZ; ALVAREZ, 1993).

Entretanto, o tempo para resposta da adubação orgânica depende da composição e origem do material orgânico. Ao serem incorporados no solo os materiais orgânicos passam a sofrer novamente decomposição após serem submetidos à reciclagem biológica. Assim, os adubos orgânicos são aplicados antecipadamente nos cultivos para que os nutrientes sejam disponibilizados gradativamente na solução do solo. No caso da fertilização mineral, os nutrientes são prontamente disponíveis às plantas e podem proporcionar altas produtividades. Para alface, a adubação de base com $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ da fórmula 2-16-08, 1.000 kg ha^{-1} de superfosfato simples e $66,40 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio proporcionaram $51.142,85 \text{ kg ha}^{-1}$ de massa da matéria fresca (RESENDE *et al.*, 2012).

Por outro lado, a resposta da alface as adubações orgânicas em curtos períodos dependem das quantidades aplicadas. Entre as doses de composto orgânico 0, 25.000, 50.000, 75.000 e $100.000 \text{ kg ha}^{-1}$ houve maior produtividade da alface com $100.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de composto orgânico com $51.300 \text{ kg ha}^{-1}$ de massa da matéria fresca em 60 dias (OLFATI *et al.*, 2009). Porém, as produtividades da alface podem variar em função das condições de solo e tempo de aplicação. Na adubação com composto orgânico, aos 36 dias, a estimativa de produtividade da alface foi de 119,5, 119,4 e 153,9 g planta^{-1} com doses de 37.700,

18.900 e 13.000 kg ha⁻¹ de composto de esterco de bovino, respectivamente (RODRIGUES; CASALI, 1999).

Apesar das condições de solo e da composição do composto orgânico interferirem no rendimento, o composto orgânico pode ser vulnerável à perda de nutrientes no solo e provocar alterações na produtividade da alface. Dessa forma, às vezes, é necessária a mistura do composto orgânico com outros materiais para que se evitem decréscimos na produtividade da alface. A mistura de composto orgânico com biochar aumenta a altura e massa da matéria fresca das plantas (SCHULZ; DUNST; GLASER, 2013).

3.6 Diagnose foliar para recomendação das adubações orgânicas

As quantidades de fertilizante orgânico aplicado nas áreas agrícolas são baseadas no teor de nitrogênio e na demanda nutricional do vegetal. Entretanto, mesmo com a presença do nutriente no solo, não é assegurada a absorção na quantidade e na proporção adequada pelas plantas (FIEDLER; STÜTZEL, 2012). A frequência de aplicação dos adubos orgânicos no solo, na tentativa de disposição pela geração excessiva de resíduos e em áreas restritas, pode proporcionar a poluição do meio.

As consequências do excesso de adubo aplicado no solo aparecem nas plantas e na saúde do homem. Além disso, danos econômicos podem resultar das baixas produtividades, limitações no uso das áreas para cultivo e lixiviação de nutrientes para regiões do solo distante das raízes (PAGE *et al.*, 2014). Por outro lado, aplicações de adubos em baixas quantidades limitam o potencial de produção vegetal, diminuem a biomassa para cobertura do solo e reduzem os ganhos econômicos. Melhorias na qualidade do solo e equilíbrio nas adubações orgânicas podem ser obtidas por diagnose foliar (FIEDLER; STÜTZEL, 2012).

As adubações das plantas são estabelecidas por critérios que estimam as quantidades de adubo para atender à demanda nutricional a serem aplicadas no solo. Os critérios para estimar as doses das adubações podem envolver análises de solo e de folha. A utilização da análise foliar pode servir como critério para estabelecimento das adubações, principalmente a nitrogenada em culturas perenes. No caso das hortaliças, a diagnose foliar é utilizada para verificar se as adubações estão adequadas (RAIJ *et al.*, 1997).

A folha é o órgão que melhor reflete as condições nutricionais das plantas, pois é influenciada pelas variações dos nutrientes no solo e pelas adubações. Na diagnose foliar, o solo é analisado o solo por meio da planta considerada a solução extratora. A diagnose foliar serve para avaliação do estado nutricional, identificação de deficiências e avaliação da necessidade de adubo (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; PARKS; IRVING; MILHAM, 2012).

As plantas ao receberem adubações apresentam aumento da absorção de nutrientes e mudanças na cor das folhas, seja por adubação mineral ou orgânica. No entanto, nas áreas de cultivo, os nutrientes podem apresentar variações que dependem das seguintes condições: critério de adubação, cultivar, manejo do fertilizante, matéria orgânica, teor de nitrogênio mineral no solo e produtividade esperada (MOREIRA *et al.*, 2011).

A aplicação de composto de resíduo sólido municipal (50 e 100 t ha⁻¹), em solo argiloso durante dois cultivos, aumentou todos os nutrientes no tecido foliar da alface. Porém, os níveis nutricionais da alface foram baixos em função da imobilização do nitrogênio provocada pela biomassa microbiana. Apesar do composto orgânico não satisfazer os requerimentos nutricionais da alface, a produtividade foi semelhante à adubação mineral (GIANNAKIS *et al.*, 2014).

Por outro lado, no tecido vegetal da alface adubada durante três cultivos com biossólido (40 t ha⁻¹), composto de resíduo sólido municipal (40 t ha⁻¹) e fertilizante mineral (1000 kg ha⁻¹ - 10-12-17 NPK), não houve efeito acumulativo dos macro e micronutrientes. Os teores de nitrogênio nas folhas, embora sejam variáveis, foram semelhantes nos três cultivos e com os três adubos. No terceiro cultivo, as folhas de alface apresentaram 3 e 3,4 % de nitrogênio com composto de resíduo sólido municipal e biossólido, respectivamente (CASTRO; MANÃS; DE LAS HERAS, 2009).

As quantidades de composto orgânico aplicadas no solo influenciaram os teores de nutrientes na folha dos vegetais. A distribuição de 10 t ha⁻¹ de composto orgânico no solo não satisfaz a demanda nutricional da alface (GRASSI *et al.*, 2015). As quantidades necessárias de composto orgânico para satisfazer a demanda nutricional variam entre 49 e 150 t ha⁻¹. Tais quantidades são para atender à demanda de nitrogênio na alface. Portanto, para satisfazer o requerimento de fósforo no tecido foliar, as doses de composto orgânico podem ser de 9 a 21 t ha⁻¹ (HORNICK *et al.*, 1984).

3.7 Qualidade química e biológica do solo

Nas regiões de clima tropical, é importante a restituição da matéria orgânica, mesmo em solos sem revolvimento, pois a velocidade de decomposição é maior em função da atividade microbiana e dos ciclos de umedecimento e secagem. A adição de matéria orgânica em áreas de cultivos sucessivos é fundamental para manutenção das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (FAGERIA *et al.*, 2012). Nos sistemas de manejo, as alterações nas propriedades dos solos podem ser observadas pelos níveis de carbono e nitrogênio, pois são as frações do solo facilmente transformadas (GONZÁLEZ-UBIERNA *et al.*, 2012). A aplicação de material orgânico em excesso pode originar efeitos negativos no

solo (ACHIBA *et al.*, 2009). O uso de resíduos sólidos e líquidos pode aumentar os teores de nutrientes e o risco de acúmulo de metais pesados como cádmio, chumbo, cobre e zinco. A utilização de fertilizante mineral solúvel favorece a elevada disponibilidade de fósforo, a diminuição do pH do solo e o aumento da absorção de metais pelas plantas (KIBA *et al.*, 2012).

Por outro lado, aplicações de material orgânico em baixas quantidades podem não ser economicamente viáveis para produtores orgânicos de hortaliças. Além disso, com baixas quantidades de composto orgânico aplicado aparecem deficiências nutricionais e ocorrem descrescimentos de produção dos vegetais. Para que se adequem as aplicações de adubos orgânicos e ocorram melhorias na qualidade do solo, atributos como o estado nutricional dos vegetais podem ser monitorados (NORTCLIFF, 2002).

O monitoramento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo contribui para a identificação das possíveis causas da redução de produção e qualidade do solo. Além disso, a análise conjunta das características edafobiológicas constitui um meio para examinar a sustentação do agroecossistema e fornecer indicativos de pontos críticos ligados ao manejo das áreas (VALARINI *et al.*, 2007). Nas avaliações da qualidade dos solos em áreas de manejo intensivo, os atributos químicos podem ser avaliados. O manejo utilizado em cada área agrícola modifica os teores de matéria orgânica no solo (VALARINI *et al.*, 2011).

Os níveis de matéria orgânica para alguns solos podem ser adequados, enquanto para outros solos os teores de matéria orgânica indicam uma condição de degradação e de produção vegetal limitada (DORAN; SAFLEY, 1997; CASADO-VELA *et al.*, 2006). Nos sistemas de manejo do solo, a diversificação da produção depende da região. No entanto, o teor de matéria orgânica sob manejo orgânico (3,56 %) é superior ao convencional (2,32 %) (KAMIYAMA *et al.*, 2011).

As aplicações de doses crescentes de composto orgânico no solo proporcionam aumentos nos teores de matéria orgânica (FABRIZIO; TAMBONE; GENEVINI, 2009). A cada 10.000 kg ha⁻¹ de composto orgânico aplicado, foi estimado um aumento de 0,7 g dm⁻³ de matéria orgânica no início do ciclo da alface para semente, enquanto no final do ciclo de cultivo a estimativa é de 0,6 g dm⁻³ (210 dias após o transplante) (CARDOSO *et al.*, 2011). O composto orgânico no solo proporciona aumento do pH e diminui a mobilidade de metais pesados. No entanto, a contribuição do composto orgânico no aumento do pH do solo pode não passar de 0,3 unidades (ACHIBA *et al.*, 2009; YAN *et al.*, 2012). Desse modo, aplicações de composto orgânico e misturas de composto orgânico com biochar também podem modificar a condutividade elétrica do solo.

A condutividade elétrica serve como indicativo dos sais que se dissolvem mais rapidamente na solução do solo. Assim, o composto orgânico e o biochar podem contribuir igualmente no aumento da condutividade elétrica no solo. Além disso, a condutividade

elétrica no solo pode diminuir em função da absorção dos nutrientes pelas plantas ou pela lixiviação dos sais no solo (SCHULZ; DUNST; GLASER, 2013).

Em relação às características biológicas do solo, a respiração do solo está relacionada à decomposição e mineralização da matéria orgânica no solo. A adição de composto de esterco de bovino nos cultivos proporciona estabilidade respiratória no solo. Dessa forma, a aplicação de lixiviado de esterco de bovino (doses: 0; 83.333; 250.000; 333.333 L ha⁻¹) e composto orgânico (doses: 0; 166.660; 333.330 kg ha⁻¹) aumentaram a respiração do solo e os valores permaneceram entre 1,05 e 1,2 g m⁻² h⁻¹ durante 40 dias. Além disso, o composto orgânico reduz os impactos dos lixiviados no solo e a maior dose de composto orgânico proporciona leves reduções da emissão de dióxido de carbono (YANG *et al.*, 2014). O funcionamento dos agroecossistemas é dependente dos processos biológicos e bioquímicos no solos. A comunidade biológica dos solos realiza processos tais como ciclagem de nutrientes, transformações de energia e a degradação e ciclagem de composto orgânicos complexos (KANDELER; DICK, 2006). As enzimas auxiliam na decomposição e mineralização dos nutrientes dos adubos orgânicos aplicados nos solos sob condições variáveis.

As condições de umidade interferem na respiração do solo e nas atividades enzimáticas dos microrganismos. A redução de 10 % na umidade do solo diminuiu a atividade da urease (10-67 %), protease (15-66 %) e β -glucosidase (10-80 %) dependendo do período do ano e profundidade do solo. A secagem do solo em 21 % reduziu a atividade da urease de 42 a 60 %, protease de 35 a 45 %, β -glucosidase de 35 a 83 % e fosfatase ácida de 31 a 40 % (SARDANS; PEÑUELAS, 2005). A urease está relacionada à mineralização do nitrogênio orgânico no solo e a aplicação de composto orgânico aumenta a atividade da enzima. A incorporação de 160 t ha⁻¹ de composto de resíduo sólido municipal no solo aumentou a atividade da urease em relação aos adubos: digestão aeróbia de lodo de esgoto e digestão anaeróbia de lodo de esgoto aplicados nas mesmas quantidades (JORGE-MARDOMINGO *et al.*, 2013).

Em relação à fosfatase, o pH ótimo do solo é o ácido para disponibilizar o máximo de fosfato. No entanto, é observada a atividade da fosfatase em pH alcalino. A atuação da fosfatase em pH alcalino resulta da heterogeneidade de fosfatos presentes no solo (BANERJEE; SANYAL; SEN, 2012). Doses de composto de borra de café, esterco de bovino e fosfato de rocha (0,0; 20.000; 40.000; 80.000 e 160.000 kg ha⁻¹) aumentaram a atividade da fosfatase ácida e alcalina no solo. Entretanto, independente do pH, as enzimas fosfatase ácida e alcalina apresentaram valores próximos (OLIVEIRA; FERREIRA, 2014).

As enzimas são sensíveis às mudanças de manejo das áreas agrícolas e proporcionam resposta a curto prazo para avaliação da qualidade biológica do solo (KANDELER; DICK, 2006). Além disso, a atividade enzimática do solo possui estreita relação com a matéria orgânica, propriedades físicas e com atividade microbiana do solo.

Dessa forma, as enzimas são importantes para decomposição bem como para a disponibilidade e a ciclagem de nutrientes (DICK, 1994). Após a morte dos microrganismos, as enzimas continuam reagindo no solo. Desse modo, a resposta das enzimas são precisas, rápidas, simples e de baixo custo para serem realizadas (LOPES *et al.*, 2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área experimental

O experimento foi instalado na horta da Penitenciária Industrial de Cascavel - Paraná, a latitude de 24°97'82"S e longitude de 53°36'30,44"W, com altitude média de 721 metros. O clima, segundo a classificação de Köppen (1948), enquadra-se no tipo Cfa, subtropical úmido, com precipitação média anual de 1.800 mm, bem distribuída durante o ano. Os verões são quentes, contudo, não há estação seca definida. O município apresenta temperatura média de 20 °C e umidade relativa do ar média de 75 % (IAPAR, 1998). O solo da área experimental é classificado como um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (EMBRAPA, 2013).



Figura 1 Localização da área experimental na Penitenciaria Industrial de Cascavel (PIC).

Fonte: GOOGLE EARTH (2013)

4.2 Amostragens de solos

Durante a coleta das amostras de solo para a caracterização e nos cultivos (2°, 4°, 6° e 8° cultivos), foram necessários dois dias de espera após as precipitações ou irrigações para assegurar uma consistência adequada durante as amostragens (MACHADO *et al.*, 1998). O solo da área experimental foi quimicamente caracterizado 30 dias antes da instalação do experimento. Tal procedimento foi repetido a cada dois cultivos da alface após a colheita, ou seja, uma coleta de solo no segundo, quarto, sexto e oitavo cultivo posterior à

colheita da alface. As coletas de solo foram com trado tipo holandês nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

4.3 Descrição do experimento

Antes da implantação do experimento, na área de cultivo, foi observada a presença de casca de pinus (*Pinus taeda*). Foram realizados oito cultivos da alface, variedade Lucy Brown, no período de um ano, ou seja, foram realizados dois cultivos da alface a cada três meses. A variedade de alface utilizada serve para plantio o ano todo. A alface foi adubada a cada cultivo. Os tratamentos foram: controle sem adubação e sem alface (CSAA), adubação mineral (AM), adubação mineral + biochar (AMB), composto orgânico (CO), composto orgânico + biochar (COB).

Em cada cultivo da alface foram utilizados para AM-130 kg ha⁻¹ de N, 176 kg ha⁻¹ de P e 41,67 kg ha⁻¹ de K; AMB-130 kg ha⁻¹ de N, 176 kg ha⁻¹ de P e 41,67 kg ha⁻¹ K + 2.000 kg ha⁻¹ de biochar (31,60 kg ha⁻¹ de P; 8,38 kg ha⁻¹ K); CO - 50.000 kg ha⁻¹ de composto orgânico (725,00 kg ha⁻¹ de NTK; 604,00 kg ha⁻¹ de P; 298,50 kg ha⁻¹ de K); e em COB - 50.000 kg ha⁻¹ de composto orgânico (725,00 kg ha⁻¹ de NTK; 604,00 kg ha⁻¹ de P; 298,50 kg ha⁻¹ de K) + 2.000 kg ha⁻¹ de biochar (31,60 kg ha⁻¹ de P; 8,38 kg ha⁻¹ K). Os períodos de transplante das mudas nos canteiros foram: 03/09/2014 - 07/10/2014 (1º e 2º cultivo); 15/01/2015 - 23/02/2015 (3º e 4º cultivo); 13/04/2015 - 26/05/2015 (5º e 6º cultivo); 21/07/2015 - 27/08/2015 (7º e 8º cultivo).

O requerimento de nutrientes para adubação mineral da alface foi baseado no Boletim Técnico 100 (RAIJ *et al.*, 1997). As quantidades de composto orgânico e biochar utilizadas foram na base seca. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro tratamentos (adubação) e cinco repetições, totalizando vinte parcelas.

4.4 Caracterização do substrato e semeadura da alface

O composto orgânico para obtenção do substrato foi proveniente da compostagem de resíduos agroindustriais da cadeia produtiva de frangos de corte como lodo de flotador e cama de aviário, além de serragem, conteúdo ruminal de bovino de corte, poda de árvores urbanas e cinza, com base em uma relação carbono:nitrogênio de 30:1. O composto orgânico utilizado como substrato para produção das mudas foi passado em peneira de aro

de madeira, tela de arame galvanizado malha 6 (abertura 3,67 mm), fio 24 BWG (0,56 mm) e 65 cm de diâmetro, e homogeneizado. O substrato foi umedecido antes da semeadura. Na Tabela 1 estão apresentadas as características químicas do substrato utilizado nos experimentos antes da semeadura da alface.

Tabela 1 Análise química do substrato para produção da mudas de alface

	pH	CE	C	NTK	C/N	P	K	Zn	Cu	Fe	Mn
		(dS m ⁻¹)	-----(%)-----						----- (g kg ⁻¹)-----		
Substrato	7,68	0,75	16,55	1,60	10	3,63	9,84	0,54	0,01	7,16	1,94

pH em água; CE= condutividade elétrica ; NTK= Nitrogênio total kjeldahl; P, K, Zn, Cu, Fe, Mn= extração nitro-peclórica (3:1)

Em cada época, as mudas de alface foram obtidas a partir da semeadura em bandejas de 200 células com substrato orgânico. O substrato de resíduos agroindustriais foi distribuído sobre bandejas de poliestireno expandido, mantendo-se a uniformidade de preenchimento das células. A semeadura das sementes de alface foi manual. As sementes peletizadas foram obtidas no comércio local. Foi realizada a semeadura de 1000 sementes de alface para obtenção de 800 plantas por ocasião do transplante (30 dias após a emergência) para cada cultivo. A emergência foi considerada quando os cotilédones estavam totalmente abertos. As bandejas foram dispostas no sentido Norte-Sul no interior da estufa e realizado o rodízio das bandejas de quatro em quatro dias (PEREIRA *et al.*, 2012).

4.5 Preparo dos canteiros e espaçamento

Os canteiros foram preparados com enxada rotativa leve (modelo RL 125), pertencente à prefeitura municipal de Cascavel - Paraná, antecedendo ao transplante das mudas de alface. O espaçamento para a alface foi de 0,30 x 0,30 m (MAYNARD; HOCHMUTH, 2007). As parcelas foram de 1,20 x 3,60 m, com espaçamento de 0,50 m entre as parcelas e 0,20 m de altura, constituídas por 40 plantas. A parcela útil para alface foi de 0,60 x 3,00 m.

4.6 Caracterização do composto orgânico e biochar

O composto orgânico e o biochar foram fornecidos pela empresa Compostec Soluções Ambientais, localizada em Toledo-Paraná. O composto orgânico foi proveniente da

compostagem de resíduos agroindustriais da cadeia produtiva de frangos de corte como lodo de flotador e cama de aviário, além de serragem, conteúdo ruminal de bovino de corte, poda de árvores urbanas e cinza, com base em uma relação carbono:nitrogênio de 30:1. Para a adubação, o composto orgânico foi passado anteriormente em peneira rotativa de 10 mm de abertura. Posteriormente, foi aplicado no solo com cinco dias de antecedência ao transplante das mudas. O biochar foi passado em peneira de aro de madeira, tela de arame galvanizado malha 10 (abertura 2,00 mm), fio 26 BWG (0,46 mm) e 65 cm de diâmetro, homogeneizado e misturado com composto orgânico ou adubo mineral (2.000 kg ha⁻¹ de biochar). A distribuição das adubações foi em sulcos ao lado e abaixo da linha de transplante das mudas (Figura 2).



Figura 2 Adubações das parcelas de cultivo da alface

Os teores de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) foram determinados para os materiais orgânicos (FALCÃO, 2005). Os teores totais de potássio, fósforo, zinco, cobre, ferro e manganês foram determinados por digestão nitro-perclórica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Na Tabela 2, as caracterizações químicas do composto orgânico e do biochar utilizados são apresentadas no experimento antes das adubações.

Tabela 2 Análise química do composto orgânico e do biochar

	pH	CE	C	NTK	C/N	P	K	Zn	Cu	Fe	Mn
		(dS m ⁻¹)	-----(%)-----			-----			(g kg ⁻¹)-----		
Composto	7,48	3,76	15,39	1,45	10	12,08	5,97	0,71	0,39	7,15	2,04
Biochar	10,28	0,80	32,92	0,15	219	15,80	4,19	0,08	0,10	15,38	2,16

pH em água; CE= Condutividade elétrica; NTK= Nitrogênio total kjeldahl; P, K, Zn, Cu, Fe, Mn= extração nitro-perclórica (3:1)

As mudas foram transplantadas no local definitivo aos 30 dias após a emergência com cinco folhas. O controle das espécies invasoras foi manual e com capinas. O controle de pragas foi utilizado óleo de neem e pimenta vermelha. O óleo de neem foi utilizado na dose de 5 ml L⁻¹ de água. Para o preparado de pimenta, foram utilizados 500 g de pimenta

vermelha + 4 L de água + 75 ml de sabão de coco. A pimenta foi triturada em 2 litros de água e coada. Posteriormente, 75 ml de sabão de coco dissolvido foram acrescentados em água morna e completado o volume para 5 litros com água. E para pulverização, 200 ml do preparado de pimenta vermelha foram diluídos em 20 litros de água.

O preparado de alho foi utilizado para controle de nematoides e doenças. Foram utilizados 1 kg de alho + 200 g de sabão neutro + 100 ml de óleo vegetal + 5 L de água. Foi moído 1 kg de alho juntamente com 2 litros de água em um liquidificador. Após a moagem, 100 ml de óleo vegetal foram adicionados e deixados em repouso por três dias. Posteriormente, 200 g de sabão neutro foram dissolvidos em três litros de água fervente e esperou-se que o sabão dissolvido esfriasse. Em seguida, o sabão dissolvido foi misturado com o preparado de alho e óleo em repouso. Após um dia em repouso, a mistura foi agitada manualmente e filtrada. Foram diluídos 300 mL do preparado de alho em 10 litros de água para as pulverizações (CUNHA, 2011).

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, constituído por linha principal e linhas secundárias com emissores espaçados em 0,10 m na linha e 0,30 metros na entrelinha. Desse modo, a irrigação foi constante com 20 mm dia⁻¹. Para avaliação da alface, a cada cultivo, as folhas recém-desenvolvidas de três plantas foram coletadas aos 21 dias após o transplante (DAT). As folhas coletadas foram para determinação de nitrogênio total, potássio, fósforo, ferro, zinco, cobre e manganês. Na colheita, aos 30 DAT, foram coletadas três plantas por parcela para avaliação da massa fresca e seca da raiz e parte aérea.

4.7 Preparo do material vegetal e do solo para análise

As amostragens das plantas para diagnose foram obtidas mediante a remoção das folhas. As folhas removidas foram secas em estufa de circulação forçada de ar 50 °C até massa constante e analisadas visando à determinação do estado nutricional. As folhas secas foram moídas em almofariz e acondicionadas para análises químicas.

Na colheita, a massa fresca da raiz (MFR) e a parte aérea (MFPA) (produtividade) foram retiradas do solo e avaliadas. Posteriormente, foram lavadas com água, colocadas em sacos de papel e acondicionadas em estufa com circulação de ar a 50° C, até massa constante. Após a secagem, a parte aérea e raiz foram pesadas em balança de precisão para obtenção da massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR).

Para diagnose foliar, foram determinados nitrogênio total (NTK), potássio, fósforo, micronutrientes (zinco, cobre, ferro e manganês) no segundo, quarto, sexto e oitavo cultivo da alface. As determinações de NTK foram por digestão sulfúrica. As análises de fósforo,

potássio e micronutrientes por digestão nitro-perclórica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

As amostras de solo foram separadas manualmente e divididas em duas subamostras. Uma amostra de solo resultante das divisões foi acondicionada em recipiente plástico em caixa de poliestireno expandido por ocasião das coletas e armazenada em congelador a -11 °C para determinação da atividade enzimática do solo. A outra amostra foi seca ao ar (terra fina seca ao ar - TFSA), destorroada e passada em peneiras de dois milímetros de diâmetro de abertura de malha e armazenada em recipiente plástico para análise de pH, carbono total, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes (ferro, zinco, cobre e manganês).

No solo, as determinações de pH, potássio, fósforo e micronutrientes foram realizadas em amostras de TFSA (EMBRAPA, 2009). Os teores de fósforo foram obtidos por espectrofotometria. A determinação de potássio foi com fotômetro de chama, enquanto os micronutrientes foram obtidos por espectrometria de absorção atômica. As avaliações foram no segundo, quarto, sexto e oitavo cultivo da alface. Na Tabela 3 é apresentada a caracterização química do solo.

Tabela 3 análise química do solo antes da instalação do experimento

pH	CE	C	K	P	Fe	Zn	Cu	Mn
	dS m ⁻¹	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			(mg kg ⁻¹)		
6,99	0,039	80,20	2,45	0,31	98,01	7,85	7,34	73,22

pH em CaCl₂ 0,01 mol⁻¹; K, P, Fe, Zn, Cu, Mn= Extrator Mehlich-1; CE= condutividade elétrica.

4.8 Avaliações da qualidade biológica do solo

A profundidade da coleta de solo para análise da respiração e de enzimas foi de 0-10 e 10-20 cm. O solo para respiração não foi submetido ao peneiramento, mas foi acondicionado em recipiente e armazenado em geladeira. No caso da atividade enzimática, o solo foi passado em peneira de dois milímetros acondicionado em recipiente e congelado para posterior análise da atividade enzimática.

Para monitoramento da qualidade biológica do solo, foram realizadas análises da respiração basal e atividade enzimática do solo no oitavo cultivo da alface. A respiração basal do solo foi avaliada a partir do dióxido de carbono (CO₂) produzido pela atividade microbiana. Para determinação da respiração, 50 gramas de solo foram adicionados no interior de recipientes. No interior de cada recipiente foram colocados frascos com 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH a 0,5 mol L⁻¹). Os recipientes foram hermeticamente fechados e permaneceram incubados por sete dias a 25 °C. Após a incubação, os recipientes foram abertos e a solução de NaOH (0,5 mol L⁻¹) recebeu 2 mL de cloreto de bário (BaCl₂) a 10 %.

Em seguida foram adicionadas duas gotas do indicador fenolftaleína 1 % e realizada a titulação com HCl a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Os resultados obtidos da respiração do solo foram expressos em $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{solo hora}^{-1}$ (ALEF; NANNIPIERI; TRAZAR-CEPEDA, 1995).

As análises de enzimas realizadas foram urease, fosfatase ácida e alcalina. A determinação da atividade da enzima urease foi por avaliação do amônio liberado quando o substrato foi incubado com tampão THAM [tris(hidroximetil) aminometano] a 37°C por duas horas. Após esse período, foram adicionados 35 ml da solução 2 mol L^{-1} de KCl contendo 0,32 mM de Ag_2SO_4 e submetidos à agitação por alguns segundos. Os procedimentos para preparo das soluções bem como o pH ideal e a concentração adequada do substrato estão descritos em Kandeler *et al.* (2011). Após a agitação, o volume foi completado para 50 mL com a solução KCl contendo 0,32 mM de Ag_2SO_4 . Foi coletada uma alíquota de 20 ml da suspensão para determinação do amônio e submetida à destilação por arraste de vapor. As destilações foram realizadas de acordo com Bremner; Keeney (1965).

A determinação da atividade das enzimas fosfatase ácida e alcalina foi baseada na determinação do *p*-nitrofenol liberado após a incubação do solo com o substrato *p*-nitrofenil fosfato durante uma hora a 37°C . Nas amostras de solo foram adicionados tampão MUB pH 6,5 para análise da fosfatase ácida e tampão MUB pH 11 para a fosfatase alcalina. Para ambas as enzimas foi adicionado 1 mL do substrato *p*-nitrofenil fosfato, homogeneizadas e incubadas por uma hora a 37°C . Após a incubação, foram adicionados 1 mL de cloreto de cálcio (CaCl_2 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) e 4 mL de hidróxido de sódio (NaOH a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) em cada amostra, as quais foram homogeneizadas e filtradas. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 400nm. As concentrações de *p*-nitrofenol em cada amostra foi determinada por uma curva (0;2 ;4; 6; 8; 10 μg de *p*-nitrofenol mL^{-1}). Os resultados obtidos da atividade das enzimas foram expressos em μmol de *p*-nitrofenol g^{-1} massa seca do solo h^{-1} (ACOSTA-MARTÍNEZ; TABATABAI, 2011).

4.9 Análises dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produtividade da alface

Aplicações do composto orgânico com ou sem biochar, a partir do sexto cultivo, proporcionaram maiores produtividades de MFPA e MSPA da alface (Tabela 4). O composto orgânico pode aumentar os rendimentos dos cultivos a partir de seis meses de aplicação no solo (IGLESIAS-JIMÉNEZ; ALVAREZ, 1993). Isso indica que aplicações sucessivas de CO e COB aumentaram gradativamente a disponibilidade de nutrientes no solo e por consequência o acúmulo de massa nas plantas (GUNES *et al.*, 2014). Além disso, os incrementos na produtividade obtidos pela adubação orgânica indicaram a capacidade do composto orgânico em suprir a demanda da alface em macro e micronutrientes por adubação de manutenção e pelos remanescentes das adubações (BRITO *et al.*, 2012).

Conforme as condições de solo, menores quantidades de composto orgânico podem proporcionar adequada produtividade da alface. Estudos com a utilização de fosfato de Gafsa com pentóxido de fósforo (0 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅); composto orgânico (0,0; 15.000 e 30.000 kg ha⁻¹) e calcário (0 e 8.000 kg ha⁻¹ de equivalente de carbonato de cálcio) na cultura da alface demonstraram melhor produção de MFPA com 30.000 kg ha⁻¹ de composto orgânico em relação ao controle sem uso de fertilizante (BRITO *et al.*, 2014).

Em relação à adubação mineral, as maiores produtividades de MFPA obtidas foram no primeiro e no quarto cultivos, pois é uma adubação solúvel e prontamente assimilável pelos vegetais. No entanto, durante os cultivos, a ocorrência de altas precipitações, lixiviação de nutrientes, ventos e solo exposto à radiação solar provavelmente limitaram a alface expressar o potencial de produção com a adubação mineral.

As adubações com CO e COB proporcionaram diferenças na MSR em relação aos tratamentos AM e AMB (Tabela 4). No entanto, as diferenças de MSR com CO e COB ocorreram a partir do sétimo cultivo em função da liberação lenta de nutrientes dos remanescentes de composto orgânico. Desse modo, com aplicação de composto orgânico sem ou com biochar no solo ocorreram aumentos de MSR e promoveram maiores produtividade de MFPA. A matéria orgânica favorece o aumento de raízes finas nas plantas (CANELLAS *et al.*, 2015). Além disso, as plantas provavelmente podem apresentar maior absorção de água e nutrientes, e capacidade de acúmulo de massa (PINTON *et al.*, 1999; CANELLAS; BUSATO; CAUME, 2005). Contudo, nos cultivos da alface, dentre as adubações, é dispensado o uso do biochar, pois a quantidade utilizada proporcionou produtividade e MSR semelhantes à AM e ao CO.

Tabela 4 Massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz em função das adubações com e sem biochar nos cultivos da alface

Cultivos	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
----- (kg ha ⁻¹) -----								
Tratamentos	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA	MFPA	MSPA
AM	71,55 a	4,88 a	256,98	18,15	196,88	9,75	577,20 a	26,95 a
AMB	53,65 ab	3,45 ab	178,31	11,44	176,24	8,43	390,14 b	20,40 ab
CO	40,30 b	2,92 ab	224,30	13,92	182,07	9,25	265,35 b	14,25 b
COB	36,32 b	2,50 b	250,10	14,99	153,42	8,05	268,06 b	13,91 b
DMS	11,00	0,70	51,53	3,99	44,41	1,92	58,42	2,50
CV (%)	33,48	31,44	34,77	41,90	38,47	33,28	23,89	20,32
Cultivos	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
----- (g planta ⁻¹) -----								
Tratamentos	MFR	MSR	MFR	MSR	MFR	MSR	MFR	MSR
AM	1,47 ab	0,15 a	4,36	0,62	2,73	0,27	8,71 a	0,88 a
AMB	1,88 a	0,14 ab	3,96	0,60	2,65	0,25	9,10 a	0,92 a
CO	1,13 ab	0,11 ab	4,08	0,57	3,26	0,30	7,34 ab	0,62 b
COB	0,88 b	0,09 b	4,82	0,61	3,14	0,28	6,81 b	0,56 b
DMS	0,80	0,06	2,28	2,25	1,73	0,14	1,90	0,20
CV (%)	33,02	26,87	29,24	22,64	32,54	27,39	13,10	14,82

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV= coeficiente de variação; DMS= diferença mínima significativa.

CSAA= controle sem adubação e alface; AM= adubação mineral; AMB= adubação mineral + biochar; CO= composto orgânico; COB= composto orgânico + biochar.

5.2 Estado nutricional da alface

A utilização das adubações AM, AMB, CO e COB proporcionaram níveis nutricionais adequados para a alface (Tabela 5) (GIANNAKIS *et al.*, 2014; GHOSH; OW; WILSON, 2015). Os teores de nitrogênio, fósforo e potássio foram acima de 3 %, 3,50 g kg⁻¹ e 50,00 g kg⁻¹, respectivamente (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997); RAIJ *et al.*, 1997).

No caso do fósforo, para os tratamentos CO e COB, os teores adequados foram alcançados a partir do sexto cultivo. Isso ocorreu em função da baixa mobilidade de fósforo no início das adubações (segundo cultivo). Ainda, no segundo cultivo, o menor teor de fósforo do tratamento AMB em relação ao AM resultou da capacidade de adsorção de fósforo do biochar (CHINTALA *et al.*, 2014). Posteriormente, em função dos revolvimentos mais intensos dos canteiros (quarto cultivo), ocorreram incorporações de solo sem adubação na camada de atuação das raízes. Estas condições reduziram os teores de fósforo no solo e provocaram reduções dos teores no tecido foliar para todas as adubações.

Para os micronutrientes, os níveis de suficiência foram atingidos com as aplicações de composto orgânico com ou sem biochar (Tabela 5). A umidade do solo provavelmente favoreceu a mineralização dos nutrientes durante o ciclo da cultura. O umedecimento dos adubos orgânicos e mineral favoreceram a difusão dos nutrientes no solo. Assim, os adubos mantiveram os teores nutricionais da alface dentro de uma faixa ótima de crescimento (Zn=25-250 mg kg⁻¹; Cu=7-20 mg kg⁻¹; Fe=50-150 mg kg⁻¹; Mn=25-200 mg kg⁻¹) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARTINEZ; MAIA, 2010; MAYNARD; HOCHMUTH, 2007; RAIJ *et al.*, 1997).

Por outro lado, a adição de biochar no composto ou no adubo mineral não proporcionou o desempenho que resultasse em acréscimos de nutrientes no tecido foliar da alface superior às adubações com CO e AM. Isso possivelmente ocorreu em função da quantidade de biochar utilizado nas adubações. Além disso, o biochar possivelmente alcançou, no segundo cultivo, a capacidade máxima de adsorção de nutrientes, sobretudo, no que tange ao nitrogênio, fósforo e aos micronutrientes. Assim, a quantidade de biochar utilizada nas adubações não proporcionou efeitos na análise foliar da alface.

Tabela 5 Diagnose foliar da alface para nitrogênio, fósforo, potássio, zinco, cobre, ferro e manganês em função das adubações com e sem biochar nos cultivos da alface

Efeitos dos cultivares da ananás																
Nitrogênio (3-5) ^a					Fósforo (3,50-7,00) ^a					Potássio (50,00-80,00) ^a						
Cultivos	2°	4°	6°	8°	2°	4°	6°	8°	2°	4°	6°	8°	2°	4°	6°	8°
Tratamentos	%				----- (g kg ⁻¹) -----											
AM	4,02	4,23	4,54 a	4,32 b	3,48 a	0,29 a	5,41	4,47	64,19	55,30	51,21	47,53				
AMB	3,67	3,98	3,73 b	4,28 b	2,72 b	0,22 b	5,15	4,65	65,81	52,20	51,59	46,63				
CO	4,03	4,06	4,48 ab	4,79 a	3,47 a	0,27 ab	4,92	3,68	64,79	56,12	55,56	52,15				
COB	4,02	4,08	4,64 a	4,72 a	3,14 ab	0,24 ab	4,95	3,58	68,66	54,83	55,05	52,54				
DMS	0,50	0,54	0,79	0,27	0,68	0,054	0,53	1,25	6,21	5,69	5,81	7,60				
CV (%)	6,97	7,30	10,03	3,33	11,76	11,70	5,72	16,89	5,21	5,76	6,02	8,44				
Zinco (25-250) ^a					Cobre (7-20) ^a				Ferro (50-150) ^a				Manganês (25-200) ^a			
Cultivos	2°	4°	6°	8°	2°	4°	6°	8°	2°	4°	6°	8°	2°	4°	6°	8°
Tratamentos	----- (mg kg ⁻¹) -----															
AM	25,62 b	18,93 b	40,28	26,36	1,19	14,85	23,29	9,98	1.074,44	459,89	770,04	540,29	49,76	64,18 a	47,34	43,62
AMB	23,97 b	25,52 ab	42,49	26,99	0,00	14,58	25,26	3,85	1.198,03	346,01	749,69	562,24	34,12	31,61 b	34,71	35,54
CO	47,79 a	28,64 ab	52,56	30,22	1,00	17,59	9,05	8,36	1.043,93	449,12	722,99	587,77	33,69	27,84 b	27,40	23,72
COB	50,12 a	34,78 a	55,97	26,74	0,00	16,93	10,48	10,09	1.075,17	490,83	729,06	599,82	30,24	31,12 b	33,87	21,68
DMS	15,72	13,91	23,16	13,67	3,14	14,61	57,44	6,66	720,87	173,57	283,43	213,42	48,65	28,54	47,81	10,08
CV (%)	23,55	28,51	26,76	27,40	317,40	50,51	186,47	45,62	36,27	21,97	21,08	20,59	72,82	40,76	73,71	17,90

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Tukey a 5% de probabilidade. CV= coeficiente de variação; DMS= diferença mínima significativa.

CSAA= controle sem adubação e alface; AM= adubação mineral; AMB= adubação mineral + biochar; CO= composto orgânico; COB= composto orgânico + biochar.

^a Faixa de teores adequados de macro e micronutrientes para alface: N=3-5 %; P= 3,50-7,00 g kg⁻¹; K=50,00-80,00 g kg⁻¹; Zn=25-250 mg kg⁻¹; Cu=7-20 mg kg⁻¹; Fe=50-150 mg kg⁻¹; Mn=25-200 mg kg⁻¹ (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARTINEZ; MAIA, 2010; MAYNARD; HOCHMUTH, 2007; RAIJ *et al*, 1997).

5.3 Fertilidade do solo

5.3.1 pH e condutividade elétrica

Aplicações de CO e COB elevaram o pH e a condutividade elétrica do solo (Tabela 6). Inicialmente, o pH estava próximo à neutralidade, sem aplicações de fertilizantes, no entanto, com as adubações de composto orgânico sem ou com biochar, o pH passou a ser fracamente alcalino. O aumento do pH pode ser atribuído à descarboxilação de ânions orgânicos e por associação de H^+ com ânions orgânicos e outros grupos químicos carregados negativamente (BUTTERLY *et al.*, 2011).

Os tratamentos AM e AMB reduziram e proporcionaram pH do solo adequado para a cultura da alface. Isso ocorreu em função da acidificação provocada pela adubação mineral, uma vez que o pH inicial do solo estava próximo à neutralidade. As aplicações de sulfato de amônio aumentam a acidez do solo devido à nitrificação do íon amônio a nitrato. Na nitrificação do amônio são liberados íons de hidrogênio que provocam a acidificação do solo (ILLERA-VIVES *et al.*, 2015).

Tabela 6 Valores médios de pH e condutividade elétrica do solo em função das adubações com e sem biochar nos cultivos da alface

		pH (6,0-6,8) ^a							
cultivos		2°		4°		6°		8°	
profundidade (cm)		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Tratamentos									
CSAA		6,90 c	6,93 c	6,88 b	6,96 b	6,82 b	6,80 b	6,94 b	6,92 b
AM		7,08 bc	7,07 bc	6,67 b	6,75 b	6,59 b	6,66 b	6,32 c	6,32 c
AMB		7,28 ab	7,18 b	6,79 b	6,81 b	6,72 b	6,61 b	6,50 c	6,44 c
CO		7,45 a	7,55 a	7,60 a	7,57 a	7,51 a	7,48 a	7,62 a	7,60 a
COB		7,59 a	7,59 a	7,65 a	7,66 a	7,57 a	7,52 a	7,65 a	7,67 a
DMS		0,32	0,18	0,23	0,31	0,37	0,31	0,37	0,37
CV (%)		2,14	1,31	1,73	2,29	2,75	2,37	2,77	2,79
		Condutividade elétrica (0,0-1,0) ^a							
cultivos		2°		4°		6°		8°	
profundidade (cm)		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Tratamentos		(dS m ⁻¹)							
CSAA		0,04 b	0,04 b	0,03 b	0,04 b	0,07 b	0,08 d	0,04 c	0,03 b
AM		0,19 a	0,16 a	0,25 a	0,20 a	0,13 a	0,12 c	0,32 a	0,27 a
AMB		0,17 a	0,16 a	0,17 a	0,18 a	0,15 a	0,13 bc	0,19 b	0,19 a
CO		0,22 a	0,22 a	0,20 a	0,28 a	0,17 a	0,18 a	0,31 a	0,28 a
COB		0,21 a	0,20 a	0,19 a	0,24 a	0,16 a	0,17 ab	0,24 ab	0,28 a
DMS		0,09	0,08	0,11	0,13	0,04	0,04	0,13	0,11
CV (%)		29,95	25,79	33,89	37,56	13,87	16,96	30,41	27,68

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV= coeficiente de variação; DMS= diferença mínima significativa.

CSAA= controle sem adubação e alface; AM= adubação mineral; AMB= adubação mineral + biochar; CO= composto orgânico; COB= composto orgânico + biochar.

^a Faixa adequada de pH e condutividade elétrica no solo para alface: pH= 6,0-6,8; condutividade elétrica=0,0-1,0 dS m⁻¹ (MAYNARD; HOCHMUTH, 2007).

O pH adequado para alface estava entre 6 e 6,8, desse modo, o pH alcalino pode diminuir a disponibilidade de zinco, ferro, cobre e manganês (MAYNARD; HOCHMUTH, 2007). Por outro lado, aplicações de composto orgânico com e sem biochar são importantes para elevar o pH de solos ácidos. Assim, composto orgânico e biochar podem elevar o pH do solo em 0,4 e 1,4 unidades de pH, respectivamente (STERRET *et al.*, 1996; GIANNAKIS *et al.*, 2014; KIM *et al.*, 2015).

Os tratamentos CO e COB aumentaram a condutividade elétrica após as aplicações no solo (Tabela 6). O motivo do aumento da condutividade elétrica no solo, provavelmente, está relacionado à composição, velocidade de decomposição e às quantidades de composto orgânico aplicadas (CHANG; CHUNG; WANG, 2008; FERNÁNDEZ *et al.*, 2012; PAPAFILIPPAKI; PARANYCHIANAKIS; NIKOLAIDIS, 2015). Portanto, a disponibilidade ou a solubilidade de íons na solução do solo pela incorporação do composto orgânico resultaram no aumento da condutividade elétrica (GIANNAKIS *et al.*, 2014). Entretanto, os valores de condutividade elétrica permaneceram abaixo da faixa adequada para o desenvolvimento da cultura (0,0-1,0 dS m⁻¹). Isso pode ser um indicativo de baixa concentração de nutriente em solução do solo (MAYNARD; HOCHMUTH, 2007).

5.3.2 Carbono, fósforo e potássio no solo

A presença de casca de pinus no solo observada antes da instalação do experimento proporcionou altos teores de carbono nos canteiros (Tabela 7). Entretanto, os tratamentos CO e COB contribuíram para aumentar ainda mais o conteúdo de carbono no solo. Os aumentos de carbono no solo ocorreram pelo fato dos tratamentos CO e COB apresentarem na sua composição pedaços de madeira e carvão (ERICH; FITZGERALD; PORTER, 2002).

Nos canteiros, os tratamentos CO e COB promoveram aumentos e acúmulos de fósforo, potássio e micronutrientes no solo, porém, atenderam à demanda nutricional da alface (Tabela 7). Os acúmulos dos nutrientes no solo foram em decorrência das adubações para cada cultivo da alface. A alface respondeu com a extração de nutrientes em função dos aumentos da massa seca, mas ainda sobraram residuais das adubações no solo para os próximos cultivos. Isso sugere que o composto orgânico possui capacidade de liberação de fósforo no solo semelhante ao adubo mineral, porém a disponibilidade é gradativa e dependente do tempo. As altas liberações de fósforo no solo estão relacionadas às partículas do composto orgânico, pois foi passado por peneira de 10 mm de abertura. Partículas de 1 a 5 mm e de 5 a 10 mm do composto orgânico são responsáveis pela liberação de fósforo disponível no solo, porém as partículas 5 a 10 mm liberam mais fósforo

no decorrer do tempo (LECONTE *et al.*, 2011). Entretanto, as partículas de composto contêm frações leves, ácidos fúlvicos e húmicos consideradas a matéria orgânica lábil com capacidade de liberação rápida de fósforo (COSTA *et al.*, 2015; TAZISONG; SENWO; HE, 2015). Na matéria orgânica do solo, de 10 a 63 % do fósforo ligado às substâncias húmicas podem ser considerados lábeis (HE; TAZISONG; SENWO, 2015). Para disponibilidade rápida de nutrientes do composto orgânico, a água ligada aos grupos funcionais proporciona ligação com fósforo do composto orgânico para favorecer a disponibilidade do nutriente na solução do solo (STEVENSON, 1994).

Entretanto, o intuito da aplicação de CO e COB foi proporcionar retenção e disponibilidade de nutrientes limitantes nos cultivos subsequentes, além de evitar perdas para o ambiente, sobretudo fósforo. Uma parte do fósforo do composto orgânico pode ser disponibilizada cinco horas após aplicação no solo (MALIK; MARSCHNER; KHAN, 2012). Porém, as formas orgânicas de fósforo no solo continuam a sofrer transformações lentas para fósforo disponível aos vegetais (MALIK; MARSCHNER; KHAN, 2012; FIXEN; BRUULSEMA, 2014).

Por outro lado, com acúmulos de fósforo em níveis elevados, o solo perde a capacidade de retenção do nutriente. Dessa forma, o fósforo pode ser liberado para a solução do solo e provocar poluição. Além disso, o acúmulo de fósforo pode inibir por competição iônica a absorção de zinco, cobre, manganês e ferro. Assim, valores de fósforo no solo acima de 100 mg dm^{-3} podem causar poluição (SHARPLEY *et al.*, 1994; SHARPLEY *et al.*, 2003). Este fato foi observado para os tratamentos CO e COB a partir do quarto cultivo, tanto na camada de 0-10 como na de 10-20 cm. Nesse sentido, para uso do composto, é importante considerar a aptidão da área de cultivo, tipo do solo, tipo de cultura, taxa de mineralização, imobilização de nutrientes, remanescente de composto orgânico no solo, concentração de nutrientes do composto e as restrições ambientais (SILVA, 2008; PEREIRA, 2011).

Os valores de potássio no solo aumentaram com CO e COB, pois, o composto orgânico disponibilizou todo o potássio, embora seja vulnerável à lixiviação em função das irrigações e precipitações (Tabela 7) (JOUQUET *et al.*, 2011). Diante dessas condições, as adubações com CO e COB garantiram retenção e mobilidade de potássio no solo para posterior assimilação pelas plantas. Assim, foi possível a alface atingir os teores adequados de potássio no tecido foliar.

Entretanto, observa-se que os teores de potássio no solo excederam o valor considerado muito alto ($0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O excesso de potássio pode comprometer a absorção de magnésio, manganês, ferro, zinco e cálcio pelas plantas (PINAMONTI, 1998). Porém, as plantas não sofreram interferência pelo excesso de potássio no solo uma vez que os níveis de nutrientes no tecido foliar foram adequados. Por outro lado, as aplicações sucessivas de composto orgânico para cada cultivo proporcionaram elevadas quantidades

de fertilizante orgânico por área com elevação dos teores de fósforo e potássio em níveis muito altos no solo. Dessa forma, estudos com doses adequadas de composto orgânico devem ser realizados.

Em relação ao manejo do solo no quarto cultivo, houve influência dos níveis de potássio. O revolvimento mais intenso dos canteiros favoreceu a incorporação de solo sem adubação nas camadas onde normalmente foram realizadas as amostragens. Entretanto, com a incorporação de solo abaixo da camada de 20 cm houve a introdução de potássio lixiviado provenientes das adubações (ROSOLEM *et al.*, 2006). Posteriormente, em função dos revolvimentos mais intensos dos canteiros (quarto cultivo), ocorreram incorporações de solo sem adubação na camada de atuação das raízes. Estas condições reduziram os teores de fósforo no solo e provocaram reduções dos teores no tecido foliar para todas as adubações.

Tabela 7 Teores médios de carbono, fósforo e potássio no solo em função das adubações com e sem biochar nos cultivos da alfafa

Carbono (médio 14,01-20; muito alto >35) ^a									
Cultivos	2°		4°		6°		8°		
profundidade (cm)	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	
Tratamentos	(g kg ⁻¹)								
CSAA	80,40 c	77,34 c	79,61 b	80,47	81,98 b	81,33 b	82,95 b	82,53 b	
AM	81,45 c	80,54 bc	80,31 b	80,27	81,64 b	80,74 b	81,47 b	80,69 b	
AMB	83,09 b	82,30 ab	79,97 b	79,16	82,88 b	80,02 b	82,27 b	81,77 b	
CO	85,89 a	84,86 a	87,92 a	79,46	90,57 a	89,03 a	94,67 a	91,11 a	
COB	85,20 a	86,38 a	86,21 a	84,61	90,17 a	87,89 a	94,44 a	90,75 a	
DMS	0,12	0,42	0,41	1,43	0,46	0,60	0,35	0,37	
CV (%)	0,79	2,67	2,59	9,34	2,86	3,80	2,15	2,31	
Fósforo (médio 3-6; muito alto >9) ^a									
Cultivos	2°		4°		6°		8°		
profundidade (cm)	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	
Tratamentos	(mg kg ⁻¹)								
CSAA	0,14 c	0,25 c	0,47	0,47 c	0,21 d	0,25 c	8,04 c	7,88 d	
AM	5,28 c	1,43 c	31,32	19,54 b	32,70 c	19,66 bc	45,41 b	28,66 d	
AMB	12,27 c	6,83 c	33,09	19,00 b	70,19 b	37,53 b	68,79 b	54,25 b	
CO	74,68 a	60,70 a	169,48	119,31 a	174,31 a	138,55 a	114,75 a	100,11 a	
COB	40,07 b	20,66 b	151,55	118,66 a	156,03 a	128,09 a	107,00 a	95,29 a	
DMS	15,15	8,00	41,35	17,87	23,74	29,71	33,76	21,75	
CV (%)	30,22	23,51	28,25	17,04	14,47	24,21	25,92	19,84	
Potássio (médio 0,1-0,2; muito alto > 0,3) ^a									
Cultivos	2°		4°		6°		8°		
profundidade (cm)	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	
Tratamentos	(cmol _c dm ⁻³)								
CAA	0,17 d	0,16 d	0,14 c	0,14 b	0,12 c	0,12 c	0,11 c	0,12 b	
AM	0,34 c	0,31 c	0,34 bc	0,32 b	0,22 b	0,23 bc	0,29 b	0,27 b	
AMB	0,24 cd	0,22 cd	0,37 b	0,38 b	0,26 b	0,27 b	0,31 b	0,29 b	
CO	0,88 a	0,76 a	1,12 a	1,07 a	0,63 a	0,62 a	0,83 a	0,85 a	
COB	0,69 b	0,54 b	1,13 a	1,11 a	0,68 a	0,69 a	0,88 a	0,88 a	
DMS	0,17	0,15	0,21	0,25	0,02	0,11	0,17	0,24	
CV (%)	19,77	19,38	19,33	21,99	14,43	15,36	19,08	26,03	

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CSAA= controle sem adubação e alfafa; AM= adubação mineral; AMB= adubação mineral + biochar; CO= composto orgânico; COB= composto orgânico + biochar. ^a Limites de interpretação para carbono (C) (g dm⁻³), fósforo (P) (mg dm⁻³) e potássio (K) (cmol_c dm⁻³) no solo: C=médio 14,01-20; C= muito alto >35; P= médio 3-6; P= muito alto >9; K=médio 0,1-0,2; K=muito alto > 0,3 (PARANÁ,1989). CV= coeficiente de variação; DMS= diferença mínima significativa.

5.3.3 Micronutrientes no solo

Em relação aos micronutrientes, todos apresentaram valores agronômicos altos (Tabela 8, 9 e 10). Entretanto, as concentrações no solo não chegaram a causar danos ao meio, pois os níveis para danos ambientais são superiores. As concentrações que podem provocar problemas ao meio para zinco, cobre e manganês são: 450, 210, 400 mg kg⁻¹, respectivamente (FERREIRA; CRUZ, 1991; KABATA-PENDIAS, 2011).

Tabela 8 Teores médios de zinco no solo em função das adubações nos cultivos da alface

Cultivos profundidade (cm)	Zinco (médio 0,6-1,2; alto > 1,2) ^a							
	2°		4°		6°		8°	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Tratamentos	----- (mg kg ⁻¹) -----							
CSAA	1,74 b	1,46 b	2,43 c	2,49 c	1,44 c	1,39 c	2,73 c	3,26 b
AM	2,77 b	3,49 b	16,76 b	12,18 bc	17,13 b	17,49 b	26,42 ab	24,55 a
AMB	4,05 b	3,20 b	15,20 b	19,29 ab	17,39 b	18,25 b	24,80 b	23,22 a
CO	32,64 a	25,90 a	30,62 a	28,92 a	38,65 a	37,80 a	30,84 ab	36,56 a
COB	34,43 a	27,14 a	36,98 a	35,75 a	38,42 a	37,74 a	32,89 a	36,61 a
DMS	7,67	10,66	6,62	16,58	4,71	3,85	9,00	16,13
CV (%)	26,80	46,01	15,69	44,41	9,88	8,13	16,72	27,75

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV= coeficiente de variação; DMS= diferença mínima significativa.

CSAA= controle sem adubação e alface; AM= adubação mineral; AMB= adubação mineral + biochar; CO= composto orgânico; COB= composto orgânico + biochar.

^a Limites de interpretação para zinco (Zn) no solo (mg dm⁻³): Zn= médio 0,6-1,2; Zn= alto >1,2 (RAIJ *et al.*, 1997).

Tabela 9 - Teores médios de cobre no solo em função das adubações nos cultivos da alface

Cultivos profundidade (cm)	Cobre (médio 0,3-0,8; alto > 0,8) ^a							
	2°		4°		6°		8°	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Tratamentos	----- (mg kg ⁻¹) -----							
CSAA	8,29	6,92 b	0,67 c	0,67 d	8,78 a	8,68 a	16,18	22,41
AM	7,51	7,65 ab	8,00 a	7,83 a	9,52 a	9,56 a	16,87	17,96
AMB	7,68	9,13 a	7,52 a	7,45 ab	8,95 a	9,54 a	18,90	18,42
CO	7,00	7,66 ab	3,00 b	4,20 c	3,39 b	5,48 b	9,44	14,10
COB	6,94	7,40 b	4,42 b	4,94 bc	3,76 b	5,32 b	8,37	9,88
DMS	2,41	1,71	2,32	2,73	1,18	1,40	5,27	12,11
CV (%)	17,02	11,26	25,98	28,78	9,06	9,58	19,95	38,64

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV= coeficiente de variação; DMS= diferença mínima significativa.

CSAA= controle sem adubação e alface; AM= adubação mineral; AMB= adubação mineral + biochar; CO= composto orgânico; COB= composto orgânico + biochar.

^a Limites de interpretação para cobre (Cu) no solo (mg dm⁻³): Cu= médio 0,3-0,8; Cu= alto > 0,8 (RAIJ *et al.*, 1997).

Tabela 10 Teores médios de ferro e manganês no solo em função das adubações nos cultivos da alface

Ferro (médio 0,5-12; alto > 12) ^a								
cultivos profundidade (cm)	2°		4°		6°		8°	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Tratamentos	----- (mg kg ⁻¹) -----							
CSAA	127,19 bc	102,12 b	77,13	78,22	100,37 a	93,23 a	1.212,73 a	1.222,49
AM	118,46 c	139,36 ab	74,83	75,33	88,92 ab	91,51 a	1.066,29 a	1.214,98
AMB	151,09 abc	158,41 a	71,91	72,76	71,85 b	72,57 ab	1.217,92 a	1.080,99
CO	164,56 ab	178,63 a	62,08	80,73	26,96 c	57,95 b	229,49 b	1.035,95
COB	179,61 a	177,58 a	69,02	73,45	39,29 c	59,39 b	347,92 b	697,73
DMS	45,97	44,59	15,14	12,95	26,51	25,27	330,06	1.578,80
CV (%)	16,39	15,57	11,26	8,99	21,39	17,81	21,40	79,40
Manganês (médio 1,3-5,0; alto > 5,0) ^a								
cultivos profundidade (cm)	2°		4°		6°		8°	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Tratamentos	----- (mg kg ⁻¹) -----							
CSAA	57,32 b	54,80 b	67,14 c	63,12 b	7,66 c	7,24 c	162,63	133,04
AM	71,49 b	75,22 b	77,02 bc	73,36 b	89,36 b	88,36 b	140,02	148,02
AMB	78,34 b	74,63 b	79,90 b	74,87 b	95,14 b	91,90 b	138,40	138,70
CO	123,26 a	113,80 a	116,77 a	112,07 a	129,01 a	128,41 a	130,14	123,75
COB	126,42 a	116,48 a	115,06 a	112,41 a	130,52 a	128,28 a	125,48	93,97
DMS	36,29	29,60	12,35	12,42	80,14	78,99	55,52	96,53
CV (%)	21,90	17,57	7,16	7,53	59,50	59,70	21,05	39,99

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV= coeficiente de variação; DMS= diferença mínima significativa.

CSAA= controle sem adubação e alface; AM= adubação mineral; AMB= adubação mineral + biochar; CO= composto orgânico; COB= composto orgânico + biochar.

^a Limites de interpretação de ferro (Fe) e manganês (Mn) no solo (mg dm⁻³) : Fe= médio 0,5-12; Fe= alto >12; Mn=médio 1,3-5,0; Mn= alto > 5,0 (RAIJ *et al.*, 1997).

5.4 Microbiologia

5.4.1 Respiração basal do solo

A respiração do solo é utilizada para avaliar a atividade biológica dos organismos (DINESH *et al.*, 2004; VANHALA; TAMMINEN; FRITZE, 2005; ROS *et al.*, 2006) (Tabela 11). Observa-se que as adubações orgânicas (CO e COB) apresentaram significativos aumentos na respiração do solo em relação à adubação mineral. A respiração do solo é um indicativo da melhoria da qualidade e da mineralização de nutrientes do solo. O carbono presente no composto orgânico provavelmente foi responsável pelo aumento da respiração, enquanto a temperatura e a umidade do solo possivelmente favoreceram a atividade microbiana (GIANNAKIS *et al.*, 2014; OLIVEIRA; FERREIRA, 2014).

Tabela 11 Valores médios da respiração do solo em função das adubações

Respiração (baixa <0,24; média 0,24-0,54; alta > 0,54) ^a								
cultivos	2°		4°		6°		8°	
profundidade (cm)	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Tratamentos	----- (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo hora ⁻¹) -----							
CSAA	0,47 b	0,50 b	0,28 b	0,30 b	0,45 b	0,54 b	0,46 b	0,52 b
AM	0,55 b	0,61 b	0,29 b	0,29 b	0,44 b	0,51 b	0,48 b	0,51 b
AMB	0,65 b	0,68 b	0,27 b	0,36 b	0,50 b	0,48 b	0,56 b	0,73 b
CO	1,22 a	1,29 a	1,00 a	1,02 a	1,63 a	1,39 a	1,73 a	1,60 a
COB	1,49 a	1,33 a	0,96 a	0,97 a	1,61 a	1,36 a	1,76 a	1,57 a
DMS	0,38	0,31	0,26	0,27	0,32	0,25	0,24	0,47
CV (%)	23,19	18,68	24,68	24,38	18,34	15,13	12,88	25,18

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV= coeficiente de variação; DMS= diferença mínima significativa.

CSAA= controle sem adubação e alface; AM= adubação mineral; AMB= adubação mineral + biochar; CO= composto orgânico; COB= composto orgânico + biochar.

^a Limites de interpretação da respiração basal do solo (mg C kg⁻¹ solo hora⁻¹): baixa <0,24; média 0,24-0,54; alta > 0,54 (LOPES *et al.*, 2013).

No entanto, as altas respirações do solo com CO e COB podem ser relacionadas ao carbono lábil do composto orgânico, pois passa novamente a sofrer decomposição ao ser incorporado no solo. Ainda assim, as frações leves da matéria orgânica podem ser uma importante fonte de energia para os microrganismos devido à forte correlação entre a fração leve e a respiração microbiana do solo (JANZEN *et al.*, 1992).

5.4.2 Atividade enzimática do solo

Os fertilizantes orgânicos estimularam as atividades enzimáticas no solo (Tabela 12). A urease aumentou no solo com CO e COB em função da catalisação da hidrólise da ureia em gás carbônico e amônia (KANDELER *et al.*, 2011). Entretanto, na presença de água no solo ocorre a formação do amônio assimilável pelas plantas e isso indica a melhoria da condições microbiológicas do solo com a presença de matéria orgânica.

Tabela 12 Valores médios de urease, fosfatase ácida e alcalina conforme as adubações

Cultivo	urease		fosfatase ácida		fosfatase alcalina	
	(0,28-28,60) ^a		(baixa< 4,89; média 4,89-8,34; alta> 8,34) ^b		(0,28-28,60) ^c	
profundidade (cm)	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Tratamentos	$\mu\text{mol N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ massa seca do solo } 2 \text{ h}^{-1}$		$\mu\text{mol p-nitrofenol g}^{-1} \text{ massa seca do solo } \text{h}^{-1}$			
CSAA	1,11 b	0,64 b	6,28 b	5,06 b	4,05 c	3,63 b
AM	1,64 b	1,38 b	6,12 b	5,78 b	3,52 c	3,38 b
AMB	1,52 b	1,41 b	5,61 b	4,60 b	3,65 c	3,46 b
CO	2,88 a	2,67 a	14,19 a	13,31 a	14,38 a	12,05 a
COB	2,93 a	2,47 a	12,18 a	10,13 a	11,10 b	11,36 a
DMS	4,69	3,61	2,78	2,40	0,98	0,88
CV (%)	27,89	24,50	19,10	18,72	25,10	27,10

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

CSAA= controle sem adubação e alface; AM= adubação mineral; AMB= adubação mineral + biochar; CO= composto orgânico; COB= composto orgânico + biochar.

^a Amplitude da urease nos solos: 0,28-28,60 $\mu\text{mol N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ massa seca do solo } 2 \text{ h}^{-1}$ (KANDELER; DICK, 2006).

^b Limites de interpretação para as atividades da fosfatase ácida no solo ($\mu\text{mol p-nitrofenol g}^{-1} \text{ massa seca do solo } \text{h}^{-1}$)= baixa< 4,89; média 4,89-8,34; alta> 8,34 (LOPES *et al.*, 2013).

^c Amplitude da fosfatase alcalina nos solos: 6,76-27,30 $\mu\text{mol p-nitrofenol g}^{-1} \text{ massa seca do solo } \text{h}^{-1}$ (KANDELER; DICK, 2006).

Por outro lado, a atividade da urease foi baixa no solo, pois provavelmente os compostos nitrogenados capazes de ativar a síntese da urease foram altamente degradados durante o processo de compostagem. No entanto, os valores da urease em CO e COB foram maiores que a adubação mineral. Na aplicação de composto orgânico, a atividade da enzima urease pode não sofrer diminuição em razão da enzima, nas fertilizações orgânicas, não sofrer desnaturação no solo. Portanto, com as aplicações de composto orgânico com e sem biochar promovem-se a ciclagem de nutrientes, a ativação da vida no solo e a sustentabilidade do desenvolvimento das plantas (PASCUAL *et al.*, 2002).

Outro modo que as plantas obtiveram nutrientes do solo foi pela atuação das enzimas fosfatase ácida e alcalina. As fosfatases atuam na ciclagem de fósforo. Os tratamentos CO e COB acumularam fósforo no solo em função da atuação das enzimas fosfatase ácida e alcalina, pois houve conversão do fósforo orgânico no íon ortofosfato assimilável pelas plantas durante a decomposição do composto orgânico. O fósforo do

composto orgânico mineraliza 80 % no solo (EGHBALL *et al.*, 2002). Embora as enzimas fosfatase ácida e alcalina tenham mineralizado fósforo, o aumento do conteúdo de carbono no solo favorece a atividade das enzimas (CHANG; CHUNG; TSAI, 2007).

6 CONCLUSÕES

O uso de composto orgânico após o sexto cultivo aumenta a produtividade da alface quando comparada com a adubação mineral.

A utilização de biochar com composto orgânico e adubação mineral não interfere na produtividade da alface e nas propriedades do solo.

A utilização de composto orgânico e da adubação mineral fornece teores adequados de macronutrientes para a alface, segundo a diagnose foliar. A aplicação de composto orgânico atende à demanda de micronutrientes da alface.

O uso de composto orgânico eleva o pH, a condutividade elétrica, o carbono e proporcionam acúmulos de fósforo, potássio, cobre, zinco, ferro e manganês no solo.

O uso do composto orgânico melhora a respiração do solo, a atividade das enzimas fosfatase ácida e alcalina, e a atividade da urease.

REFERÊNCIAS

- ABUJABHAH, I. S.; BOUND, S. A.; DOYLE, R.; BOWMAN, J. P. Effects of biochar and compost amendments on soil physical-chemical properties and the total community within a temperate agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, v. 98, p. 243-253, 2016.
- ACHIBA, W. B.; GABTENI, N.; LAKHDAR, A.; LAING, G. D.; VERLOO, M.; JEDIDI, N.; GALLALI, T. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 130, n. 3, p. 156-163, 2009.
- ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; TABATABAI, M. A. Phosphorus cycle enzymes. In: DICK, R. P. (Ed.). **Methods of soil enzymology**, Soil Science Society of America (SSSA) Book Series, v. 9, p. 161-183, 2011.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P.; TRAZAR-CEPEDA, C. In: **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). San Diego, CA: Academic Press. p. 335-344, 1995.
- ARANDA, V.; AYORA-CAÑADA, M. J.; DOMÍNGUEZ-VIDAL, A.; MARTÍN-GARCÍA, J. M.; CALERO, J.; DELGADO, R.; VERDEJO, T.; GONZÁLEZ-VILA, F. J. Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (S Spain). **Geoderma**, v.164, n.1, p.54-63, 2011.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant and soil**, v. 337, n. 1-2, p. 1-18, 2010.
- AZEEZ, J. O.; VAN AVERBEKE, W. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. **Bioresource technology**, v. 101, n. 14, p. 5645-5651, 2010.
- BARRAL, M. T.; PARADELO, R.; DOMÍNGUEZ, M.; DÍAZ-FIERROS, F. Nutrient release dynamics in soils amended with municipal solid waste compost in laboratory incubations. **Compost science & utilization**, v. 19, n. 4, p. 235-243, 2011.
- BERNARDI, F. H. **Uso do processo de compostagem no aproveitamento de resíduos de incubatório e outros de origem agroindustrial**. 2011. 78 f. 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)—Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- BAI, Z.; LI, H.; YANG, X.; ZHOU, B.; SHI, X.; WANG, B.; LI, D.; SHEN, J.; CHEN, Q.; QIN, W.; OENEMA, O.; ZHANG, F. The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types. **Plant and soil**, v. 372, n. 1-2, p. 27-37, 2013.
- BALKCOM, K. S.; BLACKMER, A. M.; HANSEN, D. J. Measuring soil nitrogen mineralization under field conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 7, p. 1073-1086, 2009.
- BANERJEE, A.; SANYAL, S.; SEN, S. Soil phosphatase activity of agricultural land: A possible index of soil fertility. **Agricultural Science Research Journals**, v. 2, n. 7, p. 412-419, 2012.

BEUSICHEM, M. L.; KIRKBY, E. A.; BAAS, R. Influence of nitrate and ammonium nutrition and the uptake, assimilation, and distribution of nutrients in *Ricinus communis*. **Plant Physiology**, v. 86, n. 3, p. 914-921, 1988.

BREMNER, J. M.; KEENEY, D. R. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. **Analytica chimica acta**, v. 32, p. 485-495, 1965.

BRITO, L. M.; MONTEIRO, J. M.; MOURÃO, I.; COUTINHO, J. Organic lettuce growth and nutrient uptake response to lime, compost and rock phosphate. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 7, p. 1002-1011, 2014.

BRITO, L. M.; PINTO, R.; MOURÃO, I.; COUTINHO, J. Organic lettuce, rye/vetch, and Swiss chard growth and nutrient uptake response to lime and horse manure compost. **Organic Agriculture**, v. 2, n. 3-4, p. 163-171, 2012.

BUTTERLY, C. R.; BHATTA KAUDAL, B.; BALDOCK, J. A.; TANG, C. Contribution of soluble and insoluble fractions of agricultural residues to short-term pH changes. **European Journal of Soil Science**, v.62, n.5, p.718-727, 2011.

CANDEMIR, F.; GÜLSER, C. Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes in clay and loamy sand fields. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 42, n. 1, p. 13-28, 2010.

CANELLAS, L. P.; BUSATO, J. G.; CAUME, D. J. O uso e manejo da matéria orgânica humificada sob a perspectiva da agroecologia. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2005. p. 244-267.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; AGUIAR, N. O.; JONES, D. L.; NEBBIOSO, A.; MAZZEI, P.; PICCOLO, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 15-27, 2015.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1529-1538, 2001.

CARDOSO, A. I. I.; FERREIRA, K. P.; VIEIRA JÚNIOR, R. M.; ALCARDE, C. Alterações em propriedades do solo adubado com composto orgânico e efeito na qualidade das sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 594-599, 2011.

CASADO-VELA, J.; SELLÉS, S.; NAVARRO, J.; BUSTAMANTE, M. A.; MATAIX, J.; GUERRERO, C.; GOMEZ, I. Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. **Waste Management**, v. 26, n. 9, p. 946-952, 2006.

CASTRO, E.; MANÃS, P.; DE LAS HERAS, J. comparison of the application of different waste products to a lettuce crop: Effects on plant and soil properties. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 2, p. 148-155, 2009.

CHACÓN, E. A. V.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, R. R.; LIMA, P. C.; SILVA, I. R.; CANTARUTTI, R. B. Decomposição de fontes orgânicas e mineralização de formas de nitrogênio e fósforo. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 373-383, 2011.

CHANG, E. H.; CHUNG, R. S.; TSAI, Y. H. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, n. 2, p. 132-140, 2007.

CHANG, E. H.; CHUNG, R. S.; WANG, F. N. Effect of different types of organic fertilizers on the chemical properties and enzymatic activities of an Oxisol under intensive cultivation of vegetables for 4 years. **Soil science and plant nutrition**, v. 54, n. 4, p. 587-599, 2008.

CHINTALA, R.; SCHUMACHER, T. E.; MCDONALD, L. M.; CLAY, D. E.; MALO, D. D.; PAPIERNIK, S. K.; CLAY, S. A.; JULSON, J. L. Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures. **Clean-Soil, Air, Water**, v. 42, n. 5, p. 626-634, 2014.

CITAK, S.; SONMEZ, S. Effects of conventional and organic fertilization on spinach (*Spinaceaoleracea* L.) growth, yield, vitamin C and nitrate concentration during two successive seasons. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n. 4, p. 415-420, 2010.

CLOUGH, T. J.; CONDRON, L. M. biochar and the nitrogen cycle: Introduction. **Journal of Environmental Quality**, v. 39, n. 4, p. 1218-1223, 2010.

CORDOVIL, C. M. S.; COUTINHO, J.; GOSS, M.; CABRAL, F. Potentially mineralizable nitrogen from organic materials applied to a sandy soil: fitting the one-pool exponential model. **Soil Use and Management**, v. 21, n. 1, p. 65-72, 2005.

COSTA, M. S. S. M.; CESTONARO, T.; COSTA, L. A. M.; ROZATTI, M. A. T., CARNEIRO, L. J.; PEREIRA, D. C.; LORIN, H. E. F. Improving the nutrient content of sheep bedding compost by adding cattle manure. **Journal of Cleaner Production**, v. 86, p. 9-14, 2015.

CUNHA, F.A.D. **Biofertilizantes e caldas defensivas para uso em agricultura ecológica**. Emater - Mandaguari - Paraná, p. 1-7, 2011.

DE GUARDIA, A.; PETIOT, C.; BENOIST, J.C.; DRUILHE, C. Characterization and modelling of the heat transfers in a pilot-scale reactor during composting under forced aeration. **Waste management**, v. 32,n. 6, p. 1091-1105. 2012.

DELIN, S.; STENBERG, B.; NYBERG, A.; BROHEDE L. Potential methods for estimating nitrogen fertilizer value of organic residues. **Soil Use and Management**, v. 28, n. 3, p. 283-291, 2012.

DEMISIE, W.; LIU, Z.; ZHANG, M. Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil. **Catena**, v. 121, p. 214-221, 2014.

DEMPSTER, D. N.; GLEESON, D. B.; SOLAIMAN, Z. I.; JONES, D. L.; MURPHY, D.V. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1-2, p. 311-324, 2012.

DICK, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STUWART, B. A. (Eds), **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America,1994. p. 107-124.

DINESH, R.; CHAUDHURI, S.G.; GANESHAMURTHY, A.N.; PRAMANIK, S.C. Biochemical properties of soils of undisturbed and disturbed mangrove forests of South Andaman (India). **Wetlands Ecology and Management**, v. 12, n. 5, p. 309-320, 2004.

DORAN, J. W.; SAFLEY, M. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Eds.), **Biological Indicators of Soil Health**. CAB International: Wallingford, Oxon, UK, 1997. p. 1-28.

DUONG, T. T. T., PENFOLD, C., MARSCHNER, P. Amending soils of different texture with six compost types: impact on soil nutrient availability, plant growth and nutrient uptake. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1, p. 197-209, 2012.

DUONG, T. T. T.; VERMA, S.L.; PENFOLD, C.; MARSCHNER, P. Nutrient release from composts into the surrounding soil. **Geoderma**, v. 195-196, n. 1, p. 42-47, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas do solo, plantas e fertilizantes**. 2.ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2009. 627 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

EGHBALL, B. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 6, p. 2024-2030, 2000.

EGHBALL, B.; GINTING, D.; GILLEY, J. E. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 2, p. 442-447, 2004.

EGHBALL, B.; WIENHOLD, B. J.; GILLEY, J. E.; EIGENBERG, R. A. Mineralization of manure nutrients. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 57, n. 6, p. 470-473, 2002.

ESCUADERO, A.; GONZÁLEZ-ARIAS, A.; HIERRO, O. D.; PINTO, M.; GARTZIA-BENGOETXEA, N. Nitrogen dynamics in soil amended with manures composted in dynamic and static systems. **Journal of Environmental Management**, v. 108, n. 12, p. 66-72, 2012.

ERICH, M. S.; FITZGERALD, C. B.; PORTER, G. A. The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 88, n. 1, p. 79-88, 2002.

FABRIZIO, A.; TAMBONE, F.; GENEVINI, P. Effect of compost application rate on carbon degradation and retention in soils. **Waste Management**, v. 29, n. 1, p. 174-179, 2009.

FAGERIA, N. K. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 43, n. 16, 2063-2113. 2012.

FAGERIA, N. K. Potassium. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.). **Handbook of plant nutrition**. CRC press. 2015. p. 127-163.

FAGNANO, M.; ADAMO, P.; ZAMPELLA, M.; FIORENTINO, N. Environmental and agronomic impact of fertilization with composted organic fraction from municipal solid waste: a case study in the region of Naples, Italy. **Agriculture, ecosystems & environment**. v. 141, n. 1, p. 100-107, 2011.

FALCÃO, A. A. **Análise química de resíduos sólidos para estudos agroambientais**. 2005, 84 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade Estadual de Campinas, 2005.

FERNÁNDEZ, J. A.; ESTEBAN, A.; CONESA, E.; OCHOA, J.; ÁLVAREZ-ROGEL, J. Nitrate evolution in soil, leaching water, and lettuce plant crops using different fertilization strategies. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 43, n. 19, p. 2467-2483, 2012.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000, 66 p.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutriente na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato/CNPQ. 1991. p. 734.

FIEDLER, K.; STÜTZEL, H. Nitrogen efficiency of Brussels sprouts under different organic N fertilization rates. **Scientia Horticulturae**, v. 134, p. 7-12, 2012.

FIXEN, P. E.; BRUULSEMA, T. W. Potato management challenges created by phosphorus chemistry and plant roots. **American Journal of Potato Research**, v. 91, n. 2, p.121-131, 2014.

FORNES, F.; BELDA, R. M.; LIDÓN, A. Analysis of two biochars and one hydrochar from different feedstock: focus set on environmental, nutritional and horticultural considerations. **Journal of Cleaner Production**, v. 86, p. 40-48, 2015.

GALE, E. S.; SULLIVAN, D. M.; COGGER, C. G.; BARY, A. I.; HEMPHILL, D. D.; MYHRE, E. A. Estimating plant-available nitrogen release from manures, compost, and specialty products. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n. 6, p. 2321-2332, 2006.

GHOSH, S.; OW, L.F.; WILSON, B. Influence of biochar and compost on soil properties and tree growth in a tropical urban environment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 2, n. 4, p. 1303-1310, 2015.

GIANNAKIS, G. V.; KOURGIALAS, N. N.; PARANYCHIANAKIS, N. V.; NIKOLAIDIS, N. P.; KALOGERAKIS, N. Effects of Municipal Solid Waste Compost on Soil Properties and Vegetables Growth. **Compost Science & Utilization**, v. 22, n. 3, p. 116-131, 2014.

GONZÁLEZ-UBIERNA, S.; JORGE-MARDOMINGO, I.; CARRERO-GONZÁLEZ, B.; CRUZ, M.T.; CASERMEIRO, M.Á. Soil organic matter evolution after the application of high doses of organic amendments in a Mediterranean calcareous soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 12, n. 8, p. 1257-126, 2012.

GOOGLE EARTH. **Google Earth** 5.0. Disponível em:<http://earth.google.com.br/>> Acesso em: 10 setembro 2013.

GOYAL, S.; CHANDER, K.; MUNDRA, M. C.; KAPOOR, K. K. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 29, n. 2, p. 196-200, 1999.

GRASSI, F.; MASTRORILLI, M.; MININNI, C.; PARENTE, A.; SANTINO, A.; SCARCELLA, M.; SANTAMARIA, P. Posidonia residues can be used as organic mulch and soil amendment for lettuce and tomato production. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 2, p. 679-689, 2015.

GUNES, A.; INAL, A.; TASKIN, M. B.; SAHIN, O.; KAYA, E. C.;ATAKOL, A. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. **Soil use and management**, v. 30, n. 2, p. 182-188, 2014.

HANSEN, V.; MÜLLER-STÖVER, D.; MUNKHOLM, L. J.; PELTRE, C.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; JENSEN, L. S. The effect of straw and wood gasification biochar on carbon sequestration, selected soil fertility indicators and functional groups in soil: An incubation study. **Geoderma**, v. 269, p. 99-107, 2016.

HARTZ, T. K.; MITCHELL, J. P.; GIANNINI, C. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. **HortScience**, v. 35, n. 2, p. 209-212, 2000.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 3th edition. Oxford: Academic press, 2012. p. 135- 189.

HE, Z.; TAZISONG, I. A.; SENWO, Z. N. Forms and lability of phosphorus in humic and fulvic acids. In: He, Z.; Wu, F. (Eds.). **Labile Organic Matter** - chemical compositions, function, and significance in soil and the environment. Soil Science Society of America (SSSA) Special Publication 62, 2015. p. 61-78.

HORNICK, S. B.; SIKORA, L. J.; STERRETT, S. B.; MURRAY, J. J.; MILLNER, J. D.; PARR, J. F.; CHANEY, R. L.; WILLSON, G.B. **Utilization of sewage sludge compost as a soil conditioner and fertilizer for plant growth**. United States Department of Agriculture-USDA, US Govt. Printing Office, Washington, DC.Agriculture Information Bulletin nº. 464, 1984. 32 p.

HOSSEINPUR, A. R.; KIANI, S.; HALVAEI, M. Impact of municipal compost on soil phosphorus availability and mineral phosphorus fractions in some calcareous soils. **Environmental Earth Sciences**, v. 67, n. 1, p. 91-96. 2012.

IGLESIAS-JIMÉNEZ, E.; ALVAREZ, C.E. Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. **Biology and Fertility of Soils**, v. 16, n. 4, p. 313-318, 1993.

ILLERA-VIVES, M.; LABANDEIRA, S. S.; BRITO, L. M.; LÓPEZ-FABAL, A.; LÓPEZ-MOSQUERA, M. E. Evaluation of compost from seaweed and fish waste as a fertilizer for horticultural use. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 101-107, 2015.

INDRARATNE, S. P.; HAO, X.; CHANG, C.; GODLINSKI, F. Rate of soil recovery following termination of long-term cattle manure applications. **Geoderma**, v. 150, n. 3, p. 415-423, 2009.

INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas climáticas do estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1998.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th Ed. CRC press/ Taylor & Francis Group, 2011. 548 p.

KAMIYAMA, A; MARIA, I. C.; SOUZA, D. C. C.; SILVEIRA, A. P. D. Percepção ambiental dos produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 176-184, 2011.

KANDELER, E.; POLL, C.; FRANKENBERGER, W. T.; TABATABAI, M.A. Nitrogen cycle enzymes. In: DICK, R.P. (Ed.). **Methods of Soil Enzymology**. Soil Science Society of America (SSSA) Book Series, v. 9, 2011. p. 211-245.

KANDELER, E; DICK, R. P. Soil Enzymes: Spatial Distribution and Function in Agroecosystems. In: BENCKISER, G.; SCHNELL, S. **Biodiversity in agricultural production systems**. 2006. p. 263-286.

KIM, H. S.; KIM, K. R.; KIM, H. J.; YOON, J. H.; YANG, J. E.; OK, Y. S.; OWENS, G.; KIM, K. H. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1249-1259, 2015.

KONGTHOD, T.; THANACHIT, S.; ANUSONTORNPERM, S.; WIRIYAKITNATEEKUL, W. Effects of Biochars and Other Organic Soil Amendments on Plant Nutrient Availability in an Ustoxic Quartzipsamment. **Pedosphere**, v. 25, n. 5, p. 790-798, 2015.

KIBA, D. I.; ZONGO, N. A.; LOMPO, F.; JANSAN, J.; COMPAORE, E.; SEDOGO, P. M.; FROSSARD, E. The diversity of fertilization practices affects soil and crop quality in urban vegetable sites of Burkina Faso. **European Journal of Agronomy**, v.38, p.12-21, 2012.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. Tradução: Pedro R. H. Perez. Buenos Aires, Panamericana, 1948. 478 p.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 1799-1806, 1992.

JORGE-MARDOMINGO, I.; SOLER-ROVIRA, P.; CASERMEIRO, M. Á.; CRUZ, M. T.; POLO, A. Seasonal changes in microbial activity in a semiarid soil after application of a high dose of different organic amendments. **Geoderma**, v. 206, p. 40-48, 2013.

JOUQUET, E. P.; BLOQUEL, E.; DOAN, T. T.; RICOY, M.; ORANGE, D.; RUMPEL, C.; DUC, T. T. Do compost and vermicompost improve macronutrient retention and plant growth in degraded tropical soils?. **Compost Science & Utilization**, v. 19, n. 1, p. 15-24, 2011.

LECONTE, M. C.; MAZZARINO, M. J.; SATTI, P.; CREGO, M. P. Nitrogen and phosphorus release from poultry manure composts: the role of carbonaceous bulking agents and compost particle sizes. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47, n. 8, p. 897-906. 2011.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. 2nd ed. Routledge, 2015. 907 p.

LIMA, D. L. D.; SANTOS, S. M.; SCHERER, H. W.; SCHNEIDER, R. J.; DUARTE, A. C.; SANTOS, E. B. H.; ESTEVES, V. I. Effects of organic and inorganic amendments on soil organic matter properties. **Geoderma**, v. 150, n. 1, p. 38-45, 2009.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013.

MACHADO, P. L. O. A.; FABRÍCIO, A. C.; PRIMAVESI, A. C.; ROSSO, C.; FERREIRA, C. J. A.; PRATES, H. T.; FERRAZ, M. R.; ARMELIN, M. J. A.; MIYAZAWA, M.; PRIMAVESI, O.; MENDES, P. J.; FERRACINI, V. L. Solos. In: NOGUEIRA, A. R. A.; MACHADO, P. L. O. A.; CARMO, C. A. F. S.; FERREIRA, J. R. (Ed.). **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos: 1998. p. 7-21.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., rev. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALIK, M. A.; MARSCHNER, P.; KHAN, K. S. Addition of organic and inorganic P sources to soil - Effects on P pools and microorganisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 49, p. 106-113, 2012.

MARTINEZ, H. E. P.; MAIA, J. T. Diagnose foliar na cultura da alface. In: Prado, R. M.; CECILIO FILHO, A. B.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P. (Eds.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar de hortaliças**. 2010. p. 253-278.

MAYNARD, D. N.; G. J. HOCHMUTH. **Knott's handbook for vegetable growers**. 5th ed. Wiley, New York. 2007.

MILLER, A.J.; CRAMER, M.D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant and Soil**, v. 274, n. 1, p. 1-36, 2004.

MORAL, R.; PAREDES, C.; BUSTAMANTE, M.A.; MARHUENDA-EGEA, F.; BERNAL, M. P. Utilisation of manure composts by high-value crops: safety and environmental challenges. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5454-5460, 2009.

MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ARAÚJO, R. F. Seleção de índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio de batata-semente básica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 335-340, 2011.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p. 161-168, 2002.

NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J.; WATTS, D. W.; LAIRD, D. A.; AHMEDNA, M. A.; NIANDOU, M. A. Short-term CO₂ mineralization after additions of biochar and switchgrass to a TypicKandiudult. **Geoderma**, v. 154, n. 3, p. 281-288, 2010.

OLFATI, J. A.; PEYVAST, G.; NOSRATIE-RAD, Z.; SALIQEDAR, F.; REZAEI, F. Application of municipal solid waste compost on lettuce yield. **International journal of vegetable Science**, v. 15, n. 2, p. 168-172, 2009.

OGAWA, M.; OKIMORI, Y. Pioneering works in biochar research, Japan. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, n. 7, p. 489-500, 2010.

OLIVEIRA, S. M.; FERREIRA, A. S. Change in Soil Microbial and Enzyme Activities in Response to the Addition of Rock-Phosphate-Enriched Compost. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 21, p. 2794-2806, 2014.

PAGE, K.; HARBOTTLE, M. J.; CLEALL, P. J.; HUTCHINGS, T. R. Heavy metal leaching and environmental risk from the use of compost-like output as an energy crop growth substrate. **Science of the Total Environment**, v. 487, p. 260-271, 2014.

PAPAFILIPPAKI, A.; PARANYCHIANAKIS, N.; NIKOLAIDIS, N. P. Effects of soil type and municipal solid waste compost as soil amendment on *Cichorium spinosum* (spiny chicory) growth. **Scientia Horticulturae**, v. 195, p. 195-205, 2015.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo**. Curitiba, 1989. 306p.

PARKS, S. E.; IRVING, D. E.; MILHAM, P. J. A critical evaluation of on-farm rapid tests for measuring nitrate in leafy vegetables. **Scientia Horticulturae**, v. 134, n. 3, p. 1-6, 2012.

PASCUAL, J. A.; MORENO, J. L.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Persistence of immobilised and total urease and phosphatase activities in a soil amended with organic wastes. **Bioresource technology**, v. 82, n. 1, p. 73-78, 2002.

PAZ-FERREIRO, J.; FU, S.; MÉNDEZ, A.; GASCÓ, G. Biochar modifies the thermodynamic parameters of soil enzyme activity in a tropical soil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 3, p. 578-583, 2015.

PETERSEN, S. O.; SOMMER, S. G. Ammonia and nitrous oxide interactions: roles of manure organic matter management. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 503-513, 2011.

PEREIRA, D. C. **Decomposição e mineralização de adubos orgânicos acondicionados em cápsulas porosas**. 2011, 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011.

PEREIRA, D. C.; GRUTZMACHER, P.; BERNARDI, F. H.; MALLMANN, L. S.; COSTA, L. A. M.; COSTA, M. S. S. M. Produção de mudas de almeirão e cultivo no campo, em sistema agroecológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1100-1106, 2012.

PINAMONTI, F. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, n. 3, p. 239-248, 1998.

PINTON, R.; CESCO, S.; IACOLETTIG, G.; ASTOLFI, S.; VARANINI, Z. Modulation of NO_3^- uptake by water-extractable humic substances: involvement of root plasma membrane H^+ ATPase. **Plant and soil**, v. 215, n. 2, p. 155-161, 1999.

PONTI, T.; RIJK, B.; VAN ITTERSUM, M. K. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. **Agricultural Systems**, v. 108, p. 1-9, 2012.

PREUSCH, P. L.; ADLER, P. R.; SIKORA, L. J.; TWORKOSKI, T. J. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. **Journal Environmental Quality**, v. 31, n. 6, p. 2051-2057, 2002.

PRIMO, D. C.; FADIGAS, F. S.; CARVALHO, J. C. R.; SCHMIDT, C. D. S.; BORGES FILHO, A. C. S. Avaliação da qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 742-746, 2010.

RAIJ, B. V.; CATARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A. M. C.; **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed., rev. e atual. Campinas: Instituto agrônomo/Fundação IAC, 1997. p. 128. (Boletim técnico, 100).

RESENDE, G. M.; ALVARENGA, M. A. R.; YURI, J. E.; SOUZA, R. J. Rendimento e teores de macronutrientes em alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 373-378, 2012.

RIBEIRO, H. M.; FANGUEIRO, D.; ALVES, F.; VENTURA, R.; COELHO, D.; VASCONCELOS, E.; CUNHA-QUEDA, C.; COUTINHO, J.; CABRAL, F. Nitrogen mineralization from an organically managed soil and nitrogen accumulation in lettuce. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.173, n.2 p. 260-267, 2010.

RICHARDSON, A. E.; BAREA, J. M.; MCNEILL, A. M.; PRIGENT-COMBARET, C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant Soil**, v. 321, n. 1, p. 305-339, 2009.

RICHARDSON, A. E.; GEORGE, T. S.; HENS, M.; SIMPSON, R. J. Utilization of soil organic phosphorus by higher plants. **Organic phosphorus in the environment**. In: TURNER, B. L.; FROSSARD, E.; BALDWIN, D. S. (Eds.). CABI, 2005. p. 165-184.

RODRIGUES, E. T.; CASALI, V. W. D. Rendimento e concentração de nutrientes em alface, em função das adubações orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 125-128, 1999.

ROS, M.; KLAMMER, S.; KNAPP, B.; AICHBERGER, K.; INSAM, H. Long-term effects of compost amendment of soil on functional and structural diversity and microbial activity. **Soil Use and Management**, v. 22, n. 2, p. 209-218, 2006.

ROSOLEM, C. A. GARCIA, R. A., FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palhas de milheto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 813-819, 2006.

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

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean Quercus ilex L. forest. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 3, p. 455-461, 2005.

SCHULZ, H.; DUNST, G.; GLASER, B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. **Agronomy for sustainable development**, v. 33, n. 4, p. 817-827, 2013.

SCHULZ, H.; GLASER, B. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. **Zeits Pflanzenernähr Bodenkunde-Journ Plant Nutrit Soil Science**, v. 175, n. 3, p. 410, 2012.

SIKORA, L. J.; SZMIDT, R. A. K. Nitrogen sources, mineralization rates, and nitrogen nutrition benefits to plants from composts. In: STOFFELLA, P. J.; KAHN, B. A. (Eds.). **Compost utilization in horticultural cropping systems**. Boca Raton: Lewis publishers, 2001. p. 287-306.

SILVA, C. A. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CARMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo**. 2 ed. revisada e atualizada - Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 597-621.

SIMEPAR - **Sistema Meteorológico do Paraná** (2015) Histórico. Disponível em: <<http://WWW.simepar.br/>>. Acessado em: 20 de dezembro de 2015.

SHARPLEY, A. N.; DANIEL, T.; SIMS, J. T.; LEMUNYON, R. STEVENS, R. PARRY. **Agricultural phosphorus and eutrophication**. Second edition. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. ARS-149. 2003. 44 p.

SHARPLEY, A. N.; CHAPRA, S. C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J. T.; DANIEL, T. C.; REDDY, K. R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. **Journal of Environmental Quality**, v. 23, n. 3, p. 437-451, 1994.

SPOKAS, K. A.; NOVAK, J. M.; VENTEREA, R. T. Biochar's role as an alternative N-fertilizer: ammonia capture. **Plant and soil**, v. 350, n. 1-2, p. 35-42, 2012.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and amazonian dark earths in central amazonia - preliminary results. In: GLASER, B.; WOOD, W. I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2004. p. 195-212.

STERRETT, S. B.; CHANEY, R. L.; GIFFORD, C. H.; MIELKE, H. W. Influence of fertilizer and sewage sludge compost on yield and heavy metal accumulation by lettuce grown in urban soils. **Environmental geochemistry and health**, v. 18, n. 4, p. 135-142, 1996.

STEVENSON, J. F. **Humus chemistry** - Genesis, composition, reactions. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

TAZISONG, I. A.; SENWO, Z. N.; HE, Z. Elemental composition and functional groups in soil labile organic matter fractions. In: He, Z.; Wu, F. (Eds.). **Labile Organic Matter** - chemical compositions, function, and significance in soil and the environment. Soil Science Society of America (SSSA) Special Publication 62, 2015. p. 137-156.

VALARINI, P. J.; FRIGHETTO, R. T. S.; SCHIAVINATO, R. J.; CAMPANHOLA, C.; SENA, M. M.; BALBINOT, L.; POPPI, R. J. Análise integrada de sistemas de produção de tomateiro com base em indicadores edafobiológicos. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 60-67, 2007.

VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, F. R. A.; SCHILICKMANN, S.F.; POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 485-491, 2011.

VANDECASTEELE, B.; SINICCO, T.; D'HOSE, T.; NEST, T. V.; MONDINI, C. Biochar amendment before or after composting affects compost quality and N losses, but not P plant uptake. **Journal of environmental management**, v. 168, p. 200-209, 2016.

VANHALA, P.; TAMMINEN, P.; FRITZE, H. Relationship between basal soil respiration rate, tree stand and soil characteristics in boreal forests. **Environmental monitoring and assessment**, v. 101, n. 1-3, p. 85-92, 2005.

VIGIL, M. F.; KISSEL, D. E. Rate of nitrogen mineralized from incorporated crop residues as influenced by temperature. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 6, p. 1636-1644, 1995.

WATTS, D. B.; TORBERT, H.A.; PRIOR, S. A. Soil property and landscape position effects on seasonal nitrogen mineralization of composted dairy manure. **Soil Science**, v. 175, n. 1, p. 27-35, 2010.

WATTS, D. B.; TORBERT, H. A.; PRIOR, S. A.; HULUKA, G. Long-Term Tillage and Poultry litter impacts soil carbon and nitrogen mineralization and fertility. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 4, p. 1239-1247, 2010.

YAN, Y.; TIAN, J.; FAN, M.; ZHANG, F.; LI, X.; CHRISTIE, P.; CHEN, H.; LEE, J.; KUZYAKOV, Y.; SIX, J. Soil organic carbon and total nitrogen in intensively managed arable soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 150, p. 102-110, 2012.

YANG, L.; CHEN, Z.; LIU, T.; JIANG, J.; LI, B.; CHEN, S.; ZHANG, J. Soil respiratory and enzyme activities in leachate-contaminated soils with different application rate of cow manure compost: a laboratory study. **Environmental earth sciences**, v. 71, n. 1, p. 225-231, 2014.

YANG, X.; LIU, J.; MCGROUTHER, K.; HUANG, H.; LU, K.; GUO, X.; HE, L.; LIN, X.; CHE, L.; YE, Z.; WANG, H. Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 2, p. 974-984, 2015.

ANEXOS

Tabela 13 Dados meteorológicos durante os cultivos da alface

Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima
	(mm)	(%)	-----(°C)-----			(mm)	(%)	-----(°C)-----	
01/09/2014	7,60	77,08	27,80	14,40	26/09/2014	27,60	95,32	20,50	17,00
02/09/2014	18,60	78,23	31,60	18,40	27/09/2014	4,60	95,72	21,00	16,70
03/09/2014	0,00	79,83	30,50	17,70	28/09/2014	0,80	83,60	27,60	17,60
04/09/2014	0,00	74,12	26,50	15,80	29/09/2014	10,80	87,28	29,40	16,90
05/09/2014	0,00	62,63	26,90	14,00	30/09/2014	32,40	79,80	30,30	17,20
06/09/2014	10,00	62,25	30,20	14,80	01/10/2014	1,20	85,63	26,70	17,90
07/09/2014	15,20	89,12	24,30	15,40	02/10/2014	0,00	69,19	29,20	16,40
08/09/2014	0,00	77,52	29,20	14,90	03/10/2014	0,00	60,03	27,90	12,00
09/09/2014	0,00	58,98	31,00	17,40	04/10/2014	0,00	60,53	26,60	10,60
10/09/2014	0,00	46,74	33,40	16,70	05/10/2014	0,00	55,02	28,40	11,60
11/09/2014	0,00	56,60	33,20	19,20	06/10/2014	24,40	71,49	26,50	13,00
12/09/2014	0,00	52,40	34,10	19,00	07/10/2014	0,00	63,32	28,70	13,40
13/09/2014	0,00	47,11	33,20	19,10	08/10/2014	0,00	54,53	31,80	16,30
14/09/2014	1,20	51,40	33,30	18,60	09/10/2014	0,00	42,87	33,80	17,00
15/09/2014	7,60	87,05	20,40	12,40	10/10/2014	0,00	36,68	35,70	20,10
16/09/2014	0,00	71,19	25,00	10,00	11/10/2014	0,00	38,11	37,00	21,80
17/09/2014	0,00	55,96	28,80	12,90	12/10/2014	0,00	38,04	37,40	22,00
18/09/2014	0,00	74,54	23,70	16,20	13/10/2014	0,00	37,68	37,70	23,10
19/09/2014	101,40	97,63	17,80	15,30	14/10/2014	0,00	52,39	36,40	22,80
20/09/2014	0,00	85,88	25,00	15,30	15/10/2014	0,00	54,33	39,20	22,20
21/09/2014	0,00	61,63	23,90	11,30	16/10/2014	0,00	54,95	36,60	21,70
22/09/2014	0,00	54,00	27,40	11,60	17/10/2014	0,00	47,58	38,80	23,70
23/09/2014	0,00	58,87	30,80	13,00	18/10/2014	0,00	54,68	36,20	21,70
24/09/2014	47,00	88,70	21,40	15,80	19/10/2014	2,60	73,54	31,00	17,80
25/09/2014	14,60	97,88	21,10	15,70	20/10/2014	6,00	84,18	24,60	17,50

Fonte: Sistema meteorológico do Paraná – Simepar

Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima
	(mm)	(%)	----- (°C) -----			(mm)	(%)	----- (°C) -----	
20/10/2014	6,00	84,18	24,60	17,50	18/11/2014	7,00	43,88	29,70	15,80
21/10/2014	0,00	67,43	29,80	16,10	19/11/2014	15,00	69,71	30,00	18,30
22/10/2014	0,00	55,88	28,90	14,60	20/11/2014	0,00	85,37	26,60	17,70
23/10/2014	0,00	57,51	32,10	15,20	21/11/2014	19,00	92,75	25,20	17,70
24/10/2014	3,40	68,60	30,10	18,70	22/11/2014	2,80	94,83	23,60	17,80
25/10/2014	0,00	73,68	29,00	17,10	23/11/2014	0,00	74,34	29,30	16,10
26/10/2014	0,00	73,50	30,20	17,10	24/11/2014	0,40	79,66	27,70	18,70
27/10/2014	0,00	64,56	32,50	19,50	25/11/2014	6,00	92,56	26,80	19,00
28/10/2014	0,00	54,73	34,40	20,50	26/11/2014	0,00	84,32	28,50	18,80
29/10/2014	0,00	47,94	33,60	20,00	27/11/2014	0,00	76,30	30,60	19,40
30/10/2014	2,00	69,44	32,80	18,70	28/11/2014	0,00	78,59	29,70	19,00
01/11/2014	0,00	80,75	27,30	20,50	29/11/2014	0,00	73,57	28,80	19,70
02/11/2014	0,00	78,50	31,80	20,90	30/11/2014	0,00	79,94	30,10	19,80
03/11/2014	0,00	75,05	30,80	19,80	01/12/2014	0,00	87,50	28,20	20,30
04/11/2014	102,10	90,40	25,00	18,70	02/12/2014	1,20	90,96	29,50	20,10
05/11/2014	0,00	81,16	29,70	18,00	03/12/2014	1,40	90,70	24,80	18,80
06/11/2014	0,60	79,25	31,20	19,40	04/12/2014	0,00	69,40	29,20	16,30
07/11/2014	24,40	92,81	23,60	17,60	05/12/2014	0,00	72,95	28,30	16,20
08/11/2014	0,20	83,59	27,00	16,00	06/12/2014	0,00	69,51	28,80	15,10
09/11/2014	0,00	67,64	30,10	17,40	07/12/2014	0,00	72,87	30,20	18,90
10/11/2014	0,00	54,26	31,00	18,60	08/12/2014	1,40	81,97	29,10	18,90
11/11/2014	4,60	74,09	26,70	16,70	09/12/2014	2,00	88,93	27,30	19,00
12/11/2014	0,00	85,38	24,20	17,50	10/12/2014	6,20	93,30	27,20	19,70
13/11/2014	0,00	74,92	27,50	16,60	11/12/2014	0,00	89,36	28,90	19,50
14/11/2014	0,00	63,69	27,60	15,10	12/12/2014	0,60	90,16	28,30	21,00
15/11/2014	0,00	64,94	27,20	13,00	13/12/2014	0,00	80,47	29,20	18,10
16/11/2014	0,00	55,03	28,70	16,00	14/12/2014	0,00	72,11	31,40	19,00
17/11/2014	0,00	49,75	30,70	17,00	15/12/2014	0,00	77,11	28,80	18,90

Fonte: Sistema meteorológico do Paraná – Simepar

Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima
	(mm)	(%)	----- (°C) -----			(mm)	(%)	----- (°C) -----	
16/12/2014	0,00	76,83	28,70	18,70	13/01/2015	0,00	73,62	31,80	20,00
17/12/2014	2,20	84,27	24,40	18,60	14/01/2015	0,00	80,34	30,10	19,10
18/12/2014	0,00	81,16	28,60	17,70	15/01/2015	0,00	75,26	31,60	18,60
19/12/2014	21,40	81,33	30,20	20,00	16/01/2015	0,00	74,74	32,50	20,50
20/12/2014	0,00	81,26	30,80	20,70	17/01/2015	0,00	75,58	33,00	21,60
21/12/2014	24,20	92,73	28,40	19,00	18/01/2015	1,80	80,37	31,20	19,30
22/12/2014	18,00	89,99	25,00	18,40	19/01/2015	0,00	71,47	32,90	18,60
23/12/2014	0,20	83,99	27,60	17,20	20/01/2015	1,00	80,87	31,80	19,30
24/12/2014	0,00	80,67	25,20	15,20	21/01/2015	0,00	82,74	29,50	16,90
25/12/2014	0,00	88,71	26,70	17,40	22/01/2015	1,20	77,51	30,50	18,70
26/12/2014	5,60	83,60	30,10	20,40	23/01/2015	0,00	73,68	31,10	17,30
27/12/2014	3,80	85,48	29,70	18,80	24/01/2015	3,00	71,99	32,40	18,50
28/12/2014	0,20	82,23	30,80	21,40	25/01/2015	0,40	79,94	31,40	18,60
29/12/2014	46,60	91,62	26,80	17,20	26/01/2015	36,40	76,13	32,30	17,40
30/12/2014	19,20	90,16	29,10	17,40	27/01/2015	1,80	84,70	27,50	18,90
31/12/2014	28,40	96,27	27,50	19,50	28/01/2015	2,40	92,40	28,30	19,50
01/01/2015	0,40	90,09	29,10	19,80	29/01/2015	21,40	99,10	24,60	19,80
02/01/2015	27,80	90,74	27,60	17,00	30/01/2015	0,20	87,27	30,30	19,90
03/01/2015	1,20	87,57	28,40	19,20	31/01/2015	23,20	82,88	31,60	19,60
04/01/2015	1,20	83,99	29,70	18,60	01/02/2015	0,00	85,17	29,30	20,20
05/01/2015	0,00	83,14	28,70	18,20	02/02/2015	11,20	84,86	33,40	19,10
06/01/2015	0,00	87,60	28,60	20,60	03/02/2015	13,60	82,67	31,10	17,30
07/01/2015	7,80	84,53	31,00	20,40	04/02/2015	0,20	90,23	27,60	19,30
08/01/2015	26,80	86,55	30,80	20,20	05/02/2015	0,00	84,11	28,80	18,60
09/01/2015	0,00	83,72	31,00	19,50	06/02/2015	0,00	71,08	30,10	17,00
10/01/2015	0,00	77,85	32,50	20,50	07/02/2015	0,00	67,00	30,80	17,40
11/01/2015	0,00	75,65	32,30	19,60	08/02/2015	0,00	64,73	33,00	18,60
12/01/2015	2,40	80,79	33,30	20,40	09/02/2015	2,00	71,10	33,30	19,80

Fonte: Sistema meteorológico do Paraná – Simepar

Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima
	(mm)	(%)	-----(°C)-----			(mm)	(%)	-----(°C)-----	
10/02/2015	2,20	88,53	31,00	20,70	10/03/2015	0,00	78,24	29,60	18,00
11/02/2015	1,40	87,82	30,60	21,60	11/03/2015	0,00	75,60	30,10	18,40
12/02/2015	2,00	89,46	32,50	20,60	12/03/2015	0,00	72,18	31,20	18,40
13/02/2015	3,80	87,90	30,20	20,70	13/03/2015	0,00	72,55	29,90	17,30
14/02/2015	14,40	97,85	22,80	18,60	14/03/2015	3,80	70,43	30,30	17,70
15/02/2015	0,00	87,17	29,00	17,90	15/03/2015	0,00	78,26	30,60	17,70
16/02/2015	0,00	82,70	27,40	16,90	16/03/2015	19,00	75,20	31,40	19,20
17/02/2015	10,20	90,08	28,10	18,00	17/03/2015	0,00	77,96	30,90	19,00
18/02/2015	0,00	86,32	30,00	18,50	18/03/2015	0,00	74,30	30,20	19,70
19/02/2015	36,60	97,19	24,00	18,10	19/03/2015	0,00	73,37	29,70	18,20
20/02/2015	0,00	81,11	29,80	18,80	20/03/2015	13,20	79,54	29,00	17,80
21/02/2015	4,20	88,02	30,20	20,80	21/03/2015	2,00	81,57	29,00	18,30
22/02/2015	10,00	74,26	33,60	20,60	22/03/2015	0,00	78,66	27,70	14,90
23/02/2015	3,80	77,93	33,00	19,10	23/03/2015	0,00	77,81	27,30	15,20
24/02/2015	34,00	73,84	31,20	18,20	24/03/2015	0,00	71,56	28,90	16,80
25/02/2015	0,00	74,33	32,20	17,40	25/03/2015	0,00	66,50	28,60	17,40
26/02/2015	0,00	71,95	32,60	19,80	26/03/2015	24,40	76,26	27,60	18,20
27/02/2015	22,20	86,07	32,40	19,00	27/03/2015	0,40	87,91	27,30	18,20
28/02/2015	0,00	79,20	31,40	19,00	28/03/2015	4,80	93,38	27,00	19,40
01/03/2015	0,00	72,74	31,00	18,90	29/03/2015	3,20	95,96	24,30	19,00
02/03/2015	0,00	70,54	31,50	18,50	30/03/2015	0,20	86,53	26,20	16,30
03/03/2015	14,00	78,72	32,20	20,50	31/03/2015	0,00	77,76	27,40	15,70
04/03/2015	41,40	87,83	30,40	19,70	01/04/2015	0,00	72,50	27,80	15,20
05/03/2015	8,00	89,87	30,40	19,20	02/04/2015	0,00	65,68	28,90	16,30
06/03/2015	0,20	88,52	28,40	20,40	03/04/2015	0,00	72,32	28,10	17,40
07/03/2015	5,40	93,05	25,40	20,10	04/04/2015	24,80	79,95	25,90	18,00
08/03/2015	0,00	86,01	29,50	19,30	05/04/2015	1,80	91,89	26,10	17,70
09/03/2015	14,00	86,14	28,60	17,70	06/04/2015	0,00	80,39	23,50	15,70

Fonte: Sistema meteorológico do Paraná – Simepar

Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima
	(mm)	(%)	-----(°C)-----			(mm)	(%)	-----(°C)-----	
07/04/2015	0,00	74,77	25,90	13,90	05/05/2015	0,00	71,58	24,10	11,70
08/04/2015	0,00	72,82	25,40	14,30	06/05/2015	0,00	77,61	25,00	13,90
09/04/2015	0,00	70,26	27,20	14,90	07/05/2015	0,00	71,87	26,10	13,40
10/04/2015	0,00	67,48	28,40	16,60	08/05/2015	0,00	78,67	21,90	14,20
11/04/2015	0,00	71,90	28,40	17,40	09/05/2015	0,00	77,26	23,70	12,50
12/04/2015	0,00	73,19	30,30	18,20	10/05/2015	70,00	97,93	18,40	14,90
13/04/2015	0,00	74,68	28,50	18,20	11/05/2015	0,20	89,64	20,50	11,60
14/04/2015	10,00	88,14	23,80	18,40	12/05/2015	0,00	81,32	21,40	10,30
15/04/2015	12,40	91,85	25,80	17,70	13/05/2015	0,00	81,04	23,30	12,80
16/04/2015	0,00	81,29	29,40	18,10	14/05/2015	0,00	81,48	21,00	12,20
17/04/2015	14,80	85,30	26,30	17,90	15/05/2015	0,00	78,16	24,80	14,90
18/04/2015	1,20	90,41	23,00	17,60	16/05/2015	3,00	91,48	19,30	15,10
19/04/2015	0,00	89,98	26,90	16,60	17/05/2015	0,00	84,36	23,40	16,30
20/04/2015	32,80	93,62	28,90	20,10	18/05/2015	0,00	80,05	24,30	15,60
21/04/2015	4,20	94,79	26,50	20,30	19/05/2015	0,40	82,21	25,40	14,50
22/04/2015	0,20	91,11	27,10	18,50	20/05/2015	0,00	79,17	25,20	13,60
23/04/2015	0,00	85,62	27,60	17,80	21/05/2015	0,00	81,34	25,40	15,90
24/04/2015	0,00	80,44	26,90	15,80	22/05/2015	0,00	82,13	26,50	16,00
25/04/2015	0,00	67,46	27,40	12,70	23/05/2015	0,00	81,54	27,20	17,70
26/04/2015	0,00	71,26	25,40	13,40	24/05/2015	26,00	95,66	23,80	18,40
27/04/2015	0,00	69,31	26,20	13,60	25/05/2015	71,60	99,82	22,50	19,20
28/04/2015	0,00	63,29	27,30	15,50	26/05/2015	4,00	95,53	25,40	18,20
29/04/2015	0,00	70,42	25,80	16,20	27/05/2015	29,60	98,56	19,10	15,00
30/04/2015	0,00	71,88	26,20	14,40	28/05/2015	0,00	92,21	15,80	11,00
01/05/2015	0,00	74,45	25,10	14,20	29/05/2015	0,00	81,92	18,80	10,30
02/05/2015	0,00	71,73	26,10	14,70	30/05/2015	5,20	94,83	13,70	8,40
03/05/2015	50,20	89,64	19,50	15,80	31/05/2015	0,80	97,94	17,50	12,10
04/05/2015	0,20	83,03	22,70	11,90	01/06/2015	0,00	85,57	21,90	11,90

Fonte: Sistema meteorológico do Paraná – Simepar

Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima
	(mm)	(%)	-----(°C)-----			(mm)	(%)	-----(°C)-----	
02/06/2015	0,00	88,21	21,60	12,40	30/06/2015	38,80	93,67	16,60	13,80
03/06/2015	0,20	93,33	18,90	13,00	01/07/2015	0,20	90,17	21,60	12,80
04/06/2015	0,00	84,14	25,70	15,10	02/07/2015	78,00	99,70	16,70	12,60
05/06/2015	0,00	79,19	25,20	15,60	03/07/2015	52,20	99,90	16,40	11,70
06/06/2015	0,00	79,66	26,00	14,50	04/07/2015	0,00	87,15	12,80	6,50
07/06/2015	0,00	69,62	26,80	16,20	05/07/2015	0,00	76,75	17,10	5,50
08/06/2015	0,00	74,79	26,90	15,40	06/07/2015	1,80	90,72	18,80	10,40
09/06/2015	0,00	68,94	26,50	16,30	07/07/2015	12,60	100,00	17,70	14,40
10/06/2015	0,00	70,69	27,00	16,80	08/07/2015	14,00	99,68	16,00	12,50
11/06/2015	7,00	85,71	27,30	17,00	09/07/2015	0,80	95,45	17,10	11,10
12/06/2015	9,20	98,31	19,80	15,90	10/07/2015	65,00	98,55	15,60	11,90
13/06/2015	0,40	93,75	23,70	18,80	11/07/2015	35,00	96,68	19,10	13,20
14/06/2015	17,00	90,36	22,70	11,30	12/07/2015	42,60	95,13	18,80	14,10
15/06/2015	0,00	72,16	14,10	5,70	13/07/2015	0,20	82,93	26,80	15,60
16/06/2015	0,00	65,23	17,10	2,90	14/07/2015	9,40	91,23	22,60	15,10
17/06/2015	0,00	73,27	24,30	13,60	15/07/2015	11,20	100,00	17,70	13,20
18/06/2015	18,60	93,97	20,10	9,00	16/07/2015	18,60	98,45	20,50	15,00
19/06/2015	0,00	74,81	17,30	5,50	17/07/2015	22,40	93,83	22,10	14,40
20/06/2015	0,00	83,24	21,20	9,20	18/07/2015	0,00	85,51	24,40	14,60
21/06/2015	0,00	83,72	23,80	14,00	19/07/2015	0,00	76,32	24,80	15,30
22/06/2015	0,00	79,54	25,10	15,10	20/07/2015	12,60	78,35	25,10	15,30
23/06/2015	0,00	76,39	24,70	13,90	21/07/2015	0,20	86,47	16,20	8,40
24/06/2015	0,00	80,82	22,10	13,50	22/07/2015	0,00	84,30	18,50	7,00
25/06/2015	0,00	81,01	20,80	10,70	23/07/2015	0,00	87,36	19,70	10,60
26/06/2015	0,00	77,83	21,70	12,00	24/07/2015	7,80	99,32	17,00	11,00
27/06/2015	0,00	79,30	21,60	11,60	25/07/2015	0,00	87,99	21,30	8,90
28/06/2015	0,00	77,10	22,20	12,70	26/07/2015	0,00	77,75	23,30	10,50
29/06/2015	0,00	73,37	23,30	12,40	27/07/2015	0,00	70,77	24,20	10,20

Fonte: Sistema meteorológico do Paraná – Simepar

Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima
	(mm)	(%)	-----(°C)-----			(mm)	(%)	-----(°C)-----	
28/07/2015	0,00	69,78	24,50	12,20	24/08/2015	7,40	92,81	20,10	14,50
29/07/2015	0,00	66,41	27,80	14,60	25/08/2015	0,00	88,65	22,80	14,70
30/07/2015	0,00	66,25	27,20	16,10	26/08/2015	16,80	78,75	27,70	15,70
31/07/2015	0,00	64,89	26,90	15,10	27/08/2015	12,40	74,73	23,90	13,50
01/08/2015	0,00	59,64	26,80	16,70	28/08/2015	0,00	59,24	26,80	10,40
02/08/2015	0,00	59,84	27,30	15,30	29/08/2015	0,00	62,13	26,90	11,50
03/08/2015	0,00	55,89	27,60	14,80	30/08/2015	0,00	50,12	30,40	13,30
04/08/2015	0,00	56,97	27,70	16,00	31/08/2015	0,00	41,18	33,10	16,00
05/08/2015	0,00	56,64	27,80	16,10	01/09/2015	0,00	46,51	33,30	19,80
06/08/2015	0,00	56,11	28,00	15,90	02/09/2015	0,00	63,80	28,10	18,00
07/08/2015	0,00	51,17	29,50	16,70	03/09/2015	0,00	73,81	28,10	17,40
08/08/2015	0,00	51,89	29,60	17,50	04/09/2015	1,40	68,76	25,80	13,20
09/08/2015	0,00	57,96	28,70	16,20	05/09/2015	0,00	61,79	25,80	0,70
10/08/2015	0,00	62,60	28,20	17,00	06/09/2015	0,00	55,51	24,50	13,70
11/08/2015	0,00	64,12	28,40	17,60	07/09/2015	9,80	68,92	29,60	14,90
12/08/2015	0,00	61,83	27,80	15,60	08/09/2015	21,80	92,47	22,90	14,90
13/08/2015	0,80	57,91	27,60	15,10	09/09/2015	0,20	88,19	24,40	13,20
14/08/2015	0,00	58,19	26,20	15,20	10/09/2015	14,60	98,45	19,50	13,00
15/08/2015	0,00	57,12	27,40	15,10	11/09/2015	2,60	96,69	16,00	6,10
16/08/2015	0,00	53,88	28,50	16,20	12/09/2015	0,00	63,08	17,00	3,30
17/08/2015	0,00	56,41	28,80	16,50	13/09/2015	0,00	45,00	22,60	5,90
18/08/2015	15,00	81,83	22,90	12,30	14/09/2015	0,00	45,82	26,20	9,40
19/08/2015	0,00	86,22	20,20	10,30	15/09/2015	0,00	57,50	30,70	13,80
20/08/2015	0,00	69,05	23,20	7,80	16/09/2015	0,00	59,31	35,30	19,70
21/08/2015	0,00	68,88	24,60	12,20	17/09/2015	0,00	57,56	35,30	20,70
22/08/2015	0,00	65,38	26,50	13,40	18/09/2015	0,00	54,51	35,70	21,20
23/08/2015	2,80	81,30	21,00	15,90	19/09/2015	0,00	56,47	36,60	22,50

Fonte: Sistema meteorológico do Paraná – Simepar

Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Data	Precipitação	Umidade relativa	Temperatura máxima	Temperatura mínima
	(mm)	(%)	-----(°C)-----			(mm)	(%)	-----(°C)-----	
20/09/2015	0,00	53,81	36,10	19,70	12/10/2015	0,60	97,01	16,40	11,90
21/09/2015	0,00	42,21	35,70	18,40	13/10/2015	0,00	89,04	20,90	10,00
22/09/2015	0,00	37,34	36,20	18,00	14/10/2015	0,00	72,16	32,30	17,40
23/09/2015	0,00	33,60	36,40	22,40	15/10/2015	0,00	59,73	35,70	20,90
24/09/2015	4,80	49,64	35,90	21,80	16/10/2015	0,00	60,78	34,90	21,40
25/09/2015	7,40	91,20	26,60	18,00	17/10/2015	0,00	69,31	33,00	18,00
26/09/2015	7,00	97,24	22,90	17,80	18/10/2015	0,00	69,64	32,70	17,70
27/09/2015	39,60	100,00	19,90	15,00	19/10/2015	0,00	61,52	33,30	18,90
28/09/2015	0,00	72,36	25,90	12,30	20/10/2015	0,00	59,27	36,20	22,60
29/09/2015	0,00	73,22	27,40	12,60	21/10/2015	0,00	59,06	35,40	22,10
30/09/2015	25,60	86,24	25,40	15,40	22/10/2015	3,80	66,78	33,00	20,00
01/10/2015	0,00	77,61	28,80	15,00	23/10/2015	1,40	83,24	28,80	18,50
02/10/2015	14,60	78,75	31,20	18,40	24/10/2015	0,00	76,26	27,90	19,50
03/10/2015	2,60	96,71	21,00	17,40	25/10/2015	0,80	76,83	30,30	17,80
04/10/2015	0,00	85,04	26,60	17,10	26/10/2015	8,40	92,22	23,90	18,70
05/10/2015	0,00	68,49	30,00	17,30	27/10/2015	1,20	97,41	22,00	18,40
06/10/2015	0,00	66,05	33,40	19,30	28/10/2015	0,00	74,99	31,20	18,20
07/10/2015	0,00	58,12	35,10	19,60	29/10/2015	0,00	67,37	30,50	18,80
08/10/2015	10,40	66,93	35,10	18,90	30/10/2015	0,00	68,33	30,30	17,60
09/10/2015	34,00	96,80	22,60	17,00	31/10/2015	0,00	82,52	29,00	19,80
10/10/2015	0,80	98,87	20,20	15,20	01/11/2015	0,20	84,40	28,70	19,30
11/10/2015	2,60	99,60	17,50	13,30					

Fonte: Sistema meteorológico do Paraná – Simepar